



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

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Михайлов Р.Л. Череповецкий военный ордена Жукова университет радиоэлектроники (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.в.н., профессор

EDITORIAL BOARD CHAIRMAN – JOURNAL EDITOR-IN-CHIEF:

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

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

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

EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Makarenko S.I. The Bonch-Bruевич St Petersburg State University of Telecommunications" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

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

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

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

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

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

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

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

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

Tsybmal V.A. Branch of the Great Petr RVSН Military Academy (Serpukhov). Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

РЕДАКЦИЯ:

Верстка принт-макета: **Мамончикова А.С.**

Дизайн обложки: **Шаутин Д.В.**

Поддержка сетевой версии журнала: **Тюкинеева Л.В.**

Секретарь редакции: **Михайлова Н.В.**

**АДРЕС
РЕДАКЦИИ:**

197342. Россия. г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8,
Телефон: +7(812) 542-90-54; +7(812) 448-95-97; +7(812) 448-96-84
Факс: +7(812) 542-18-49. E-mail: 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 журнала: <https://www.akc.ru/itm/means-of-communication-equipment/>
<https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e79656/>*

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

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

Модем OADM для многоканальных радиолиний

2

Путилин А. Н., Соколов В. А., Хвостунов Ю. С.

Адаптация режимов работы станций сети декаметровой радиосвязи с псевдослучайным переключением рабочих частот

12

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

Разработка всенаправленной эфирной телевизионной антенны морского исполнения в целях импортозамещения

22

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Турилов В. А.

Использование технологии DTN в сети связи Северного морского пути для организации гарантированного достоверного информационного обмена

42

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Севастьянов С. И.

Булеональная иерархия качества метода анализа сложных систем

50

Никитин С. В.

Анализ временных задержек при изменении топологии программно-конфигурируемой сети на базе эмулятора компьютерных сетей Mininet

67

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Мегера Ю. А., Бурлаков А. А.

Процедура управления рекламационной деятельностью как часть производственного процесса

74

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ.

СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Сиразетдинов Р. Р., Белоус Д. В.

Разработка системы согласования закупочных документов и договоров с использованием платформы «1С: Документооборот»

84

АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ

Ломоносов П. С., Ломоносов С. Ю.

Анализ состояния научно-методического аппарата расчета транспортной инфраструктуры мультисервисной сети связи ведомственного назначения

92

CONTENTS

COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

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

OADM modem for multichannel radio lines

2

Putilin A. N., Sokolov V. A., Khvostunov Yu. S.

Adaptation of operating modes of decameter radio network stations with pseudorandom switching of operating frequencies

12

Imer D. V., Shapovalov F. A., Trapeznikov R. V., Pomazunov S. A., Islamov A. I.

Development of an omnidirectional terrestrial television antenna of marine design for the purpose of import substitution

22

TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING OF SIGNALS

Turilov V. A.

The use of DTN technology in the Northern Sea Route communication network for the guaranteed reliable information exchange organization

42

MODELING OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Sevastyanov S. I.

The boolean hierarchy of the quality of the method of analysis of complex systems

50

Nikitin S. V.

Analysis of time delays when changing the topology of a software-configurable network based on Mininet computer network emulator

67

CONTROL SYSTEMS

Megera Yu. A., Burlakov A. A.

The procedure for managing advertising activities as part of the production process

74

INFORMATION PROCESSES AND TECHNOLOGIES.

COLLECTION, STORAGE AND PROCESSING OF INFORMATION

Sirazetdinov R. R., Belous D. V.

Development of a system for coordinating procurement documents and contracts using "1C: Document Management"

84

ANALYSIS OF NEW TECHNOLOGIES AND PROSPECTS OF COMMUNICATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT

Lomonosov P. S., Lomonosov S. U.

Analysis of the state of the scientific and methodological apparatus of calculation transport infrastructure of a multiservice communication network for departmental purposes

92

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

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.396.93

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-2-11

Модем OWDM для многоканальных радиолиний

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

Аннотация. *Цель статьи:* показать возможность создания многоканальных модемов, в которых для формирования сигналов используются вейвлет-функции определенного типа, для работы в каналах с аддитивным белым Гауссовским шумом и в каналах с замираниями Райса и Рэля при использовании квадратурной модуляции на вейвлет-поднесущих. **Методы:** для формирования и обработки сигналов в модеме мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов при моделировании использовалась вейвлет-функция $db1$. **Новизна:** приведены структурная схема модема мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, объединяющего в групповой поток данные, поступающие от отдельных источников информации и рисунок, поясняющий объединение символов квадратурной модуляции на длительности символа мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов. Приведено созвездие сигнала мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов для 32-квадратурной модуляции на входе демодулятора для канала прямой видимости с аддитивным белым Гауссовским шумом. Представлены графики помехоустойчивости сигналов мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов для каналов с аддитивным белым Гауссовским шумом, Райсовскими и Рэлеевскими замираниями при двух- и трехлучевом распространении радиоволн. На графиках, характеризующих помехоустойчивость сигналов мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, представлены результаты теоретического расчета вероятности ошибки, с использованием аналитического выражения для сигналов квадратурной модуляции, полученные путем моделирования процессов их формирования и обработки в модеме. **Представлены результаты:** структурная схема модема мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, графики созвездия и помехоустойчивости, полученные в результате имитационного моделирования процессов формирования и обработки таких сигналов. Выполнен анализ полученных результатов. **Практическая значимость:** результаты работы могут быть реализованы при разработке комплексов радиосвязи.

Ключевые слова: *вероятность ошибки, канал с аддитивным белым Гауссовским шумом, модем, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов, помехоустойчивость, сигнальное созвездие.*

Введение

Модемы средств связи осуществляют обработку сигналов на физическом уровне. Модемы, реализованные по технологии *OFDM* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [1] обладают высокой спектральной эффективностью и позволяют передавать и принимать информацию с большой скоростью. В зависимости от функций, которые должна выполнять система связи, эти модемы могут быть использованы для передачи сообщений большого объема с большой скоростью передачи данных.

Системы связи, использующие модемы *OFDM* для борьбы с многолучевостью, требуют наличие вставки циклического префикса между символами *OFDM*, который приводит к снижению пропускной способности канала передачи данных. Кроме того, сигналы *OFDM* характеризуются высоким отношением пиковой мощности к средней (пик-фактор), что заставляет усилители мощности передатчиков работать в линейном режиме, характеризующимся низким его коэффициентом полезного действия.

Предложенные в [2, 3] решения позволяют создавать модемы многочастотных сигналов, реализованных на основе дискретного вейвлет-преобразования. Вейвлеты имеют лучшую по сравнению с синусоидами ортогональность, поэтому на их стабильность в меньшей степени влияет многолучевое распространение радиоволн. Наложение символов

OWDM во временной области, из-за многолучевого распространения радиоволн, оказывают меньшее влияние на соотношение фаз, составляющих его спектра. Поэтому *OWDM* сигналы не требуют вставки циклического префикса. Следовательно, использование *OWDM* в модемах способствует повышению эффективности использования ширины полосы пропускания, выделенной для системы связи.

Структурная схема модема *OWDM*

Предложенный в [3] подход к формированию *OWDM* сигнала реализован в многоканальном модеме, структурная схема, которого представлена на рис. 1.

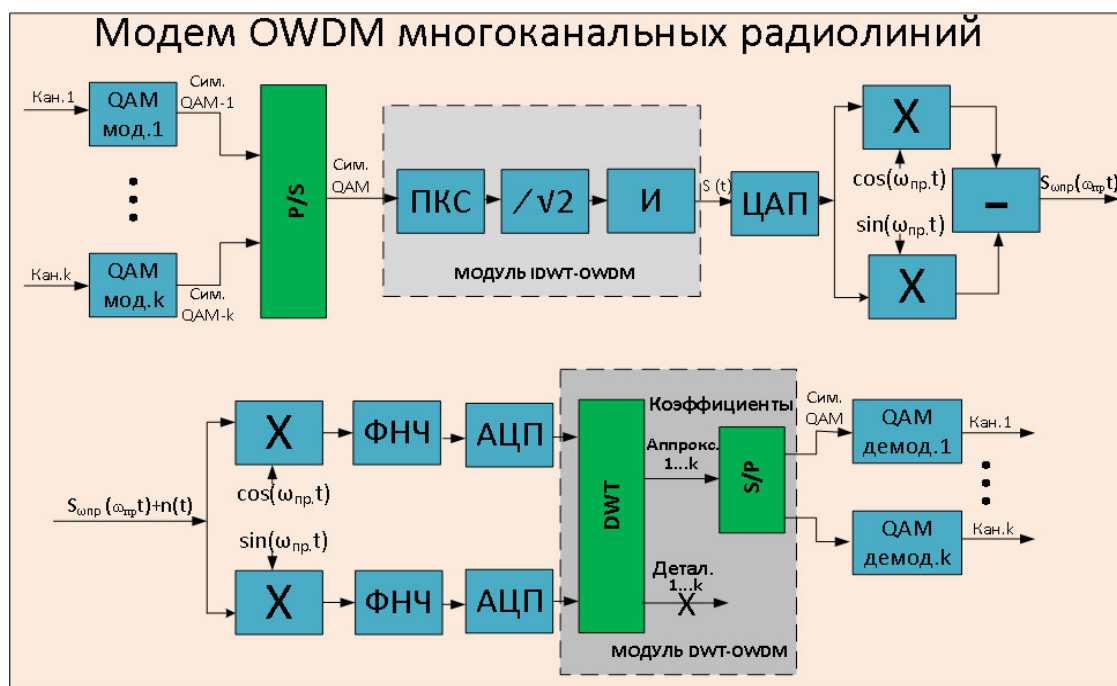


Рис. 1. Структурная схема модема *OWDM*

Символы данных, объединяемых каналов (на рис. 1 – Кан.1, ..., Кан.к), преобразуются в *QAM* модуляторе (*QAM* – *Quadrature Amplitude Modulation* – Модуляция методом Квадратичных Амплитуд) в комплексные сигналы, отражающие фазу и амплитуду символов *QAM* (на рис. 1 – Сим. *QAM*). Затем эти символы поступают на вход модуля обратного дискретного вейвлет-преобразования *IDWT-OWDM* в котором формируется *OWDM* сигнал путем повторения копии символа (ПКС) *QAM* и деления комплексного сигнала на $\sqrt{2}$. Комплексный дискретный сигнал сглаживается в интерполяторе (И), преобразуется в аналоговый с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и переносится на промежуточную частоту $S_{\omega_{пр}}(\omega_{пр}t)$ квадратурным преобразователем частоты.

Таким образом, в модеме из тракта формирования *OWDM* сигнала исключен модуль обратного дискретного вейвлет-преобразования *IDWT*, что упрощает техническую реализацию устройства и снижает длительность формирования сигналов *OWDM*.

На вход демодулятора *OWDM* действует сигнал, состоящий из суммы сигнала и шума ($S_{\omega_{пр}}(\omega_{пр}t) + n(t)$). С помощью квадратурного преобразователя частоты этот сигнал переносится на нулевую «0» частоту. Фильтры нижних частот (ФНЧ) выделяют вещественную и комплексную составляющие сигнала *OWDM*. В АЦП аналоговые сигналы преобразуются в цифровой и поступают на вход модуля дискретного вейвлет-преобразования *DWT-OWDM*, в котором на выходе коэффициенты аппроксимации формируют сигнал *QAM*. При этом для выделения сигнала *QAM* коэффициенты детализации в модуле не используются.

Следует отметить, что для обработки сигнала *OWDM* в модуле *DWT-OWDM* могут быть использованы только вейвлет-функции типа *db1 (haar)*, *bior1.1*, *1.3*, *1.5* и *rbio1.1*, *1.3*, *1.5*. Все другие вейвлет-функции имеют большую неопределенность фазы и амплитуды как при формировании, так и при обработке *OWDM* сигналов.

Результаты моделирования процессов формирования и обработки сигналов в модеме *OWDM*

В ходе моделирования процессов формирования и обработки многоканального сигнала *OWDM* в модеме *OWDM* проводилось исследование влияния типа радиоканала на помехоустойчивость приема сигналов: интерполяция сигнала *OWDM* с использованием преобразования Фурье; типа вейвлет-функции *db1*; типа канала распространения радиоволн (*AWGN* – *additive white Gaussian noise* – канал с аддитивным белым Гауссовским шумом; *Ricean* – канал Райса, *Rayleigh* – канал Релея). Исследования процессов формирования и обработки *OWDM* сигналов проводились в среде *MatLab*.

В имитационной модели процессов формирования и обработки *OWDM*, сигнал формировался и обрабатывался при условиях: вейвлет: *db1*; количество вейвлет-поднесущих: 30; полоса частот 3100 Гц; скорость передачи на вейвлет-поднесущих *OWDM* сигнала: 100 бит/с; размер сигнального созвездия: *QAM32* в канале *AWGN*, *QAM16* в канале *Ricean*, *QAM8* в канале *Rayleigh* (при трех- и двухлучевом распространении радиоволн в каналах с замираниями).

Процесс объединения потоков данных трех информационных каналов, имеющих одинаковый размер созвездия *QAM* сигналов, осуществляется в блоке преобразования параллельного потока в последовательный (*P/S*).

Процесс разделения потока данных по трем информационным каналам осуществляется в блоке преобразования последовательного потока в параллельный (*S/P*).

Данные в последовательном потоке после объединения размещаются последовательно $k_1, k_2, k_3, \dots, k_{1sym}, k_{2sym}, k_{3sym}$ и определяются суммой символов *QAM*, полученных от каждого источника информации.

Процесс объединения потоков данных трех источников информации, формирующих сигналы с одинаковым размером созвездия *QAM*, на длительности символа *OWDM* представлено на рис. 2.

Из рисунка видно, что каждый из трех источников информации (верхние три графика) за время длительности символа *OWDM* формирует 30 символов *QAM32* на 30 вейвлет-поднесущих. В результате объединения потоков данных трех источников информации получается поток, состоящий из 90 символов *QAM32* на длительности символа *OWDM*, равной величине обратной скорости передачи на каждой вейвлет-поднесущей.

Таким образом, каждый источник информации работает, по каналу с модемом *OWDM*, с одинаковой для источника скоростью передачи. Результирующая скорость передачи в канале (нижний график) с модемом *OWDM* определяется суммой скоростей источников информации.

$$V_{OWDM} = V_1 + V_2 + V_3 = 90 * \log_2 32 * C, \quad (1)$$

где V_1, V_2, V_3 – скорость передачи источников информации; 90 – количество символов *QAM32* на длительности символа *OWDM*; $\log_2 32$ – количество бит на символ *QAM32*; C – скорость передачи символов *OWDM*.

Используя выражения, представленные в [4], а также моделирование процессов формирования и обработки сигналов в модеме *OWDM* для каналов различного типа, оценим помехоустойчивость используемых сигналов, обрабатываемых им.

На рис. 3 представлено созвездие сигнала *OWDM* с *QAM32* на входе модуля *DWT-OWDM* модема *OWDM*, а на рис. 4 – его помехоустойчивость. Из рис. 3 видно, что в процессе взаимодействия сигнала с шумами его фаза и амплитуда определяется дисперсией шума в канале *AWGN*.

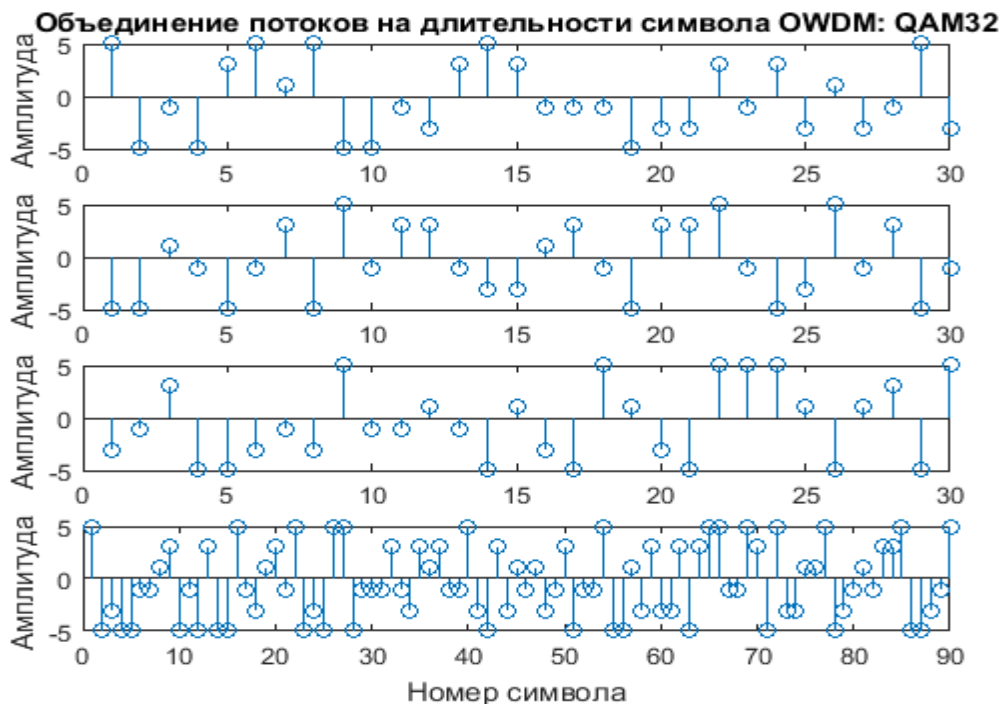


Рис. 2. Объединение потоков *QAM32* на длительности символа *OWDM*

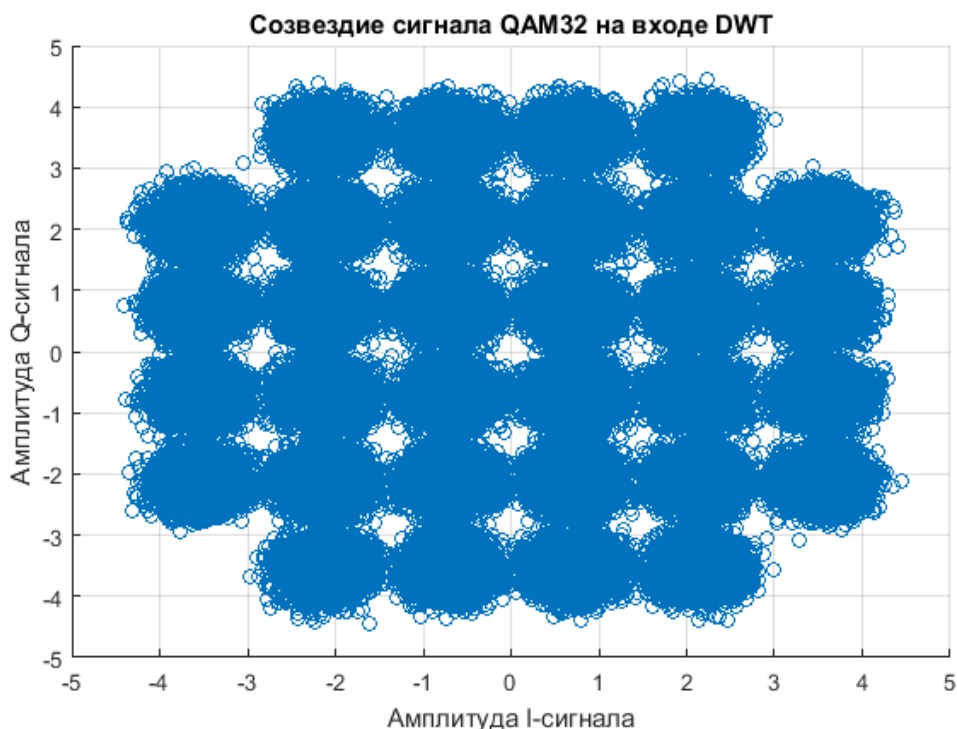


Рис. 3. Созвездие сигнала *OWDM* с *QAM32* на входе модуля *DWT-OWDM*

Из графиков рис. 4 видно, что графики вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (1) в [4], не отличаются от графиков, полученных в процессе моделирования. Это свидетельствует о том, что значения фазы и амплитуды сигнала *OWDM* попадают в область, где их отклонение от исходных значений слабо влияют на работу демодулятора сигнала *QAM*.

Теперь проанализируем результаты имитационного моделирования процессов формирования и обработки *OWDM* сигналов, в каналах Райса и Релея, с *QAM* модуляцией на каждой вейвлет-поднесущей.

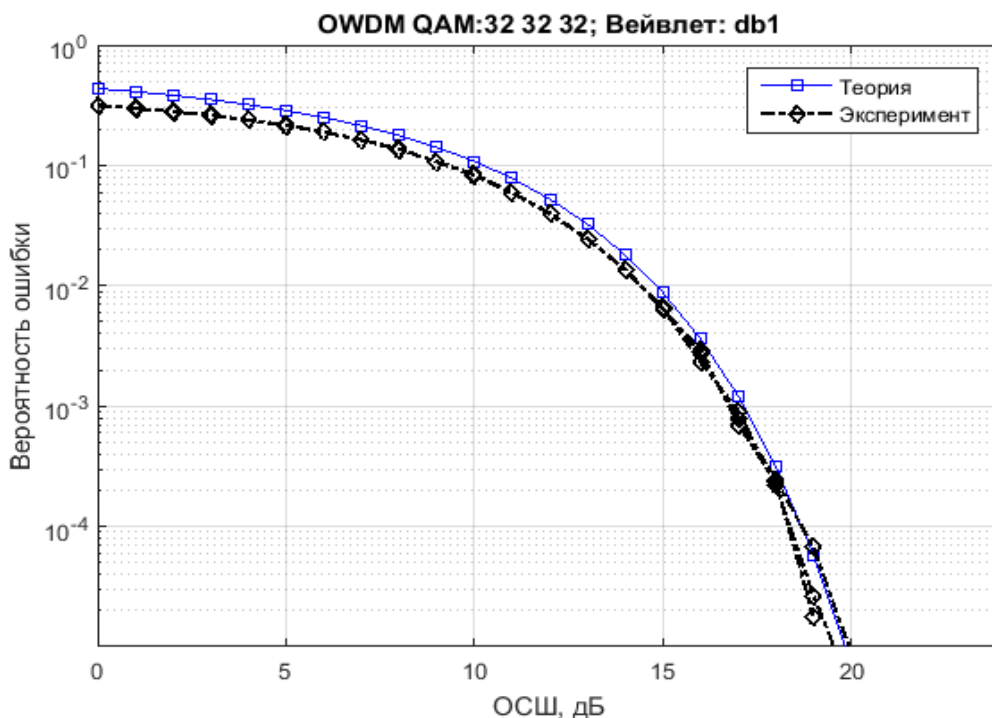


Рис. 4. Вероятность ошибки сигнала OQDM с QAM32 в канале AWGN

В табл. 1 представлены параметры канала Райса (*Rician*) при трех- и двухлучевом распространении радиоволн в нем и их количественные значения, которые использованы при моделировании процесса обмена информацией в нем. Из таблицы видно, что в канале сигнал приходит в точку приема путем трех- и двухлучевого распространения радиоволн.

Таблица 1 – Параметры канала Райса

Количество лучей	3 луча	2 луча
ChannelType	'Rician'	'Rician'
InputSamplePeriod	2.150537634408602e-04	2.150537634408602e-04
DopplerSpectrum	[1x1 doppler.jakes]	[1x1 doppler.jakes]
MaxDopplerShift	0	0
PathDelays	[0 4.301075268817204e-04 8.602150537634409e-04]	[0 4.301075268817204e-04]
AvgPathGaindB	[-3 -6 -9]	[-3 -6]
KFactor	3	3
DirectPathDopplerShift	0	0
DirectPathInitPhase	0	0
NormalizePathGains	1	1
StoreHistory	0	0
StorePathGains	0	0
PathGains	[1x3 double]	[1x2 double]
ChannelFilterDelay	0	0
ResetBeforeFiltering	1	1
NumSamplesProcessed	1080000	1080000

В точке приема регулярная составляющая сигнала, для канала Райса, превышает случайную составляющую в 3 раза ($KFactor = 3$).

На рис. 5 и рис. 6 представлены графики зависимости вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (2) в [4] и полученные при моделировании процесса обработки сигнала OQDM с QAM16, от отношения сигнал-шум (ОСШ $\rightarrow E_b/N_0$) при трех- и двухлучевом распространении радиоволн в канале Райса.

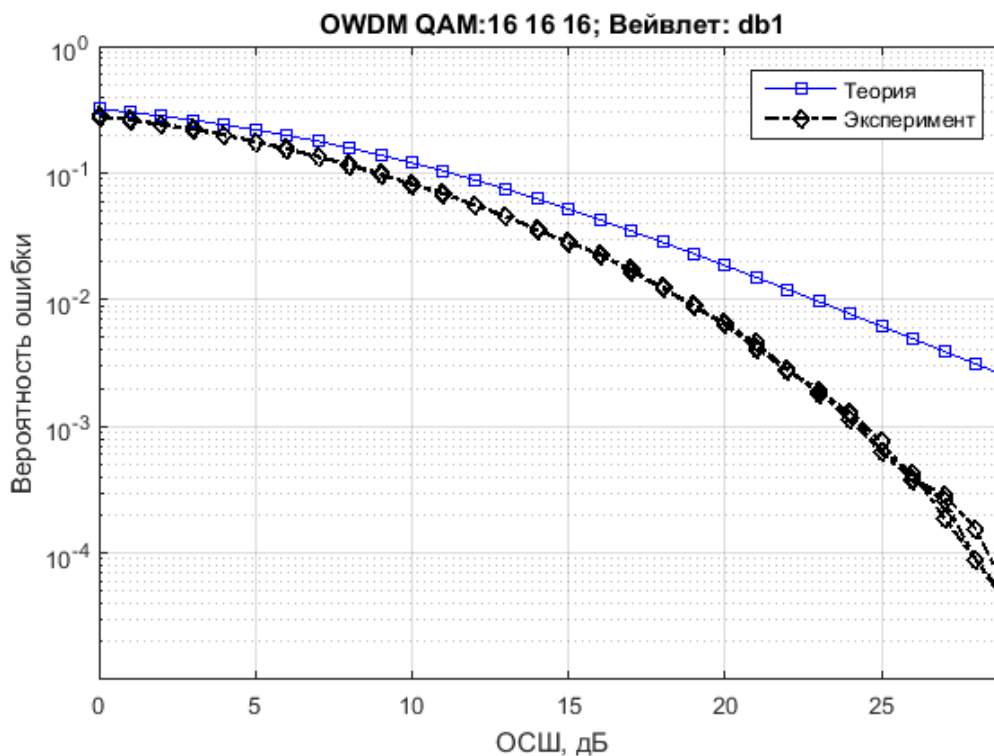


Рис. 5. Вероятность ошибки при приеме сигнала *OWDM* с *QAM16* (трехлучевое распространения радиоволн)

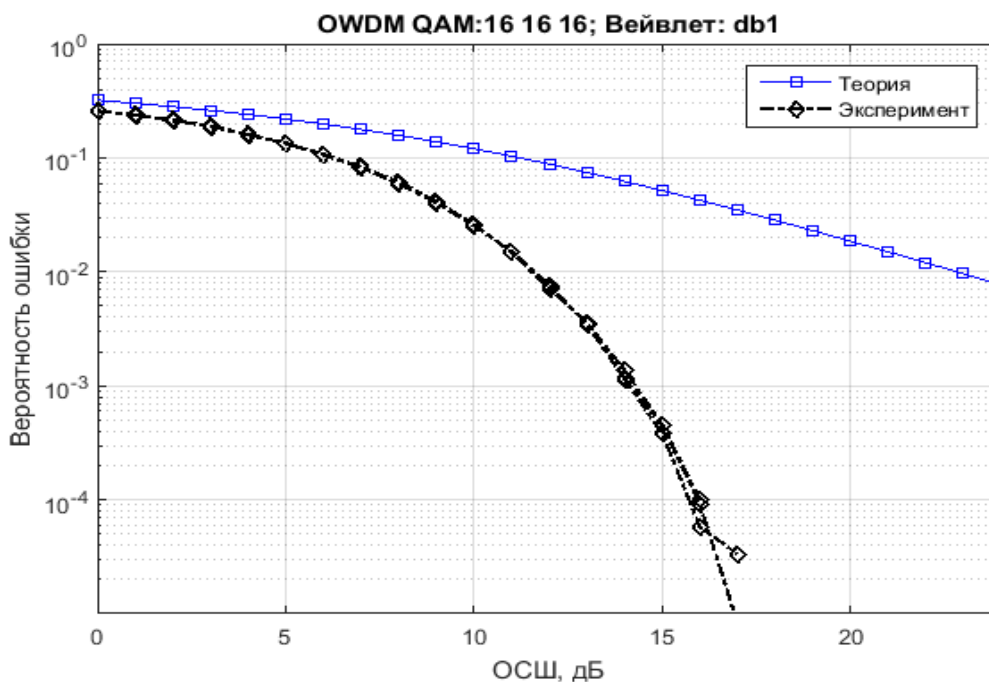


Рис. 6. Вероятность ошибки при приеме сигналов *OWDM* с *QAM16* (двухлучевое распространения радиоволн)

Из рисунков видно, что графики вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (2) в [4] и полученные при моделировании процесса формирования и обработки сигнала *OWDM*, не совпадают. Это вызвано тем, что обработка сигнала *OWDM* в демодуляторе происходит как по масштабу вейвлет-функции (ширине полосы пропускания фильтра) так по длительности его анализа (сдвиг вейвлет-функции) на длительности символа, то есть происходит разнесение приема сигнала, как по частоте, так и по времени.

Вероятность ошибки в двухлучевом канале, при использовании сигналов *OWDM* в канале с Райсовскими замираниями с параметрами канала заданными в табл. 1, полученные в результате моделирования, меньше чем в трехлучевом. Это свидетельствует о том, что для обеспечения требуемого качества связи на информационном направлении с наименьшими энергетическими затратами, необходимо в радиолиниях, использующих модемы *OWDM*, для приема информации применять антенны с узкой диаграммой направленности.

В табл. 2 представлены параметры канала Рэля (Rayleigh) при трех- и двухлучевом распространении радиоволн в нем и их количественные значения, которые использованы при моделировании процесса обмена информацией в нем.

Таблица 2 – Параметры канала Рэля

Количество лучей	3 луча	2 луча
ChannelType	'Rayleigh'	'Rayleigh'
InputSamplePeriod	2.150537634408602e-04	2.150537634408602e-04
DopplerSpectrum	[1x1 doppler.jakes]	[1x1 doppler.jakes]
MaxDopplerShift	0	0
PathDelays	[0 4.301075268817204e-04 8.602150537634409e-04]	[0 4.301075268817204e-04]
AvgPathGaindB	[-3 -15 -18]	[-3 -15]
NormalizePathGains	1	1
StoreHistory	0	0
StorePathGains	0	0
PathGains	[1x3 double]	[1x2 double]
ChannelFilterDelay	0	0
ResetBeforeFiltering	1	1
NumSamplesProcessed	1080000	1080000

Из таблицы видно, что в этом канале, также как и в Райсовском канале, сигнал распространяется двумя или тремя путями. В точке приема результирующая составляющая сигнала является случайной величиной так как лучи в точке приема складываются со случайной фазой и амплитудой.

На рис. 7 и рис. 8 представлены графики зависимости вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (2) в [4] и полученные при моделировании процесса обработки сигнала *OWDM* с *QAM8* от отношения сигнал-шум (ОСШ → E_b/N_0) при трех- и двухлучевом распространении радиоволн в канале Рэля.

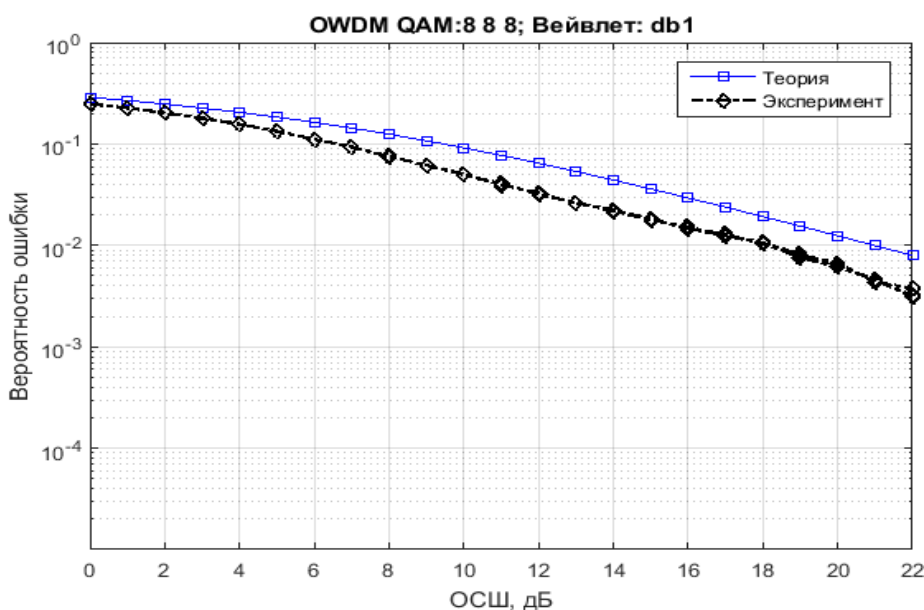


Рис. 7. Вероятность ошибки при приеме сигнала *OWDM* с *QAM8* (трехлучевое распространения радиоволн)

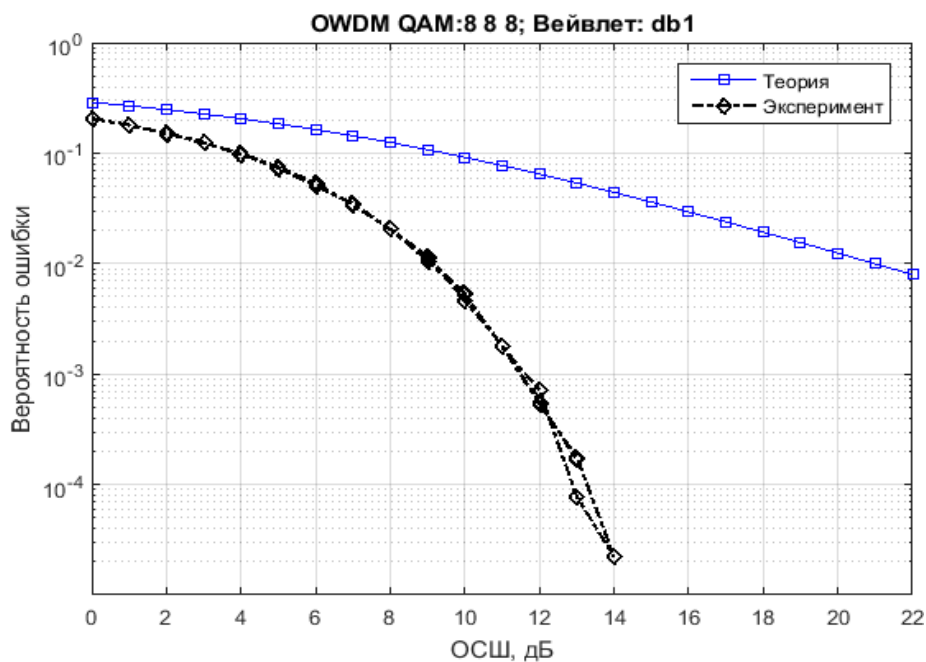


Рис. 8. Вероятность ошибки при приеме сигнала *OWDM* с *QAM8* (двухлучевое распространения радиоволн)

Из рисунков видно, что графики вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (2) в [4] и полученные при моделировании процесса формирования и обработки сигнала *OWDM*, также не совпадают. Это также свидетельствует о том, что обработка сигнала *OWDM* в демодуляторе происходит как по масштабу вейвлет-функции (ширине полосы пропускания фильтра) так по длительности его анализа (сдвиг вейвлет-функции) на длительности символа, то есть происходит разнесение приема сигнала как по частоте так и по времени. Однако при большом количестве лучей в точке приема его фаза и амплитуда изменяются настолько, что выделить полезный сигнал из принимаемого невозможно.

Вероятность ошибки в двухлучевом канале, при использовании сигналов *OWDM* в канале с Райсовскими замираниями с параметрами канала заданными в табл. 1, полученные в результате моделирования, также меньше чем в трехлучевом. Это также указывает на то, что для обеспечения требуемого качества связи на информационном направлении с наименьшими энергетическими затратами, необходимо в радиолиниях, использующих модемы *OWDM*, для приема информации применять антенны направленного действия.

Таким образом, имитационное моделирование процессов формирования и обработки сигналов *OWDM* с *QAM* на каждой вейвлет-поднесущей в многоканальном модеме, показали, что:

- в канале *AWGN* теоретическая вероятность ошибки и полученная путем моделирования практически совпадают, так как на фазу и амплитуду сигнала *OWDM* с *QAM* влияет только дисперсия шума;
- в многолучевых каналах проявляются частотно-временные свойства вейвлет-преобразования, а именно, возможность масштабирования по полосе анализа и сдвигу по временной оси, используемой при обработке вейвлет-функции. В связи с этим вероятность ошибки в каналах с Райсовскими и Рэлеевскими замираниями сигнала ниже, чем теоретическая для таких каналов.

Выводы

1. Имитационная модель, реализующая функции модема *OWDM* показала, что объединение потоков данных трех каналов в многоканальный поток приводит к увеличению скорости передачи информации в радиолинии (1), использующей такие модемы, в кратное количеству каналов раз.

2. Для реализации модема, формирующего сигналы *OWDM*, необходимо использовать при обработке только вейвлет-функции типа *haar*, *bior1.1*, *1.3*, *1.5* и *rbio1.1*, *1.3*, *1.5*.

3. Моделирование процесса обработки сигнала *OWDM* в демодуляторе модема показало, что вероятности ошибки теоретическая и полученная при моделировании в канале *AWGN* практически совпадают, а в каналах с замираниями использование модема *OWDM* с *QAM* приводит к существенному ее уменьшению.

Литература

1. Rohling H. OFDM: Concepts for Future Communication Systems, Signals and Communication Technology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 268 p.
2. Шукин А. Н., Солозобов С. А. Формирование спектрально-эффективного OFDM сигнала в базисе дискретных вейвлет-функций // Техника средств связи, 2022. № 3. С. 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89.
3. Кулешов И. А., Шукин А. Н., Солозобов С. А. Устройство формирования сигнала OFDM // Техника средств связи, 2022. № 4. С. 2-7. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-2-7.
4. Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А., Шукин А. Н. Помехоустойчивость сигналов *OWDM* в каналах радиосвязи // Техника средств связи, 2023. № 2. С. 14-26. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-14-26.

References

1. Rohling H. OFDM: Concepts for Future Communication Systems, Signals and Communication Technology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 268 p.
2. 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).
3. 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).
4. Vinokur M.V., Kuleshov I.A., Solozobov S.A., Shchukin A.N. Noise immunity of OFDM signals in radio communication channels. Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 14-26. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-14-26. (In Russian).

Статья поступила 26 июня 2023 г.

Информация об авторах

Винокур Михаил Викторович – генеральный директор, ПАО «Интелтех». Область научных интересов: системный анализ и требования к построению систем связи специального назначения. Тел.: +7(812)295-50-69. E-mail: VinokurMV@inteltech.ru.

Кулешов Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора по научной работе, ПАО «Интелтех». Область научных интересов: системный анализ и требования к построению систем связи специального назначения. Тел.: +7(812) 542-90-54. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru.

Солозобов Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательского отделения, ПАО «Интелтех». Область научных интересов: проектирование систем радиосвязи. Тел.: (812)295-40-54. E-mail: SolozobovSA@inteltech.ru.

Шукин Анатолий Николаевич – кандидат технических наук, главный специалист, ПАО «Интелтех». Область научных интересов: проектирование систем радиосвязи. Тел.: +7(812)448-95-94. E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru.

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

OWDM modem for multichannel radio lines

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

Annotation. *The purpose of the article is to show the possibility of creating multichannel modems in which wavelet functions of a certain type are used to generate signals, to work in channels with additive white Gaussian noise and in channels with Rice and Rayleigh fading when using quadrature modulation on wavelet subcarriers. **Methods:** to generate and process signals in a multiplexing modem with orthogonal frequency division of channels, the db1 wavelet function was used in modeling. **Novelty:** a block diagram of a multiplexing modem with orthogonal frequency division of channels, combining data from individual information sources into a group stream, and a figure explaining the combination of quadrature modulation symbols on the duration of the multiplexing symbol with orthogonal frequency division of channels, are presented. A constellation of a multiplexing signal with orthogonal frequency division of channels for 32-quadrature modulation at the input of a demodulator for a line-of-sight channel with additive white Gaussian noise is given. Noise immunity graphs of multiplexing signals with orthogonal frequency division of channels for channels with additive white Gaussian noise, Rice and Rayleigh fading at two- and three-beam propagation of radio waves are presented. The graphs characterizing the noise immunity of multiplexing signals with orthogonal frequency division of channels present the results of the theoretical calculation of the error probability using an analytical expression for quadrature modulation signals obtained by modeling the processes of their formation and processing in a modem. **The results** are presented: a block diagram of a multiplexing modem with orthogonal frequency division of channels, constellation and noise immunity graphs obtained as a result of simulation modeling of the processes of formation and processing of such signals. The analysis of the obtained results is carried out. **Practical significance:** the results of the work can be implemented in the development of radio communication complexes.*

Keywords: *modem, noise immunity, multiplexing with orthogonal frequency division of channels, channel with additive white Gaussian noise, error probability, signal constellation.*

Information about the authors

Vinokur Mikhail Viktorovich – General Director, PJSC "Inteltech". Research interests: system analysis and requirements for the construction of special-purpose communication systems. Tel.: +7(812)295-50-69. E-mail: VinokurMV@inteltech.ru.

Kuleshov Igor Aleksandrovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy General Director for Scientific Work, PJSC "Inteltech". Research interests: system analysis and requirements for the construction of special-purpose communication systems. Tel.: +7(812) 542-90-54. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru.

Solozobov Sergey Anatolyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department. PJSC "Inteltech". Research interests: design of radio communication systems. Tel.: +7(812)295-40-548. E-mail: SolozobovSA@inteltech.ru.

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

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

Для цитирования:

Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А., Щукин А. Н. Модем OWDM для многоканальных радиолиний // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С. 2-11. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-2-11.

For citation:

Vinokur M. V., Kuleshov I. A., Solozobov S. A., Shchukin A. N. OWDM modem for multichannel radio lines. Means of communications equipment. 2023. No. 3 (163). Pp. 2-11. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-2-11. (In Russian).

УДК 681.521.7, 512.623.3

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-12-21

Адаптация режимов работы станций сети декаметрового радиосвязи с псевдослучайным переключением рабочих частот

Путилин А. Н., Соколов В. А., Хвостунов Ю. С.

Аннотация: Защита сети декаметрового радиосвязи от радиоэлектронного подавления реализуется, как правило, использованием её радиостанциями режима псевдослучайного переключения рабочих частот. В различных радиоприемах одна и та же частота этого пакета обеспечивает возможность передачи данных на различных скоростях: от максимально возможной до нулевой. Во времени эти характеристики изменяются. Это обусловлено анизотропией ионосферы Земли как канала передачи радиоволн, а также возможным изменением уровня преднамеренных помех на конкретных рабочих частотах. Использование пакета частот достаточного объёма обеспечивает гарантированное установление соединения в любом направлении. Это определяется высокой вероятностью присутствия в пакете хотя бы одной пригодной частоты. После установления соединения в радиоприеме может оказаться, что в пакете рабочих частот отсутствует достаточное число пригодных частот для предоставления требуемой телекоммуникационной услуги, либо передача на пригодных частотах может вестись только со скоростью ниже требуемой. Это обуславливает потребность реализации алгоритмов адаптации режимов работы станций сети по скорости передачи и рабочим частотам. Адаптация основывается на измерении на приёмном конце радиоприема характеристик принимаемого сигнала и передачи по обратному каналу сигналов управления на коррекцию режима передачи. Это возможно только в дуплексных и полудуплексных радиоканалах. **Целью работы** является: исследование алгоритмов адаптации режимов работы радиоприемов сети декаметрового радиосвязи. **Новизна работы** состоит в привязке алгоритмов адаптации к параметрам радиоканалов декаметрового диапазона, характеристикам радиосредств и систем передачи данных. Получены следующие **результаты:** приведено рациональное обоснование критерия адаптации, дано сравнение эффективности функционирования различных алгоритмов. **Практическая значимость** состоит в возможности обоснованного выбора параметров алгоритмов адаптации режимов работы радиоприемов сети декаметрового радиосвязи.

Ключевые слова: адаптация режимов работы радиоприемов, единый частотно-временной ресурс, сеть декаметрового радиосвязи.

Введение

Сеть декаметрового радиосвязи с псевдослучайным переключением рабочих частот (ППРЧ) строится на основе общего частотно-временного расписания сети [1]. В расписании используется $N=2i$ стартовых и K резервных радиочастот. Как правило, выбирают $i = 8 - 64$, $K = 0 - 256$. Период переключения может меняться от 10 до 200 мс. Каждый абонент имеет генератор псевдослучайной последовательности (ПСП). Все абоненты синхронизированы. Текущая частота определяется следующим образом: текущее значение генератора ПСП делится на N . Остаток от деления – номер текущей рабочей частоты.

В различных радионаправлениях декаметрового диапазона одна и та же частота обеспечивает возможность передачи данных с различным качеством. Некоторые частоты непригодны для работы в радионаправлении в определенное время суток. Оперативная подмена стартовых частот на запасные во время сеанса связи и выбор скорости передачи данных обеспечат наиболее эффективное использование выделенного частотного ресурса.

Управление скоростью передачи в радиоприеме становится возможным при реализации в станциях радиосвязи линейки режимов работы с различными скоростями передачи данных. Эти режимы, в основном, определяются кратностью модуляции и скоростью канального

кодирования. Режимы с низкой скоростью, как правило, имеют более высокую помехоустойчивость и наоборот.

В табл. 1 приведен пример перечня режимов радиостанций, реализованных в полосе частот 9 кГц. Смена рабочих частот выполняется за время менее 3 мс, длительность слота – 50 мс, в слоте 3 информационных посылки, в рабочей полосе 89 подканалов *OFDM*. Доступные скорости передачи данных: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 бит/с. Режимы работы радиостанций дополнительно могут отличаться полосой сигнала, временем переключения рабочих частот, длительностью защитного интервала между посылками, длительностью слота, количеством подканалов и прочее. В этом случае перечень режимов существенно расширяется. Кроме того, режим работы может рассматриваться как групповой или индивидуальный. В первом случае на всех частотах из пакета переключения используется одинаковый вид модуляции и кодирования, независимо от различия помехо-сигнальных ситуаций на каждой частоте. Групповая скорость передачи при адаптации меняется в соответствии со значениями в третьей колонки табл. 1. Во втором случае режим определяется для каждой частоты независимо. Групповая скорость передачи складывается как среднее значение канальных скоростей передачи на всех рабочих частотах.

Таблица 1 – Перечень режимов для смены частоты 20 раз в секунду (*пример*)

№ п/п	Модуляция	Канальная скорость, бит/с	Информационная скорость, бит/с	Бит на слот	Кол-во служебных и информационных бит на слот	Кол-во проверочных бит	Кол-во исправляемых ошибок
1.	ОФМ 1	5340	1200	264	88=60+18	176	88
2.	ОФМ 1	5340	2400	264	136=120+16	128	64
3.	ОФМ 2	10680	4800	528	256=240+16	272	136
4.	ОФМ 3	16020	9600	800	496=480+16	304	152
5.	АФМ 4	21360	19200	1064	984=960+24	80	40

Принципы организации процесса адаптации

Радиостанции начинают работу с состояния Дежурного приёма (ДП). В нем все радиостанции сети, использующие один пакет частот, находятся в режиме 1, см табл. 1. У них совпадает набор стартовых частот и текущая фаза ПСП.



Рис. 1. Структура составного служебного канала управления (ССКУ)

1) Адаптация по замене рабочих частот и выбору скорости передачи выполняется аппаратурой передачи данных приемника (АПД ПРМ) и передатчика (АПД ПРД) радиостанции

– после установления соединения в наиболее помехоустойчивом Режиме 1 и перехода к обмену данными;

– независимо по двум встречным направлениям связи радиолинии.

2) В направлении связи только один приёмник и один передатчик. В процессе адаптации направления связи управляющим органом является АПД ПРМ, управляемым органом является АПД ПРД. АПД ПРМ доводит до АПД ПРД команды управления по составному

служебному каналу управления (ССКУ), состоящему из трех последовательно соединенных каналов, см. рис. 1. Первый канал: от АПД ПРМ до АПД ПРД управляющего (своего) радиоцентра. Второй канал: от АПД ПРД управляющего радиоцентра до АПД ПРМ управляемого радиоцентра. Третий канал: от АПД ПРМ управляемого радиоцентра до АПД ПРД. При разнесении приемного и передающего центров первый и третий каналы реализуют локальные вычислительные сети радиоцентров. При реализации приёмника и передатчика совместно – шина данных вычислителя. Второй канал реализуется в созданной радиолинии в формате служебных полей передаваемых пакетов данных. АПД ПРД исполняет принятую команду АПД ПРМ о замене рабочей частоты или изменении скорости передачи.

1) После установления соединения АПД ПРМ измеряет стохастические параметры входного сигнала и/или потока данных. Сравнение полученных оценок с выбранными критериями порождает решения о замене рабочей частоты, увеличении или уменьшении скорости передачи данных. Обоснование выбора этих параметров и критериев их оценки является предметом рассмотрения в данной работе.

2) Все станции сети имеют один и тот же комплект запасных частот (ЗЧ) или частот дополнительного пакета переключений. В процессе адаптации, заменой плохих частот из пакета стартовых частот (СЧ), формируется пакет рабочих частот (РЧ). При адаптации изменение скорости передачи данных связано с изменением кратности модуляции и скорости кодирования, то есть с изменением номера режима в табл. 1.

Оцениваемые параметры и критерии принятия решений.

Эффективность систем адаптации

При моделировании радиолиний декаметрового диапазона используются Рекомендация ITU-R F.1487 [2]. Рекомендация основывается на модели Ваттерсона и определяет вектор параметров, определяющих динамически изменяющуюся импульсную характеристику радиоканала. Это количество лучей, задержка между лучами, величина доплеровского растекания спектра, отношение сигнал/шум, скорость замираний, доплеровское смещение сигнала.

Наиболее частот используемое измерение только одного из указанных параметров - отношения сигнал/шум, для оценки многолучевого канала не подходит. На рис. 2 приведены сигнальные созвездия ФРМ-8 на входе приёмника при $SNR = 30$ дБ при отсутствии – а) и наличии замираний – б), полученные в соответствии с F.1487.

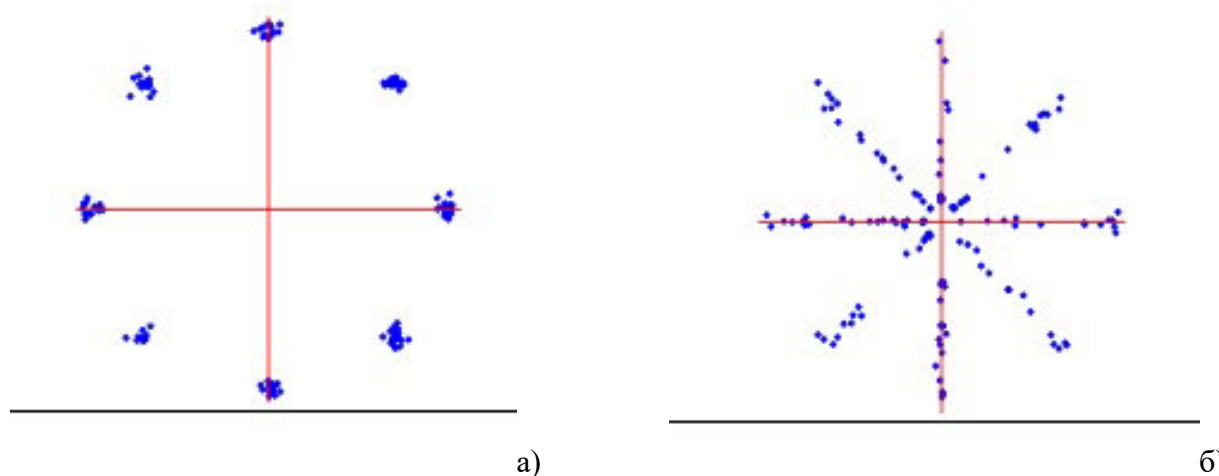


Рис. 2. Сигнальные созвездия ФРМ-8 при отсутствии и наличии замираний

Для оценки качества работы модема на рабочей частоте Рекомендация предлагает вероятность ошибки на бит. Однако, при пакетной передаче данных, имеющей место в радиолиниях с ППРЧ, более актуальной представляется вероятность безошибочного приёма пакета данных на рабочей частоте. Такую возможность дает, например, реализация в модемах кода Рида-Соломона, позволяющего вычислить число исправленных символов на приёме. Критерием принятия решения об увеличении скорости обмена данными должно служить отсутствие исправления ошибок кодом, а для снижения скорости – исправление предельного числа символов. Оценим эти вероятности.

Вероятность отсутствия исправления ошибок

$$P_{\text{оно}} = (1 - P_{\text{бит}})^L,$$

где L – длина пакета в стартовом режиме, см. табл. 1, «Бит в слоте», строка 1, $P_{\text{бит}}$ – вероятность ошибки на бит, которая всегда больше $5 \cdot 10^{-3}$: это порог срыва битовой синхронизации. Следовательно, $P_{\text{оно}} \leq 0,266$. В хорошем канале это значение достигает 1.

Вероятность возникновения в пакете неисправленной ошибки: для стартового режима 1, табл. 1, это событие наступает в случае возникновения более 88 ошибок в пакете. В соответствии с [3], стр. 39, его вероятность

$$P(\geq m, n) \leq (m/n)^{1-\alpha} P_{\text{бит}},$$

где α – коэффициент группирования ошибок для канала декаметрового радиосвязи изменяется от 0,3 до 0,4. Подстановкой в данное выражение граничных значений параметров α и $P_{\text{бит}}$ получаем

$$P(\geq m, n) \leq (\geq 89/264)^{1-0,4} 5 \cdot 10^{-3} = 0,0026.$$

Отсюда получаем вероятность правильного приёма пакета при наличии тактовой синхронизации

$$P_{\text{шт}} = 1 - P(\geq m, n) \geq 1 - 0,0026 = 0,997.$$

При отсутствии тактовой синхронизации код Рида-Соломона примет случайный сигнал и укажет исправление в нем предельного количества ошибок. Это событие и являются детектором браковки выбранного режима работы. При принятии решения о качестве канала по трем принятым пакетам достоверность оценки оценивается как

$$P_{\text{дост}} \geq 1 - P(\geq m, n)^3 = 0,9999999.$$

Для рассматриваемого объекта исследования адаптацию следует понимать, как свойство системы передачи данных приспособляться к возможным изменениям условий функционирования канала связи. В соответствии с этим эффективность системы адаптивного управления режимами работы радиолинии будем оценивать [2] устойчивостью и сходимостью алгоритмов адаптации.

Устойчивость – свойство системы сохранять свои эксплуатационные характеристики при изменении условий работы. Она определяется живучестью, надежностью и помехоустойчивостью. Для рассматриваемого объекта устойчивость определяется в первую очередь помехозащищенностью. Режим ППРЧ обеспечивает помехозащищенность радиолинии при исключении возможности постановки помехи вслед передаваемому пакету данных и возможности блокирования радиотракта. Выполнение этих условий обеспечивается при корректном формировании требований к проектируемой системе обмена данными. Способы реализации не являются предметом рассмотрения данной работы. Помехоустойчивость радиолинии в условиях различного динамического изменения условий прохождения сигналов на различных частотах будет зависеть от нижнего предела отношения сигнал/шум, при котором обеспечивается обмен данными. Для аддитивного белого гауссовского шума для рассматриваемого модема этот предел равен 3-4 дБ, тогда как для эксплуатируемых в настоящее время модемов это граница начинается от 10 дБ. Для многолучевых каналов эти цифры выше, в зависимости от их параметров, но запас помехоустойчивости сохраняется.

Сходимость алгоритма определяется временем выбора оптимального рабочего режима при изменении условий функционирования. Адаптация к преднамеренным помехам

в рассматриваемой системе передачи не выполняется. Воздействие преднамеренных помех определяется процентом подавляемых рабочих частот. Минимальное время стабильности параметров канала декаметровый радиосвязи на фиксированной частоте больше 15 минут. Это означает, что цикл адаптации должен завершаться менее чем за минуту, в пределах передачи до 900 пакетов.

Свойства составного служебного канала управления

Будем полагать, что передача команд управления между АПД ПРМ и АПД ПРД надежна. Проблемы с доставкой команд управления возможны только во втором канале при передаче команд по радио в служебных полях формируемого пакета данных. Табл. 1 показывает, что в форматах пакетов данных, передаваемых в различных режимах, остается от 16 до 24 свободных бит. Следовательно, фиксированный формат команды управления – не более 16 служебных бит. При скорости переключения частот 20 раз в секунду минимальная скорость передачи данных в ССКУ – 320 бит/с.

В пакете переключения после установления соединения будут присутствовать пригодные для обмена данными, так и непригодные рабочие частоты. Поэтому часть передаваемых команд не будет доставлена. При правильном выборе рабочих частот с учетом прогноза их прохождения вероятность передачи команды управления на одной рабочей частоте 0,7-0,8, поэтому до 30 % передаваемых команд не будут приняты. Это канал среднего качества. При случайном выборе рабочих частот – до 60 % частот не будут приняты. Реальная пропускная способность ССКУ в этом случае составит 96 бит/с или 6 достоверно принятых команд в секунду.

Обоснование вида алгоритма адаптации

Адаптация по выбору рабочих частот и скорости передачи может выполняться с указанием номера режима работы

- с подтверждением переданной команды или без подтверждения,
- групповым или индивидуальным,
- последовательным или одновременным,
- абсолютным или относительным.

Оценим сходимость алгоритма для экстремальных условий: вероятность выбора пригодной частоты $p = 0,5$, то есть 50 % рабочих частот подлежат замене.

Поскольку порядок ППРЧ адаптивно меняться не может, то подтверждение переданной команды после установления соединения при наличии неисправных частот потребует кратной числу неисправных частот передачи команды и такой же передачи подтверждения. То есть, подтверждение замедляет сходимость алгоритма в два раза. Как указано выше, достоверность правильного приёма команды достаточно высока. Цена ложной замены рабочего режима на одной частоте не высока: в случае этого события адаптация продлится только на один шаг. Это аргументы в пользу выбора алгоритма адаптации без подтверждения принимаемых команд по каналу обратной связи. Однако этот выбор требует формирования в служебном канале маркера времени перехода на новый рабочий режим.

Групповое изменение режима работы подразумевает одновременное изменение кратности модуляции на всех частотах. Это сильно сокращает перечень рабочих режимов и, поэтому, не требует передачи большого объема служебных команд, что обеспечивает высокую достоверность их передачи. Однако, как показывает практика, групповое изменение режима ведет к снижению устойчивости работы радиолинии. Если на выделенном пакете рабочих частот потенциально достижима скорость передачи до 14 Кб/с, то в процессе адаптации система будет постоянно переключаться со скорости 9,6 Кб/с на скорость 19,2 Кб/с и, затем, снова возвращаться на скорость 9,6 Кб/с. В периоды работы на скорости

19,2 Кб/с качество канала будет ниже среднего уровня. Групповое изменение режима работы не обеспечивает требуемой гибкости адаптации. Это аргументы в пользу выбора индивидуального указания номера режима работы на каждой частоте.

Последовательное указание номеров режима работы приводит к значительному увеличению времени выбора оптимального режима. Среднее время замены рабочего режима определяет время тестирования режима на неисправной частоте (3 пакета данных = 150 мс), время достоверной передачи пакета (до 32 пакетов данных в рассматриваемых условиях = 1600 мс), всего, без учета времени распространения сигнала, до 1,75 с. При 32 неисправных частотах из 64 и 5 режимах работы на каждой частоте нужно $32 \cdot 5 \cdot 1,75 = 280$ с для гарантированного достижения оптимального режима работы. Что существенно больше требуемого значения 60 с, определенного выше. Это аргументы в пользу выбора одновременного или параллельного указания номеров режимов на различных частотах.

При абсолютном указании номера режима работы при адаптации необходимо указать номер частоты в пакете переключения (до 6 бит) и, при адаптации по скорости, номер режима работы (для рассматриваемого примера – 3 бита). Всего 9 бит. При относительном указывании команда передается для следующей частоты в порядке ППРЧ. Это исключает необходимость указания номера частоты в пакете переключения. Вместо номера режима работы передается его смещение: два бита.

Таким образом, алгоритм адаптации должен

- исключить передачу подтверждения для переданной команды,
- выполнять управление режимами работы отдельно на каждой частоте из пакета переключения,
- реализовать одновременное управление адаптацией по замене рабочих частот и скоростей передачи,
- обеспечить относительное указание выбора режимов работы.

Формат команды управления

Для унификации режима адаптации будем полагать, что во всех режимах работы команда управления занимает 16 бит (см. табл. 1). Для указания режима работы передатчика при формировании следующего пакета данных на частоте, определяемой фазой ППРЧ, необходим индекс, принимающий три значения. Первое значение – понижение скорости передачи данных, относительно текущей (см. режимы табл. 1). Второе значение – сохранение скорости передачи. Третье значение – повышение скорости передачи. Команда о снижении скорости передачи при работе в режиме 1 на самой низкой скорости означает требование смены рабочей частоты. При смене из резервных частот всегда выбирается следующая по номеру за последней занятой.

Вариант первый: команда управления разбивается на восемь пар бит. Каждая пара бит – четыре значения (одно резервное). Команда указывает режимы работы в следующих восьми пакетах (слотах) одновременно. Для конкретного пакета команда будет передана 8 раз. Событие недоставки команды наступает при выпадении участка ППРЧ с 8-ю неисправными частотами подряд. При случайном выборе рабочих частот

$$P_{\text{нд сл}} \leq 0,5^8 = 0,004,$$

при выборе частот при использовании прогноза

$$P_{\text{нд пр}} \leq 0,3^8 = 0,00007.$$

Цена ложной замены режима невысока – браковка одного пакета. При передаче следующего пакета на этой рабочей частоте команда будет передана вновь.

Вариант второй: кодирование 10 команд в троичном представлении. Число состояний команды – $3^{10} = 59049$. Перевод числа в двоичный код для получения 16-ти разрядного числа

$$2^{16} = 65536 > 3^{10}.$$

Передача команды с обратным преобразованием на приёме. В этом случае указанные вероятности будут еще ниже

$$P_{нд\ ссл} \leq 0,5^{10} = 0,001,$$

при выборе частот при использовании прогноза

$$P_{нд\ пр} \leq 0,3^8 = 0,000006.$$

Моделирование систем адаптации

Для моделирования системы адаптации в радиолинии декаметрового радиосвязи с ППРЧ использовался программный имитационно-моделирующий комплекс.

В контрольном примере выбрано 16 стартовых частот при общем числе частот 128. Распределение SNR по каналам: зеленый цвет – 25 дБ, красный – 4 дБ, синий – не задано. Формат команды управления используется по первому варианту (упрощенному).

Следует отметить, что распределение качества каналов установлено предельно жестко. В 16-ти стартовых частотах только 2 частоты с хорошим SNR. Также непригодные частоты сосредоточены в начале списка. Для завершения процесса адаптации система при последовательной замене частот должна протестировать 36 непригодных частот, отмеченных красным цветом на рис. 3 и 14 пригодных частот. На Рис. 3 показано завершение процесса частотной адаптации: переход рабочих частот с красных клеток на зеленые, а также - завершение адаптации по скорости: установление диаграммы АФМ-4 на графиках обоих модемов, соответствующее переходу на наибольшую скорость.

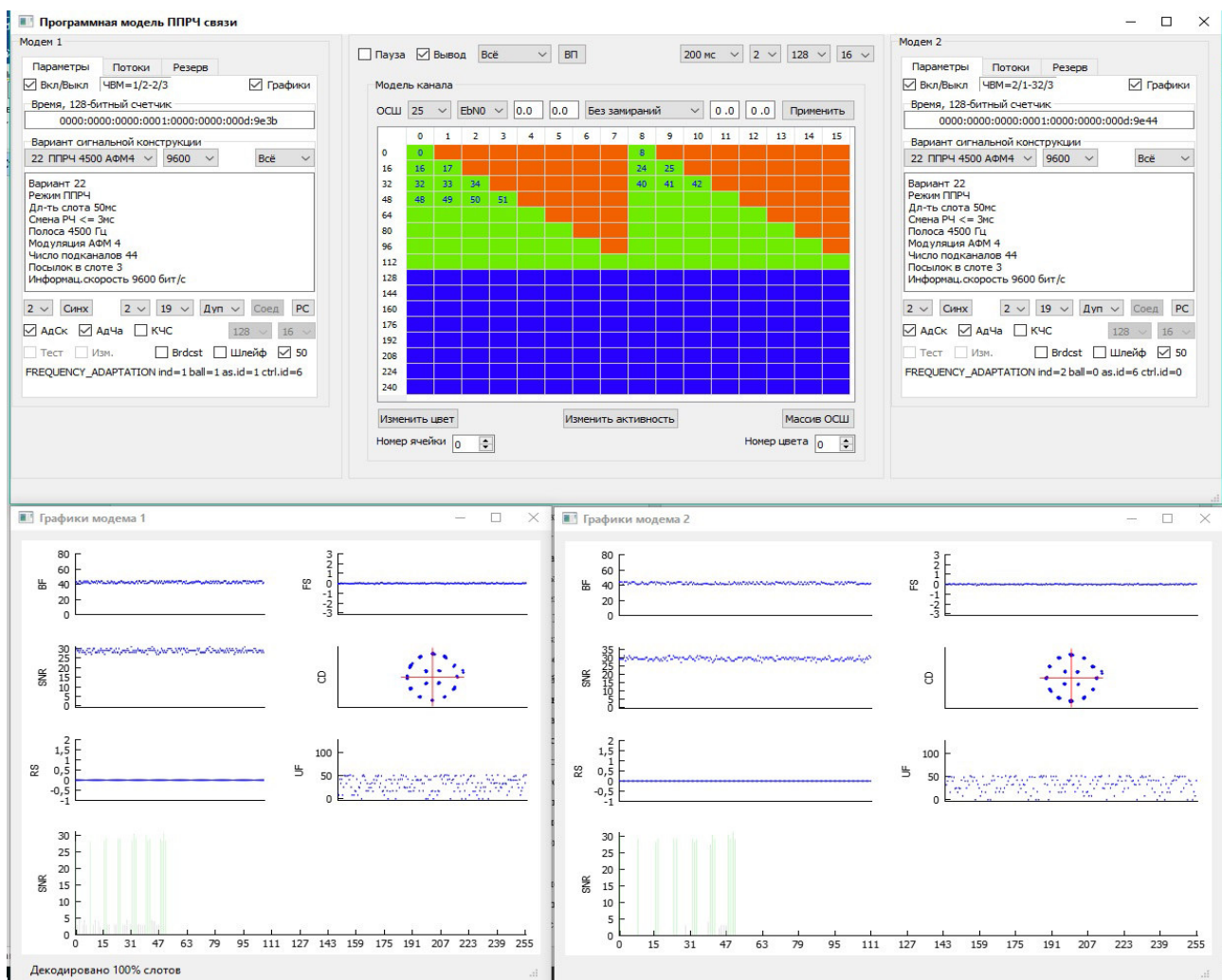


Рис. 3. Панель управления программного имитационно-моделирующего комплекса

Для алгоритма адаптации с подтверждением переданной команды, групповым управлением режимами работы, последовательной адаптацией по замене рабочих частот и скоростей передачи, абсолютным указанием выбора режима работы, реальное время выполнения адаптации составило около 12 минут (алгоритм 1). Для алгоритма адаптации без подтверждения переданных команд, отдельным управлением режимами работы на каждой частоте, одновременной адаптацией по замене рабочих частот и скоростей передачи, относительным указанием выбора режимов работы, реальное время выполнения адаптации составило около 1 минуты 32 секунды (алгоритм 2). Выигрыш второго алгоритма – 7,8 раз.

Цикл адаптации для рассматриваемой системы передачи данных составит 2,5 с. Для контрольного примера при случайном выборе частот среднее число непригодных частот составит 8, при выборе частот при использовании прогноза – 4 частоты. Если частоты с различным качеством будут расположены случайным образом, то этократно ускорит процесс адаптации. Ожидаемые времена адаптации приведены в табл. 2. Требуемая динамика изменения состояний радиоканала (см. выше) показывает существенное предпочтение второго алгоритма.

Таблица 2 – Оценка времен адаптации для различных алгоритмов и различных условий выбора 16 частот в пакете переключения

№ п/п	Параметр	Тяжелые условия	Случайный выбор частот	Выбор частот по прогнозу
1	Число пригодных частот в пакете	2	8	12
2	Число тестируемых частот для завершения адаптации	50	10	5
3	Время адаптации для Алгоритма 1, с.	720	177,5	80
4	Время адаптации для Алгоритма 2, с.	92,5	22,5	10

Заключение

Рассмотрено функционирование радиолинии декаметрового радиосвязи с ППРЧ: определено понятие режимов её работы. Предложены принципы организации адаптации режимов работы радиолинии. Приведена структура служебного составного канала управления. Определены его свойства и характеристики. Обоснованы параметры и критерии принятия решений на адаптацию, порядок их расчёта. Предложен показатель эффективности системы адаптации. Дано обоснование вида алгоритма адаптации. Для рационально выбранного алгоритма адаптации рассмотрены варианты форматов команд управления с количественно близкими параметрами достоверности их передачи. Проведено моделирование работы радиолинии с различными алгоритмами адаптации на контрольном примере с тяжелым для адаптации распределением качества частот в пакете переключения. Экспериментально вычислены времена полной адаптации. Показано многократное сокращение времени адаптации для рационально выбранного алгоритма с предложенным форматом команд управления.

Возможно усовершенствование алгоритма адаптации, относительно предложенного в контрольном примере. Во-первых, можно использовать второй вариант формата команду управления (см. выше). Во-вторых, для повышения достоверности передаваемых команд управления с АПД ПРМ к АПД ПРД (см. рис. 1) можно запретить их передачу в пакетах, передаваемых на частотах с заведомо низким качеством. АПД ПРМ выполняет оценку этого качества в прямом канале передачи. Оценка качества в обратном канале передачи в большинстве случаев будет такой же, за исключением наличия источник сосредоточенных по спектру помех рядом с приёмниками радиостанций. В-третьих, для дополнительного сокращения времени адаптации можно

сократить время тестирования частоты до двух или одного пакетов. Однако, такое решение откроет дополнительные возможности для постановки преднамеренных помех, поэтому требует дополнительного исследования.

Литература

1. Гук И. И., Путилин А. Н., Сиротинин И. В., Хвостунов Ю. С. Адаптивная система декаметрового радиосвязи с полнодиапазонной псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Предварительные результаты трассовых испытаний её фрагмента // Материалы VI Санкт-Петербургской Межрегиональной конференции «Региональная информатика-2011», Санкт-Петербург, 26-28 октября 2011 г.
2. Рекомендация ITU-R F.1487 «Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators», Geneva, 2010: URL: <https://itu.int>.
3. Захаров А. И. Основы передачи данных – Л.: ВАС, 1985. – 157 с.
4. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. В 3 т. – М.: Советское радио, 1975.

References

1. Guk I. I., Putilin A. N., Sirotinin I. V., Khvostunov Yu. S. *Adaptivnaya sistema dekametrovoj radiosvyazi s polnodiapazonnoj psevdosluchajnoj perestrojkoj rabochej chastoty. Predvaritel'nye rezul'taty trassovyh ispytaniy eyo fragmenta* [Adaptive decameter radio communication system with full-band pseudorandom tuning of the operating frequency. Preliminary results of track tests of its fragment]. *Materialy VI Sankt-Peterburgskoj Mezhhregional'noj konferencii «Regional'naya informatika-2011»* [Proceedings of the VI St. Petersburg Interregional Conference "Regional Informatics-2011"]. St. Petersburg, October 26-28, 2011. (In Russian).
2. Recommendation ITU-R F.1487 "Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators", Geneva, 2010: [Electronic resource]. URL: <https://itu.int>.
3. Zakharov A. I. *Osnovy peredachi dannyh* [Fundamentals of data transmission]. Leningrad. Military Academy of Communications Publ., 1985. 157 p. (In Russian).
4. Van Tris G. *Teoriya obnaruzheniya, ocenok i modulyacii* [Theory of detection, evaluation and modulation]. In 3 vol. Moscow. Soviet Radio Publ., 1975. (In Russian).

Статья поступила 20 августа 2023 г.

Информация об авторах

Путилин Алексей Николаевич – Доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник научно-технического центра ПАО «Интелтех». Область научных интересов: адаптивные помехоустойчивые системы декамертовой радиосвязи. Тел.: +7(812) 448-19-01. E-mail: PutilinAN@inteltech.ru.

Соколов Владимир Александрович – Ведущий инженер ПАО «Интелтех». Область научных интересов: адаптивные помехоустойчивые системы декамертовой радиосвязи. Тел.: +7(812) 448-19-01. E-mail: SokolovVA@inteltech.ru.

Хвостунов Юрий Сергеевич – Кандидат технических наук. Заместитель начальника научно-технического центра ПАО «Интелтех». Область научных интересов: адаптивные помехоустойчивые системы декамертовой радиосвязи. Тел. +7(812) 448-96-30. E-mail: HvostunovYS@inteltech.ru.

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

Adaptation of operating modes of decameter radio network stations with pseudorandom switching of operating frequencies

A. N. Putilin, V. A. Sokolov, Yu. S. Khvostunov

Abstract: *The protection of the decameter radio communication network from radio electronic pressure is realized, as a rule, by the use of pseudo-random switching of operating frequencies by its radio stations. In different radio lines, the same frequency of this packet provides the ability to transmit data at different speeds: from the maximum possible to zero. These characteristics change over time. This is due to the anisotropy of the Earth's ionosphere as a channel for transmitting radio waves, as well as a possible change in the level of intentional interference at specific operating frequencies. The use of a frequency packet of sufficient volume ensures the guaranteed establishment of a connection in any direction. This is determined by the high probability of the presence of at least one suitable frequency in the packet. After the connection is established in the radio line, it may turn out that a sufficient number of suitable frequencies are missing in the operating frequency package to provide the required tele-communication service, or transmission on suitable frequencies can only be carried out at a speed lower than the required one. This leads to the need to implement algorithms for adapting the operating modes of network stations in terms of transmission speed and operating hours. Adaptation is based on measuring the characteristics of the received signal at the receiving end of the radio line and transmitting control signals via the reverse channel to correct the transmission mode. This is possible only in duplex and half-duplex radio channels. **The purpose of the work is:** to study algorithms for adapting the modes of operation of radio lines of the decameter radio network. **The novelty of the work** consists in the binding of algorithms for adaptation to the parameters of decameter radio channels, characteristics of radio equipment and data transmission systems. **The following results are obtained:** a rational justification of the adaptation criterion is given, a comparison of the effectiveness of the functioning of various algorithms is given. **The practical significance** lies in the possibility of a reasonable choice of parameters of algorithms for adapting the modes of operation of radio lines of the decameter radio communication network.*

Keywords: *Decameter radio communication network, unified time-frequency resource, adaptation of radio line operation modes.*

Information about the Authors

Putilin Alexey Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor. Chief Researcher of the Scientific and Technical Center of PJSC In-Teltech. Research interests: adaptive noise-resistant decameter radio communication systems. Tel.: +7(812) 448-19-01. E-mail: PutilinAN@inteltech.ru.

Sokolov Vladimir Aleksandrovich – Leading Engineer of PJSC In-Teltech. Research interests: adaptive noise-resistant decameter radio communication systems. Tel.: +7(812)448-19-01. E-mail: SokolovVA@inteltech.ru .

Khvostunov Yuri Sergeevich – Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Scientific and Technical Center of PJSC "Inteltech". Research interests: adaptive noise-resistant decameter radio communication systems. Tel. +7(812) 448-96-30. E-mail: HvostunovYS@inteltech.ru.

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

Для цитирования:

Путилин А. Н., Соколов В. А., Хвостунов Ю. С. Адаптация режимов работы станций сети декаметровой радиосвязи с псевдослучайным переключением рабочих частот // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С. 12-21. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-12-21.

For citation:

Putilin A. N., Sokolov V. A., Khvostunov Yu. S. Adaptation of operating modes of decameter radio network stations with pseudorandom switching of operating frequencies. Means of communications equipment. 2023. No. 3 (163). Pp. 12-21. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-12-21. (In Russian).

Разработка всенаправленной эфирной телевизионной антенны морского исполнения в целях импортозамещения

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

Аннотация: Введение: До настоящего времени на морских и речных кораблях и судах России устанавливаются импортные всенаправленные антенны для приёма сигналов эфирного цифрового телевидения. Отечественные антенны для телевизионного приёма в морском исполнении не производятся. В связи со сложившейся в настоящее время сложной геополитической обстановкой поставка импортных телевизионных антенн морского исполнения стала затруднительна и значительно снизилась. Поэтому разработка такой отечественной антенны имеет высокую актуальность и вызывает особый интерес. **Целью работы** является освещение результатов проектирования и создания антенны всенаправленной эфирной телевизионной морского исполнения в целях импортозамещения. **Используемые методы:** патентный поиск, моделирование путём проведения расчётов в программе «CST MICROWAVE STUDIO» (численное моделирование высокочастотных устройств), разработка конструкции для морского всеклиматического исполнения. **Результат:** заключается в разработке рабочей конструкторской документации оптимальной конфигурации антенны всенаправленной эфирной телевизионной морского исполнения, выполненной из отечественных материалов и комплектующих, а также в положительных оценках и заключениях испытаний опытного образца. **Практическая значимость:** разработка и постановка на серийное производство позволит решить вопрос оснащения кораблей, судов и яхт любых классов отечественными антеннами для телевизионного эфирного приёма взамен импортных аналогов.

Ключевые слова: антенна, диаграмма направленности, конструкция, коэффициент передачи, коэффициент усиления, отношение сигнал/шум, радио, телевидение, усилитель малошумящий, чувствительность.

Введение

В современных условиях развития и предоставления телекоммуникационных услуг для потребителей стало привычным наличие телевизионного контента в любом местонахождении, в том числе, оснащение приёмной телевизионной аппаратурой кораблей, судов, яхт общего, специального и личного назначения. При этом в качестве телевизионных всенаправленных эфирных антенн морского назначения использовались импортные изделия. В связи со сложившейся в настоящее время сложной геополитической обстановкой поставка импортных телевизионных антенн морского исполнения стала затруднительна и значительно снизилась. Поэтому в АО «НИИ «Нептун» было принято решение выполнить инициативную опытно-конструкторскую работу (ОКР) по разработке антенны всенаправленной эфирной телевизионной морского исполнения. В результате ОКР была разработана рабочая конструкторская документация и изготовлен опытный образец, который успешно выдержал предварительные и типовые испытания в составе корабельной телевизионной системы.

Выписка из тактико-технического задания о назначении антенны

1. Состав изделия:

- антенно–фидерное устройство – 1 шт.;
- комплект эксплуатационной документации – 1 шт.;
- комплект монтажных частей – 1 шт.

Антенно–фидерное устройство состоит:

- водозащищённый обтекатель;

- антенные элементы;
- модуль усилителя малошумящего (УМШ).

2 Требования назначения.

2.1 Рабочий диапазон частот должен быть:

- радиовещание – от 48 до 108 МГц;
- телевидение по стандарту *DVB-T2* – от 170 до 230 МГц и от 470 до 890 МГц.

2.2 Чувствительность приемного тракта:

- радиовещание при соотношении сигнал/шум 25 дБ – не более 2 мкВ.

– телевидение по стандарту *DVB-T2* (для режима *QAM-256*, скорость кода $R = 5/6$) – не более 34,7 дБмкВ.

2.3 Диаграмма направленности:

- в горизонтальной плоскости – круговая;
- в вертикальной плоскости – с максимальным усилением вдоль горизонта.

2.4 Подключение антенно-фидерного устройства к аппаратуре корабельной телевизионной системы должно осуществляться по высокочастотному (ВЧ) кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом.

2.5 Электропитание модуля УМШ должно осуществляться по сигнальному ВЧ кабелю. Параметры электропитания: постоянное напряжение + 12 В, максимальный ток потребления 0,5 А.

2.6 Антенно-фидерное устройство должно обеспечивать круглосуточную работу корабельной телевизионной системы.

3 Конструктивные требования.

3.1 Конструкция антенно-фидерного устройства должна обеспечивать соответствие требованиям ГОСТов по стойкости, прочности и устойчивости к воздействию механических и климатических факторов.

3.2 Геометрическая форма обтекателя антенно-фидерной подсистемы должна иметь форму полусферы.

3.3 Масса антенно-фидерного устройства должна быть не более 6 кг.

Патентный поиск

Патентов по всенаправленным телевизионным эфирным антеннам морского исполнения не найдено.

В [1] описано изобретение антенны для телевизионного приёма. Представленная антенна на рис. 1 предназначена для обеспечения приема волн горизонтальной поляризации, приходящих с различных в горизонтальной плоскости направлений, как в основном, так и дополнительных частотных диапазонах, стабильности характеристик, а также жесткости и надежности конструкции.

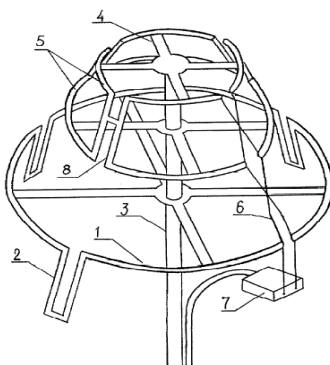


Рис. 1. Устройство телевизионной рамочной кольцевой антенны

Сущность изобретения состоит в том, что антенна (рис. 1) содержит закрепленные на мачте (3) с помощью элементов крепления (4) основную рамку (1), выполненную в форме кольца с периметром, равным удвоенной длине волны в основном диапазоне частот. Две и более дополнительных кольцевых рамок (5) имеют геометрические параметры, соответствующие дополнительным частотным диапазонам. В рамки включены четвертьволновые короткозамкнутые шлейфы, причем шлейфы (8) дополнительных рамок соединены между собой и расположены, как шлейф (2) у основной рамки и подключены в перекрестном порядке к двухпроводной линии (6), которая соединена с входом антенного усилителя (7). Короткозамкнутые шлейфы вынесены за плоскость рамок и расположены под определенным углом к ним, что исключает их влияние на характеристику направленности антенны в горизонтальной плоскости. Такая конструкция антенны обеспечивает равномерную в горизонтальной круговой плоскости характеристику направленности в требуемых частотных диапазонах.

В [2] описано изобретение широкополосной антенны, которая представлена на рис. 2 и содержит три равноудаленные от общей центральной вертикальной оси (1) автономные идентичные дипольные элементы (2), каждый из которых выполнен из цельносогнутого куска металлического проводника (трубки) конечной толщины (~ 5 мм) в виде вытянутого в горизонтальном направлении с соотношением длин сторон 2 : 1 (длина основания 210 мм, длина боковой стороны 90 мм) прямоугольного четырехугольника со скругленными углами.

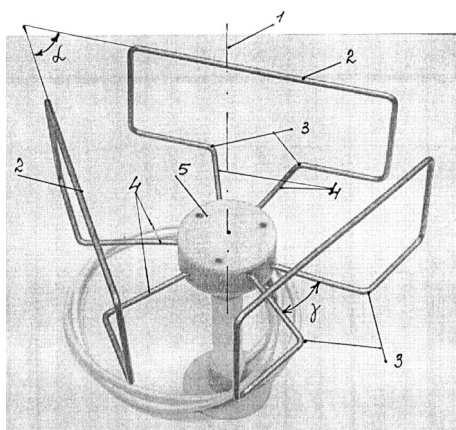


Рис. 2. Устройство трёхдипольной телевизионной антенны

Дипольные элементы (2) лежат в плоскостях, параллельных общей вертикальной центральной оси (1) антенны и расположены по отношению друг к другу под острым углом $\alpha = 60^\circ$. Контур каждого дипольного элемента (2) имеет разрыв (3), выполненный в нижнем основании прямоугольного четырехугольника и симметрично равноудаленный от его боковых сторон. Разрыв контура переходит в двухпроводную питающую линию (4), концы которой закреплены на разных по высоте уровнях в корпусе антенной коробки (5), установленной в центре по отношению к дипольным элементам (2), и электрически соединены одним концом к верхней металлической пластине, а другим концом к нижней металлической пластине (на рис. не показана), расположенной под верхней пластиной на расстоянии ~ 10 мм.

Пластины имеют треугольную форму в плане (что технологично, так как распайка трех пар концов двухпроводных питающих линий (4) выполняется по вытянутым вершинам треугольника, и технически эффективно из-за малой емкости между пластинами) и размещены внутри (в центре) круглой антенной коробки (5). Выходная линия передачи антенны выполнена на отрезке коаксиальной линии со стандартным волновым сопротивлением. Центральный конец коаксиальной линии электрически соединен с верхней

пластиной, а внешний конец коаксиальной линии с нижней пластиной. Коаксиальная линия заканчивается СВЧ разъемом, который является входом антенны. Таким образом, соответствующие концы питающих линий дипольных элементов гальванически соединены вместе и соединены с соответствующими концами выходной линии антенны.

Отрезки двухпроводной питающей линии (4), замыкающие контур дипольного элемента, выполнены расходящимися под углом $\gamma = 34^\circ$ по направлению к концам разрыва контура, что улучшает согласование антенны с нагрузкой.

Конструктивное выполнение дипольных элементов в виде горизонтально вытянутого прямоугольного четырехугольника с соотношением сторон порядка 2:1, выбор их в количестве трех штук и их взаимное расположение под острым углом около 60° сохраняет антенне ее всенаправленность и широкополосность, а чувствительность в низкочастотном диапазоне такой антенны увеличивается за счет увеличенного размера дипольных элементов (2) по горизонтали.

В [3] описана полезная модель антенны, которая содержит плоский несущий элемент, по обе стороны которого размещены три дипольных вибратора, состоящие из двух плеч, длина большей стороны плеча составляет $0,2 \dots 0,3\lambda$ (λ – средняя рабочая длина волны). Каждый дипольный вибратор занимает сектор несущего элемента в 120° . На рис. 3 показано устройство антенны.

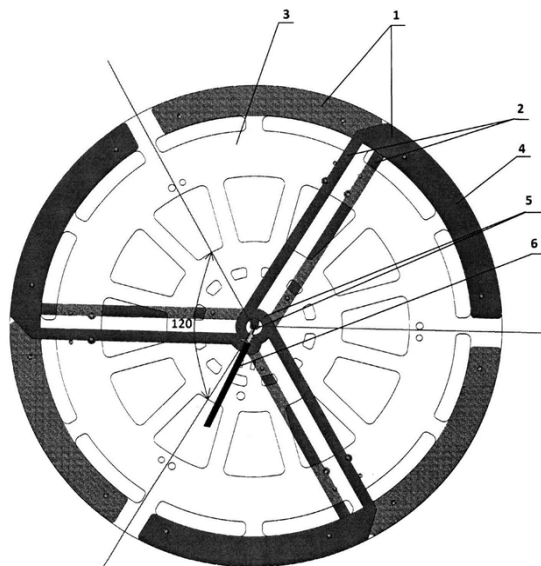


Рис. 3. Устройство плоской трёхдипольной телевизионной антенны (вид сверху)

Дипольные вибраторы (1), размещенные на плоском несущем элементе (3) принимают эфирный телевизионный сигнал каждый со своего направления, к плечам дипольного вибратора (4) непосредственно подключены четвертьволновые двухпроводные трансформаторы (2), посредством которых, принятый дипольными вибраторами (1) сигнал поступает к параллельно расположенным контактным площадкам (5), где суммируется с сигналами, принятыми другими дипольными вибраторами устройства и поступают в коаксиальную линию передачи (6). При этом четвертьволновые двухпроводные трансформаторы (2) повышают волновое сопротивление дипольных вибраторов (1).

В результате этого в точке суммирования дипольных вибраторов компенсируется падение волнового сопротивления и обеспечиваются минимальные потери сигнала при согласовании антенн с коаксиальной линией передачи (6), при помощи которой принятый антенной конструкцией сигнал поступает на вход ТВ приемника.

Технический результат полезной модели [3] заключается в улучшении качества принимаемого антенной конструкцией цифрового телевизионного сигнала при минимальных потерях сигнала на широкополосном согласовании антенной конструкции с коаксиальной линией передачи в дециметровом диапазоне и возможность одновременного приема прямых и отраженных цифровых телевизионных сигналов горизонтальной поляризации от разных источников с разных направлений.

Были рассмотрены ещё ряд патентов и техническая литература на антенные устройства [4-10] и усилители [11-16] телевизионного диапазона.

Выбор конструкции проектируемой антенны

На основе рассмотренных патентов и литературы по телевизионным антеннам был выполнен анализ и сделан выбор конструкций для дальнейшего их расчёта и проектирования. За основу для выбора конструкции проектируемой антенны были взяты хорошие технические характеристики, но при этом относительная простота изготовления и обеспечение устойчивости к механическим воздействующим факторам.

Приведённые сведения на антенну в [3] вызвали интерес хорошими техническими характеристиками и массогабаритными показателями. Конструкцию вибраторов такой антенны можно было бы сделать либо на печатной плате, либо путём вырезки на станке с числовым программным управлением. Поэтому было решено выполнить численное моделирование в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*» данной антенны, серийным образцом которой является антенна *BAS-1118 OMNI Digital* [17].

Также было решено выполнить численное моделирование в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*» антенны *SEAS 6000* производства компании *Sea Systems AB* [18], Швеция, поскольку эта антенна закупалась и устанавливалась на корабли в составе корабельной телевизионной системы производства АО «НИИ Нептун». Антенна *SEAS 6000* состоит из двух проволочных рамочных кольцевых вибраторов, растянутых на картонном каркасе в горизонтальной плоскости в корпусе из прочного пластика *ABS*, заполненного пенополиуретаном, что придает антенне особую прочность. Внутри корпуса находится двухдиапазонный усилитель маломощный (УМШ), на два входа которого подключены рамочные кольцевые антенны. С выхода УМШ объединённые сигналы двух диапазонов поступают на один фидер, на конце которого припаян *BNC*-разъём.

К недостаткам антенны *SEAS 6000* можно отнести выявленную в ходе эксплуатации неравномерность диаграммы направленности в различных направлениях, которая имеет частотную зависимость по уровню неравномерности. Это приводит к тому, что при движении корабля (судна) и изменении азимутальных углов направлений приёма антенной сигналов от телевизионной вещательной станции, происходит периодическое пропадание трансляции на приёмной телевизионной аппаратуре. При стоянке кораблей и судов в базах и портах у различных причалов азимутальное направление телевизионной вещательной станции по отношению к антенне также разное, что приводит к уверенному приёму сигналов у одних причалов и полному его отсутствию у других.

Ещё одним недостатком, выявленным в ходе эксплуатации антенны *SEAS 6000*, является её неремонтопригодность. Корпус антенны из прочного пластика *ABS* состоит из двух частей, которые склеиваются между собой прочным клеем, что не позволяет разобрать антенну в случае выхода из строя УМШ. Кроме того, внутри корпус антенны заполнен пенополиуретаном. При эксплуатации антенны *SEAS 6000* неоднократно выходили из строя и заменялись новыми. Также неоднократно происходило падение антенны с мачты, поскольку болты крепления к трубе мачты не имели контргаяк.

Одним из возможных вариантов антенны может быть дискоконусная конструкция, описанная в [9], поскольку она имеет стабильную диаграмму направленности в широкой полосе частот и сравнительно проста по своему устройству. Эта антенна состоит из конуса и

диска, между которыми с помощью коаксиального кабеля прикладывается питающее напряжение. Диск присоединяется к центральному проводнику, а к экрану кабеля – конус, так что последний служит как бы продолжением экрана. Дисконусную антенну относят к антеннам с верхним питанием, которые снабжены концевой ёмкостью в виде диска и конусообразным внешним проводником. Как и любой вертикальный вибратор, она характеризуется круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости и в вертикальной плоскости, как у полуволнового вибратора – в виде восьмёрки.

Выше нижней частотной границы f_n , на которую рассчитана антенна, КСВ в 50-омном фидере не превышает 2 во всей частотной области с отношением пределов 1 : 10. f_n можно определить как наименьшую рабочую частоту, на которой КСВ не превышает 3. На частотах ниже f_n КСВ быстро растёт, а выше f_n – постепенно убывает до своего среднего значения менее 1,5. Дисконусная антенна электрически ведёт себя как фильтр верхних частот с относительно крутым спадом частотной характеристики. Результаты определений минимальной рабочей частоты f_n зависят от длины конуса L_s , диаметра диска D и угла при вершине конуса $\phi/2$ (рис. 4).

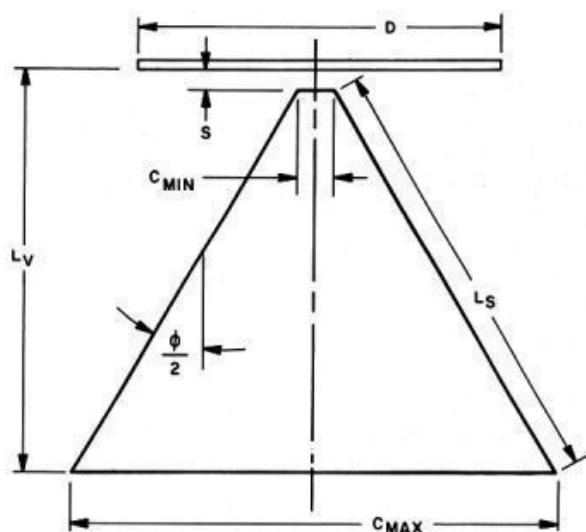


Рис. 4. Схема классической конструкции дисконусной антенны

Как показывают экспериментальные данные [9] оптимальный D составляет $0,7C_{max}$ независимо от угла $\phi/2$. Длина конуса L_s определяется углом $\phi/2$ и составляет приблизительно $0,25\lambda$ – четверть средней рабочей длины волны. C_{min} ограничивает частотную область сверху таким образом, что она расширяется с уменьшением C_{min} . Между C_{min} и промежутком S действует соотношение $S = 0,3C_{min}$, зависящее от угла $\phi/2$.

Дисконусная антенна является одной из наиболее удовлетворяющих требуемым характеристикам.

Результаты численного моделирования в программе «CST MICROWAVE STUDIO» в целях выбора и оптимизации конструкции проектируемой антенны

На рис. 5 представлена трёхмерная модель плоской трёхдипольной телевизионной антенны [3] без корпуса в соответствии с размерами наружной всенаправленной ТВ антенны *BAS-1118 OMNI Digital* [17], которая является промышленным серийным образцом плоской трёхдипольной телевизионной антенны [3].

На рис. 6 представлены результаты расчётов в программе «CST MICROWAVE STUDIO» в виде графика частотной зависимости КСВ.

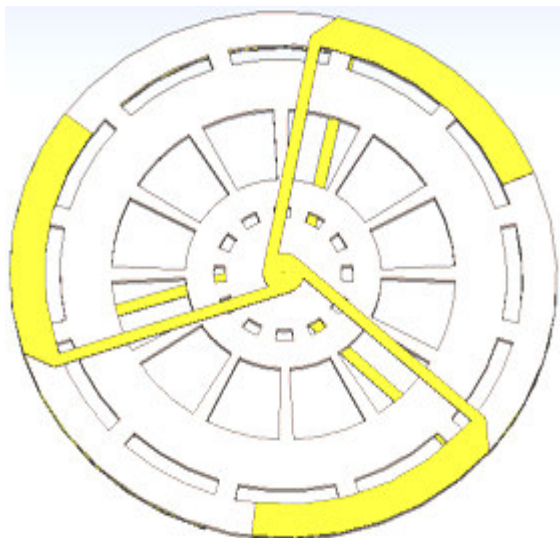


Рис. 5. Внешний вид модели плоской трёхдипольной телевизионной антенны

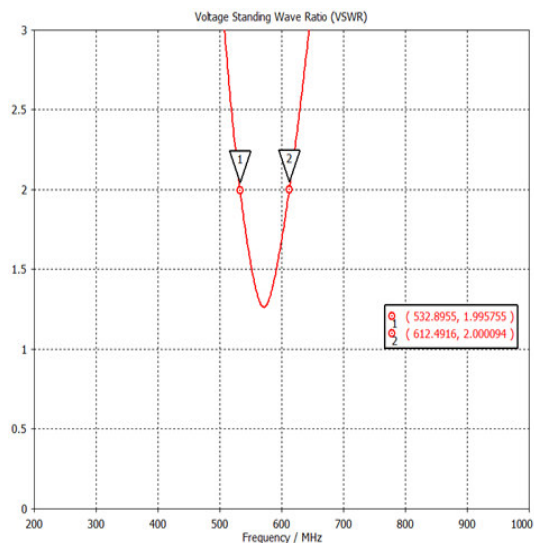


Рис. 6. График частотной зависимости КСВ модели плоской трёхдипольной телевизионной антенны, рассчитанной в программе «CST MICROWAVE STUDIO»

Из представленной частотной зависимости КСВ можно сделать вывод, что недостатком антенны [3] является её узкополосная резонансная характеристика на частоте 567 МГц с КСВ = 1,27 и полосой пропускания 145 МГц по уровню КСВ не более 3.

На рис. 7 и 8 представлены результаты численного моделирования диаграмм направленности (ДН) в горизонтальной (рис. 7 а и 8 а) и вертикальной (рис. 7 б и 8 б) плоскостях на частотах 35-го (586 МГц) и 45-го (666 МГц) телевизионных каналов соответственно.

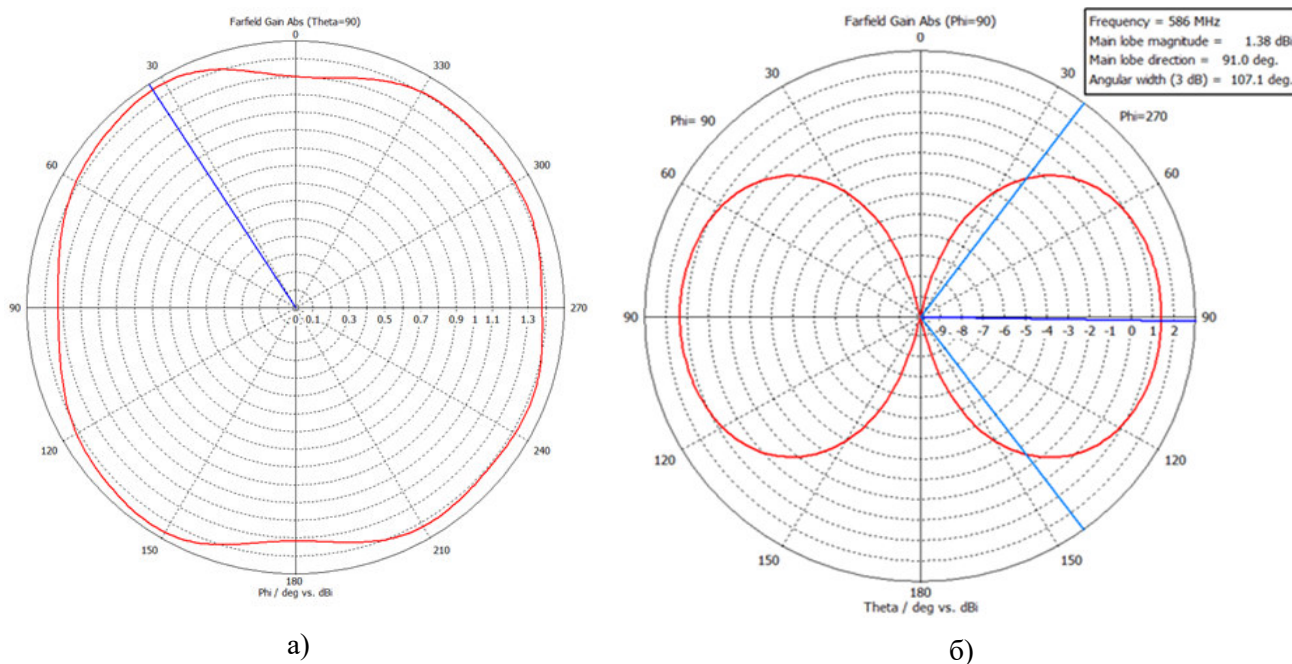


Рис. 7. Графики ДН модели плоской трёхдипольной телевизионной антенны на частоте 586 МГц, рассчитанные в программе «CST MICROWAVE STUDIO»: а) в горизонтальной плоскости, б) в вертикальной плоскости 90-270 градусов

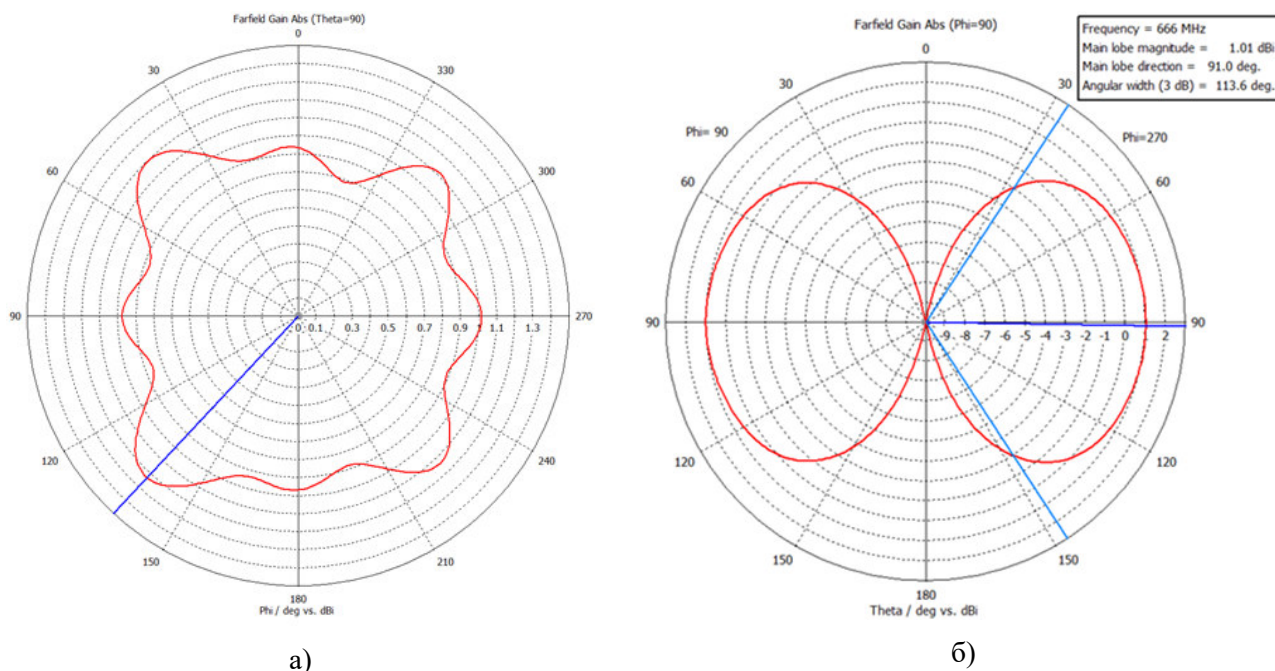


Рис. 8. Графики ДН модели плоской трёхдипольной телевизионной антенны на частоте 666 МГц, рассчитанные в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*»:
а) в горизонтальной плоскости, б) в вертикальной плоскости 90-270 градусов

Из представленных графиков ДН можно сделать вывод, что антенна [17] имеет круговую ДН в горизонтальной плоскости с неравномерностью до 0,5 дБ и максимальное усиление в направлении горизонта, которое составляет на частоте 35-го телевизионного канала 1,3 – 1,5 дБи, на частоте 45-го телевизионного канала – 0,79 – 1,23 дБи. В вертикальной плоскости усиление начинает существенно снижаться выше углов + 30 ° и ниже углов минус 30 °.

Далее представлены результаты моделирования в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*» антенны *SEAS 6000* [18]. На рис. 9 а представлена трёхмерная модель антенны *SEAS 6000* без корпуса. На рис. 9 б представлена трёхмерная модель антенны *SEAS 6000* в корпусе.

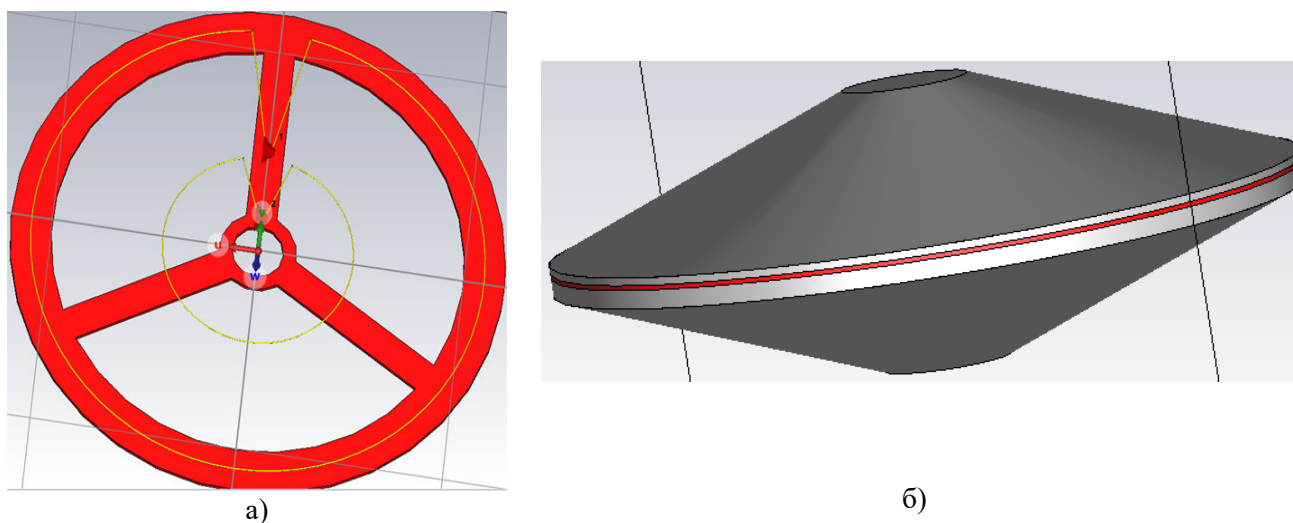


Рис. 9. Внешний вид модели антенны *SEAS 6000*: а) без корпуса, б) в корпусе

На рис. 10 представлены результаты расчётов в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*» в виде графиков частотной зависимости КСВ: красным цветом – для малой кольцевой рамки, зелёным цветом – для большой кольцевой рамки.

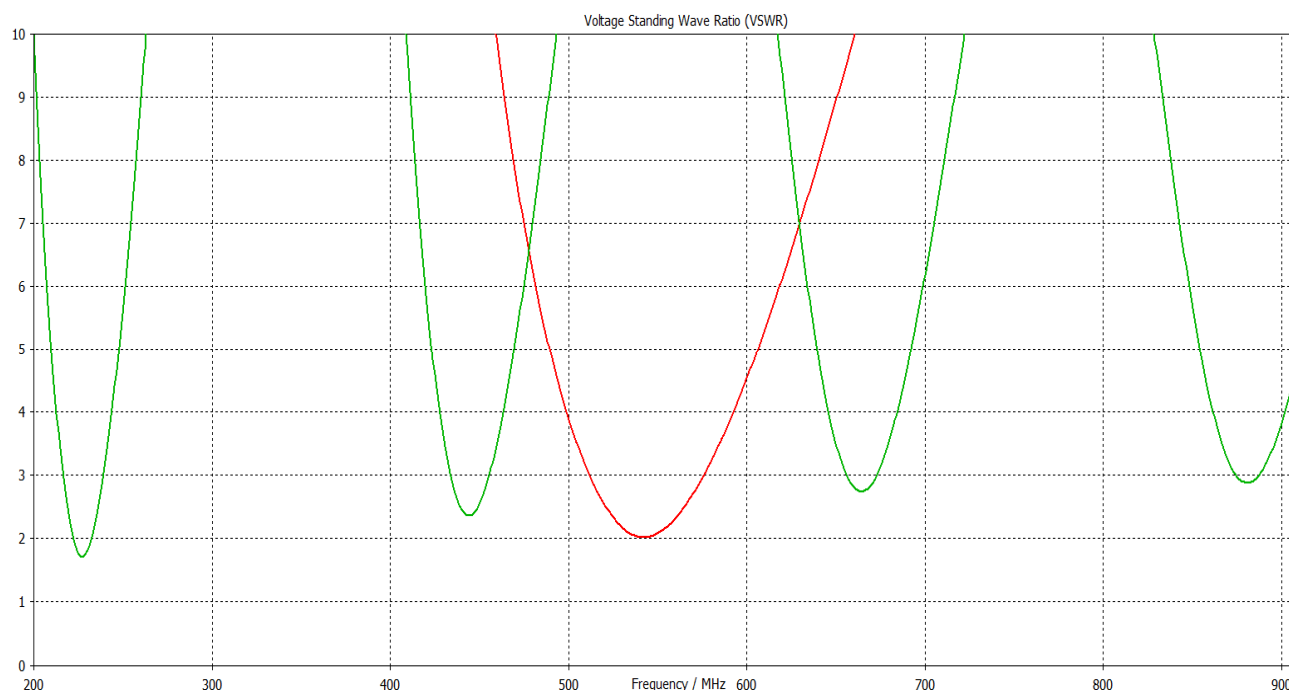


Рис. 10. Графики частотных зависимостей КСВ модели антенны *SEAS 6000*, рассчитанных в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*»:
 — для малой кольцевой рамки, — для большой кольцевой рамки

Из представленной частотной зависимости КСВ можно сделать вывод, что к недостаткам антенны *SEAS 6000* относятся её узкополосные резонансные характеристики. Для малой кольцевой рамки в рабочем диапазоне частот выражен один резонанс на частоте 540 МГц с КСВ = 2 и шириной полосы пропускания 70 МГц по уровню КСВ не более 3.

Для большой рамки в рабочем диапазоне частот выражены 4 резонанса:

- на частоте 229 МГц с КСВ = 1,75 и шириной полосы пропускания 25 МГц по уровню КСВ не более 3;
- на частоте 437 МГц с КСВ = 2,35 и шириной полосы пропускания 23 МГц по уровню КСВ не более 3;
- на частоте 663 МГц с КСВ = 2,76 и шириной полосы пропускания 18 МГц по уровню КСВ не более 3;
- на частоте 880 МГц с КСВ = 2,83 и шириной полосы пропускания 12 МГц по уровню КСВ не более 3.

На рис. 11 – 14 представлены результаты численного моделирования в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*» ДН антенны *SEAS 6000* для малой кольцевой рамки (рис. 11, 12) в горизонтальной (рис. 11 а и 12 а) и в вертикальной плоскостях (рис. 11 б и 12 б) и для большой кольцевой рамки (рис. 13, 14) – в горизонтальной (рис. 13 а и 14 а) и в вертикальной плоскостях (рис. 13 б и 14 б) на частотах 35-го и 45-го телевизионных каналов соответственно.

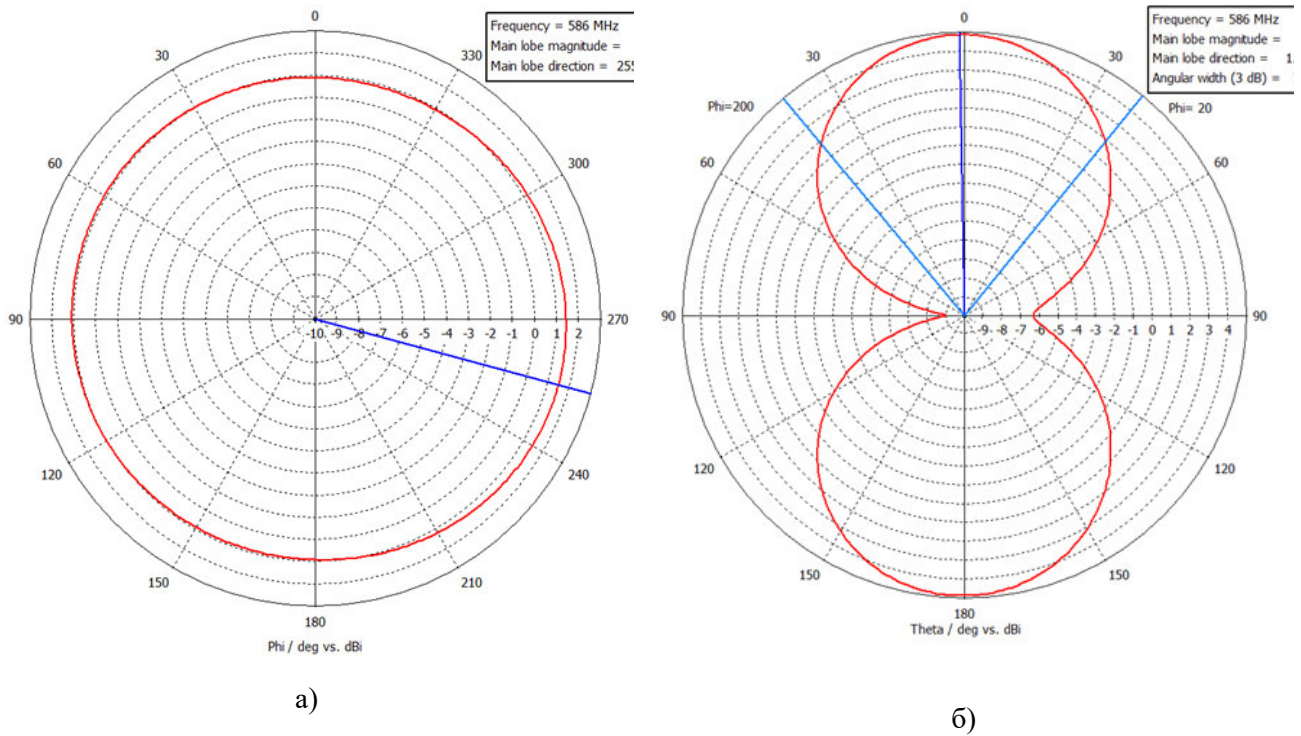


Рис. 11. Графики ДН модели антенны SEAS 6000 для малой кольцевой рамки на частоте 586 МГц, рассчитанные в программе «CST MICROWAVE STUDIO»:
 а) в горизонтальной плоскости, б) в вертикальной плоскости 20-200 градусов

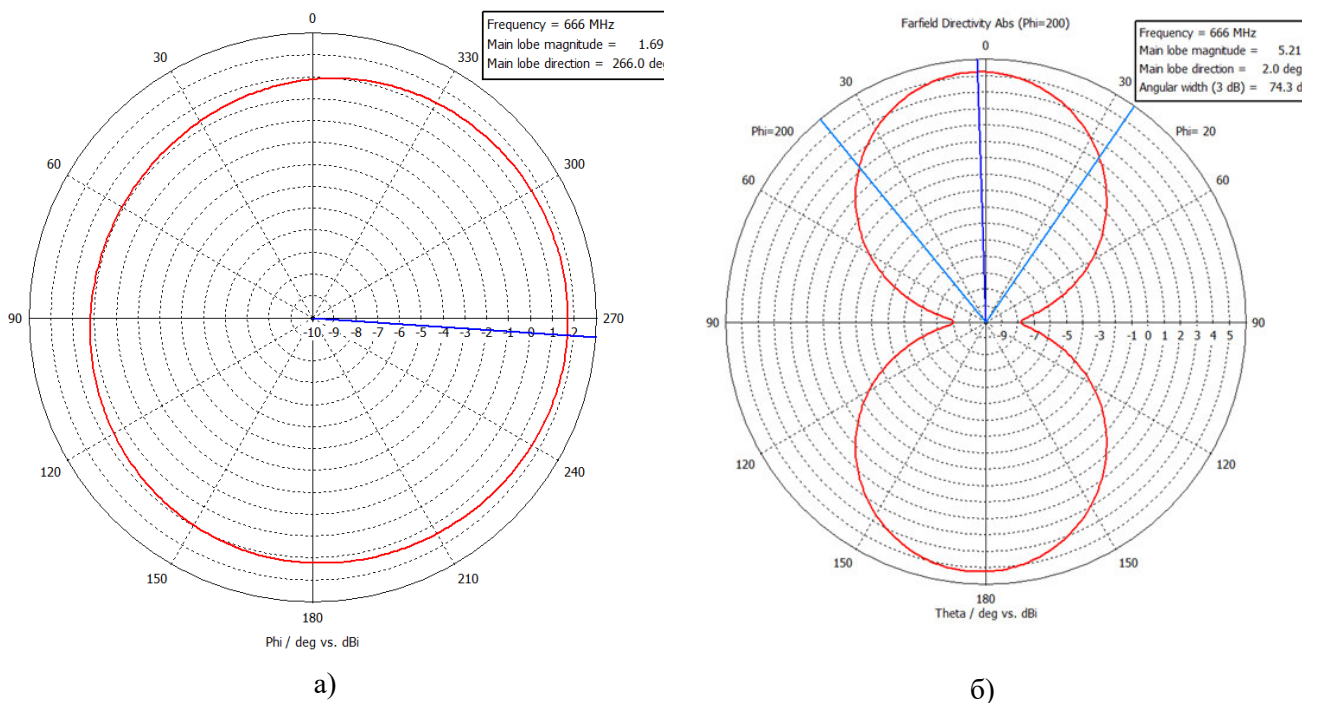


Рис. 12. Графики ДН модели антенны SEAS 6000 для малой кольцевой рамки на частоте 666 МГц, рассчитанные в программе «CST MICROWAVE STUDIO»:
 а) в горизонтальной плоскости, б) в вертикальной плоскости 20-200 градусов

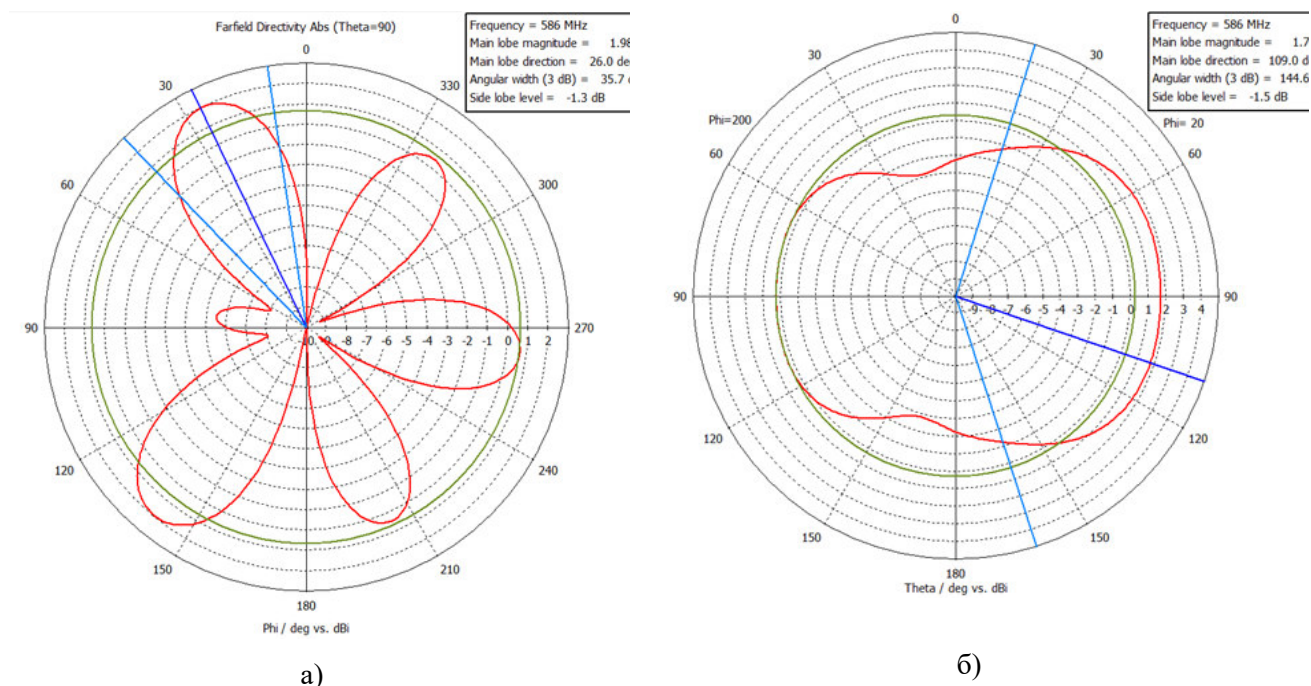


Рис. 13. Графики ДН модели антенны SEAS 6000 для большой кольцевой рамки на частоте 586 МГц, рассчитанные в программе «CST MICROWAVE STUDIO»:
а) в горизонтальной плоскости, б) в вертикальной плоскости 20-200 градусов

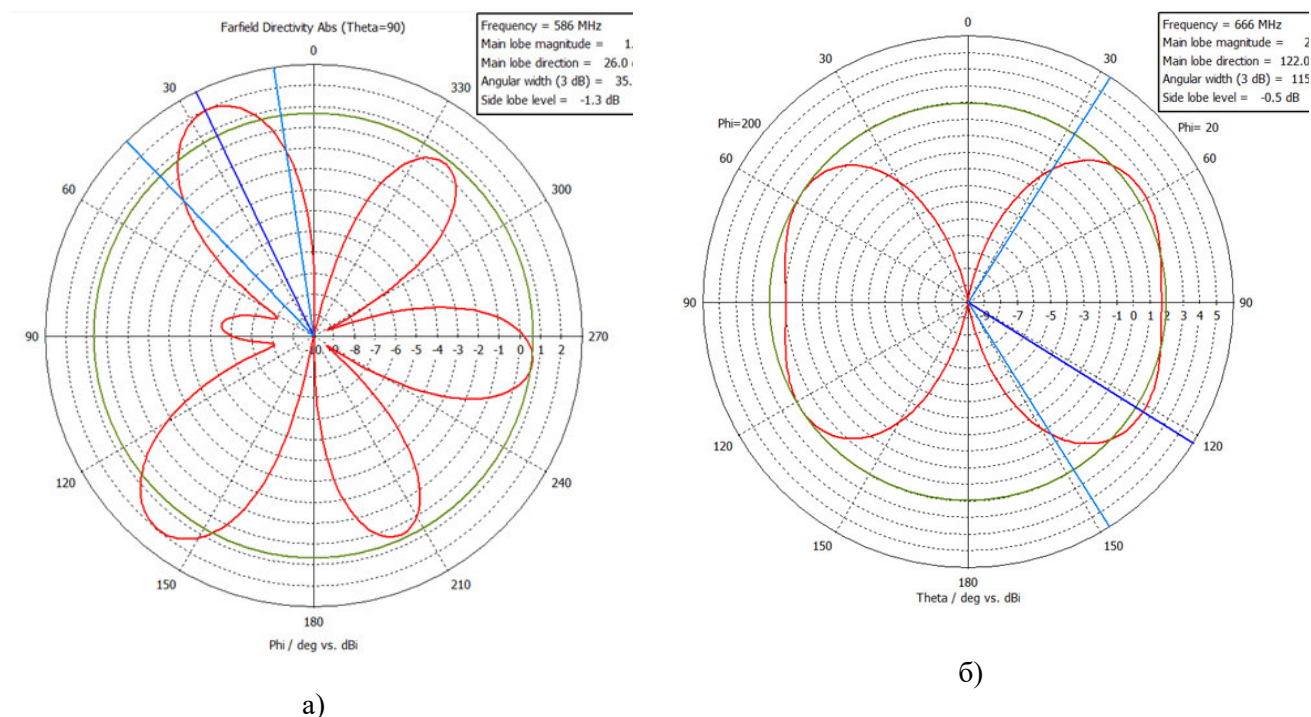


Рис. 14. Графики ДН модели антенны SEAS 6000 для большой кольцевой рамки на частоте 666 МГц, рассчитанные в программе «CST MICROWAVE STUDIO»:
а) в горизонтальной плоскости, б) в вертикальной плоскости 20-200 градусов

Из представленных графиков ДН можно сделать вывод, что расположение двух кольцевых рамок антенны *SEAS 6000* в одной плоскости оказывает значительное взаимное влияние. Так из-за расположения большой кольцевой рамки вокруг малой кольцевой рамки, у малой рамки происходит снижение усиления вдоль горизонтальных направлений и увеличение усиления вдоль вертикальной оси антенны. Таким образом, ДН в вертикальной плоскости малой кольцевой рамки представляет собой «восьмёрку» вытянутую вдоль вертикальной оси антенны с максимумами усиления в зенит и надир до 4,85 дБи на частоте 586 МГц и до 5,21 дБи на частоте 666 МГц, и минимумами усиления вдоль горизонта от минус 6 до минус 8 дБи.

ДН большой кольцевой рамки в горизонтальной плоскости из-за нахождения внутри неё малой кольцевой рамки имеют значительную изрезанность из максимумов до 1,98 дБи и минимумов до минус 10 дБи и состоят из пяти основных лепестков и одного малого лепестка на частотах 586 и 666 МГц.

Таким образом, выявленные при эксплуатации антенны *SEAS 6000* неравномерности ДН в различных направлениях с частотной зависимостью подтвердились при численном моделировании в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*».

Выполненное численное моделирование в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*» с целью оптимизации размеров дискоконусной антенны под диапазон цифрового телевидения привело к полному совпадению размерных пропорций дискоконусной антенны, указанных в [9] в соответствии с рис. 4.

На рис. 15 представлена трёхмерная модель разработанной дискоконусной антенны в каркасе без корпуса обтекателя на нижнем основании.

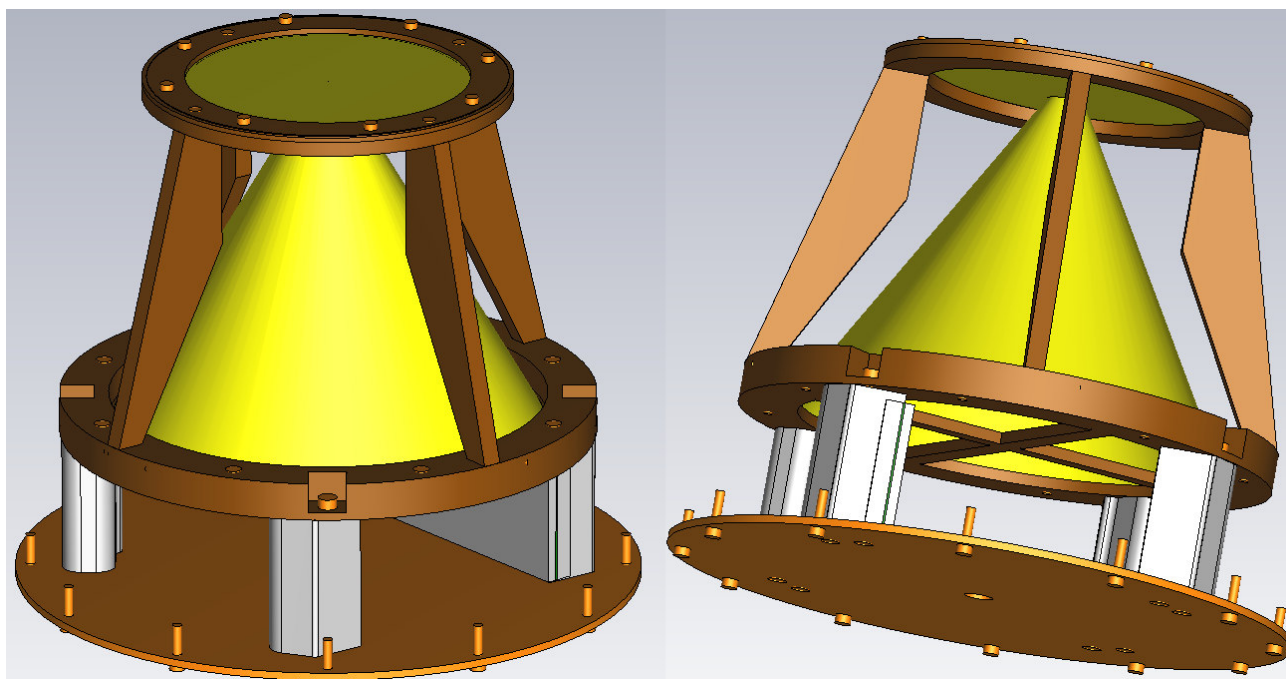


Рис. 15. Модель разработанной дискоконусной антенны без корпуса обтекателя в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*»

На рис. 16 представлены результаты расчётов модели разработанной дискоконусной антенны в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*» в виде графика частотной зависимости КСВ.

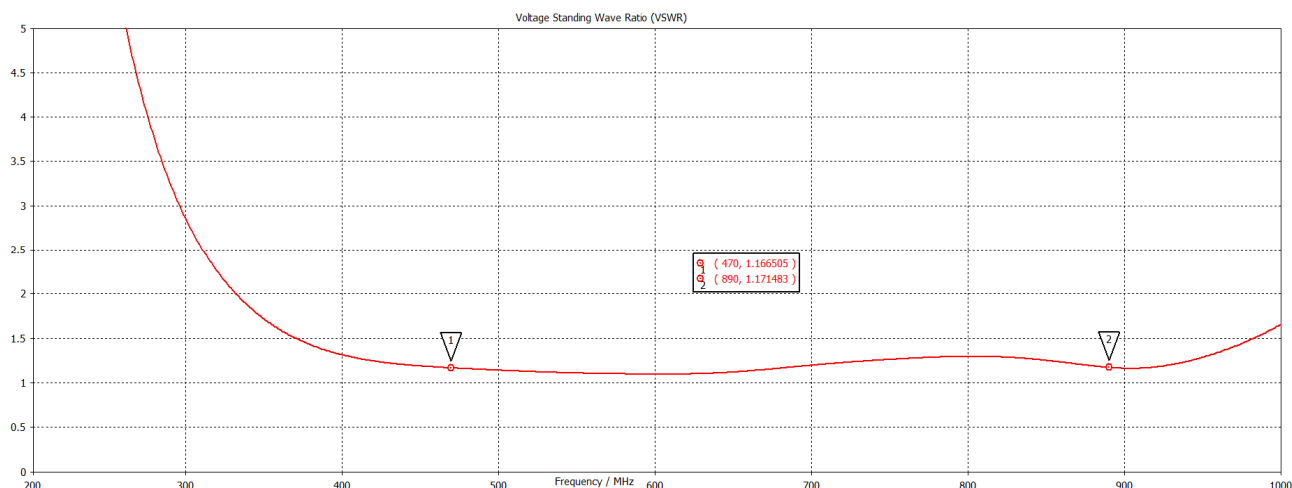


Рис. 16. График частотной зависимости КСВ модели дискоконусной антенны, рассчитанной в программе «CST MICROWAVE STUDIO»

Из представленной частотной зависимости КСВ можно сделать вывод, что разработанная модель дискоконусной антенны имеет широкую рабочую полосу частот от 370 до 980 МГц с КСВ менее 1,5, а с КСВ по уровню не более 3 частотная полоса составляет от 300 МГц до более 1000 МГц.

На рис. 17 и 18 представлены результаты численного моделирования ДН модели разработанной дискоконусной антенны в горизонтальной (рис. 17 а и 18 а) и вертикальной (рис. 17 б и 18 б) плоскостях на частотах 35-го и 45-го телевизионных каналов соответственно.

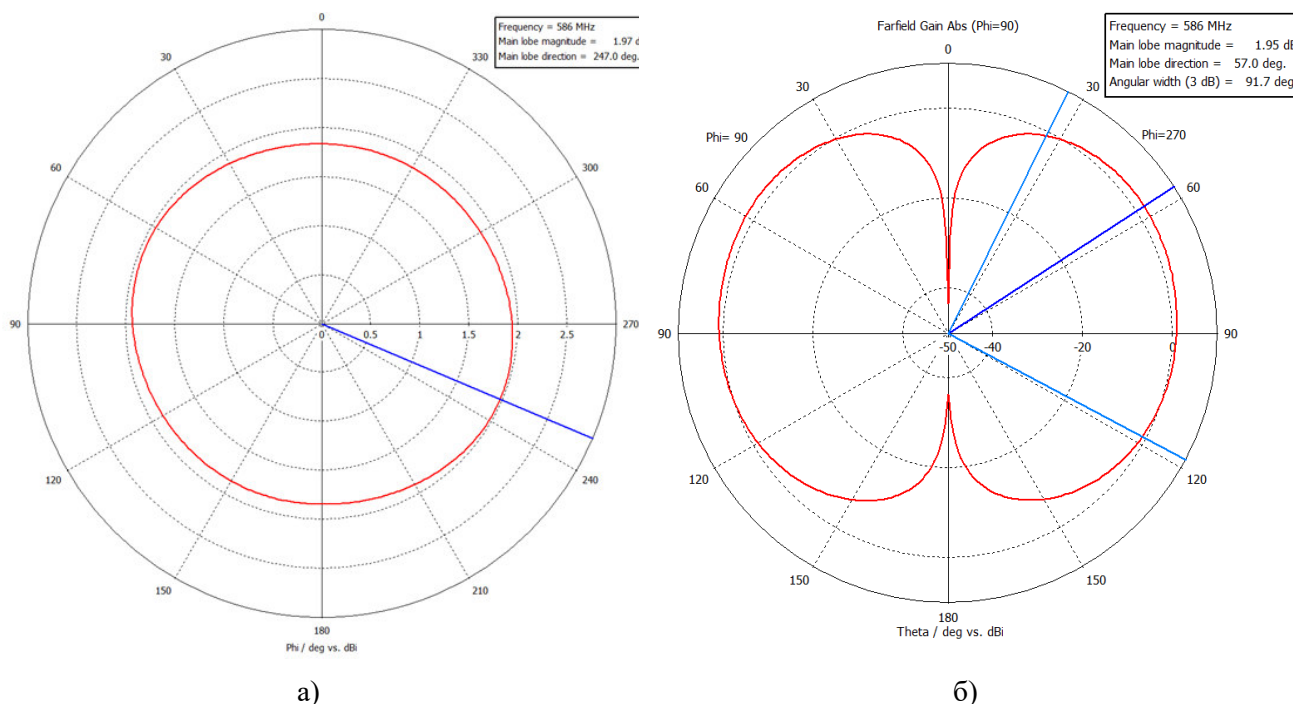


Рис. 17. Графики ДН модели дискоконусной антенны на частоте 586 МГц, рассчитанные в программе «CST MICROWAVE STUDIO»: а) в горизонтальной плоскости, б) в вертикальной плоскости 90-270 градусов

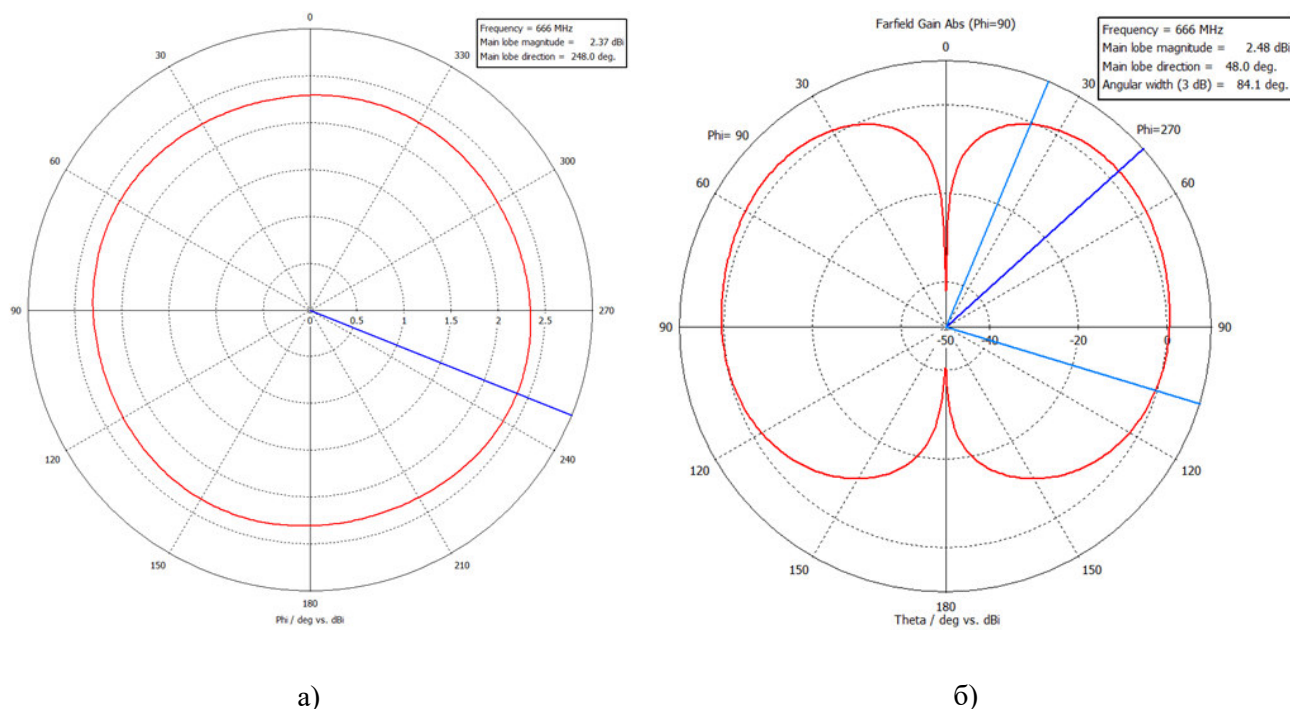


Рис. 18. Графики ДН модели дискоконусной антенны на частоте 666 МГц, рассчитанные в программе «*CST MICROWAVE STUDIO*»:
а) в горизонтальной плоскости, б) в вертикальной плоскости 90-270 градусов

Из представленных графиков диаграммы направленности можно сделать вывод, что антенна имеет равномерную круговую ДН в горизонтальной плоскости и максимальное усиление в направлении горизонта, которое составляет на частоте 35-го телевизионного канала от 1,7 до 2,0 дБи, на частоте 45-го телевизионного канала – от 2,3 до 2,4 дБи. При этом в вертикальной плоскости усиление начинает значительно снижаться выше углов $+60^\circ$ и ниже углов минус 30° , что имеет наилучший результат из рассмотренных антенн. Это позволит обеспечивать радиоприём телевизионного вещания даже при качке корабля на взволнованной поверхности моря.

Таким образом, полученные результаты моделирования трёх антенн показали, что по техническим характеристикам предпочтительней использовать в качестве разрабатываемой всенаправленной эфирной телевизионной дискоконусную антенну.

Разработка конструкции антенны всенаправленной эфирной телевизионной для морского исполнения

Для обеспечения работы в морских условиях на кораблях и судах в любых географических регионах разработана специальная конструкция для удержания диска и конуса в требуемом положении с учётом оказания наименьшего влияния металлических деталей на диаграмму направленности антенны. На рис. 19 представлена разработанная конструкция антенны с обтекателем в разрезе. На рис. 20 представлена фотография антенны в сборе.

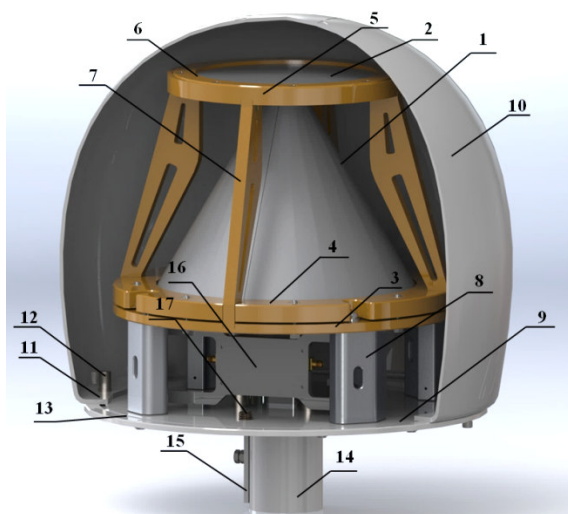


Рис. 19. Конструкция антенны всенаправленной эфирной телевизионной для морского исполнения



Рис. 20. Фотография антенны в сборе

Конус (1) и диск (2) изготавливаются из листовой меди. Диск и конус раскреплены с помощью радиопрозрачных элементов из текстолита и латунного резьбового крепежа.

В состав элементов из текстолита входят:

- нижнее круглое основание (3), на котором установлен конус (1);
- нижний круглый фланец (4), который с помощью крепёжных винтов из латуни прижимает нижнюю часть конуса (1) к круглому основанию (3);
- верхнее круглое основание (5) с бортиком, где находится диск (2);
- верхний фланец (6), который с помощью крепёжных винтов из латуни удерживает диск (2) на верхнем круглом основании (5);
- четыре вертикальных стойки (7) установленные на нижнее основание (3) и закрепленные с ним болтовым соединением, на верхней части которых закреплено болтовым соединением верхнее основание (5) с диском (2), закрепленным фланцем (6).

Нижнее круглое основание антенны с помощью латунного винтового крепежа прикручено к алюминиевым стойкам (8), которые закреплены на алюминиевом основании (9) с помощью нержавеющей крепежа. При этом произведён расчёт высоты алюминиевых стоек, при которой исключается влияние алюминиевого основания (9) корпуса антенны на искажение ДН.

Для обеспечения укрытия антенны от воздействия климатических факторов с верхней стороны к основанию (9) прикручивается радиопрозрачный стеклопластиковый обтекатель (10) через потайной фланец (11) с запрессованными в нём заклёпками гаечными цилиндрическими с потайным бортом (12). Для обеспечения пыле- и влагозащищённости в алюминиевом основании корпуса выполнен паз (13) для укладки в него герметизирующего шнура, к которому плотно прилегает потайной фланец (11) радиопрозрачного стеклопластикового обтекателя (10).

С нижней стороны к основанию (9) крепится высокочастотная приборная розетка СР-75-66ФВ для подключения фидера идущего от приёмной телевизионной аппаратуры. Фидер подключается к розетке СР-75-66ФВ с помощью вилки СР-75-54ПВ через трубу мачты, к которой антенна в сборе крепится с помощью стального фланца (14). Стальной фланец (14) с помощью болтов крепится к основанию (9). Для крепления к трубе на мачте фланец (14) имеет два вертикальных усиленных утолщения стенок (15), в центре которых имеются резьбовые отверстия под болты, которыми с помощью контргаек антенна закрепляется на трубе мачты.

К приборной розетке СР-75-66ФВ с внутренней стороны основания (9) припаивается фидер, который с помощью высокочастотной вилки кабельной прямой SMA-ВКП-3.38-3-301 с другой стороны подключается к выходному разъёму модуля УМШ (16). По фидеру от приёмной телевизионной аппаратуры в модуль УМШ (16) через выход подаётся постоянное питание напряжением + 12 В. Модуль УМШ (16) в экранированном корпусе крепится к двум стойкам (8) между основаниями (3) и (9). На входной разъём модуля УМШ (16) подключается вилка кабельная прямая SMA-ВКП-3.38-3-301 с фидером, который проходит внутри конуса (1) и центральная жила которого припаяна к центру диска (2), экранированная оплётка фидера припаяна к верхней части конуса (1). Модуль УМШ предназначен для усиления принятого радио и телевизионного сигналов и обеспечения требуемого отношения сигнал/шум на входе приёмной радио и телевизионной аппаратуры с учётом потерь в фидерном тракте при его значительной длине.

На алюминиевом основании (9) корпуса через резьбовое отверстие герметично закреплен клапан выравнивания давления (17) для предотвращения образования и удаления из корпуса антенны конденсата, который обычно образуется при сильных перепадах температуры, что обеспечивает эксплуатацию антенны в любых климатических условиях.

Весь антенный резьбовой крепёж при установке смазывается герметиком для обеспечения герметичности соединений и невозможности самопроизвольного выкручивания в условиях вибрационных нагрузок при эксплуатации на кораблях, судах или других подвижных объектах.

Разработка схемы модуля усилителя маломощного

При патентном поиске [11-16] в качестве прототипа был выбран усилитель из [16]. Его схема была доработана и представлена на рис. 21.

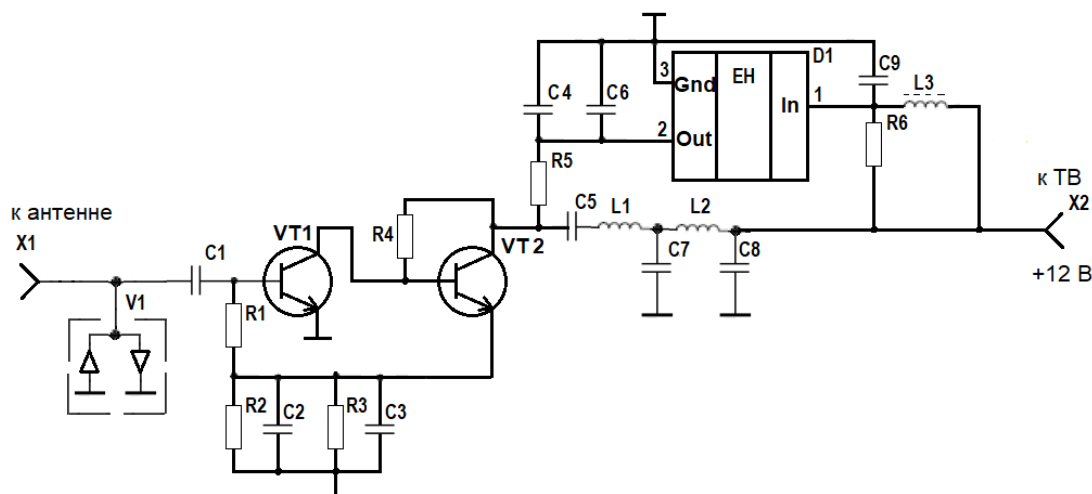


Рис. 21. Разработанная схема модуля УМШ антенны всенаправленной эфирной телевизионной

УМШ состоит из двух каскадов на транзисторах 2Т657А-2, собранных по схеме с общим эмиттером и охваченных общей цепью с отрицательной обратной связью (ООС) по постоянному току через резистор R1. ООС по переменному току при этом незначительна. Основное усиление сигнала обеспечивается первым каскадом. Второй каскад, охваченный параллельной (через резистор R4) и последовательной (через резисторы R2 и R3) ООС, служит для выравнивания суммарной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) усилителя. Конденсаторы C2 и C3 в эмиттерной цепи транзистора VT2 корректируют АЧХ в области нижних и средних частот полосы пропускания.

Диодная сборка $V1$ обеспечивает защиту входных цепей модуля УМШ от грозовых помех и других повышенных напряжений входного сигнала для обеспечения электромагнитной совместимости в условиях эксплуатации на кораблях с наличием высокочастотных радиопередатчиков.

Поскольку дискоконусная антенна электрически ведёт себя как фильтр верхних частот с относительно крутым спадом частотной характеристики, то в схему УМШ включён только фильтр нижних частот на элементах $L1$, $C7$, $L2$ и $C8$ для подавления радиосигналов выше частоты среза фильтра 900 МГц от систем *GSM*, *LTE*, *Wi-Fi* и других.

Включённая в схему УМШ интегральная микросхема $D1$ в совокупности с элементами $R5$, $R6$, $C4$, $C6$ обеспечивает УМШ стабилизированным питанием + 12 В, а развязывающий фильтр на элементах $C9$ и $L3$ обеспечивает защиту приёмной телевизионной аппаратуры от постоянного напряжения.

Все используемые элементы в УМШ отечественного производства и имеют качество военной приёмки.

Результаты испытаний

Измеренный коэффициент передачи модуля УМШ в рабочем диапазоне от 48 до 890 МГц составил от 17 до 22 дБ. При этом снижение усиления ниже 20 дБ наблюдается на краю верхней части рабочего диапазона. Чувствительность модуля УМШ в телевизионном диапазоне (для режима *QAM-64*) от 170 до 890 МГц составила не более 15 дБмкВ.

Масса антенны всенаправленной эфирной телевизионной составила 5,65 кг. Габаритные размеры опытного образца антенны всенаправленной эфирной телевизионной составляют: диаметр – 372 мм, высота с фланцем для крепления на мачту – 406 мм.

Выполненный расчёт надёжности в соответствии с [19] имеет высокие показатели. Нарботка на отказ $T_{ср}$ разработанной антенны составляет 343642 часов. Вероятность безотказной работы антенны за 12000 часов работы составляет $P(12000) \geq 0,965$.

Антенна прошла испытания и обеспечивает соответствие требованиям стойкости, прочности и устойчивости к воздействию механических и климатических факторов. Антенна обеспечивает соответствие требованиям водозащищённости.

Ремонтопригодность обеспечивается болтовым креплением радиопрозрачного обтекателя, что позволяет заменить в случае неисправности модуль УМШ. В комплектность каждой поставляемой антенны в виде запасных частей включён модуль УМШ, не смотря на высокие расчётные показатели надёжности.

Заключение

Разработанная антенна всенаправленная эфирная телевизионная морского исполнения на отечественной элементной базе имеет тактико-технические характеристики и надёжностные показатели, позволяющие обеспечить требования по приёму сигналов радио и телевидения по стандарту *DVB-T2* и их трансляции на телевизионную приёмную аппаратуру при эксплуатации в корабельных условиях в любых климатических условиях.

Постановка разработанной антенны на серийное производство позволит решить вопрос оснащения кораблей, судов и яхт любых классов отечественными антеннами для телевизионного эфирного приёма взамен импортных аналогов.

Литература

1. Валегура В. А., Валегура В. Ф. Антенна для телевизионного приема. Патент № 2273080 (РФ) – Н01Q 21/30. Опубликовано: 27.03.2006 г.

2. Хиллов В. П., Хиллов В. В., Головешко С. А., Нестеров И. А. Радиотелевизионная антенна. Патент № 84630 (РФ) – H01Q 7/00. Опубликовано: 10.07.2009 г.
3. Волошин А. И., Солдаткин А. С., Шмаров Д. А. Дипольная антенная система с круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости и широкополосным согласованием в ДМВ диапазоне. Патент № 186322 (РФ) – H01Q 23/00. Опубликовано: 16.01.2019.
4. Буянов Ю. И., Бульбин Ю. В., Дирин В. Н., Сушко В. П., Чуйков В. Д. Широкополосная антенна. Патент № 2111584 (РФ) – H01Q 9/02. Опубликовано: 20.05.1998 г.
5. Сучков А. В., Устинов А. В. Ненаправленная антенна горизонтальной поляризации. Патент № 2755403 (РФ) – H01Q 9/00. Опубликовано: 15.09.2021 г.
6. Горшков Л. В., Долженко А. А., Павловский А. М. Рамочная антенна. Патент № 2380800 (РФ) – H01Q 7/00. Опубликовано: 27.01.2010 г.
7. Мирошниченко А. Я. Малогабаритная активная телевизионная антенна. Патент № 2079188 (РФ) – H01Q 7/00. Опубликовано: 10.05.1997 г.
8. Айзенберг Г. З. Антенны ультракоротких волн. М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1957. 700 с.
9. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны. Том 1. (11-е изд.). // М.: Данвел, 2007. С. 397 – 402.
10. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. Учебник. М.: Высшая школа, 1988. 432 с.
11. Гуревич А. С., Петровский Ю. Б. Многокаскадный усилитель дециметрового диапазона волн на транзисторах. Патент № 316177 (СССР) – H03F 3/60. Опубликовано: 01.10.1971 г.
12. Львов В. Ф., Белых С. В. Высокочастотный балансный усилитель. Патент № 2511331 (РФ) – H03F 3/60. Опубликовано: 10.04.2014 г.
13. Дирин В. Н., Буянов Ю. И., Владимиров С. Н. Антенный усилитель для приемника телевизионного сигнала. Патент № 3661 (РФ) – H01Q 23/00. Опубликовано: 16.02.1997 г.
14. Кузьминов А. Антенный усилитель телевизионного сигнала DVB-T2 // Современная электроника. 2016. № 1. С. 50-55. URL: <https://303421.selcdn.ru/soel-upload/iblock/1c7/20160150.pdf> (дата обращения: 15.03.2023).
15. Фёдоров В. Антенный ДМВ-усилитель // Радиомир. 2001 № 3. С. 26 – 27. URL: <https://anklab.ru/Press/RM/2001/03/index.html> (дата обращения: 15.03.2023).
16. Туркин Н. Широкополосный антенный усилитель ТВ сигналов // Радио. 2000. № 4. С. 13. URL: <http://archive.radio.ru/web/2000/04/012/> (дата обращения: 15.03.2023).
17. Наружная всенаправленная ТВ антенна BAS-1118 OMNI Digital. Паспорт. ООО «РЭМО-Технологии» // URL: https://remo-zavod.ru/index.php?route=product/product&path=146_152&product_id=780 (дата обращения: 15.03.2023).
18. URL: https://seasystems.se/wp-content/uploads/2020/09/SEAS-000_Rev.-1.7.pdf (дата обращения: 16.05.2023).
19. Прытков С. Ф. и др. Надёжность электрорадиоизделий: справочник. – М.: Издательство 22 ЦНИИ МО РФ, 2006. 641 с.

References

1. Valegura V. A., Valegura V. F. *Antenna dlya televizionnogo priema* [Antenna for television reception]. Patent № 2273080 (RF). H01Q 21/30. Published: 03.27.2006. (In Russian).
2. Khilov V. P., Khilov V. V., Goloveshko S. A., Nesterov I. A. *Radiotelevizionnaya antenna* [Radio television antenna]. Patent № 84630 (RF). H01Q 7/00. Published: 07.10.2009. (In Russian).
3. Voloshin A. I., Soldatkin A. S., Shmarov D. A. *Dipol'naya antennaya sistema s krugovoj diagramмой направленности в горизонтальной плоскости и широкополосным согласованием в DMV diapazone* [Dipole antenna system with a circular radiation pattern in the horizontal plane and broadband matching in the UHF range]. Patent № 186322 (RF). H01Q 23/00. Published: 01.16.2019. (In Russian).
4. Buyanov Yu. I., Bulbin Yu. V., Dirin V. N., Sushko V. P., Chuikov V. D. *Shirokopolosnaya antenna* [Broadband antenna]. Patent № 2111584 (RF). H01Q 9/02. Published: 05.20.1998. (In Russian).
5. Suchkov A. V., Ustinov A. V. *Nenapravlenная antenna gorizontальной polarizacii* [Omnidirectional antenna of horizontal polarization]. Patent № 2755403 (RF). H01Q 9/00. Published: 15.09.2021. (In Russian).
6. Gorshkov L. V., Dolzhenko A. A., Pavlovsky A. M. *Ramochnaya antenna* [Loop antenna]. Patent № 2380800 (RF). H01Q 7/00. Published: 01.27.2010. (In Russian).

7. Miroshnichenko A. Ya. *Malogabaritnaya aktivnaya televizionnaya antenna* [Small active TV antenna]. Patent № 2079188 (RF). H01Q 7/00. Published: 05.10.1997. (In Russian).
8. Aizenberg G. Z. *Antenny ul'trakorotkih voln* [Antennas for ultrashort waves]. Moscow. State publishing house of literature on communications and radio Publ., 1957. 700 p. (In Russian).
9. Rothammel K., Krishke A. *Antenny. Tom 1* [Antennas. V. 1]. Moscow. Danvel Publ., 2007. Pp. 397-402. (In Russian).
10. Sazonov D. M. *Antenny i ustrojstva SVCH* [Antennas and microwave devices]. Moscow. Higher school Publ., 1988. 432 p. (In Russian).
11. Gurevich A. S., Petrovsky Yu. B. *Mnogokaskadnyj usilitel' decimetrovogo diapazona voln na tranzistorah* [Multistage amplifier of the decimeter wave range on transistors]. Patent № 316177 (USSR). H03F 3/60. Published: 10.01.1971. (In Russian).
12. Lvov V. F., Belykh S. V. *Vysokochastotnyj balansnyj usilitel'* [High frequency balanced amplifier]. Patent № 2511331 (RF). H03F 3/60. Published: 04.10.2014. (In Russian).
13. Dirin V. N., Buyanov Yu. I., Vladimirov S. N. *Antenny usilitel' dlya priemnika televizionnogo signala* [Antenna amplifier for a television signal receiver]. Patent № 3661 (RF). H01Q 23/00. Published: 02.16.1997. (In Russian).
14. Kuzminov A. *Antenny usilitel' televizionnogo signala DVB-T2* [DVB-T2 television signal antenna amplifier]. Modern Electronics. 2016. No 1. Pp. 50-55. URL: <https://303421.selcdn.ru/soel-upload/iblock/1c7/20160150.pdf> (date of access: 15.03.2023). (In Russian).
15. Fedorov V. *Antenny DMV-usilitel'* [UHF antenna amplifier]. Radiomir. 2001. № 3. P. 26-27. URL: <https://anklab.ru/Press/RM/2001/03/index.html> (date of access: 15.03.2023). (In Russian).
16. Turkin N. *Shirokopolosnyj antenny usilitel' TV signalov* [Broadband antenna amplifier for TV signals]. Radio. 2000. № 4. P. 13. URL: <http://archive.radio.ru/web/2000/04/012/> (date of access: 03.15.2023). (In Russian).
17. *Naruzhnaya vsenapravlenennaya TV antenna BAS-1118 OMNI Digital* [Outdoor omnidirectional TV antenna BAS-1118 OMNI Digital]. Passport. LLC "REMO-Technologies". URL: https://remo-zavod.ru/index.php?route=product/product&path=146_152&product_id=780 (date of access: 15.03.2023). (In Russian).
18. URL: https://seasystems.se/wp-content/uploads/2020/09/SEAS-000_Rev.-1.7.pdf (accessed 16.05.2023).
19. Prytkov S.F. *Nadyozhnost' elektroradioizdelij: spravochnik* [Reliability of electro-radio products: reference book]. Moscow. Publishing house 22 Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2006. 641 p. (In Russian).

Статья поступила 10 сентября 2023 г.

Информация об авторах

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

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

Трапезников Роман Викторович – Начальник конструкторского отдела – главный конструктор АО «НИИ «Нептун». Область научных интересов: технологии конструирования техники средств связи. Тел.: +7(812)327-49-96 доб. 316. E-mail: trv@niineptun.ru.

Помазунов Сергей Александрович – Временный генеральный директор АО «НИИ «Нептун». Область научных интересов: системный анализ и требования к построению систем связи специального назначения. Тел.: +7(812)327-09-72. E-mail: psa@niineptun.ru.

Исламов Альберт Ильдарович – Заместитель генерального директора по научно-техническому развитию АО «НИИ «Нептун». Область научных интересов: системный анализ и требования к построению систем связи специального назначения. 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.

Development of an omnidirectional terrestrial television antenna maritime execution for the purpose of import substitution

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

Annotation: Introduction: Until now, imported omnidirectional antennas have been installed on sea and river ships and vessels in Russia to receive terrestrial digital television signals. Domestic antennas for television reception in the marine version are not produced. Due to the current difficult geopolitical situation, the supply of imported television antennas of marine design has become difficult and has significantly decreased. Therefore, the development of such a domestic antenna is of high relevance and is of particular interest. **The purpose of the work** is to highlight the results of designing and creating an omnidirectional television marine antenna for the purpose of import substitution. **Methods used:** patent search, simulation by carrying out calculations in the CST MICROWAVE STUDIO program (numerical simulation of high-frequency devices), development of a design for a marine all-climatic version. **Result:** it consists in the development of working design documentation for the optimal configuration of an omnidirectional terrestrial television marine antenna made of domestic materials and components, as well as in positive assessments and test conclusions of a prototype. **Practical significance:** the development and putting into mass production will solve the issue of equipping ships, ships and yachts of any class with domestic antennas for television on-air reception instead of imported analogues.

Keywords: radio, television, antenna, low-noise amplifier, radiation pattern, gain, transmission coefficient, sensitivity, signal-to-noise ratio, design.

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 Alexandrovich – Engineer 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.

Trapeznikov Roman Viktorovich – Head of the Design Department – Chief Designer of JSC "Research Institute "Neptune". Area of scientific interests: technologies for the design of communication equipment. Tel.: +7(812)327-49-96 ext. 316. E-mail: trv@niineptun.ru.

Pomazunov Sergey Alexandrovich – Interim General Director of JSC "Research Institute "Neptune". Research interests: system analysis and requirements for the construction of special-purpose communication 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". Research interests: system analysis and requirements for the construction of special-purpose communication 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.

Для цитирования:

Ильмер Д. В., Шаповалов Ф. А., Трапезников Р. В., Помазунов С. А., Исламов А. И. Разработка всенаправленной эфирной телевизионной антенны морского исполнения в целях импортозамещения // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С. 22-41. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-22-41.

For citation:

Ilmer D. V., Shapovalov F. A., Trapeznikov R. V., Pomazunov S. A., Islamov A. I. Development of an omnidirectional terrestrial television antenna maritime execution for the purpose of import substitution. Means of Communication Equipment. 2023. № 3 (163). Pp. 22-41. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-22-41. (In Russian).

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 004.72

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-42-49

Использование технологии DTN в сети связи Северного морского пути для организации гарантированного достоверного информационного обмена

Турилов В. А.

Аннотация. В статье предложен способ решения задачи обеспечения гарантированного и достоверного информационного обмена между подвижными и стационарными объектами, расположенными на побережье и в акватории Северного морского пути. **Целью** работы является формирование принципов использования технологии сетей связи, устойчивых к разрывам и задержкам, при создании интегрированной цифровой сети связи Северного морского пути. **Новизна** предложенного способа решения задачи состоит в применении технологии, разработанной для организации дальней космической связи, при создании сети связи Северного морского пути. **Результат:** в работе обоснована необходимость применения технологии сетей связи, устойчивых к разрывам и задержкам при создании сети связи Северного морского пути в условиях отсутствия надежных и устойчивых каналов связи между объектами, изложены основные особенности архитектуры сетей, устойчивых к разрывам и задержкам в приложении к сети связи Северного морского пути. **Практическая значимость:** в статье сформулированы практические задачи, которые должны быть решены для создания технической основы сети связи Северного морского пути на основе технологии сетей связи, устойчивых к разрывам и задержкам.

Ключевые слова: доставка с хранением; информационная посылка; Северный морской путь; сеть связи, устойчивая к разрывам и задержкам.

Введение

Выполнение мероприятий по развитию гидрометеорологического обеспечения судоходства и обеспечению абонентов информационными и цифровыми услугами в акватории Северного морского пути (СМП), предусмотренных Планом развития СМП на период до 2035 года, утвержденным Распоряжением Правительства Российской Федерации от 01.08.2022 № 2115-р, и направленных на решение задач управления и обеспечения безопасности судоходства по СМП [1], требует создания в Арктической зоне (АЗ) современной надежной интегрированной цифровой сети связи [2], обеспечивающей гарантированный достоверный информационный обмен между подвижными и стационарными объектами на побережье и в акватории СМП (сети связи СМП).

Создание такой сети в настоящее время сопряжено с необходимостью преодоления ряда технических трудностей, вызванных ограничениями достигнутых значений технических характеристик аппаратуры проводной и радиосвязи, построенной на основе традиционных технологий.

Обоснование необходимости применения технологии DTN при создании интегрированной сети связи Северного морского пути

Прокладка кабельных и волоконно-оптических линий связи между стационарными объектами осложняется большой протяженностью и географической сложностью побережья СМП и не решает задачу обеспечения связи между объектами, размещенными на побережье (морские порты, аэродромы, гидрометеорологические пункты наблюдения, автономные автоматические метеорологические станции и др.), и объектами в открытом море (разнородные морские суда, гидрометеорологические буи) или в воздухе (самолеты, беспилотные летательные аппараты – БПЛА).

Коротковолновая радиосвязь в Арктической зоне (АЗ) характеризуется высокой нестабильностью вследствие частых магнитных и ионосферных бурь и низкой скоростью передачи информации. Этот вид связи используется в АЗ как негарантированное средство доведения до адресатов экстренных коротких сообщений в случае отсутствия других видов связи.

Радиосвязь на средних волнах в АЗ, в том числе цифровая, сильно зависит от времени суток, имеет относительно узкий перегруженный диапазон частот, требует мощных радиопередатчиков и крупногабаритных антенно-фидерных устройств для обеспечения качественной двусторонней связи на больших расстояниях. Этот вид радиосвязи используется в АЗ на крупных энергетически оснащенных объектах, таких, как пункты управления, порты и аэродромы, надводные корабли и т. п. А на объектах типа самолетов, вертолетов, беспилотных летательных аппаратов, гидроакустических буев и т. п. средневолновая радиосвязь эффективно работает только в режиме приема.

Дальность радиосвязи в диапазоне ультракоротких волн (УКВ) (метровых – МВ, декаметровых – ДМВ, сантиметровых – СМВ волн) ограничивается зоной прямой видимости и не превышает 30-40 км при связи береговой радиостанции с объектом в открытом море и 250-275 км при связи с летательным аппаратом, находящимся в воздушном пространстве на высоте 3-4 км.

Построение протяженных многоканальных радиорелейных линий связи требует размещения радиорелейных станций на расстоянии 40-50 км друг от друга на всей протяженности побережья СМП. Более выигрышное положение для этих целей имеют тропосферные средства связи с типичным расстоянием между станциями 100-250 км. Однако, учитывая значительную протяженность побережья СМП, общее количество радиостанций и сопутствующего оборудования, обеспечивающего их работоспособность, требующееся для организации такой сети связи, будет весьма значительно. При этом данный вид связи также не решает задачу связи береговых объектов с объектами, находящимися в открытом море и в воздухе.

Спутниковая связь, организуемая космическими аппаратами (КА), находящимися на геостационарной орбите, возможна до 75° с. ш.

В высокоширотной зоне спутниковая связь может быть обеспечена только КА, двигающимися по высокоэллиптической орбите [3].

В рамках мероприятий Плана развития СМП предусмотрено создание до конца 2024 года группировки из четырех КА «Экспресс-РВ», на основе которой должна быть создана перспективная квазигеостационарная система спутниковой связи на высокоэллиптической орбите (ССС ВЭО).

Эксплуатация созданной СССР ВЭО потребует постоянного поддержания работоспособности группировки, так как срок активного существования КА на планируемой орбите составит не более 10 лет из-за регулярного прохождения КА через слои с высоким уровнем радиации.

При создании сети связи СМП с использованием СССР ВЭО также следует учитывать существенное влияние задержек прохождения радиосигналов между КА и абонентскими терминалами на работу в реальном масштабе времени традиционных протоколов связи, используемых приложениями пользователей.

Но основная сложность организации СССР ВЭО будет состоять в создании абонентских терминалов ее наземной (морской) составляющей, для которых в условиях высоких широт телесный угол сканирования луча антенн должен составлять от ± 45 до ± 60 град. (на Дальнем Востоке).

Организация взаимодействия по СССР ВЭО абонентских терминалов, расположенных на таких объектах, как пункты управления и обеспечения безопасности судоходства, обитаемые гидрометеорологические пункты наблюдения, порты и аэродромы (или вблизи них), а также крупные морские суда, может осуществляться путем подключения терминалов

по проводным и беспроводным широкополосным каналам связи к точке доступа – терминалу спутниковой связи с механически или электромеханически настраиваемой зеркальной антенной, выполняющей функцию сканирования луча.

Гораздо более сложной является задача создания абонентских терминалов спутниковой связи для таких объектов СМП, как автономные автоматические метеорологические станции, гидрометеорологические буи, самолеты, беспилотные летательные аппараты и т.п. Для этой части абонентов сети связи СМП применение обычных механически и электромеханически настраиваемых антенн практически невозможно по условиям эксплуатации. На сегодня вопрос создания антенн абонентских терминалов с электронным сканированием луча в телесном угле от 45 град. и выше остается открытым и находится в стадии активных исследований.

Таким образом, в настоящее время информационный обмен с наиболее массовой частью абонентов сети связи СМП может осуществляться только комбинацией каналов ССС ВЭО и традиционных сетей радиосвязи с учетом их ограниченности по обеспечиваемой дальности и скорости передачи информации. При этом информационный обмен с такими абонентами будет осуществляться при помощи радиосредств, установленных на воздушных судах (самолетах, беспилотных летательных аппаратах – БПЛА) или морских судах, при их вхождении в зону радиодоступа абонентов, как это представлено на рис. 1. Очевидно, что такая организация сети связи СМП будет характеризоваться наличием значительных задержек в доставке информации и перерывов между сеансами связи, однако обеспечит гарантированное, достоверное и полное ее доведение от источников до адресатов.

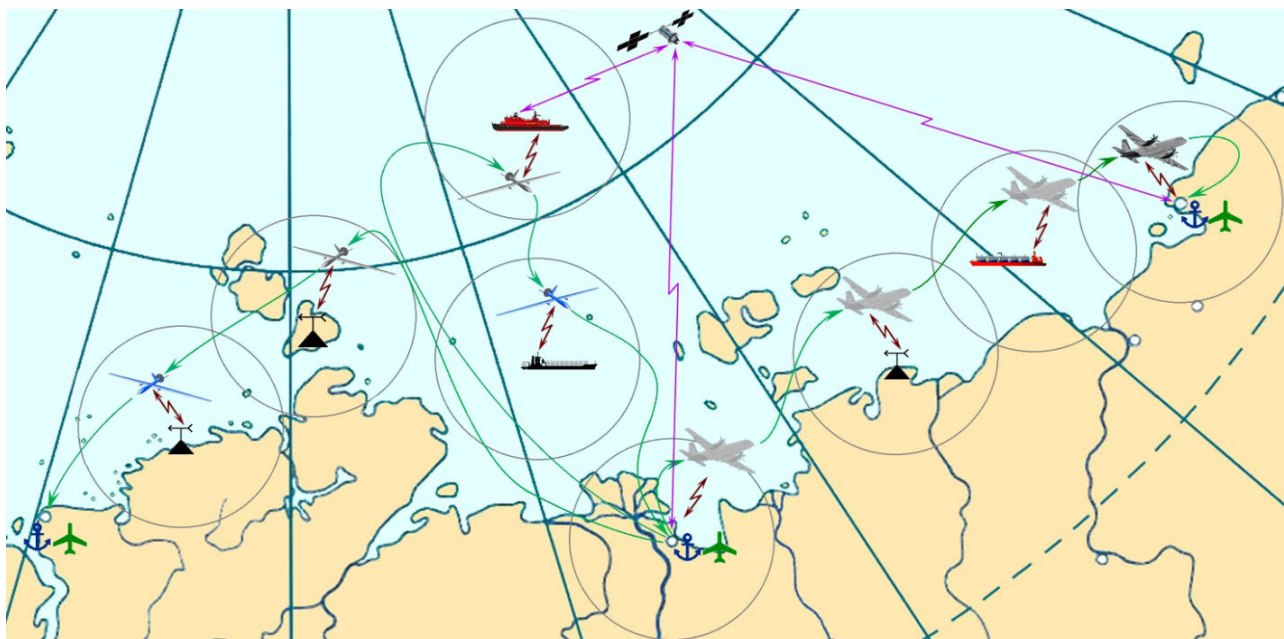


Рис. 1. Комбинация каналов ССС ВЭО и традиционных сетей УКВ радиосвязи для информационного обмена между абонентами сети связи Северного морского пути

Одним из способов обеспечения гарантированного, достоверного и полного доведения информации по сети связи от ее источника до адресата в условиях отсутствия надежных и устойчивых каналов связи из-за больших расстояний и/или высокого уровня помех является использование технологии сетей связи, устойчивых к разрывам и задержкам (*Disruption/ Delay Tolerant Network – DTN*) [4].

Главное свойство технологии *DTN*, которая представляет собой ряд специальных протоколов и алгоритмов, заключается в том, что передача информации от источника до адресата осуществляется пошагово – по цепочке узлов-ретрансляторов с памятью, называемых узлами *DTN*. При этом передача информации из узла *DTN* по радиоканалу

осуществляется только при наличии в зоне радиодоступа еще хотя бы одного узла *DTN* («контакта»). При недоступности «контакта» принимаемая информация накапливается в памяти узла *DTN* для последующей пересылки.

Очевидно, что такая организация сети радиосвязи характеризуется наличием значительных перерывов между сеансами связи и задержек в доставке информации от источника до адресата. Однако при этом технология *DTN* обеспечивает гарантированное, достоверное и полное доведение информации от источников до адресатов в условиях отсутствия надежных и устойчивых каналов радиосвязи.

Изначально, архитектура *DTN* была одобрена Международным Консультативным Комитетом по космическим системам передачи данных (*CCSDS*) для организации дальней космической связи [4]. *CCSDS* опубликован ряд документов *RFC*, описывающих как концепцию и основные принципы архитектуры *DTN* [5], так и отдельные ее элементы [6-8].

В дальнейшем исследования путей применения технологии *DTN* были продолжены в отношении создания наземных критически важных сетей связи на основе неустойчивых каналов связи. Испытания фрагмента наземной сети *DTN*, проведенные в рамках проекта по созданию «неразрушаемых сетей», выполнявшегося по заказу Агентства перспективных оборонных исследований Министерства обороны США (*DARPA*), показали, что в условиях низкой надежности и устойчивости каналов связи по сети *DTN* было успешно передано в пять раз больше информации, чем по обычной *IP*-сети [9].

Принципы использования технологии *DTN* для обеспечения гарантированного и достоверного информационного обмена в условиях отсутствия надежных и устойчивых каналов связи

Для внедрения в сети связи технологии *DTN* между классическими «Уровнем приложений» и «Транспортным уровнем» эталонной модели сети встраивают «Уровень посылок», как показано на рис. 2.

На практике это означает оснащение комплексов связи, установленных на подвижных и стационарных объектах, соответствующих узлам *DTN*, контроллерами с большим объемом памяти и специальным программным обеспечением, которые обеспечивают промежуточное хранение принятых посылок до последующей их пересылки на следующие узлы *DTN*, указанные в заголовках, когда хотя бы один канал связи станет доступным.

В соответствии с принципами *DTN*, пересылаемые по сети связи информационные массивы произвольной длины, формируемые приложениями (*Application Data Units – ADU*) [10], преобразуются в специальные блоки, называемые информационными посылками (*Bundle*) или просто посылками, которые самостоятельно пересылаются по сети связи от источника к адресату в соответствии с протоколами *Bundle Protocol (BP)* и *Licklider Transmission Protocol (LTP)* [11]. *BP* является основным протоколом информационного обмена между узлами сети *DTN*. *LTP* – протокол связи «точка-точка», обеспечивающий устойчивую связь при наличии больших задержек прохождения сигнала [4].

Как сказано выше, технология *DTN* подразумевает пошаговое прохождение посылкой маршрута в сети от узла *DTN* источника по цепочке промежуточных узлов *DTN* до узла *DTN* адресата с пошаговой же передачей ответственности за надежную доставку информации путем дополнительного подтверждения на каждом шаге.

Каждая посылка содержит следующие разделы [4]:

- заголовок, содержащий идентификаторы конечных точек произвольной длины (*Endpoint Identifiers – EID*) узла *DTN* источника, промежуточных узлов *DTN* и узла *DTN* адресата, на которых возлагается ответственность за доставку посылки;

- служебная информация, описывающая назначение, структуру, способы обработки и хранения передаваемой информации, такие, как время создания *ADU*, продолжительность актуальности посылки, вид рассылки – одноадресная, групповая или многоадресная

(широковещательная), приоритет обработки посылки, вид передаваемой информации – электронная почта, речь, видео или др., критичность к потере части информации *ADU*, смещение начала полезной информации посылки в *ADU*, объем информации из *ADU*, способ сжатия информации *ADU* и т. п. Служебные данные могут формироваться как узлом *DTN* источника, так и промежуточным узлом *DTN* и предназначены для обработки как промежуточными узлами *DTN*, так и для узлом *DTN* адресата;

– информация *ADU*, сформированная на прикладном уровне.

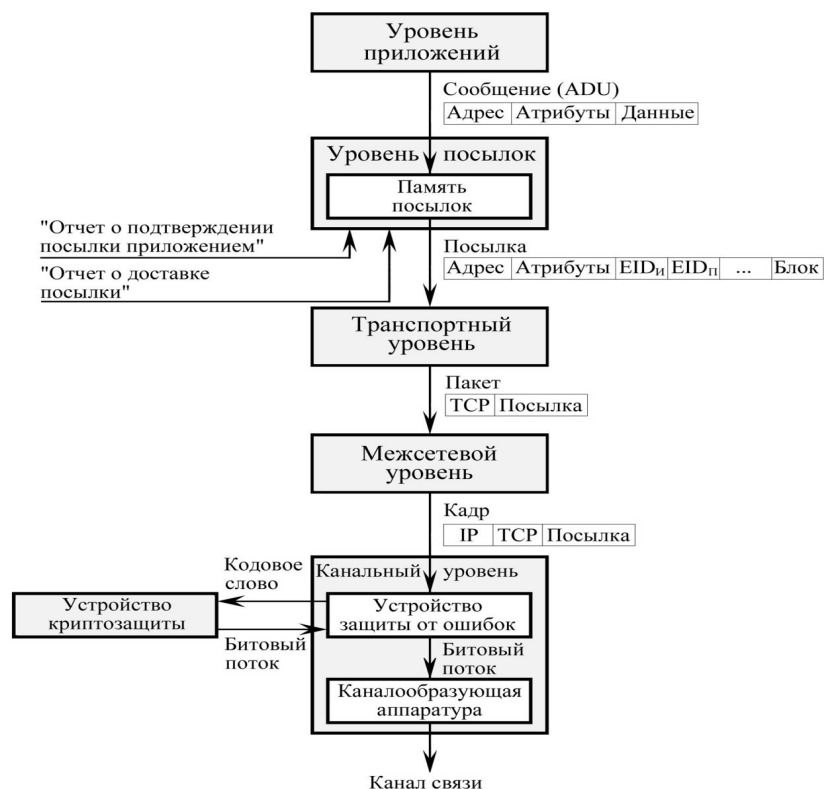


Рис. 2. Вариант эталонной модели сети с «Уровнем посылок»

Размер посылки и, соответственно, объем содержащейся в ней информации *ADU* напрямую зависят от пропускной способности каналов связи, соединяющих узлы *DTN*, и выбираются по критерию наиболее полной загрузки канала связи, не допускающей его простоев, при условии максимального сокращения количества повторных отправок посылок в случае разрыва канала связи [4].

Канал связи между двумя узлами *DTN* может содержать несколько промежуточных узлов-ретрансляторов, не обеспечивающих хранение посылок.

В случае снижения пропускной способности каналов связи до следующего узла *DTN*, обеспечивающего хранение посылок, посылки могут быть разбиты в передающем узле *DTN* на фрагменты, включающие заголовок, служебные данные и часть информации *ADU* исходной посылки. Эти фрагменты также становятся посылками, передаваемыми по каналам связи самостоятельно, и в дальнейшем также могут фрагментироваться. В узлах *DTN* посылки могут объединяться (дефрагментироваться) в случае увеличения пропускной способности канала связи до следующего узла *DTN*.

Функция фрагментации-объединения посылок служит инструментом повышения эффективности использования каналов связи. Каналы связи, соединяющие узлы *DTN* сети, называемые «контактами», делятся на несколько категорий в зависимости от предсказуемости их характеристик и необходимости каких-либо действий для их создания:

1) «Постоянные контакты» – всегда доступные каналы связи. В качестве таких контактов в сети связи СМП можно рассматривать, например, постоянное подключение

абонентских терминалов к цифровой сети связи по беспроводному широкополосному радиоканалу типа *Wi-Fi* или по проводному каналу связи *ADSL*.

2) «Контакты по запросу» требуют выполнения некоторых действий для создания соединения, но затем функционируют как постоянные контакты до тех пор, пока соединение не будет разорвано. В сети связи СМП такими контактами для абонентских терминалов можно считать каналы ССС ВЭО, подключаемые по запросу к терминалу спутниковой связи с механически или электромеханически настраиваемой зеркальной антенной. С точки зрения терминала спутниковой связи, такой контакт можно рассматривать как приспособляющийся, рассмотренный ниже.

3) «Прерывистые (запланированные) контакты» – это каналы связи, подключаемые к абонентскому терминалу в определенное время и на определенный срок. Примером запланированного контакта в сети связи СМП можно считать связь абонентского терминала автоматической метеорологической станции с аппаратурой *DTN*, установленной на борту самолетов, выполняющих регулярные авиарейсы и находящихся в зоне радиодоступа фиксированное время.

4) «Периодические (приспособляющиеся) контакты» – это незапланированные, возникающие неожиданно каналы связи. В сети связи СМП такой контакт может возникнуть, например, при внеплановом появлении в зоне радиодоступа гидрометеорологические буя воздушного судна (самолета, БПЛА) или морского судна с поддержкой технологии *DTN*. Приспособляющийся контакт длится неопределенное время – до тех пор, пока связь не будет разорвана.

5) «Прерывистые (прогнозируемые) контакты» – это каналы связи, образующиеся не в фиксированное, а в прогнозируемое (вероятное) время и имеющие прогнозируемую длительность. Прогноз строится на основе истории контактов, ранее имевших место, или какой-либо другой информации. При достаточно большой вероятности появления контакта маршруты передачи посылок могут выбираться на основе этой информации. Эта категория контактов в настоящее время активно исследуется [12].

Существенным отличием сетей *DTN* от других типов сетей связи является то, что в узлах *DTN* длительность промежуточного хранения посылок не ограничена временем ожидания готовности приемника, по истечении которого происходит отказ от передачи сообщения, а определяется временем актуальности всего *ADU* и/или посылки, устанавливаемым узлом *DTN* источника. То есть, посылка хранится в узле *DTN* до момента завершения ее доставки по ставшему доступным «контакту» на следующий узел *DTN* или удаляется в случае истечения срока актуальности (а может и не удаляться – в соответствии с принятой политикой сети *DTN*).

Посылки, доставленные в узел *DTN* адресата, собираются в исходный информационный массив *ADU* и передаются для обработки приложению адресата. Посылки в узел *DTN* адресата могут поступать в произвольном порядке, безотносительно к порядку их следования в исходном *ADU*. Время прохождения каждой посылки по сети *DTN* зависит от длины пройденного ею маршрута и наличия разрывов и задержек на этом маршруте.

Выводы

Представленное выше краткое описание принципов использования технологии *DTN* при создании сети связи СМП, обеспечивающей гарантированное, достоверное и полное доведение информации от источника до адресата, позволяет сформулировать основные задачи, которые должны быть решены для создания технической основы такой сети связи:

1). Для абонентских терминалов пользователей должно быть разработано специальное программное обеспечение уровня посылок эталонной модели сети, обеспечивающее взаимодействие с программными приложениями и программным обеспечением транспортного уровня, и передачу посылок по сетям радио и спутниковой связи в соответствии с протоколами *LTP* и *BP*.

2). Для необслуживаемых абонентских терминалов должна быть разработана радиоэлектронная аппаратура в наземном (морском) и бортовом (авиационном) исполнении, обеспечивающая прием, хранение и передачу посылок по сетям радио и спутниковой связи в соответствии с протоколами *LTP* и *BP*, реализующая уровень посылок эталонной модели сети.

Литература

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 1 августа 2022 г. № 2115-р. 57 с.
2. Николашин Ю. Л., Кулешов И. А., Солозобов С. А., Шевченко В. В. Проблемы создания современной телекоммуникационной инфраструктуры в Арктической зоне // Интегрированные системы управления: сб. науч. тр., часть 2 / под ред. Э. Д. Павлыгина. Ульяновск: ФНПЦ АО «НПО «Марс». 2016. С. 125-136.
3. Кулешов И. А., Солозобов С. А., Махортов Ю. Ф., Шевченко В. В. Анализ опыта строительства тропосферных радиолиний и предложения по созданию сети тропосферной радиосвязи в Арктической зоне Российской Федерации // Техника средств связи. 2019. № 1 (145). С. 36-40.
4. Соколов Н. Л., Антонов И. Д., Зеленев Д. А., Глазков А. В., Титов А. Н. Основные принципы создания космической информационной сети, устойчивой к разрывам и задержкам в каналах связи // Лесной вестник. 2015. № 3. С. 137-144.
5. RFC 4838. Delay-Tolerant Networking Architecture. Cerf V., Burleigh S., Durst R., Fall K., Hooke A., Scott K., Torgerson L., Weiss H. IETF Trust, April 2007. 35 p.
6. RFC 5050. Bundle Protocol Specification. Scott K., Burleigh S. IETF Trust, November 2007. 50 p.
7. RFC 5325. Licklider Transmission Protocol – Motivation. Burleigh S., Ramadas M., Farrel S. IETF Trust, September 2008. 23 p.
8. RFC 5326. Licklider Transmission Protocol – Specification. Ramadas M., Burleigh S., Farrel S. IETF Trust, September 2008. 54 p.
9. Кокс Д. Сеть военного времени // Computerworld Россия. Новости. 01.09.2008. URL: <https://www.osp.ru/news/articles/2008/35/5359083> (дата обращения: 02.10.2023).
10. Clark D., Tennenhouse D. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols. SIGCOMM Symposium on Communication, Architectures and Protocols. Philadelphia, Pennsylvania. Computer Communication Review, IEEE, vol. 20(4), September 1990. Pp. 200-208.
11. Xian Y., Huang C., Cobb J. Look-Ahead Routing and Message Scheduling in Delay-Tolerant Networks. Proceedings of 35th IEEE Conference on Local Computer Networks. Denver, Colorado. October 2010. Pp. 40-47.
12. Leguay J., Friedman T., Conan V. DTN Routing in a Mobility Pattern Space. Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networks. New York, USA, 2005. Pp. 276-283.

References

1. Decree of the Russian Federation Government of August 1, 2022. No. 2115-p. 57 p. (in Russian).
2. Nikolashin Y. L., Kuleshov I. A., Solozobov S. A., Shevchenko V. V. *Problemy sozdaniya sovremennoj telekommunikacionnoj infrastruktury v Arkticheskoy zone* [Problems of modern telecommunication infrastructure in the Arctic zone creation]. *Integrirovannyye sistemy upravleniya: sb. nauch. tr., chast' 2* [Integrated control systems: collection of scientific works, part 2]. Ulyanovsk: FNPC JSC "NPO "Mars", 2016. Pp. 125-136 (in Russian).
3. Kuleshov I. A., Solozobov S. A., Makhortov Yu. F., Shevchenko V. V. Analysis of the tropospheric radio lines construction experience and proposals for the creation of a tropospheric radio communication network in the Russian Federation Arctic zone. Means of communication equipment. 2019. № 1 (145). Pp. 36-40 (in Russian).
4. Sokolov N. L., Antonov I. D., Zelenov D. A., Glazkov A. V., Titov A. N. *Osnovnyye principy sozdaniya kosmicheskoy informacionnoj seti, ustojchivoj k razryvam i zaderzhkam v kanalah svyazi* [Basic principles of creating a space information disruption and delay tolerant in communication channels networking]. *Lesnoj vestnik* [Forest Bulletin]. 2015. № 3. Pp. 137-144 (in Russian).
5. RFC 4838. Delay-Tolerant Networking Architecture. Cerf V., Burleigh S., Durst R., Fall K., Hooke A., Scott K., Torgerson L., Weiss H. IETF Trust, April 2007. 35 p.
6. RFC 5050. Bundle Protocol Specification. Scott K., Burleigh S. IETF Trust, November 2007. 50 p.
7. RFC 5325. Licklider Transmission Protocol – Motivation. Burleigh S., Ramadas M., Farrel S. IETF Trust, September 2008. 23 p.

8. RFC 5326. Licklider Transmission Protocol – Specification. Ramadas M., Burleigh S., Farrel S. IETF Trust, September 2008. 54 p.
9. Cox D. Wartime Network. Computerworld Russia. News. 01.09.2008. URL: <https://www.osp.ru/news/articles/2008/35/5359083> (date of access: 02.10.2023) (in Russian).
10. Clark D., Tennenhouse D. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols. SIGCOMM Symposium on Communication, Architectures and Protocols. Philadelphia, Pennsylvania. Computer Communication Review, IEEE, vol. 20(4). September 1990. Pp. 200-208.
11. Xian Y., Huang C., Cobb J. Look-Ahead Routing and Message Scheduling in Delay-Tolerant Networks. Proceedings of 35th IEEE Conference on Local Computer Networks. Denver, Colorado. October 2010. Pp. 40-47.
12. Leguay J., Friedman T., Conan V. DTN Routing in a Mobility Pattern Space. Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networks. New York, USA. 2005. Pp. 276-283.

Статья поступила 10 октября 2023 г.

Информация об авторе

Турилов Валерий Александрович – кандидат технических наук, доцент. Главный научный сотрудник, АО «Калужский научно-исследовательский институт телемеханических устройств (АО «КНИИТМУ»)). Область научных интересов: теория и практические методы создания аппаратуры, комплексов и систем связи и обработки информации. Тел.: +7-910-911-59-41. E-mail: turilov_va@mail.ru. Адрес: 248000, Россия, г. Калуга, ул. К. Маркса, д. 4.

The use of DTN technology in the Northern Sea Route communication network for the guaranteed reliable information exchange organization

V. A. Turilov

***Annotation.** The article proposes a method for solving the problem of ensuring guaranteed reliable information exchange between mobile and stationary objects located on the coast and in the waters of the Northern Sea Route. The aim of the work is to form the principles of Disruption/ Delay Tolerant Networking technology using when creating an integrated digital communication network of the Northern Sea Route. The proposed method of solving the problem novelty consists in the application of developed for the organization of deep space communications technology, when creating a communication network of the Northern Sea Route. The paper substantiates the need to use Delay Tolerant Networking technology when creating a Northern Sea Route communication network in the absence of continuous and stable communication channels between objects, outlines the main features of the Delay Tolerant Networking networks architecture in the appendix to the Northern Sea Route communication network. The article formulates practical tasks that must be solved in order to create the technical basis of the Northern Sea Route communication network based on Delay Tolerant Networking technology.*

Keywords: Northern Sea Route; Disruption/ Delay Tolerant Network; Custody Transfer; bundle

Information about Authors

Turilov Valery Aleksandrovich – PhD, associate professor. Chief researcher, JSC «Kaluga research institute of telemechanical devices» (JSC “KNIITMU”). Field of research: theory and practical methods for creating communication and information processing apparatuses, complexes and systems. Tel.: +7-910-911-59-41. E-mail: turilov_va@mail.ru. Address: 248000, Russia, Kaluga, K. Marks St., 4.

Для цитирования:

Турилов В. А. Использование технологии DTN в сети связи Северного морского пути для организации гарантированного достоверного информационного обмена // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С 42-49. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-42-49.

For citation:

Turilov V. A. The use of DTN technology in the Northern Sea Route communication network for the guaranteed reliable information exchange organization. Means of Communication Equipment. 2023. № 3 (163). Pp. 42-49. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-42-49. (In Russian).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 303.732: 637.072

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-50-66

Булеональная иерархия качества метода анализа сложных систем

Севастьянов С. И.

Аннотация. Дан общий анализ иерархий альтернатив (свойств, целей, качества), применяемых в методах анализа и оценки сложных систем, на предмет возможности работы с большими размерностями данных. Разработана булеональная иерархия качества сложных систем для проведения иерархической декомпозиции данных неограниченной размерности и их ранжирования. Результаты применения данной иерархии предлагается использовать в качестве формализованных исходных данных в расчетах оценок сложных систем с помощью разработанного обобщенного показателя качества (технического уровня, эффективности) сложных систем. Предлагаемый обобщенный показатель характеризуется комплексным применением коэффициентов весомости, значимости, veto и относительных оценок показателей, которые разбиваются на существенные и несущественные показатели в соответствующие группы важности показателей (булеональные группы). Приведены основные элементы метода анализа сложных систем, представляющего собой развитие простейших методов средневзвешенных оценок качества. Особенности метода выражаются в возможности работы с неограниченной размерностью данных; в применении булеональной иерархии качества и обобщенного показателя качества сложных систем; в способах группирования исходных данных (показателей) в существенные и несущественные группы важности, а также возможности проведения оценок на всех стадиях жизненного цикла систем (объектов, изделий). **Целью работы** является повышение эффективности управления качеством сложных систем в задачах их оценки и выбора наилучшего варианта управленческого решения. **Новизна:** это основные элементы разработанного метода анализа сложных систем, который предлагается применять в работе с большими размерностями данных. Так, разработана обобщенная булеональная иерархия качества (анализа) сложных систем (объектов). Особенностью её применения является способ декомпозиции показателей (данных) систем на существенные и несущественные показатели. Предлагаемый способ позволяет путём абстрагирования показателей систем от их принадлежности различным классификационным группам, закрепленным в соответствующих государственных стандартах, методических указаниях и рекомендациях, разбивать в универсальные (булеональные) существенные и несущественную группы важности показателей. Что производится экспертными методами путём определения принадлежности/непринадлежности каждого показателя системы к одной из булеональной группы важности. Также приведены разработанные модели разбиения на существенные и несущественные свойства (критерии) надсистемы и показатели качества системы и обобщенный показатель технического уровня. **Результат:** предложения по совершенствованию методического аппарата анализа, оценки и выбора сложных систем (объектов), характеризуемых большим количеством показателей качества (технического уровня), с учетом качественной и количественной взаимосвязи показателей системы (объекта) с системными свойствами надсистемы (критериями субъекта). Приводятся примеры применения булеональной иерархии качества метода анализа сложных систем и сопоставления методов расстановки приоритетов, анализа сложных систем и иерархий в условной частной задаче оценки технического уровня комплекса средств автоматизации системы обмена данными. **Практическая значимость** заключается в разработке жизнеспособных операций анализа и оценки систем (объектов) методом анализа сложных систем, позволяющего получать достоверные оценки сопоставляемых систем без ограничений на количество учитываемых данных. Алгоритмы метода анализа сложных систем достаточно просты и могут найти свое применение в программах искусственного интеллекта в задачах анализа и оценки сложных систем на всех стадиях жизненного цикла, в различных аспектах исследования систем и условиях их применения. Также основные положения и принципы метода могут найти своё применение в части совершенствования нормативной базы в области оценки качества сложных систем.

Ключевые слова: булеональная иерархия качества, обобщенный показатель качества, технического уровня, метод анализа сложных систем, большие размерности данных.

Введение

Проблема анализа сложных систем, характеризующихся большими совокупностями данных их оценки: свойств, критериев, показателей и параметров, – остается актуальной, а при учёте в задачах оценки систем неограниченных объёмов исходных данных – не разрешимой. В настоящее время существует множество методов, подходов к разрешению обозначенной проблемы [1-7], но все они наталкиваются на один и тот же камень преткновения, на так называемую в 1961 году Ричардом Беллманом проблему – «проклятие размерности». Одним из путей разрешения этой проблемы является разработка и применение предлагаемого в статье метода анализа сложных систем (МАСС), который основывается на методологии, на основных принципах, изложенных в работе [8]. Это принципы:

- системности;
- технико-экономического анализа и оценки;
- определяющего показателя;
- требований надсистемы;
- иерархии критериев;
- комплексного подхода;
- универсальности оценки;
- значимости и ранжирования показателей;
- чувствительности обобщенного показателя;
- минимизации экспертных оценок.

Метод анализа сложных систем, предназначенный для решения сложных слабо формализуемых проблем с учетом неограниченной размерности данных, включает в себя ряд апробированных процедур различных методов оценки и анализа систем, позволяющих осуществлять все основные этапы их оценивания. При этом в разных операциях оценки могут быть задействованы методы анализа иерархий, аналогов, расстановки приоритетов, качественной экспертной и количественной экспертной оценок, ранжирования, нечётких множеств, методы квалиметрии, а именно, комплексный и смешанный метод оценки качества и технического уровня продукции [1, 2, 4-8, 9-11]. Комплексное гибкое применение соответствующих методов для решения каждой конкретной проблемы оценивания сложных систем существенным образом повышает качество проводимых оценок.

В тоже время МАСС вносит свою новизну, предлагает новый подход формализованного описания сложных систем, применяя булеональную иерархию качества сложных систем, абстрагированный приём разбиения показателей разных классификационных групп на существенные и несущественные, распределяя их в существенные и несущественные группы важности показателей в каждой конкретной задаче оценки системы и на всех стадиях её жизненного цикла. В МАСС разработан алгоритм оценки сложных систем, а также обобщенный показатель технического уровня (ОПТУ), характеризующийся комплексным применением коэффициентов весомости, значимости, вето и относительных оценок показателей, разбитых на существенные и несущественные показатели в соответствующие группы важности (булеональные группы). Метод анализа сложных систем представляет собой развитие простейших методов средневзвешенных оценок качества.

Для сложных технических систем (комплексов и систем связи), рассматриваемых в качестве объектов исследования, их надсистемы (системы управления, взаимодействующие надсистемы) рассматриваются в статье в качестве субъектов, характеризующиеся системными критериями (свойствами). В большинстве работ, основанных на различных подходах к построению иерархических структур анализа и оценки качества (технического уровня),

недостаточно разработан методический аппарат, учитывающий большое количество показателей качества, технического уровня объекта оценки [12] во взаимосвязи с системными свойствами субъекта.

Подходы к построению иерархических структур оценки качества

Изначально, исторически для оценки качества продукции (систем, объектов) предлагался следующий подход [1], иллюстрируемый на рис. 1.

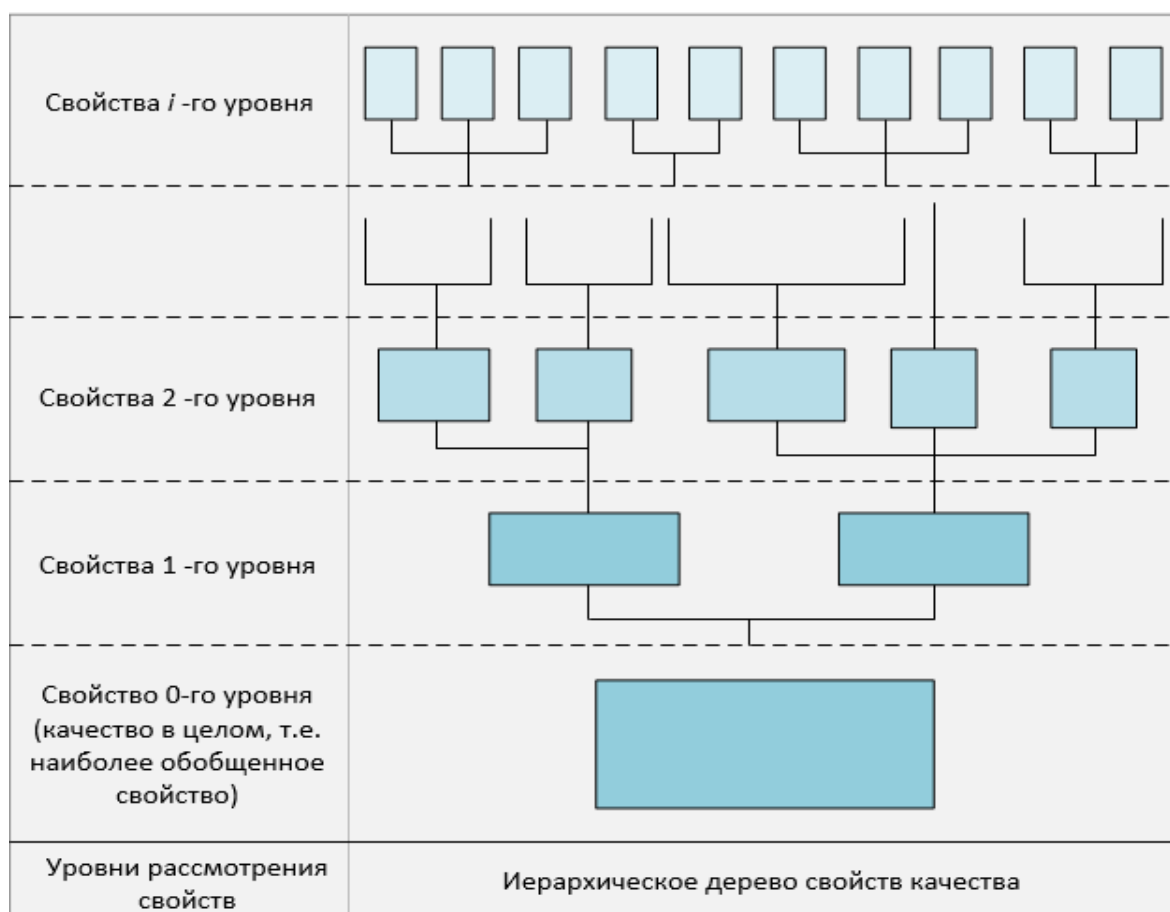


Рис. 1. Иерархическое дерево свойств качества. Методы квалиметрии (1971 г.)

К *недостаткам* данной иерархической структуры, как модели представления качества в виде свойств (данных) от нулевого до i - уровня относятся:

- громоздкость данной модели и достаточно сложные логические связи;
- сложная внутренняя взаимосвязь свойств;
- трудность восприятия и применения обычным пользователем;
- конфигурация структуры свойств задается на этапе моделирования и после перехода к практической реализации уже не может быть изменена без существенных затрат.

В дальнейшем, для улучшения восприятия и применения обычным пользователем, данное иерархическое дерево свойств качества «перевернули» корнем вверх (качество), а вниз пошли «стволы дерева», «ветви дерева», «листья дерева». На рис. 2 иллюстрируется известный пример одной из задач по повышению уровня качества продукции.

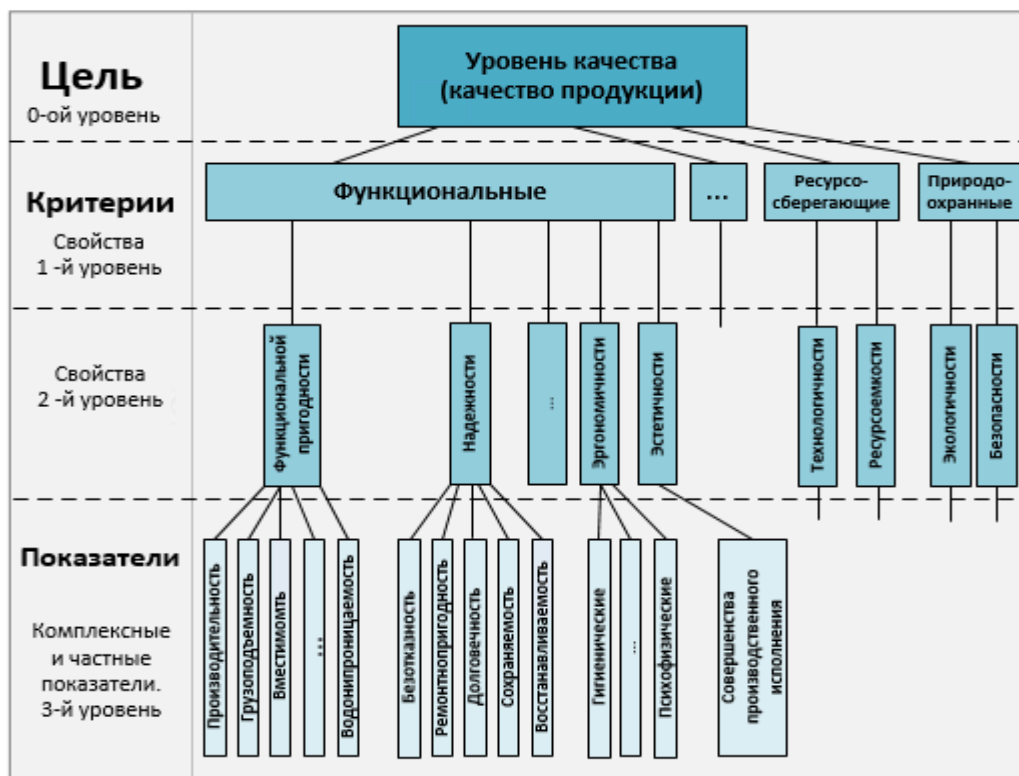


Рис. 2. Иерархическое дерево качества по принципу «один к группе»

Данная иерархия качества объекта также относится к иерархическому дереву качества, так как между двумя любыми его вершинами существует единственный путь. Деревья не содержат циклов и петель. В широкой литературе известно, что в таких иерархических структурах («деревьях»):

- установлены отношения подчиненности;
- между двумя вершинами существует единственный путь;
- главная вершина – корень дерева;
- вершины, которые не имеют порожденных вершин – листья (концевые).

Данное иерархическое дерево качества повторяет недостатки, перечисленные к иерархической структуре, показанной на рис. 1.

Для решения различного рода задач также применяются следующие иерархические структуры, иллюстрируемые на рис. 3 и рис. 4.

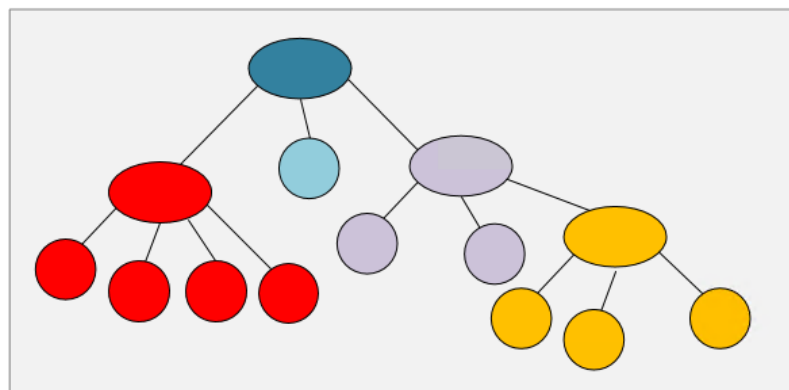


Рис. 3. Структура организации данных. Иерархические базы данных в виде дерева

Иерархические базы данных в виде дерева, иерархические модели данных широко используются в таких областях, как управление проектами, учет и управление инвентаризацией, системы управления ресурсами предприятия, управление информацией и документами, системы проектирования и многое другое.

Основными преимуществами являются простота, возможность описания структуры данных как на логическом, так и на физическом уровне.

Недостатки:

- отсутствие универсальности;
- многие важные варианты взаимосвязи данных невозможно реализовать средствами иерархической модели, или реализация связана с повышением избыточности в базе данных;
- допустимость только навигационного принципа доступа к данным;
- невозможность реализации принципа «многие ко многим»;
- доступ к данным производится только через корневое отношение.

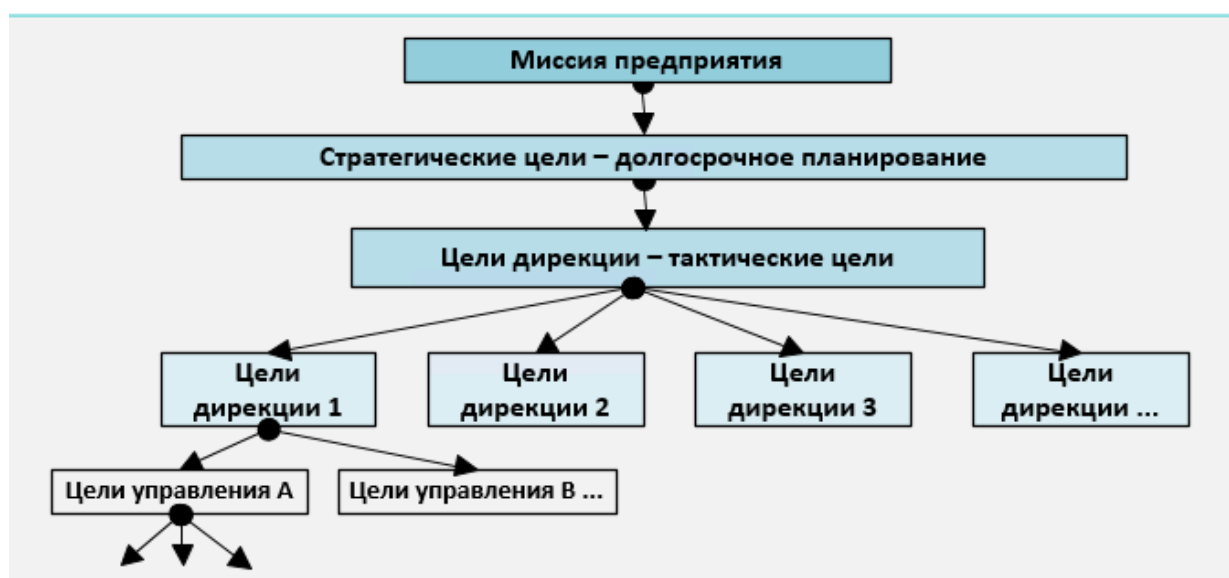


Рис. 4. Иерархия целей

На рис. 4 приведена *иерархия целей*, как методическая модель. Она применяется при исследовании вопросов совершенствования организационных систем, управлении бизнесом, планировании проектов, развитии личности и принятии решений.

Основными *преимуществами* являются:

- наглядность;
- логичность – есть понимание как достигать поставленные цели;
- лаконичность – одна проблема равна одному дереву целей;
- последовательность выполнения этапов.

Основными *недостатками* иерархической структуры «Иерархия целей» являются:

- отсутствие горизонтальных связей и обратной связи;
- сложность определения важности каждой цели, возникают ситуации, когда из-за нехватки ресурсов требуется жертвовать некоторыми целями.

Анализ научно-технической литературы в части развития методического аппарата, позволяющего производить оценку качества, технического уровня, эффективности систем (объектов) на всех стадиях их жизненного цикла показывает, что наибольшее применение обрели (нашли) методы среднего взвешенного и анализа иерархий [11], а также не без внимания остается метод расстановки приоритетов [4].

Метод анализа иерархий (МАИ) используется для принятия управленческих решений в рамках системного подхода, избранного в отношении сложных проблемных ситуаций путем применения определенного набора соответствующих приёмов и способов, включающие парные сравнения. Метод анализа иерархий ориентирован на нечеткие оценки, что более просто для экспертов, чем точные количественные оценки [11]. Общее число сравнений M для группы из m объектов (показателей) при однократном попарном сравнении составляет: $M = m(m-1)/2$.

Метод расстановки приоритетов (МРП) используется для оценки и выбора наилучшего варианта управленческого решения. Его применение предполагает попарное сравнение вариантов решения проблемы по определенным критериям. МРП применяет метод парного сравнения, представляющего собой инструмент выбора одного варианта из нескольких. Возможны различные варианты проведения экспертизы с помощью парных сравнений. Можно заранее сгруппировать пары объектов и предложить эксперту указать более предпочтительный в каждой паре, проводить сравнение путем построения графов «графа превосходства» или «турнира», а также проводить сопоставление объектов, используя матрицу парных сравнений [4]. Необходимым условием является сравнимость объектов между собой по определенному признаку. Общее число сравнений M для группы из m объектов (показателей) при однократном попарном сравнении также составляет: $M = m(m-1)/2$ [4].

Для задач оценки объектов с малой и средней выборкой данных оценивания, определяемой по критерию размерности множеств альтернатив в экспертных оценках, проводимых методом парных сравнений, методы анализа иерархий и расстановки приоритетов апробированы и применимы. В задачах с большими выборками данных оценивания МАИ и МРП, как правило, не применяются.

В большинстве существующих методов недостаточно проработан важный этап предварительного выбора исходных данных – формализация и количественное ранжирование исходных данных оценки качества сложных систем (объектов, проблем) в иерархической структуре [12-15]: «цель исследования системы (объекта) – требования надсистемы (критерии субъекта) – показатели системы (альтернативы объекта)».

Особенности метода анализа сложных систем

Системная особенность метода анализа сложных систем заложена в иерархической структуре оценки качества, а именно: в применении *булеональной иерархии качества сложных систем*. Данное название происходит от слова *булеан* – математическое множество всех подмножеств данного множества.

Если методы анализа иерархий и расстановки приоритетов работают в трехуровневой иерархической структуре анализа объектов обобщенного вида: *цель объекта, критерии объекта, альтернативы (сравниваемые объекты)*, то метод анализа сложных систем добавляет свойства субъекта и применяет следующую иерархическую структуру анализа объектов:

1) *Цель анализа (предмет исследований) системы (объекта исследования)*.

2) *Критерии надсистемы (субъекта выбранного объекта исследований)*, выраженные, в зависимости от поставленной задачи, в требованиях (свойствах) надсистемы (технический аспект), либо в предпочтениях условного заказчика-субъекта (социальный, социотехнический аспекты). Принцип *требований надсистемы* [8].

3) *Показатели системы*, выбранного объекта исследования.

В отличие от МАИ и МРП в иерархической структуре анализа объектов МАСС учтены взаимосвязи показателей объекта со свойствами субъекта.

Метод анализа сложных систем основан на главной особенности общей теории систем *в подходе к объектам исследования как к системам*. Он включает в себя системный анализ как методологию общей теории систем, заключающейся в исследовании любых объектов посредством представления их в качестве систем, проведения их структуризации и последующего анализа. Особенностью МАСС является подход к объектам исследования, как к системам, являющимся частью надсистемы (субъекта), имеющим свои подцели и функционирующим для достижения общей цели надсистемы.

В статье приводится сопоставление, обобщенный анализ методов, ориентированных на нечеткие оценки в задачах оценки объектов с применением соответствующих иерархических структур, на основе: рис. 5 и рис. 6 (метод анализа сложных систем); рис. 7 и рис. 8 (метод анализа иерархий); рис. 9 и рис. 10 (метод расстановки приоритетов). При этом рис. 5, 7, 9 – обобщенные иерархические структуры перечисленных методов, рис. 6, 8, 10 – иерархические структуры тех же методов применительно к частной (условной для статьи) задаче – оценки технического уровня (ТУ) и выбора, наилучшего комплекса средств автоматизации (КСА) системы обмена данными из трех условных КСА.

На рис. 5 приведена булеональная иерархия сложных систем по принципу «один – к одному подмножеству булеана».

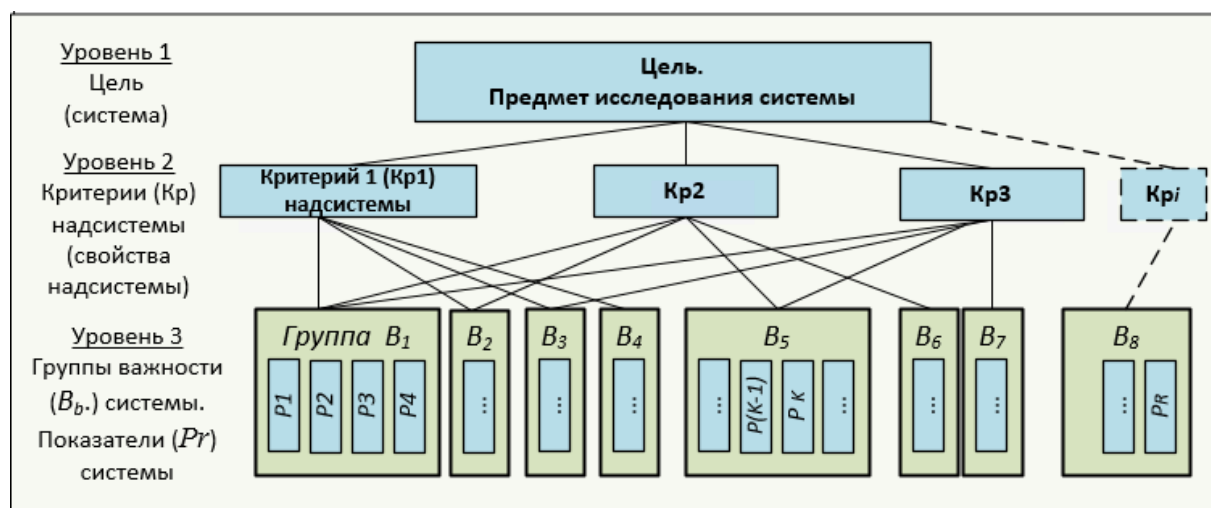


Рис. 5. Булеональная иерархия сложных систем. Метод анализа сложных систем (2003 г.)

В булеональной иерархии МАСС выполняется принцип «каждый показатель системы принадлежит одному из подмножеств булеана множества критериев (свойств) надсистемы» или «один – к подмножеству булеана».

На рис. 6 булеан для трех свойств системы связи (устойчивость, боевая готовность, пропускная способность) состоит из восьми подмножеств (групп важности показателей КСА).

В МАСС применяются: нечеткие оценки; большое (неограниченное) количество показателей КСА; устанавливается качественная и количественная, в том числе обратная взаимосвязь свойств надсистемы (системы связи) и показателей КСА. Для вычисления обобщенного показателя технического уровня используются методы решения многокритериальных задач. Показатели системы определяются: по типовым формулам (например, коэффициент готовности); путем нормирования показателей относительно их минимальных и максимальных значений; как отношение реального значения показателя к базовому (к требуемому либо максимально или минимально возможному); экспертным путем по соответствующей шкале и приводятся к значениям от 0 до 1 [11]. Выбор КСА, из трёх условных КСА, осуществляется лицом принимающим решение (ЛПР) по результатам их оценок с помощью обобщенного показателя технического уровня.

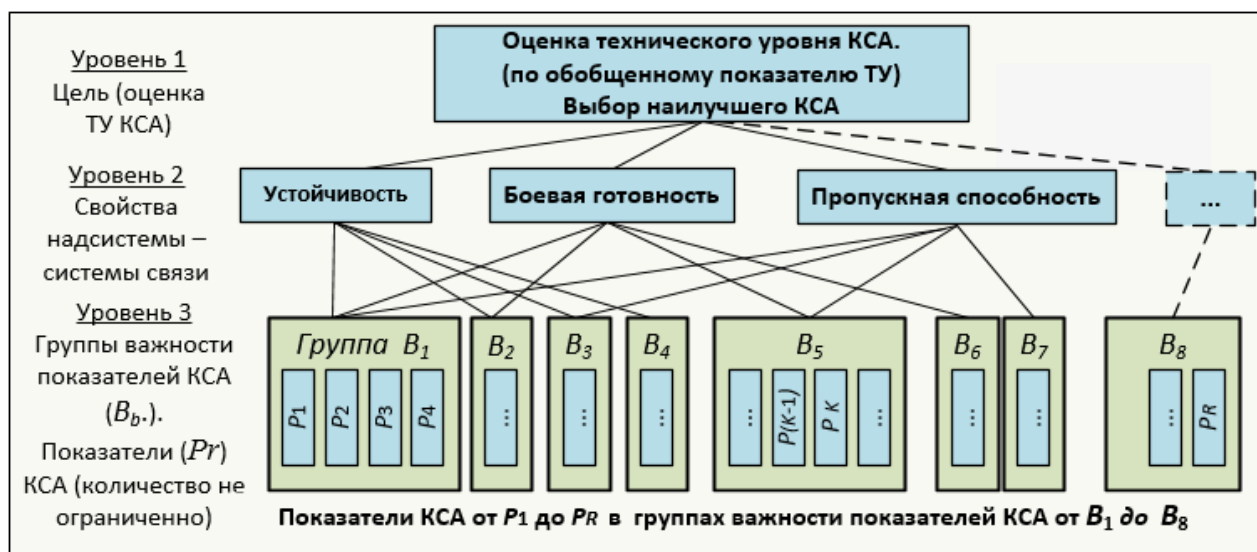


Рис. 6. Булеональная иерархия сложных систем. Метод анализа сложных систем. Оценка технического уровня КСА

В данной структуре результаты полученных значений всех показателей КСА и их свертка в обобщенный показатель технического уровня КСА производится с учетом требований надсистемы, вклада каждого показателя в свойства системы связи.

Данный метод имеет возможность работы с большим, средним и малым количеством (конечные множества) привлекаемых показателей, технических характеристик [12-13]. Разбиение показателей на данные конечные множества осуществляется по критерию размерности, разработанному в работе [14].

На рис. 7 приведена полная иерархия метода анализа иерархий по принципу «каждый с каждым».

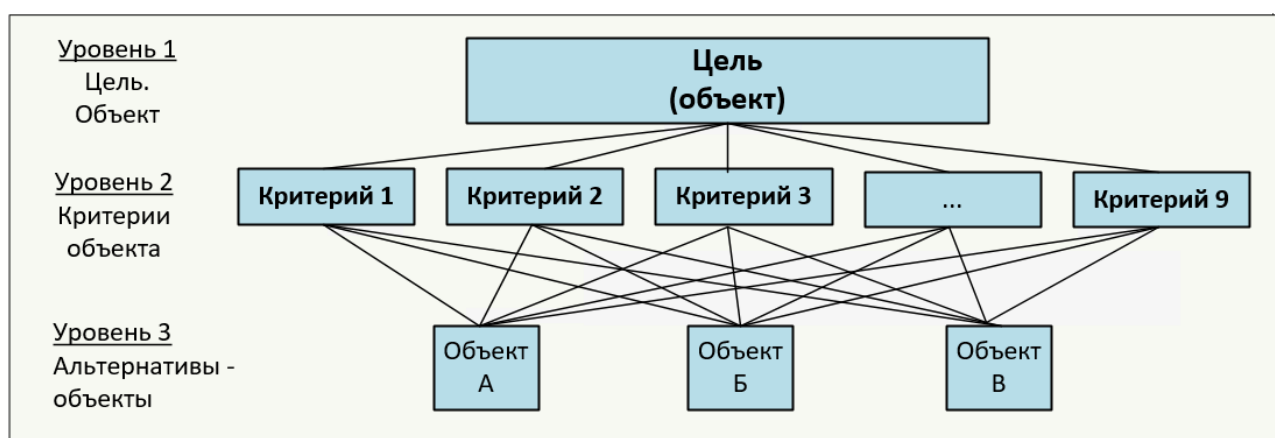


Рис. 7. Обобщенная полная иерархия. Метод анализа иерархий (1970 г.)

В полной иерархии МАИ осуществляется принцип «каждый с каждым». Каждый показатель (критерий объекта) объекта экспертами сравнивается (сопоставляется) с каждым показателем объекта. В этой иерархии нет места для системного учета свойств субъекта.

В МАИ применяются нечеткие оценки [9], количество показателей объекта в блоке, группе ограничено (не более 9), отсутствует взаимосвязь ряда свойств надсистемы (субъекта, предпочтений заказчика) и показателей объекта. В отдельных задачах МАИ цель

может выступать свойством надсистемы (предпочтением заказчика) [9]. В некоторых задачах происходит смешивание свойств (предпочтений заказчика) и показателей объекта [9], что не решает задачи установления системной взаимосвязи критериев объекта (показателей) и ряда предпочтений заказчика (свойств надсистемы). Выбор КСА (КСА-1, КСА-2, КСА-3) осуществляется как результат оценки взаимовлияний между собой критериев (показателей) на альтернативы (КСА). Основная идея МАИ заключается в том, что где бы ни была проявлена взаимозависимость, каждый критерий становится целью, и все критерии сравниваются в соответствии с их вкладом в эти критерии [9].

Недостатками являются: отсутствие взаимозависимости со свойствами надсистемы, ограниченное количество критериев – не более 9.

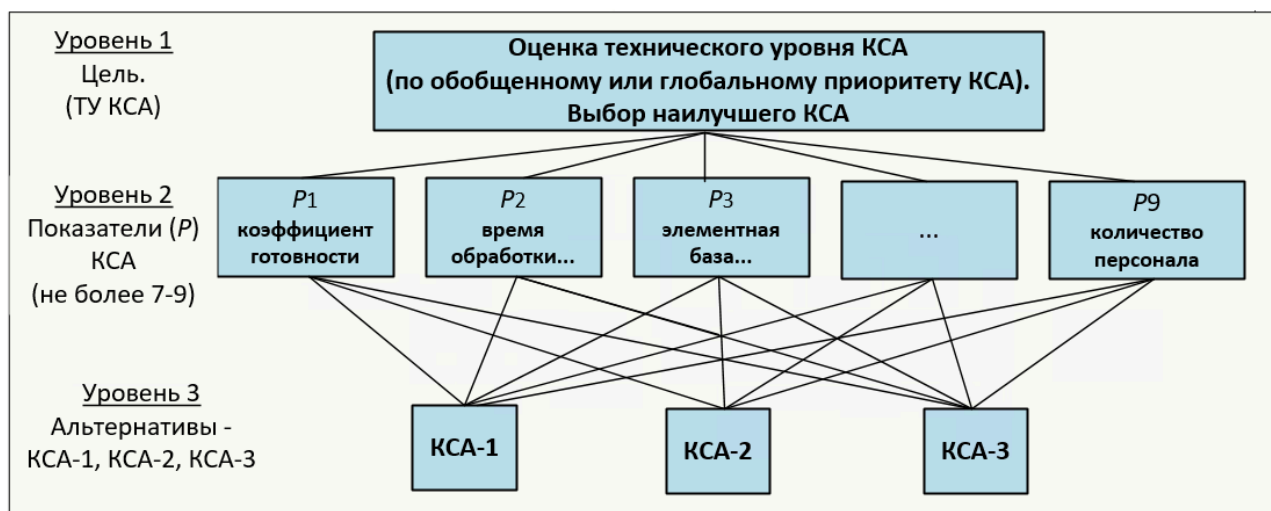


Рис. 8. Обобщенная полная иерархия. Метод анализа иерархий. Оценка технического уровня КСА

В условной задаче оценки технического уровня КСА (рис. 8), применяя метод анализа иерархий, на 1 уровне обозначена цель: выбрать наилучший из трех КСА, сравнив их обобщенные или глобальные приоритеты, по сути сравнив их оценки технического уровня. На 2-ом уровне требуется построение матрицы попарных сравнений размерностью 9×9 (по количеству показателей ($P_1 - P_9$) – не более 9), и проведение соответствующих МАИ процедур с вопросом к экспертам: который из двух сравниваемых показателей более влияет на повышение технического уровня КСА. Далее рассчитываются векторы приоритетов (количественные значения) каждого показателя, по сути весомость показателя по отношению к техническому уровню. На третьем уровне в данной иерархии учитываются КСА, технический уровень которых необходимо сравнить и выбрать наилучший КСА. Для этого на третьем уровне требуется построение девяти (по количеству показателей) матриц попарных сравнений размерностью 3×3 (по количеству КСА). Также требуется проведение соответствующих МАИ процедур с вопросом к экспертам: какой из сравниваемых КСА более желателен (наилучший для выбора) по отношению, например к показателю 1 (критерию). И так для всех показателей от 1 до 9 в девяти матрицах. Далее рассчитываются векторы приоритетов (количественные значения) каждого КСА по отношению к каждому показателю. В конце путем перемножения векторов приоритетов (матрицы 9×9 и девяти матриц 3×3) производятся расчеты обобщенных или глобальных приоритетов каждого КСА (по сути оценок ТУ каждого КСА по ОПТУ).

Основные *недостатки* сравнительно с методом анализа сложных систем: невозможность работы с большими размерностями данных оценивания; большое количество экспертных сравнений (процедур) и расчетов в матрицах попарных сравнений; нет обратной

связи и нет взаимосвязи показателей КСА с существенными свойствами системы связи (свойствами или критериями надсистемы или субъекта).

Тем не менее, критерии субъекта в задачах, решаемых методом анализа иерархий, присутствуют, например, как в задачах работы [9], в виде главной цели объекта на 1-ом уровне иерархии, либо, на 2-ом уровне иерархии, в виде пожеланий заказчиков. При этом, к примеру, пожелания заказчиков (критерии субъекта) смешиваются с конкретными показателями объекта и т. п. Что не совсем верно.

На рис. 9 приведена обобщенная иерархия метода расстановки приоритетов в части дерева целей по принципу «один к группе».

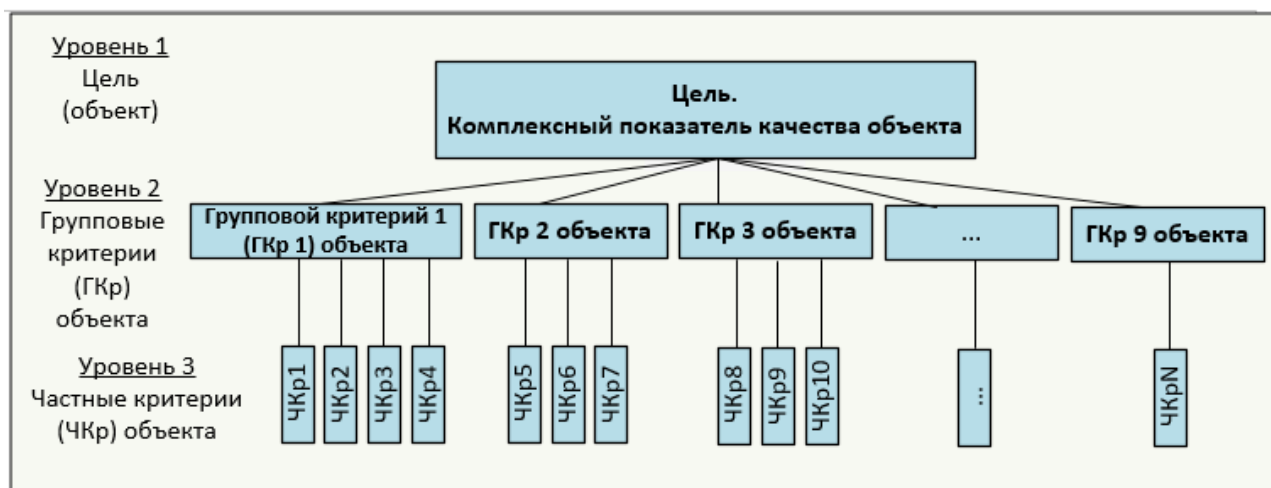


Рис. 9. Обобщенная иерархия «дерево целей». Метод расстановки приоритетов (1984 г.)

Иерархия «дерево целей» приведена на рис. 4 и рис. 9. Дерево (иерархия) целей – структурированная, построенная по иерархическому принципу (распределенная по уровням, ранжированная) совокупность целей объекта, в которой выделены: генеральная цель («вершина дерева»); подчиненные ей подцели первого, второго и последующего уровней («ветви дерева»). В этой иерархии также системно не учтены свойства субъекта.

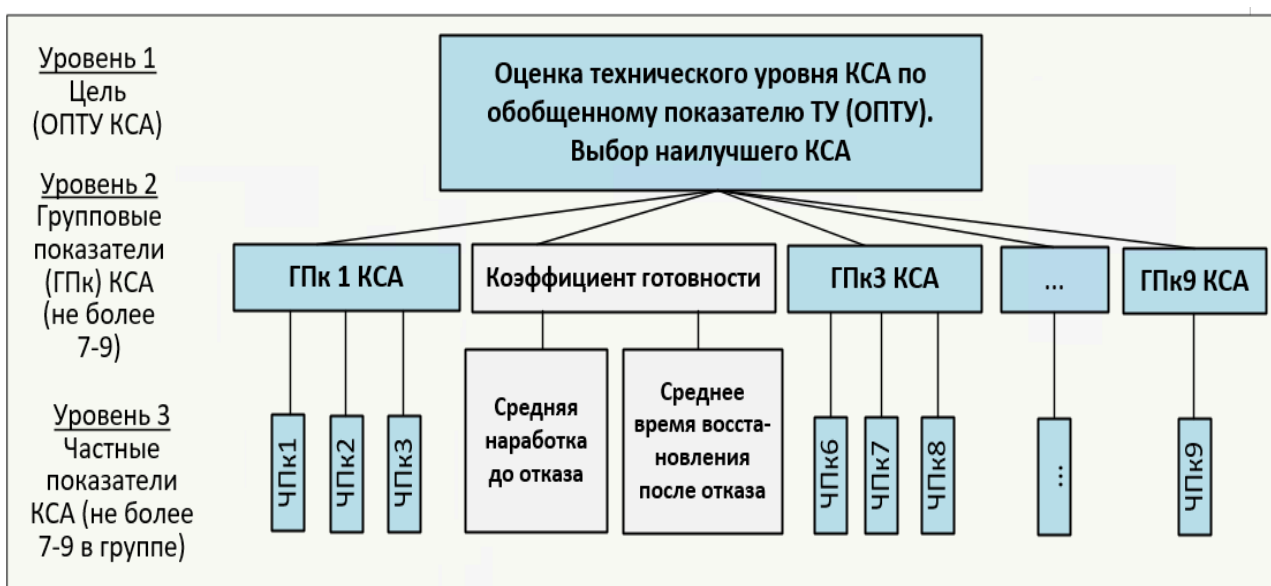


Рис. 10. Обобщенная иерархия «дерево целей». Метод расстановки приоритетов. Оценка технического уровня КСА

В условной задаче оценки технического уровня КСА (рис. 10), применяя метод расстановки приоритетов, на 1 уровне иерархии обозначена цель: оценка ТУ КСА по обобщенному показателю качества объекта (КСА), расчеты выполняются, применяя квадратные матрицы смежности. По результатам оценивания по обобщенному показателю качества каждого из трех КСА осуществляется выбор наилучшего [4]. Метод расстановки приоритетов более ограничен по отношению к эксперту, в нём отсутствует требование транзитивности отношений между объектами. Применяя метод высказывания суждений в виде парных сравнений отмечается его *недостаток* в [4] в его малоприменимости при увеличении числа сравниваемых объектов (показателей) из-за непропорционально быстрого роста числа единичных парных сравнений

$$M = m(m - 1)/2.$$

Иерархия «*дерево целей*» в МРП повторяет структуру иерархий, приведенных на рис. 1 и рис. 2 с теми же *недостатками*: громоздкость структуры, сложная внутренняя взаимосвязь групповых и частных показателей, отсутствие горизонтальных связей и обратной связи. В данной иерархии отсутствуют качественные и количественные взаимосвязи свойств системы связи и показателей КСА. Под каждую новую задачу (аспект, условия) оценки необходимо вырабатывать соответствующую структуру (модель), а любые изменения в процессе практической реализации требуют существенных затрат.

Булеональная иерархия качества сложных систем

Предлагаемый в статье метод анализа сложных систем позволяет проводить анализ, вырабатывать предложения и варианты управленческих решений по выбору и совершенствованию сложных систем. Данный метод апробирован в частной задаче оценки технического уровня КСА [12]. Метод анализа сложных систем является развитием простейших методов средневзвешенных оценок, способы и приемы которого позволяют работать с исходными данными анализа систем с неограниченной размерностью. Новизна метода анализа сложных систем состоит в его новых моделях, способах и приёмах, практически реализующих как иерархическую декомпозицию больших размерностей данных оценивания, так и их последующее ранжирование на основе разработанной булеональной иерархии качества сложных систем, пример которой иллюстрирован на рис. 11.

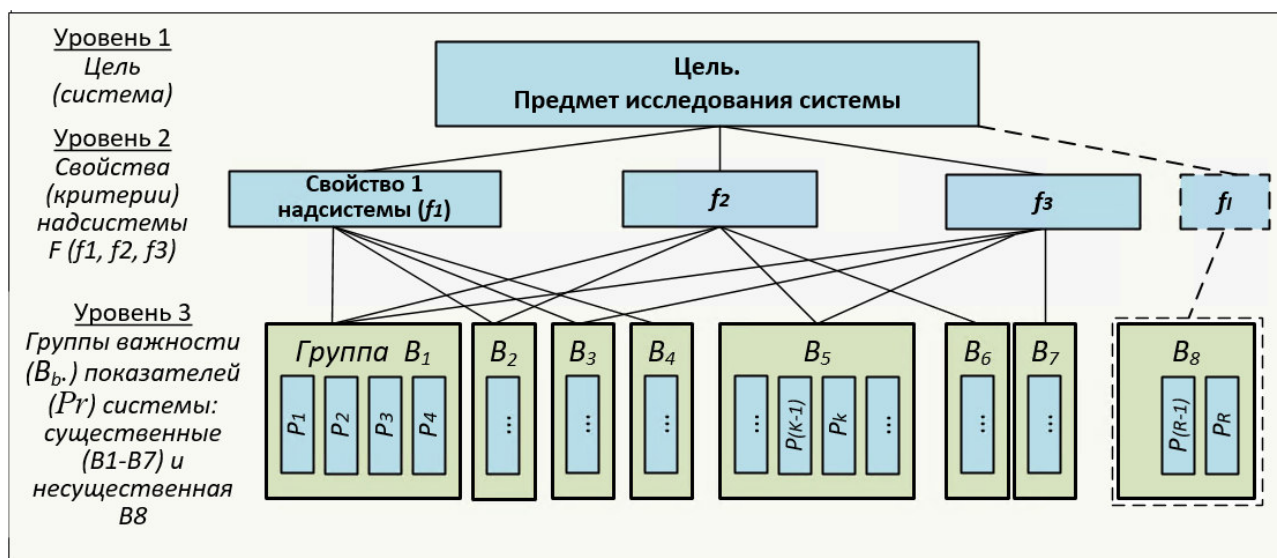


Рис. 11. Пример применения булеональной иерархии качества сложных систем. Метод анализа сложных систем

В общем виде, применяя *принципы системности, иерархии критериев и требований надсистемы* [8], булеональная иерархия качества включает в себя основные три уровня иерархии:

- первый уровень – цель системы (предмет исследования);
- второй уровень – свойства (критерии) надсистемы;
- третий уровень – показатели системы, рассредоточенные в группы важности показателей качества системы.

Количество групп важности равно *булеану* множества свойств надсистемы. То есть группы важности показателей качества системы являются множеством всех подмножеств множества свойств (критериев) надсистемы.

В данном примере на уровне 2 иерархии рис. 11 иллюстрируются три свойства надсистемы ($i = 3$), $F = \{f_1, f_2, f_3\}$. Мощность булеана множества свойств надсистемы $\beta(F) = 2^i$, то есть $\beta(F) = 2^3 = 8$. Этим восьми подмножествам $\beta(F) = \{\{f_1, f_2, f_3\}, \{f_1, f_2\}, \{f_1, f_3\}, \{f_1\}, \{f_2, f_3\}, \{f_2\}, \{f_3\}; \emptyset\}$ на уровне 3 рис. 11 соответствуют семь существенных групп важности показателей $B_1 - B_7$ и несущественная B_8 , которые включают в свой состав существенные и несущественные показатели качества системы.

Также в методе анализа сложных систем применяются разработанные *модели разбиения на существенные и несущественные свойства (критерии) надсистемы и показатели качества системы*, соответственно выражения (1) и (2).

$$f_i \in F_C \{ \exists p_r ; \mu_{f_i}(p_r) > \beta_i / i = \overline{1, I} \} \Leftrightarrow f_{C_i} ; \quad (1)$$

$$f_i \in F_{\bar{C}} \{ \forall p_r ; \mu_{f_i}(p_r) \leq \beta_i / i = \overline{1, I} \} \Leftrightarrow f_{\bar{C}_i}, r = \overline{1, R},$$

где F_C ($F_{\bar{C}}$) – множество существенных (несущественных) свойств (критериев) (f_{C_i} и $f_{\bar{C}_i}$) надсистемы; $\mu_{f_i}(p_r)$ – характеристическая функция принадлежности r -го показателя качества i -ому критерию (свойству) f_i ; β_i – критерий нечеткости $\mu_{f_i}(p_r)$, а символы \exists и \forall означают: \exists – «хотя бы один», \forall – «все».

$$p_r \in P_C \{ \forall f_i ; \exists \mu_{f_i}(p_r) > \beta_i \} \Leftrightarrow p_{C_r} ; \quad (2)$$

$$p_r \in P_{\bar{C}} \{ \forall f_i ; \forall \mu_{f_i}(p_r) \leq \beta_i \} \Leftrightarrow p_{\bar{C}_r},$$

где P_C ($P_{\bar{C}}$) – множество существенных и несущественных показателей качества (p_{C_r} и $p_{\bar{C}_r}$).

Такой подход [12, 13, 15] в разработанных моделях позволяет формализовано определять существенные и несущественные свойства надсистемы и показатели системы для различных аспектов оценки сложных систем. Это пример важной особенности метода – приёма абстрагирования показателей системы (продукции) от общепринятой их принадлежности к типовым номенклатурам показателей качества: назначения, надежности, экономичности, безопасности, технологичности, транспортабельности, стандартизации, унификации и эргономической, экологической и эстетической группам показателей, – путем динамического перераспределения их в существенные и в несущественную группы качества (группы важности) показателей для каждой конкретной задачи оценки.

Теории множеств, нечетких (размытых) множеств [10] позволяют определять состав показателей в группах важности на основе введенных предварительных оценок степеней принадлежности показателей p_r множества P нечетким множествам $\tilde{P}_i = \{(p_r, \mu_{f_i}(p_r))\}$, $i = \overline{1, I}$, принадлежащих i -ым свойствам надсистемы f_i множества F , с учетом множества M_i и критериев нечеткости β_i , где $\mu_{f_i}(p_r)$ – характеристическая функция принадлежности r -го показателя (p_r) i -ому свойству (f_i), значения которой принадлежат множеству принадлежностей – Δ в интервале $[0, 1]$. А M_i – количество классов принадлежности или состояний принадлежности показателей качества системы свойству f_i надсистемы; β_i – критерий нечеткости характеристической функции $\mu_{f_i}(p_r)$, определяющий принадлежность p_r в среде нечетких подмножеств \tilde{P}_i к четким подмножествам P_{im} множеств P_i , где $i = \overline{1, I}$, $m = i = \overline{1, M_i}$.

Применение теории нечетких (размытых) множеств позволяет повысить достоверность экспертных оценок. Известно, что в реальных ситуациях принятия решения, цели, ограничения, критерии выбора существенно субъективны и точно не определены. Поэтому при построении моделей принятия решения или оценки изделий возникает необходимость использования нечеткой логики, нечетких множеств и отношений. Нечеткие отношения позволяют моделировать плавное постепенное изменение свойств, а также неизвестные функциональные зависимости, выраженные в виде качественных связей. При этом нечеткое множество образуется путем введения обобщенного понятия принадлежности [10], то есть расширения двухэлементного множества значения характеристической функции принадлежности $\{0,1\}$ до континуума $[0,1]$.

Обобщенный показатель технического уровня метода анализа сложных систем

В целом метод анализа сложных систем включает в себя комплекс взаимосвязанных методик и моделей [8, 10, 12-15] нацеленных на минимизацию количества процедур получения экспертной оценки при анализе сложных систем на основе суждений экспертов (принцип минимизации экспертных оценок [8]), с целью последующего принятия управленческого решения или выбора.

Применяя принципы обобщенного показателя, комплексного подхода, иерархии критериев, значимости и ранжирования показателей, [8] в методе анализа сложных систем разработан и практически применен определяющий – обобщенный показатель технического уровня ($K_{ТУ}$), позволяющий получать оценки и сопоставлять (выбирать) по техническому уровню (ТУ) комплексы средств автоматизации (КСА) системы обмена данными в различных задачах оценки по критерию максимальной степени приближения к требуемому ТУ (уровню качества), условно взятому за единицу (3). Кроме того, $K_{ТУ}$ применим в работах с большой размерностью данных по: основным, тождественным и нетождественным существенным, существенным и несущественным конечным множествам показателей, в том числе базовым и небазовым показателям ТУ в различных аспектах оценки, а также значимым и незначимым показателям ТУ для различных условий применения КСА [1, 8, 10, 12]:

$$K_{ТУ} = \phi_{ГП}(\rho_j \in P_{ЗТП}) \left(\sum_{b=1}^{(B-1)} \phi_{ГПb}(\rho_{bd}) w_{нбгb} \sum_{d=1}^{D_{Пb}} \theta_{bd} w_{нсbd} \rho_{bd} + \phi_{ГПB}(\rho_{Bd}) w_{нбгB} \sum_{d=1}^{D_{ПB}} \theta_{Bd} w_{нсBd} \rho_{Bd} \right), \quad (3)$$

где $P_g \cup P_G = P_{П}$; $j = \overline{1, J_{П}}$; $\{\rho_{bk} \in P_{ЗТП} / w_{збк} > \Omega_{збк}\}$; $j = \overline{1, K_b}$; $J_{П} = \sum_{b=1}^B K_b$; $K_{ТУ}$ – обобщенный показатель технического уровня (ОПТУ) оцениваемого КСА, рассчитываемый по нетождественным конечным результирующим полным множествам ($P_{П}$) оцениваемого g -го КСА (P_g) и базового G -го КСА (P_G);

$P_{П}$ – полное множество (Π) показателей ($P_g \cup P_G$) g -го КСА (A_g) и G -го КСА (A_G);

$\phi_{ГП}$ – коэффициент вето ОПТУ, с учетом $P_{П}$;

$\phi_{ГПb}$ и $\phi_{ГПB}$ – коэффициент вето b -го комплексного показателя ТУ ($K_{ПТУ} - K_{ТУb}$) и B -ой несущественной группы показателей (Π) – $K_{ТУB}$;

B – количество групп важности показателей ТУ;

ρ_{bd} и ρ_{Bd} – относительное значение d -го показателя соответственно существенной b -ой и несущественной B -ой групп важности показателей;

$w_{нбгb}$ – нормированный базовый весовой коэффициент b -ой базовой группы важности показателей ТУ;

$w_{нсbd}$ и $w_{нсBd}$ – нормированный весовой коэффициент соответственно ρ_{bd} и ρ_{Bd} при совместном учете базовых и небазовых показателей ТУ;

$D_{Пb}$ и $D_{ПB}$ – количество показателей ТУ соответственно в существенной b -ой и несущественной B -ой групп важности показателей ТУ сопоставляемых КСА;

θ_{bd} и θ_{Bd} – характеристическая функция показателей ТУ КСА соответственно p_{bd} и p_{Bd} ;
 $P_{зТП}$ – множество значимых показателей ТУ КСА A_g и A_G ;
 $J_{П}$ – количество значимых показателей ТУ КСА A_g и A_G ;
 p_j – j -й значимый показатель ТУ;
 K_b – количество значимых показателей в b -ой группе важности показателей ТУ;
 $w_{зbk}$ – коэффициент значимости k -го показателя b -ой группы важности показателей ТУ;
 $\Omega_{зbk}$ – критерий значимости k -го показателя b -ой группы важности показателей ТУ.

В отличие от простейших средневзвешенных показателей качества в разработанном выражении (3) комплексное применение коэффициентов весомости, значимости и вето обеспечивает повышение чувствительности обобщенного показателя технического уровня, реализуется принцип *чувствительности обобщенного показателя* [8]. Данное выражение одновременно включает в себя аддитивный и мультипликативный способы вычисления, что повышает точность результатов обобщенного показателя. На его основе можно получать оценки ТУ КСА и проводить их сопоставление для различных вариантов больших исходных данных в разных аспектах и условиях оценки ТУ, с охватом всех существенных характеристик и критериев, что в целом обеспечивает достоверность и адекватность получаемых результатов. Универсальность данного способа оценки технического уровня (качества, эффективности) обеспечивается предварительно проводимой МАСС классификации этих систем на неоднородные и однородные сложные системы разных поколений и модификаций [12] на основе как тождественных, так и не тождественных множеств показателей в группах существенных и несущественных показателей, *принцип универсальности оценки* [8].

Данное выражение является одним из ряда вариантов расчета $K_{ту}$, разработанное под конкретную задачу, решаемой: по нетождественным конечным результирующим полным множествам ($P_{П}$) оцениваемого g -го КСА (P_g) и базового G -го КСА (P_G).

К *достоинствам* метода анализа сложных систем можно отнести ясный физический смысл, формализацию выбора данных оценки и их ранжирование с помощью разработанной булеональной иерархии качества, минимизацию экспертных операций, применение экспертами нечетких оценок, и в целом, простоту формализации и возможность работы с большой размерностью данных.

Выводы

Анализ подходов к оценке качества сложных систем показал недостаточный учет в существующих математических аппаратах оценки качества (эффективности, технического уровня) взаимосвязи показателей системы (объекта, проблемы) со свойствами (критериями) надсистемы. Лидируют подходы, в которых оценивают либо по одному, наиболее важному показателю системы во взаимосвязи с отдельными основными показателями, остальные показатели выведены в ограничения, либо по одному свойству (цели) надсистемы во взаимосвязи с несколькими основными показателями системы. В большинстве работ отсутствует методический аппарат, учитывающий большое количество показателей ТУ системы (объекта) оценки [12], а также взаимосвязи этих показателей со свойствами надсистемы (субъекта).

В статье рассмотрен новый подход к оценке качества и эффективности сложных систем (объектов), характеризуемых большими размерностями исходных данных их оценки. Данный подход основан на применении метода анализа сложных систем, основным элементом которого является булеональная иерархия качества сложных систем.

Разработанная булеональная иерархия качества сложных систем позволяет проводить иерархическую декомпозицию данных неограниченной размерности и их ранжирование. В результате применения булеональной иерархии качества сложных систем вырабатываются

их конечные исходных данные оценки, что позволяет, применять их в выражениях обобщенного показателя качества (технического уровня) сложных систем и в других операциях метода анализа сложных систем. И в целом, рассчитывать оценки качества и эффективности, определять технический и технологический уровни сложных систем (объектов) в различных задачах исследований.

Таким образом, в статье предлагается для анализа, оценок слабоструктурированных сложных систем, характеризуемых наличием как качественных, так и количественных элементов (данных), с неопределенными, не поддающимися количественному анализу зависимостями, а также для плохо формализуемых процессов в социотехнических системах, применять метод анализа сложных систем.

С целью повышения адекватности и эффективности принимаемых ЛПР управляющих решений необходимо развитие и совершенствование методического аппарата оценки сложных систем, позволяющего производить оценки их эффективности, качества, технического уровня с учётом больших размерностей исходных данных.

Литература

1. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. М.: Издательство стандартов, 1972. 172 с.
2. Семенов С. С. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. М.: Наука, 2016. 210 с.
3. Филин О. А. Основные аспекты модернизации образцов вооружения, военной и специальной техники как сложных технических систем // Молодой ученый. 2020. № 41 (331). С. 34-38.
4. Блюмберг В. А., Глущенко В. Ф. Какое решение лучше?: Метод расстановки приоритетов. Л.: Лениздат, 1982. 160 с.
5. Общие методические рекомендации по оценке технического уровня промышленной продукции // Воениздат. 1990. № 6. С. 10-60.
6. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. 158 с.
7. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. М.: Радио и связь, 1984. 288 с.
8. Севастьянов С. И. Основные принципы в оценке технического уровня сложных технических систем // Техника средств связи. 2022 № 4 (160). С. 31-44.
9. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
10. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1991. 432 с.
11. Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. Эффективность и качество информационных систем // Материалы XIV международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (Москва, 27-29 сентября 2021 г.) Москва, 2021. С. 297-302.
12. Севастьянов С. И. Обобщенная методика оценки технического уровня комплексов средств автоматизации системы обмена данными. СПб.: ЦНИИ связи, 2004. 260 с.
13. Севастьянов С. И. Ранжирование совокупности показателей научно-технического уровня элементов системы связи // ЦВНИ МО. 2000. № 3. С. 5-10.
14. Севастьянов С. И. Критерий размерности множеств альтернатив в экспертных оценках, проводимых методом парных сравнений // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 80-90.
15. Севастьянов С. И. Подход к выбору и упорядочению внешних критериев оценки качества комплексов средств автоматизации подсистемы обмена данными // ЦВНИ МО. 2003. № 2. С. 50-66.

References

1. Azgaldov G. G., Reichman E. P. *O kvalimetrii* [On qualimetry]. Moscow: Publishing House of Standards, 1972. 172 p. (In Russian).

2. Semenov S. S. *Metody prinyatiya reshenij v zadachax ocenki kachestva i texnicheskogo urovnya slozhny'x texnicheskix sistem* [Decision-making methods in the tasks of assessing the quality and technical level of complex technical systems]. Moscow: Nauka, 2016. 210 p. (In Russian).
3. Filin O. A. The main aspects of modernization of armament samples, military and special equipment as complex technical systems. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2020. No. 41 (331). pp. 34-38 (In Russian).
4. Blumberg V. A., Glushchenko V. F. *Kakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioritetov* [Which solution is better? The method of prioritization]. L.: Lenizdat, 1982. 160 p. (In Russian).
5. General methodological recommendations for assessing the technical level of industrial products. *Voenizdat* [Paramilitary]. 1990. No. 6. Pp. 10-60. (In Russian).
6. Beshelev S. D., Gurvich F. G. *E'kspertny'e ocenki* [Expert assessments]. Moscow: Nauka, 1973. 158 p. (In Russian).
7. Brahman T. R. *Mnogokriterial'nost' i vy'bor al'ternativy' v texnike* [Multicriteria and the choice of alternatives in technology]. Moscow: Radio and Communications, 1984. 288 p. (In Russian).
8. Sevastyanov S. I. Basic principles in assessing the technical level of complex technical systems. *Texnika sredstv svyazi* [Communication equipment]. 2022. No. 4 (160). Pp. 31-44. (In Russian).
9. Saati T., Kearns K. *Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiya sistem* [Analytical planning. Organization of systems]: Trans. from English Moscow: Radio and Communications, 1991. 224 p. (In Russian).
10. Kofman A. *Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv* [Introduction to the theory of fuzzy sets]. Moscow: Radio and Communications, 1991. 432 p. (In Russian).
11. Zatsarinny A. A., Iononkov Yu. S. *E'ffektivnost' i kachestvo informacionny'x sistem* [Efficiency and quality of information systems]. *Materialy' XIV mezhdunarodnoj konferencii «Upravlenie razvitiem krupnomasshtabny'x sistem»* [Proceedings of the XIV International Conference "Management of large-scale systems development", Moscow, September 27-29, 2021] Moscow, 2021. Pp. 297-302. (In Russian).
12. Sevastyanov S. I. *Obobshhennaya metodika ocenki texnicheskogo urovnya kompleksov sredstv avtomatizatsii sistemy' obmena danny'mi* [Generalized methodology for assessing the technical level of automation complexes of the data exchange system]. St. Petersburg: Central Research Institute of Communications, 2004. 260 p. (In Russian).
13. Sevastyanov S. I. Ranking of the totality of indicators of the scientific and technical level of the elements of the communication system. *CzVNI MO* [TSVNI MO]. 2000. No. 3. Pp. 5-10. (In Russian).
14. Sevastyanov S. I. Criterion of the dimensionality of sets of alternatives in expert assessments conducted by the method of paired comparisons. *Texnika sredstv svyazi* [Communication equipment]. 2020. No. 3(151). Pp. 80-90. (In Russian).
15. Sevastyanov S. I. Approach to the selection and ordering of external criteria for assessing the quality of automation complexes of the data exchange subsystem. *CzVNI MO* [TSVNI MO]. 2003. No. 2. Pp. 50-66. (In Russian).

Статья поступила 8 сентября 2023 г.

Информация об авторе

Севастьянов Степан Иванович – Кандидат технических наук. Главный специалист публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: моделирование сложных организационно-технических систем. Тел.: +7(812) 295-74-07. E-mail: SevastyanovSI@inteltech.ru. Адрес: 197342, г.Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Boolean hierarchy of quality of the method of analysis of complex systems

S. I. Sevastyanov

Annotation. A general analysis of the hierarchies of alternatives (properties, goals, quality) used in the methods of analysis and evaluation of complex systems is given for the possibility of working with large data dimensions. A boolean hierarchy of the quality of complex systems has been developed for the hierarchical decomposition of data of unlimited dimension and their ranking. The results of the application of this hierarchy are proposed to be used as formalized source data in the calculations of estimates of complex systems using the developed generalized quality indicator (technical level, efficiency) of complex systems. The proposed generalized indicator is characterized by the complex application of weighting coefficients, significance, veto and relative estimates of indicators, which are divided into essential and non-essential indicators into the corresponding groups of importance of indicators (boolean groups). The main elements of the method of analysis of complex systems, which is the development of the simplest methods of weighted average quality assessments, are presented. The features of the method are expressed in the possibility of working with an unlimited dimension of data; in the use of a boolean hierarchy of quality and a generalized quality indicator of complex systems; in ways of grouping the initial data (indicators) into essential and non-essential groups of importance, as well as the possibility of conducting assessments at all stages of the life cycle of systems (objects, products). **The aim of the work** is to improve the efficiency of quality management of complex systems in the tasks of their assessment and selection of the best management solution. **Novelty:** these are the main elements of the developed method of analysis of complex systems, which is proposed to be used in working with large data dimensions. Thus, a generalized boolean hierarchy of quality (analysis) of complex systems (objects, problems) has been developed. A feature of its application is the method of decomposition of indicators (data) of systems into essential and non-essential indicators. The proposed method allows, by abstracting the indicators of systems from their belonging to various classification groups fixed in the relevant GOST, methodological guidelines and recommendations, to divide into universal (boolean) essential and non-essential groups of the importance of indicators. What is done by expert methods by determining whether or not each indicator of the system belongs to one of the Boolean importance groups. The developed models of splitting into essential and non-essential properties (criteria) of the suprasystem and system quality indicators and a generalized indicator of the technical level are also given. **Result:** proposals for improving the methodological apparatus of analysis, evaluation and selection of complex systems (objects) characterized by a large number of quality indicators (technical level), taking into account the qualitative and quantitative relationship of the indicators of the system (object) with the system properties of the suprasystem (criteria of the subject). Examples of the application of the boolean hierarchy of quality of the method of analysis of complex systems and the comparison of methods of prioritization, analysis of complex systems and hierarchies in the conditional private task of assessing the technical level of the complex automation of the data exchange system are given. **The practical significance** lies in the development of viable operations for the analysis and evaluation of systems (objects) by the method of analysis of complex systems, which allows obtaining reliable estimates of comparable systems without restrictions on the amount of data taken into account. The algorithms of the complex systems analysis method are quite simple and can find their application in artificial intelligence programs in the tasks of analysis and evaluation of complex systems at all stages of the life cycle, in various aspects of system research and conditions of their application. Also, the main provisions and principles of the method can be applied in terms of improving the regulatory framework in the field of quality assessment of complex systems.

Keywords: boolean hierarchy of quality, generalized quality indicator, technical level, method of analysis of complex systems, large dimensions of data.

Information about the author

Sevastyanov Stepan Ivanovich – Candidate of Technical Sciences. Chief Specialist of PJSC «Inteltech». Research interests: modeling of complex organizational and technical systems. Tel.: +7(812) 295-74-07. E-mail: SevastyanovSI@inteltech.ru.

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

Для цитирования: Севастьянов С. И. Булеональная иерархия качества метода анализа сложных систем // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С. 50-66. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-50-66.

For citation: Sevastyanov S. I. The boolean hierarchy of the quality of the method of analysis of complex systems. Means of communications equipment. 2023. No. 3 (163). Pp. 50-66. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-50-66. (In Russian).

Анализ временных задержек при изменении топологии программно-конфигурируемой сети на базе эмулятора компьютерных сетей Mininet

Никитин С. В.

Аннотация. При проектировании и построении сложных систем не всегда существует возможность проведения экспериментов над реальной системой, а зачастую такие эксперименты нецелесообразны по причине высокой стоимости или длительности проведения исследований. В таких случаях рациональным можно считать подход с использованием специализированных компьютерных программ-эмуляторов, позволяющих имитировать работу каких-либо сложных систем. В таких программах рассматриваемая система заменяется более простым объектом, называемым моделью. В области программно-конфигурируемых сетей одним из таких эмуляторов является Mininet, который позволяет построить виртуальную сеть, состоящую из произвольного количества хостов, контроллеров и коммутаторов в различных топологиях с помощью командной строки, сценариев Python или графического пользовательского интерфейса. Mininet позволяет подключить внешние контроллеры, что является важной особенностью и значительно расширяет возможности исследования. В качестве виртуальных коммутаторов в Mininet используется адаптированная версия Open vSwitch. В данной статье рассматриваются основы построения и конфигурирования модели программно-конфигурируемой сети с использованием эмулятора компьютерных сетей Mininet и инструмента визуализации Miniedit. На построенной модели с использованием внешнего контроллера Onos была рассмотрена работа алгоритмов обнаружения петель в сети, проанализированы временные задержки в моменты изменения топологии сети, а также проведен анализ сообщений OpenFlow с помощью программы захвата сетевого трафика Wireshark.

Ключевые слова: интерфейс OpenFlow, контроллер программно-конфигурируемой сети, программно-конфигурируемая сеть, Wireshark, Mininet, Miniedit, Onos.

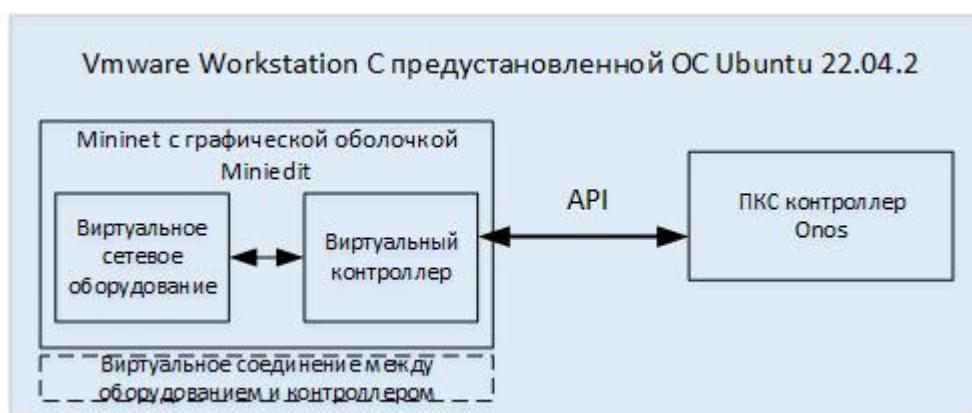
Необходимость больших ресурсов для обеспечения потребностей по передаче растущих объемов трафика, проблемы автоматизации управления, вызванные сложностью существующей архитектуры и разнородностью оборудования, высокая стоимость подготовки квалифицированных кадров, создают предпосылки для коренного изменения принципов построения сетей передачи данных.

Программно-конфигурируемые сети (ПКС) — это относительно новый подход в представлении сетей передачи данных, позволяющий дифференцировать плоскость управления и передачи данных. В ПКС управление сетевыми устройствами осуществляется с центрального устройства, называемым сетевым контроллером. Контроллер, с установленной на него сетевой операционной системой и реализованными поверх сетевыми приложениями, осуществляет управление таблицами потоков коммутаторов, мониторинг состояния сети, поддержание определенного уровня QoS, конфигурирование сетевых параметров, обеспечение сетевой безопасности и т. д. Взаимодействие управляющего контроллера с сетевым оборудованием осуществляется посредством протокола OpenFlow. В отличие от обычных Ethernet коммутаторов, выполняющих сразу функции управления и передачи, на коммутаторах OpenFlow реализуется только уровень передачи данных (рис. 1). В сетях ПКС контроллер всегда имеет точную информацию о состоянии и структуре сети [1].

Для построения модели ПКС была развернута виртуальная машина на базе инструмента виртуализации VMware Workstation с установленными операционной системой Ubuntu 22.04.2 и эмулятором компьютерных сетей Mininet, к которому был подключен внешний контроллер Open Network Operating System (Onos). Взаимодействие внешнего ПКС контроллера Onos с виртуальной сетью представлено на рис. 2.



Рис. 1. Функции коммутаторов при различных подходах в построении сети

Рис. 2. Взаимодействие внешнего ПКС контроллера и эмулятора *Mininet*

Разработка модели ПКС проводилась с использованием эмулятора компьютерных сетей *Mininet*. Это достаточно мощный, функциональный и простой в освоении инструмент моделирования, позволяющий строить сети различного масштаба. Разработанные в *Mininet* модели могут послужить прототипом для исследования проектируемых сетей, а также помогут разобраться в принципах работы ПКС. *Mininet* позволяет строить модели виртуальных сетей в различных топологиях с произвольным количеством хостов и коммутаторов. По умолчанию, при запуске интерпретатора без параметров (*sudo mn*), *Mininet* создает простую полнофункциональную программно-конфигурируемую сеть, состоящую из одного контроллера (*c1*), *Open vSwitch* коммутатора (*s1*) и двух хостов (*h1, h2*) [2]. Для построения более сложных моделей ПКС в *Mininet* реализована возможность использования сценариев *Python*, на котором реализована основная функциональность эмулятора. Несмотря на то, что с помощью сценариев можно описать модель практически любой сложности, для простоты создания моделей в *Mininet* предусмотрен графический интерфейс *Miniedit*, который значительно упрощает работу с эмулятором и не требует знаний языка *Python*. Для анализа временных задержек в ПКС с использованием *Miniedit* была создана полносвязная сетевая модель, в которой каждый из четырех коммутаторов *Open vSwitch* (*Oswitch1, Oswitch2, Oswitch3, Oswitch4*) объединён с тремя другими гигабитными каналами связи. Для управления сетью через виртуальный контроллер (*Onos*) к коммутаторам с использованием протокола *OpenFlow* был подключен внешний контроллер ПКС (рис. 3).

В функционал эмулятора *Mininet* заложена поддержка различных инструментов для тестирования и анализа сети, таких как *ping, iperf, wireshark, tcpdump*, вызвать которые

можно в окне терминала любого из хостов. На рис. 4 можно наблюдать процесс установки соединения между внешним контроллером *Onos* и коммутаторами *Open vSwitch* виртуальной сети, снятый утилитой *Wireshark* в момент запуска модели.

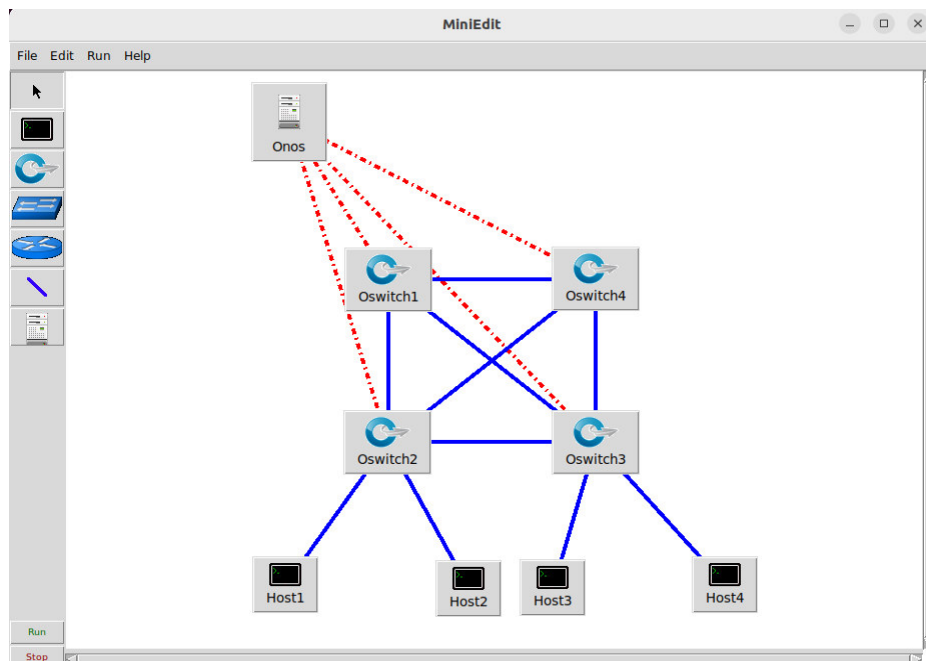


Рис. 3. Графический редактор Miniedit. Топология виртуальной сети

Protocol	Length	Info
OpenFlow	74	Type: OFPT_HELLO
OpenFlow	98	Type: OFPT_FEATURES_REQUEST
OpenFlow	74	Type: OFPT_HELLO
OpenFlow	86	Type: OFPT_ERROR
OpenFlow	242	Type: OFPT_FEATURES_REPLY
OpenFlow	74	Type: OFPT_BARRIER_REQUEST
OpenFlow	74	Type: OFPT_BARRIER_REPLY
OpenFlow	82	Type: OFPT_FEATURES_REQUEST
OpenFlow	86	Type: OFPT_ERROR

Wireshark · Packet 24 · Loopback: lo		
Internet Protocol Version 4, Src: 127.0.0.1, Dst: 127.0.0.1		
Transmission Control Protocol, Src Port: 45756, Dst Port: 6633, Seq: 9, Ack: 33,		
OpenFlow 1.0		
.000 0001 = Version: 1.0 (0x01)		
Type: OFPT_ERROR (1)		
Length: 20		
Transaction ID: 9		
0000	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 08 00 45 c0
0010	00 48 3d 9d 40 00 40 06	fe 50 7f 00 00 01 7f 00
0020	00 01 b2 bc 19 e9 60 fc	86 fc 0a 54 45 97 80 18
0030	00 56 fe 3c 00 00 01 01	08 0a 6b c8 e8 62 6b c8
0040	e8 55 01 01 00 14 00 00	00 09 00 01 00 01 01 00
0050	00 08 00 00 00 09	

Рис. 4. Установка соединения коммутатор-контроллер

Протокол *OpenFlow* определяет связь между контроллером и коммутатором. Процесс создания соединения и согласования версии протокола между контроллером и коммутатором начинается с отправки сообщениями типа *HELLO*. После чего сообщение *FEATURES_REQUEST* отправляется от контроллера к коммутатору запрашивая идентификатор и основные характеристики коммутатора, на что коммутатор отвечает сообщением типа *FEATURES_REPLY*, указав необходимую информацию контроллеру. Сообщением *ERROR* коммутатор уведомляет контроллер об ошибках [3-4]. Код возврата 1 означает, что соединение установлено успешно.

Высокий уровень надежности современных сетей передачи данных обеспечивается комплексом различных мер, среди них одними из основных являются применение технологий обнаружения отказов и резервирование каналов связи, основанное на организации избыточных линий связи. Важным вопросом при резервировании сетей передачи данных, построенных на коммутаторах, является устранение замкнутых логических контуров – петель. При такой организации сети пакеты могут вечно ходить по сети, тем самым ограничивая пропускную способность. Со временем нарастающий трафик может полностью вывести сеть из строя. В традиционных сетях передачи данных отслеживанием петель занимаются специально разработанные протоколы семейства *Spanning Tree*, автоматически блокирующие соединения, в данный момент времени для полной связности коммутаторов являющиеся избыточными. В программно-конфигурируемых сетях вопросом отслеживания петель занимается контроллер. Такой функционал реализован в *Onos*, что стало одним из определяющих моментов в выборе контроллера для построения модели. Для тестирования времени круговой задержки *round-trip time (RTT)* сгенерированный хостом 1 (*Host1*) *ICMP*-трафик отправлялся хосту 2 (*Host2*). На графике (рис. 5) можно увидеть момент отправки на анализ первого пакета потока контроллеру на первой секунде тестирования. В этот момент время круговой задержки приблизилось к 28 мс., после чего стремительно упало до 0,1 мс.

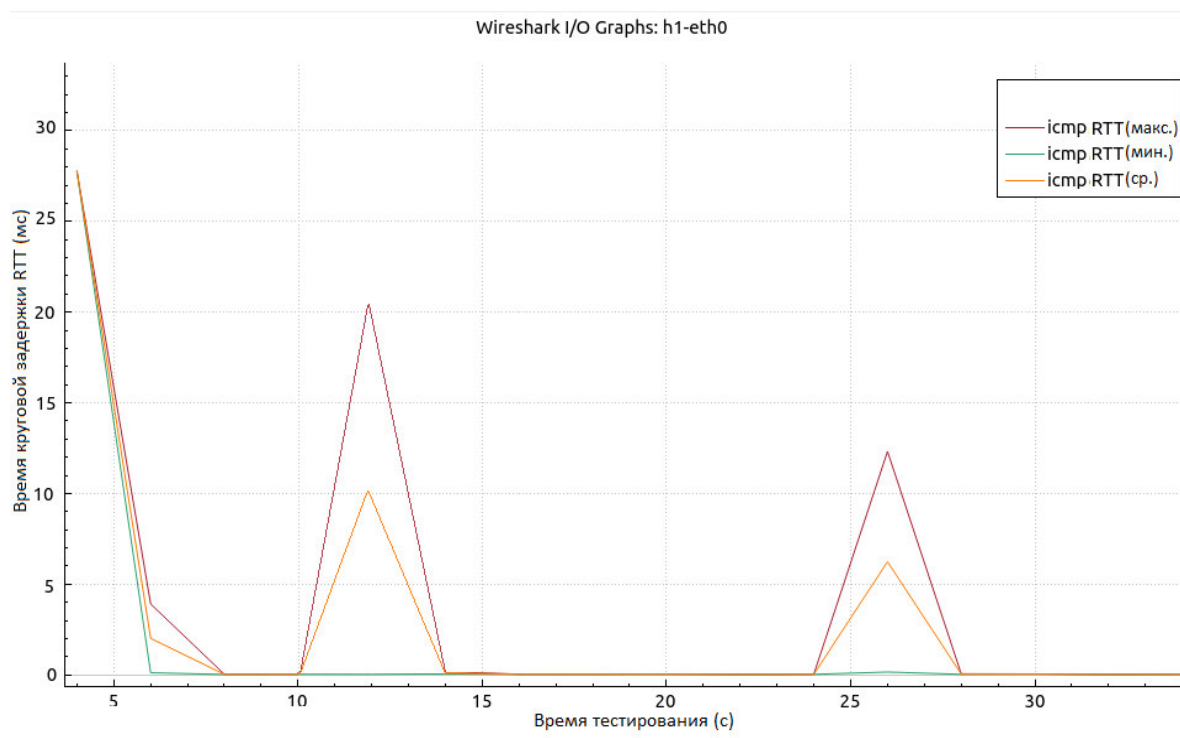


Рис. 5. Тестирование соединения *ICMP* запросами

Средствами *Mininet*, который позволяет в режиме реального времени блокировать соединения между различными объектами сети, было отключено основное соединение между коммутаторами (*Oswitch2-Oswitch3*). После чего созданная модель переключилась на резервный канал связи (*Oswitch2-Oswitch4-Oswitch3*). В момент перехода с основного канала на резервный время задержки увеличивалось немногим более чем на 20 мс., при этом потери пакетов составили 0 %. На 24 секунде тестирования, когда время задержки вернулось к минимальным значениям ~0,1 мс. был осуществлен переход на последний из возможных путей доставки пакетов (*Oswitch2-Oswitch1-Oswitch4-Oswitch3*) путем отключения резервного канала связи (*Oswitch2-Oswitch4-Oswitch3*). При этом по-прежнему не наблюдалось потери пакетов, что подтверждается результатами работы утилиты *Ping* (рис. 6),

а время задержки возросло до 12 мс. По результатам эксперимента можно сделать вывод, что время сходимости в сетях ПКС значительно меньше времени сходимости протоколов остоного дерева в традиционных сетях передачи данных [6-8] и не превышает значения в 25 мс. (рис. 7). Необходимо понимать, что результаты могут немного варьироваться и во многом зависят от реализации конкретного контроллера ПКС.

```
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
90 packets transmitted, 90 received, 0% packet loss, time 89579ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.074/5.757/27.987/11.327 ms
root@sn-virtual-machine:/mininet/examples#
```

Рис. 6. Результаты тестирования соединения ICMP-запросами

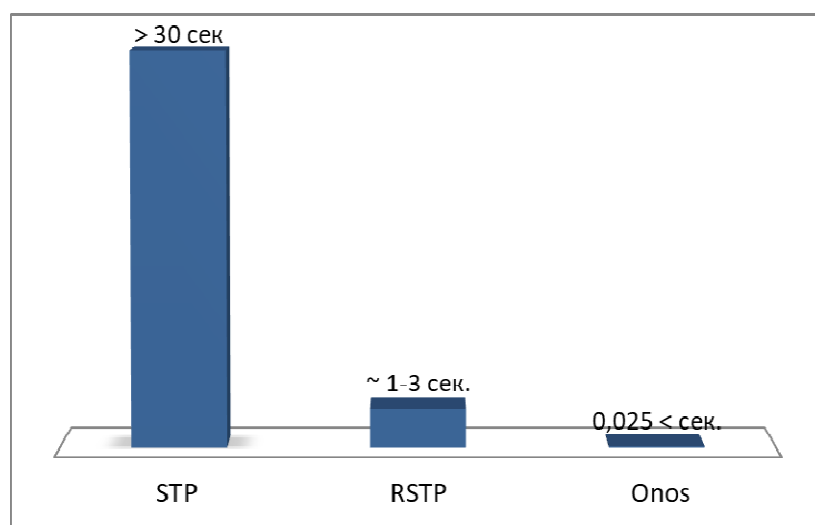


Рис. 7. Время сходимости протоколов остоного дерева

Проведенный эксперимент на созданной модели в *Mininet* продемонстрировал превосходство программно-конфигурируемых сетей над традиционными сетями передачи данных. Сеть построенная на архитектуре ПКС оказалась менее уязвима к изменениям топологии сети, а внешний контроллер ПКС показал себя гораздо эффективней протоколов остоного дерева, время сходимости при использовании которого оказалось минимальным, что не может не сказаться на общей производительности сети. Нужно отметить, ПКС является перспективной и быстро развивающейся технологией, что позволяет надеяться на появление новых контроллеров с еще более эффективными алгоритмами обнаружения повреждений и восстановления связи.

Литература

1. Никитин С. В., Лоборчук А. А. Программно-конфигурируемые сети как новый этап развития сетей передачи данных // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 89-94. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-89-94.
2. Руденко А. Mininet – эмулятор компьютерных сетей // Системный администратор. 2013. № 12 (133). С. 18-21.
3. Бак А. В. Протокол Openflow в программно-конфигурируемых сетях // Наука, образование, инновации: актуальные вопросы и современные аспекты: сборник статей VII Международной научно-практической конференции. В 2 ч., Пенза, 10.05.202. Т. 1. Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 54-57.

4. Корячко В. П., Перепелкин Д. А. Программно-конфигурируемые сети. Учебник для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2021. 288 с.

5. Сенякин А. Ю. Имитационное моделирование программно-конфигурируемых сетей // Облачные и распределенные вычислительные системы в электронном управлении (ОРВСЭУ – 2022) в рамках Национального суперкомпьютерного форума (НСКФ – 2022): Сборник трудов 3-й международной научно-технической конференции (Переславль-Залесский, 29 ноября – 02 декабря 2022 года). – Переславль-Залесский: Институт программных систем им. А.К. Айламазяна РАН, 2022. – С. 124-129.

6. Николаенко А. И. Михайлова Н. Ю., Прокофьева А. А. Протокол STP как основа построения вычислительных сетей // Молодежь и наука: шаг к успеху : сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 21–22 марта 2019 года / Юго-Западный государственный университет, Московский политехнический университет. Том 3. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2019. С. 207-210.

7. Голубничая Е. Ю. Особенности применения протоколов покрывающего дерева в коммутируемых сетях Ethernet // Инновационные исследования: опыт, проблемы внедрения результатов и пути решения: сборник статей Международной научно-практической конференции (Магнитогорск, 20 мая 2023 года). Часть 1. Уфа: ООО «Аэтерна», 2023. – С. 32-34.

8. Гасанов О. И. Обзор методов резервирования сети передачи данных стандарта Ethernet // Неделя науки-2022: Сборник материалов 43 итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ, посвященной 50-летию юбилею вуза, (Махачкала, 16–21 мая 2022 года). Махачкала: Типография ФОРМАТ, 2022. – С. 57-59.

References

1. Nikitin S. V., Loborchuk A. A. Software-configurable networks as a new stage in the development of data transmission networks. Means of Communication Equipment. 2023. No. 1 (161). Pp.89- 94. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-89-94. (In Russian).

2. Rudenko A. *Mininet – ehmulyator komp'yuternykh setej* [Mininet – ehmulyator komp'yuternykh setej]. Sistemnyj administrator. 2013. No 12 (133). Pp. 18-21. (In Russian).

3. Bak A. V. *Protokol Openflow v programmno-konfiguriruemyykh setyakh* [Protokol Openflow v programmno-konfiguriruemyykh setyakh]. *Nauka, obrazovanie, innovacii: aktual'nye voprosy i sovremennyye aspekty* [Nauka, obrazovanie, innovacii: aktual'nye voprosy i sovremennyye aspekty]. *Sbornik statej* [VII International scientific conference]. V. 2. Penza, 10 May 2021. V. 1. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ., 2021. Pp. 54-57. (In Russian).

4. Koryachko V. P., Perepelkin D. A. *Programmno-konfiguriruemyye seti* [Programmno-konfiguriruemyye seti]. М.: Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2021. 288 p. (In Russian).

5. Senyakin A. Yu. *Imitacionnoe modelirovanie programmno-konfiguriruemyykh setej* [Simulation modeling of software-configurable networks]. *Oblachnyye i raspredelennyye vychislitel'nyye sistemy v ehlektronnom upravlenii (ORVSEHU – 2022)* [Cloud and distributed computing systems in electronic control (ATMSEU – 2022)]. *Nacional'nogo superkomp'yuternogo foruma (NSKF – 2022)* [The framework of the National Supercomputer Forum (NSCF – 2022)]. *Sbornik trudov 3-j mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference] (Pereslavl-Zalesky, November 29 – December 02, 2022). Pereslavl-Zalesky. A.K. Aylamazyan Institute of Software Systems of the Russian Academy of Sciences Publ., 2022. Pp. 124-129. (In Russian).

6. Nikolaenko A. I., Mikhailova N. Y., Prokofiev A. A. *Protokol STP kak osnova postroeniya vychislitel'nykh setej* [The STP protocol as a basis for building computer networks]. *Molodezh' i nauka: shag k uspekhu* [Youth and Science: a step to success]. *Sbornik nauchnykh statej 3-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii perspektivnykh razrabotok molodykh uchennykh* [Collection of scientific articles of the 3rd All-Russian Scientific Conference of promising developments of young scientists]. Kursk. March 21-22, 2019. Southwest State University. Moscow Polytechnic University. V. 3. Kursk. CJSC "University Book" Publ., 2019. Pp. 207-210. (In Russian).

7. Golubnichaya E. Yu. *Osobennosti primeneniya protokolov pokryvayushchego dereva v kommutiruemyykh setyakh Ethernet* [Features of application of covering tree protocols in switched Ethernet networks]. *Innovacionnyye issledovaniya: opyt, problemy vnedreniya rezul'tatov i puti resheniya* [Innovative research: experience, problems of implementation of results and solutions]. *Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. (Magnitogorsk, May 20, 2023). V. 1. Ufa. Aeterna LLC Publ., 2023. Pp. 32-34. (In Russian).

8. Hasanov O. I. *Obzor metodov rezervirovaniya seti peredachi dannykh standarta Ethernet* [Overview of methods for reserving an Ethernet data transmission network]. *Nedelya nauki-2022* [Science Week-2022]. *Sbornik materialov 43 itogovoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii prepodavatelej, sotrudnikov, aspirantov i studentov DGTU, posvyashchennoj 50-letnemu yubileyu vuza* [Collection of materials of the 43rd final scientific and technical conference of teachers, staff, graduate students and students of DSTU, dedicated to the 50th anniversary of the university]. (Makhachkala, May 16-21, 2022). Makhachkala: FORMAT Printing House, 2022. Pp. 57-59. (In Russian).

Статья поступила 21 июля 2023 г.

Сведения об авторе

Никитин Сергей Валерьевич – начальник отдела АО «НИИ «Нептун». Область научных интересов: проектирование программно-конфигурируемых сетей. Тел.: +7 911 112 72 37. E-mail: nikpvl@yandex.ru. Адрес: 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, 7-я лин. В.О., д. 80.

Analysis of time delays when changing the topology of a software-configurable network based on Mininet computer network emulator

S. V. Nikitin

Annotation. *When designing and building complex systems it is not always possible to conduct experiments on a real system, and often such experiments are impractical, due to the high cost or duration of research. In such cases, a rational approach can be considered using specialized computer programs-emulators that allow to simulate the operation of any complex systems. In such programs, the system in question is replaced by a simpler object called a model. In the area of software-configurable networks, one such emulator is Mininet, which allows you to build a virtual network of any number of hosts, controllers, and switches in a variety of topologies using the command line, Python scripts, or a graphical user interface. Mininet allows you to connect external controllers, which is an important feature and greatly expands your research capabilities. Mininet uses an adapted version of Open vSwitch as virtual switches. This article discusses the basics of building and configuring a software-configurable network model using the Mininet computer network emulator and the Miniedit visualization tool. On the model built using the external Onos controller, the operation of loop detection algorithms in the network was examined, the time delays in moments of network topology changes were analyzed, and OpenFlow messages were analyzed using Wireshark network traffic capturing software.*

Keywords *software-configurable networks, controller, OpenFlow, data transmission networks, Wireshark, Mininet, Miniedit, Onos.*

Information about Author

Sergey Valerevich Nikitin – Head of the Department JSC “Research Institute” Neptun” Research interests: design of software-configurable networks. Tel.: +7 911 112 72 37. E-mail: nikpvl@yandex.ru. Address: 199178, Russia, Saint-Petersburg, 7 line of the Vasilevsky island, 80 7 liniya Vasilyevskogo Ostrova

Для цитирования:

Никитин С. В. Анализ временных задержек при изменении топологии программно-конфигурируемой сети на базе эмулятора компьютерных сетей Mininet // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С. 67-73. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-67-73.

For citation:

Nikitin S. V. Analysis of time delays when changing the topology of a software-configurable network based on Mininet computer network emulator. Means of communications equipment. 2023. No. 3 (163). Pp. 67-73. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-67-73. (In Russian).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 623.618.5

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-74-83

**Процедура управления рекламационной деятельностью
как часть производственного процесса**

Мегера Ю. А., Бурлаков А. А.

Аннотация. Рекламационную деятельность в настоящее время нельзя считать деятельностью, не приносящей прибыли, а основной задачей отдела, отвечающего за ведение рекламационной работы предприятия, должно являться улучшение его организации, которого можно добиться применением принципов процессного подхода. Поэтому деятельность рекламационного отдела предприятия предлагается рассматривать как процесс рекламационной деятельности. **Актуальность:** Показано, что рекламационная деятельность предусматривает серьезную работу с поставщиками материалов и комплектующих изделий. Данный процесс можно отнести к разряду критических, т. е. тех процессов, ненадлежащая организация которых или несоблюдение требований, к выполнению которых могут представлять фактическую или потенциальную опасность для производственного процесса в целом, а, следовательно, и для эффективности выполнения государственного оборонного заказа. **Цель работы:** для объективной оценки качества процесса рекламационной деятельности необходимо разработать перечень качественных и/или количественных характеристик показателей (свойств) услуг, обеспечивающих их способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности потребителя и возможность оценки уровня качества услуг. **Используемые методы:** метод квалитметрии, метод выбора определяющего показателя, визуальный анализ графической схемы процесса, анализ времени выполнения процесса, анализ потерь, возникающих при выполнении процесса, анализ потенциала автоматизации процесса. **Новизна:** Оценка результативности рекламационной деятельности предполагает рациональность применения логических правил, соответствующего математического аппарата моделирования результатов рекламационной работы и их сравнение с поставленной целью для этого целесообразно цель отображать системой показателей, а её достижимость критериями эффективности. **Результат:** полученные оценки результативности должны быть проанализированы и положены в основу соответствующих управленческих решений, направленных на улучшение процесса рекламационной деятельности и взаимосвязанных процессов системы менеджмента качества. **Практическая значимость:** на предприятии внедрена система открытия рекламационных заказов, оформленная в бумажном и электронном виде.

Ключевые слова: контроль качества, подсистема технического обеспечения, рекламационная работа, техническое состояние.

Введение

Работа с рекламациями – это трудоемкое, но необходимое направление работы любой компании. Однако при правильном анализе рекламации дают бесценную информацию о том, какие процедуры необходимо улучшать и какому направлению важно уделять больше внимания. Важность успешной работы с рекламациями обусловлена следующими факторами:

- 1) реализация государственного оборонного заказа;
- 2) возможностью анализировать деятельность акционерного общества в целом по принятым и предъявленным рекламациям.

Проблема качества возникла сразу же с появлением производства и услуг [1]. Одно из упоминаний о важности качества: «Брать с собой вещи, которые безусловно добротны.

Ибо, так же как добротность с самого начала обеспечит доверие к вашим товарам, которое вырастает со временем, так и обманный или поддельный товар навлечет на вас и на все ваши товары презрение и дурную славу» (Р. Гаклют, 1553-1616 гг.). Основателями современной теории качества являются Джозеф Джуран и Эдвард Деминг. Джуран определил пять элементов качества: проектирование (какими должны быть продукция или услуга), исполнение (соответствие между расчетными значениями и полученными), пригодность (ремонтпригодность, сохраняемость, безопасность (риск для потребителя продукции), использование (упаковка, транспортировка, складирование, послепродажное обслуживание). Он разработал систему учета расходов, являющихся следствием снижения качества. Среди явных и скрытых потерь можно отметить расходы на гарантийный ремонт, потери из-за брака, расходы на пересылку изделий, внесение организации в перечень недобросовестных поставщиков, дополнительные расходы на оборудование.

В научных разработках компании «Тойота» и «Мицубиси» японского ученого Г. Тагути была предложена функция потерь качества, разработана методика планирования промышленных экспериментов. Философию Тагути кратко можно представить так:

- потери качества могут быть последствием изменения определенной цели;
- качество должно быть определено в изделии с начала проектирования.

Анализ процесса управления рекламационной деятельностью

Необходимость совершенствования рекламационной деятельности обусловлена следующими факторами.

Во-первых, оптимизация структуры отдела под существующие реалии.

Во-вторых, рекламационная деятельность – показатель денежных затрат, учитывая тот факт, что мы можем как предъявлять рекламации, так и получать рекламации от других предприятий.

В-третьих, от качества отработки рекламационных документов зависит время, отведенное на исследование и восстановление работоспособного состояния изделий, полноту удовлетворения рекламации и избегания ее повторения в дальнейшем.

В-четвертых, правильно построенная и организованная структура предприятия способна в установленные нормативно-технической документацией сроки выполнять возложенные на нее функции. Следовательно, рекламационная деятельность является одним из рычагов финансового благополучия предприятия, а основной задачей отдела, отвечающего за ведение рекламационной работы, является оптимизация его организации, и должна рассматриваться в рамках применения принципов процедурного подхода. Поэтому деятельность рекламационного отдела предприятия предлагается рассматривать как процесс рекламационной деятельности. Данный процесс можно отнести к разряду обязательных, т. е. тех процессов, ненадлежащая организация которых или несоблюдение требований могут представлять фактическую или потенциальную опасность для производственного процесса в целом, а, следовательно, и для эффективности выполнения государственного оборонного заказа [2].

Однозначно, что рекламационная деятельность предусматривает серьезную работу с поставщиками составных частей и комплектующих изделий. Важность выбора поставщика объясняется тем, что он должен быть, прежде всего, надежным партнером головного предприятия в реализации его стратегии организации производства. Выбор поставщика должен осуществляться дифференцированно, учитывая важность и сроки выполнения, предстоящего заказа с учетом импортозамещения.

Структурно-функциональная модель управления рекламационной деятельностью

В результате постоянной оптимизации процедуры рекламационной деятельности непрерывно повышается качество продукции, что способствует повышению общей конкурентоспособности Предприятия.

Обобщенная схема рекламационной работы Предприятия представлена на рис. 1.

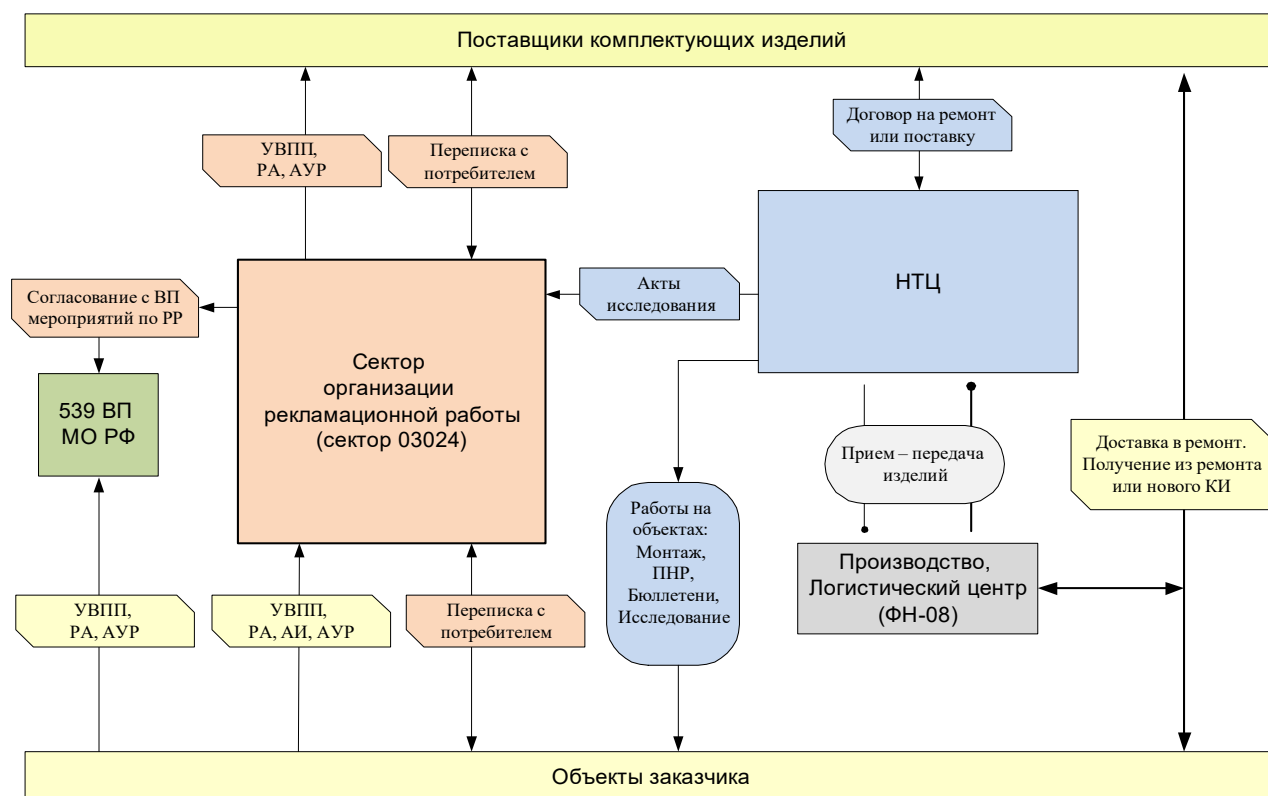


Рис. 1. Обобщенная схема рекламационной работы Предприятия

Оценка функционирования может быть использована как для улучшения самой процедуры, так и для определения его возможностей. Функционирование оценивается для того, чтобы сделать вывод о том, насколько оно способно приводить к ожидаемым результатам. Следовательно, оценка и анализ результативности функционирования рекламационной деятельности – ключевой момент оптимизации процедуры ведения рекламационной работы. Для регистрации данных по рекламационной работе используется журнал учета поступивших рекламаций.

Очевидно, что содержащихся в журнале сведений недостаточно чтобы оценить качество процесса рекламационной деятельности.

На нашем предприятии внедрена система открытия рекламационных заказов, оформленная в бумажном и электронном виде. В бумажном виде содержатся рекламационные документы согласно п. 5.1.4 второй абзац ГОСТ РВ 0015-703-2019 (вся официальная переписка между участниками работ осуществляется посредством почтового отправления оригиналов документов, официально подписанных соответствующими уполномоченными должностными лицами).

Оформление заказа осуществляется с учетом номенклатурных номеров журналов учета рекламационных документов, к примеру:

Заказ 0302-42-2022. 08.15-23, где: **0302** – подразделение, ведущее рекламационную работу; **42** – номенклатурный номер журнала учета поступивших рекламаций; **2022.08.15** – дата открытия заказа; **23** – порядковый номер записи в журнале учета поступивших рекламаций и, соответственно, номер самого заказа. Дополнительно ведется информационная справка на изделие по каждому рекламационному случаю. Это позволяет с наименьшими усилиями регистрировать данные по рекламациям для их дальнейшей систематизации и расчета обобщенного показателя. Пример информационной справки приведен на рис. 2.

Описание процесса управления рекламационной деятельностью

Сама процедура управления рекламационной деятельностью «Организация рекламационной работы» может состоять из шести подпроцессов, подробное описание которых представлено ниже и отображено на рис. 3.

1) Обнаружение дефекта изделия. Уведомление о вызове представителя поставщика (сообщение об обнаруженных дефектах) поступает в сектор организации рекламационной работы, регистрируется в журнале учета поступивших рекламаций.

2) Ведущий инженер сектора организации рекламационной работы с целью принятия решения по полученному уведомлению проводит его предварительный анализ и устанавливает:

- наименование и обозначение изделия, его заводской номер;
- гарантийные обязательства Предприятия (вид и продолжительность гарантийных обязательств, начальный момент исчисления) согласно контракту (договору) на поставку изделия (работы, услуги);
- дату изготовления и дату ввода в эксплуатацию;
- основные дефекты, обнаруженные в изделии;
- полноту информации, приведенной в уведомлении.

При необходимости и наличии возможности, по средствам связи, проводится уточнение и получение дополнительной информации от потребителя для принятия обоснованного решения по уведомлению.

3) По согласованию с Военным представительством МО РФ и отделом, ответственным за несоответствие, сектор организации рекламационной работы участвует в принятии решения:

- о командировании представителя Предприятия к потребителю;
- вызове представителей подрядчика и поставщиков комплектующих изделий (КИ) (при необходимости) для участия в работе комиссии, созданной потребителем, участия в проверке технического состояния и исследования изделия, анализе и исследовании причины его возникновения, а также в составлении и подписании РА и акта исследования (АИ);
- направлении изделия без выезда представителя для проведения исследования на Предприятии;
- согласии на проведение работ силами потребителя с использованием комплекта записных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП);
- уполномочить для участия в проверке технического состояния изделия по обнаруженному дефекту, анализе и исследовании причин его возникновения, и составлении РА специализированную организацию, расположенную в месте нахождения изделия, или специалистов бригады технического надзора, находящихся у потребителя и выполняющих регламентные работы на изделиях в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.1 709.

Контракт на поставку № 30-XXX/17 от 08. X.1X	Заказ 0302-42-2022. X.15-23
НТЦ-3, отдел 3051: Воробьев Олег Игоревич	61-49, 8-911-101-XX-XX, 8-981-947-XX-XX
ПАО «Ярославский радиозавод»: Грачев А.К.	8-915-982-XX-XX

Р-XXX-26		ИТНЯ.464511.192-25		зав. № 82XX01	
из состава:		Р-XXX-09852			
<u>Дата изготовления изделия:</u>		27.X.201X г.			
Документ на изделие	Гарантийные обязательства	Дата исчисления	Дата завершения	Статус	
Контракт на поставку № 30-XXX/17 от 08.X.1X	Гарантийный срок хранения - X лет с момента приемки радиостанции ВП МО.	с 27.X.201X г.	28.X.202X г.	Гарантийное	
дата отгрузки:	27.X.201X г.	адрес отгрузки:	ПАО «Интелтех»		
<u>Дефектное изделие:</u>	блок Р-ХХХАФ-31М зав. № 82XX01				
Описание дефекта	При работе радиостанции Р-ХХХ-26 произошел отказ блока Р-ХХХ-АФ-31М, не осуществляется прохождение ВЧ сигнала.				
<u>Дата обнаружения дефекта</u>		акт № 5/583 от 15. X.202X			
Изделие	Р-ХХХ-26	№ 82XX01	находится:	АО «СПО «Арктика»	
г. Северодвинск	Архангельское шоссе	дом 34	164500		
<u>Мероприятия на объекте:</u>					
После замены неисправного блока на заведомо исправный, работоспособность радиостанции Р-ХХХ-26 восстановлена.					
<u>Решение по восстановлению:</u>					
Для исследования и восстановления неисправный блок Р-ХХХАФ-31М зав. № 82XX01 направить на предприятие-изготовитель ПАО «Ярославский радиозавод»					
<u>Направлено:</u>					
УВП		№ 21/2022	от 16. X.202X	ГД ПАО «Ярославский РЗ»	
РА		№ 345/02163	от 21. X.202X	АО «СПО «Арктика»	
АИ		№ 166/49-22	от 05. X.202X	ПАО «Ярославский РЗ»	
<u>Переписка:</u>					
<u>УВП № 21/202X исх. № ФН-03/260</u>	От 16. X.202X	ГД ПАО «Ярославский радиозавод», 377 ВП			
Командировать специалиста на заказ № 664 для устранения замечаний по радиостанции Р-ХХХ-26					
~	~	~			
<u>Исх. № ФН-03/312</u>	от 13. X.202X	ГД ПАО «Ярославский радиозавод»			
В Ваш адрес, 21.X.202X для исследования и восстановления, направлен блок Р-ХХХАФ-31, прошу сообщить порядок и сроки восстановления.					
<u>Исх. № 18/966</u>	От 21. X.202X	ЗГДК Прищенко В.Н.			
Срок исследования изделия продлевается до 30. X.202X					
<u>Исх. № 18/1239</u>	От 05. X.202X	ЗГДК Прищенко В.Н.			
Блок отгружен через ФГУ «ГЦСС» в адрес АО «СПО «Арктика», срок отгрузки 29. X.202X					
~	~	~			
Прошу Вас совместно с представителем ПАО «Ярославский радиозавод» на заказе зав. № 664 организовать проверку блока Р-ХХХАФ-31М зав. № 82XX01 в составе радиостанции Р-ХХХ-26 зав. № 82XX10 полученного после проведения гарантийного ремонта, с оформлением документа, подтверждающим факт восстановления изделия.					
рекламация удовлетворена					
Акт об удовлетворении рекламации	№ 5/162	от 25. X.202X	АО «СПО «Арктика»		

Рис. 2. Информационная справка изделия

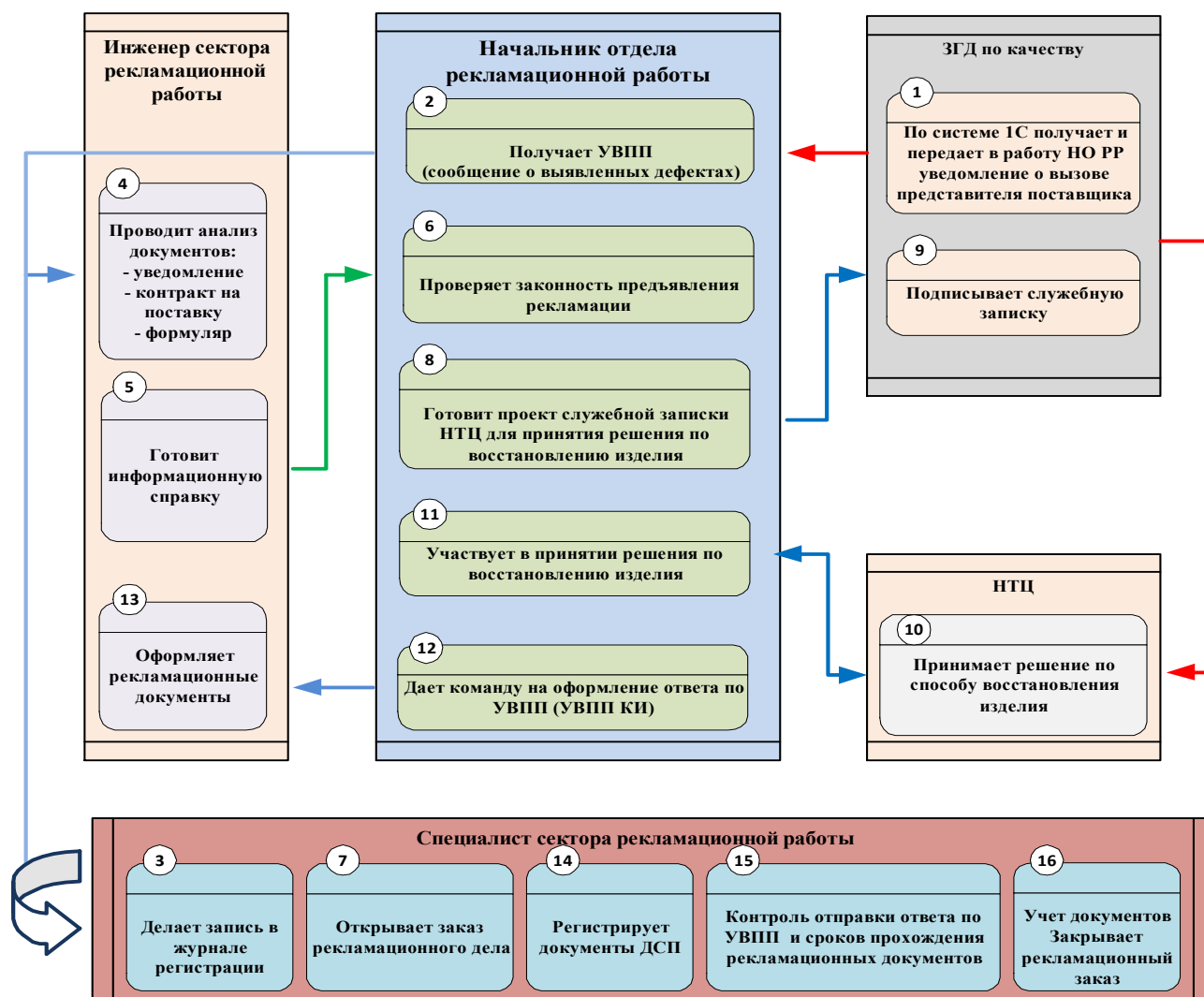


Рис. 3. Последовательность работы должностных лиц при открытии рекламационного заказа

4) Экспертиза. На данном этапе осуществляется исследование изделия (проводят во всех случаях составления рекламационного акта) в целях:

- подтверждения факта наличия дефекта изделия;
- определения (локализации) места дефекта изделия;
- установления характера дефекта изделия (производственный, конструктивный, эксплуатационный) и причин его возникновения, если характер дефекта не удалось определить ранее;
- определения места (у потребителя, поставщика, разработчика, на ремонтном предприятии, в другой компетентной организации) проведения дополнительного исследования (при необходимости), а также ремонта (восстановления) изделия;
- разработки и реализации организационно-технических мероприятий по устранению причин возникновения дефекта;
- исключения возникновения аналогичных дефектов в изделиях, находящихся в производстве и эксплуатации.

5) Устранение дефекта. Рекламацию считают полностью удовлетворенной, в случае, если:

- изделие восстановлено (заменено), доставлено и передано потребителю;

- полностью выполнены поставщиком комплектность изделия, ЗИП и использованные КИ потребителя;
 - проведены исследования дефектного изделия: установлены причины появления дефекта изделия и характер дефекта (производственный, конструктивный, эксплуатационный), разработаны мероприятия по устранению и недопущению причин его возникновения;
 - выполнены все мероприятия по реализации мер по устранению и недопущению причин возникновения выявленного дефекта изделия;
 - составлен, утвержден и разослан заинтересованным сторонам акт удовлетворения рекламации или сделана соответствующая запись в рекламационном акте об удовлетворении рекламации (запись в сообщении об обнаруженных дефектах);
 - сделана отметка в ЭД (формуляре, паспорте) о работах, проведенных по восстановлению изделия.
- б) Отправка изделия потребителю. На данном этапе оговаривается способ и сроки доставки.

Формирование и комплексирование показателей качества (критериев оценки)

Для объективной оценки процедуры рекламационной деятельности необходимо определить перечень качественных (количественных) характеристик показателей рекламационной работы, обеспечивающих возможность оценки уровня соответствия требованиям ведения рекламационной работы и соответственно действий персонала. К количественным характеристикам показателей рекламации будем относить время от момента выявления дефекта до удовлетворения рекламации [3]. Качественными характеристиками показателей рекламации будем считать квалификацию персонала, наличие достоверной информации об изделии, расстояние между участниками процесса [4].

Оценка результативности рекламационной деятельности предприятия определяется разностью плановых и фактических значений показателей рекламационной работой за определенный период и коэффициента значимости (весомости) каждого показателя внутри процесса [5].

Для этого необходимо цель отображать системой показателей, а её достижимость критериями эффективности, как показано в табл.

Таблица – исходные данные для расчетов

№ п/п	Показатель	Плановое значение	Фактическое значение	Значение показателя
1.	Количество РА, Q	0	$Q1$	
2.	Количество РА по вине потребителя, W	0	$W1$	$W2$
3.	Количество РА по вине НТЦ, R	0	$R1$	$R2$
4.	Время принятия решения по восстановлению изделия НТЦ, T	24 ч	$T1$	$T2$
5.	Время ревизии рекламационных документов, Y	72 ч	$Y1$	$Y2$
6.	Время рассмотрения рекламации, U	720 ч	$U1$	$U2$
7.	Время устранения несоответствий, I	480 ч	$I1$	$I2$
8.	Время на закрытие рекламации (получение АУР), P	24 ч	$P1$	$P2$

При отсутствии какой-либо информации по распределению коэффициента значимости (весомости) можно воспользоваться оценками Фишборна при слабом предпочтении, установив простое отношение порядка [6], для чего вводятся соответствующие коэффициенты, как вероятности полной группы событий:

$$d_T + d_Y + d_U + d_I + d_P = 1. \quad (1)$$

В зависимости от качества, степени проявления показателя ему присваивается низкий, средний или высокий уровень.

$$d_T > d_Y > d_U > d_I > d_P \Rightarrow d_1 > d_2 > d_3 > d_4 > d_5. \quad (2)$$

Для расчета удобно использовать правило Фишборна:

$$d_i = \frac{2(k - q + 1)}{k(k + 1)}, \quad (3)$$

где d_i – коэффициент распределения для i – го показателя; q – вес показателя; k – общее количество показателей.

Правило Фишборна отражает тот факт, что об уровне значимости показателей неизвестно ничего, кроме того, что они расположены по порядку убывания своей значимости.

Вывод

1) Полученные результаты оценки рекламационной работы должны учитываться и составлять основу соответствующих решений, направленных на улучшение процедуры рекламационной деятельности.

2) Оценка результативности рекламационной деятельности предполагает изменение алгоритмов работы в соответствии с возникающими новыми реалиями, применения соответствующего математического аппарата моделирования результатов рекламационной работы и их сравнение с поставленной целью.

3) В результате анализа формул (1) – (3) полученные результаты могут быть интерпретированы по различным шкалам. Наиболее применима следующая градация результативности процесса:

- при $0 < P < 0,5$ – недопустимый уровень результативности процесса;
- при $0,51 < P < 0,65$ – низкий уровень результативности процесса;
- при $0,66 < P < 0,75$ – средний уровень результативности процесса;
- при $0,76 < P < 0,85$ – уровень результативности выше среднего;
- при $0,86 < P \leq 1$ – высокий уровень результативности процесса.

Литература

1. Ермаков В. Е., Бачинский А. Г. Теории менеджмента качества Филиппа Кросби и Джозефа Джурана // Форум молодых ученых. 2020. № 10 (50). С. 188–192.
2. Школина Т. В., Изотикова Е. Ю. Оценка и улучшение качества процессов рекламационной деятельности // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 1 (54). С. 254–260.
3. Корочкина С. В., Долженкова А. В. Оптимизация бизнес-процесса «управление рекламациями» с целью повышения удовлетворенности клиентов // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 6–2. С. 247–252.
4. Шафигуллин И. Ш., Плеханов Ю. Л. Особенности прикладного решения задач антикризисного управления в области анализа слабоструктурированных данных при применении экспертных систем // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 72–76.

5. Лохвицкий В. А., Калиниченко С. В., Нечай А. А. Подход к построению системы автоматизированной интеграции информации в базу данных для ее своевременной актуализации // Мир современной науки. 2014. № 2 (24). С. 8–12.
6. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. 358 с.

References

1. Ermakov V. E., Bachinsky A. G. *Teorii menedzhmenta kachestva Filippa Krosbi i Dzhozefa Dzhurana* [Theories of quality management by Philip Krosby and Joseph Juran]. *Forum molodyh uchenykh* [Forum of Young Scientists]. 2020. No. 10 (50). Pp.188–192. (In Russian).
2. Shkolina T. V., Izotikova E. Yu. *Ocenka i uluchshenie kachestva processov reklamacionnoj deyatel'nosti* [Assessment and improvement of the quality of the processes of advertising activity]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Bryansk State Technical University]. 2017. No. 1 (54). Pp. 254-260. (In Russian).
3. Korochkina S. V., Dolzhenkova A. V. *Optimizaciya biznes-processa «upravlenie reklamაციями» s cel'yu povysheniya udovletvorennosti klientov* [Optimization of the business process "management of complaints" in order to increase customer satisfaction]. *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava* [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. 2020. No. 6-2. Pp. 247-252. (In Russian).
4. Shafigullin I. Sh., Plekhanov Yu .L. *Osobennosti prikladnogo resheniya zadach antikrizisnogo upravleniya v oblasti analiza slabostrukturirovannykh dannykh pri primenenii ekspertnykh sistem* [Features of the applied solution of anti-crisis management problems in the field of analysis of weakly structured data when using expert systems]. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie* [Bulletin of the Russian New University. Series: Complex Systems: models, analysis and management]. 2020. No. 4. Pp. 72-76. (In Russian).
5. Lokhvitsky V. A., Kalinichenko S. V., Nechai A. A. *Podhod k postroeniyu sistemy avtomatizirovannoj integracii informacii v bazu dannykh dlya ee svoevremennoj aktualizacii* [Approach to building a system of automated integration of information into a database for its timely updating]. *Mir sovremennoj nauki* [The world of modern science]. 2014. No. 2 (24). Pp. 8-12. (In Russian).
6. Fishburn P. *Teoriya poleznosti dlya prinyatiya reshenij* [Theory of utility for decision-making]. Moscow. Nauka Publ., 1978. 358 p. (In Russian).

Статья поступила 04 сентября 2023 г.

Информация об авторах

Мегира Юрий Анатольевич – Кандидат военных наук. Заместитель начальника отдела Публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» (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.

The procedure for managing the advertising activity as part of the production process

Yu. A. Megera., A. A. Burlakov

Annotation: Currently, advertising activities cannot be considered non-profit activities, and the main task of the department responsible for conducting the company's advertising work should be to improve its organization, which can be achieved by applying the principles of a process approach. Therefore, the activity of the company's advertising department is proposed to be considered as a process of advertising activity. **Relevance:** It is shown that the advertising activity involves serious work with suppliers of materials and components. This process can be classified as critical, i.e. those processes whose improper organization or non-compliance with the requirements for which may pose an actual or potential danger to the production process as a whole, and, consequently, to the effectiveness of the implementation of the state defense order. **Objective:** for an objective assessment of the quality of the process of advertising activity, it is necessary to develop a list of qualitative and /or quantitative characteristics of indicators (properties) of services that ensure their ability to meet the established or expected needs of the consumer and the ability to assess the level of quality of services. **Methods used:** the method of qualimetry, the method of selecting the defining indicator, visual analysis of the graphical scheme of the process, analysis of the execution time of the process, analysis of losses arising during the execution of the process, analysis of the automation potential of the process. **Novelty:** The evaluation of the effectiveness of the advertising activity assumes the rationality of the application of logical rules, the corresponding mathematical apparatus for modeling the results of the advertising work and their comparison with the goal for this purpose, it is advisable to display the goal with a system of indicators, and its achievability with efficiency criteria. **Result:** the received performance assessments should be analyzed and used as the basis for appropriate management decisions aimed at improving the process of advertising activities and interrelated QMS processes. **Practical significance:** the company has implemented a system for opening advertising orders, issued in paper and electronic form.

Keywords: technical condition, advertising work, quality control, subsystem of technical support.

Information about the authors

Yuri Anatolyevich Megera – Candidate of Military Sciences. Deputy Head of Department 0302 of PJSC «Inteltech». Research interests: management of technical support of communication and automation. Tel.: +7(812)448-96-36. E-mail: yamegera1971@mail.ru.

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

Andrey Anatolyevich Burlakov – 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. Research interests: management of technical support of communication and automation. Tel. +7(812)247-98-42, e-mail: burlakov38@gmail.com.

Address: St. Petersburg, Tikhoretsky Prospekt, 3.

Для цитирования:

Мегера Ю. А., Бурлаков А. А. Процедура управления рекламационной деятельностью как часть производственного процесса // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С. 74-83. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-74-83.

For citation:

Megera Yu. A., Burlakov A. A. The procedure for managing advertising activities as part of the production process. Means of communications equipment. 2023. No. 3 (163). Pp. 74-83. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-74-83. (In Russian).

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ.
СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

УДК 005.9

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-84-91

Разработка системы согласования закупочных документов и договоров с использованием платформы «1С: Документооборот»

Сиразетдинов Р. Р., Белоус Д. В.

Аннотация. Статья посвящена основным вопросам разработки системы согласования закупочных документов и договоров с использованием конфигурации «1С: Документооборот» на платформе «1С: Предприятие». Указаны основные руководящие документы, в соответствии с которыми проводятся закупочные процедуры на предприятиях корпорации «Ростех». Выделены этапы жизненного цикла заключаемого с контрагентами договора. Перечислены основные свойства конфигурации «1С: Документооборот» и виды работ, которые необходимо выполнить в процессе внедрения. На основании алгоритмов проведения закупочных процедур разработаны ряд шаблонов рабочих процессов, представляющих собой совокупность задач для взаимодействующих сотрудников предприятия. Так же разработаны процедуры синхронизации с конфигурацией «1С: Управление Производственным Предприятием». Разработанный перечень внутренних документов, классифицированных по видам, формам представления, необходимости регистрации и хранения шаблона на документ, позволил сформировать формы представления регистрируемых документов и шаблоны документов для заполнения этих форм. Описан порядок создания видов документов и шаблонов документов. Для разграничения доступа к создаваемым сотрудниками внутренним документам между подразделениями и упорядочивания этих документов создаётся иерархия папок. Основная цель работы, а именно, автоматизация процессов согласования закупочных документов и договоров, достигнута.

Ключевые слова: «1С: Документооборот», «1С: Предприятие», «1С: Управление Производственным Предприятием», виды документов, закупочные процедуры, папки внутренних документов, шаблоны рабочих процессов, шаблоны документов.

На предприятиях корпорации «Ростех» закупочные процедуры производятся с помощью ряда руководящих документов:

Федерального закона от 18.07.2011 г. № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц»;

Федерального закона от 23.11.2007 г. № 270-ФЗ «О Государственной корпорации по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех»;

Единого положения о закупке Государственной корпорации «Ростех» и др.

В соответствии с этими документами можно выделить этапы жизненного цикла заключаемого на предприятии договора с контрагентами, а именно:

- формирование предмета закупки;
- разработка и согласование основных условий проведения закупки или основных условий закупки у единственного поставщика;
- инициирование заключения договора;
- создание и внутреннее согласование проекта договора;
- разработка и согласование документации о закупке, проведение закупочной процедуры, оформление, согласование и размещение протоколов закупочной комиссии (ЗК) с результатами закупочной процедуры в единой информационной системе (ЕИС);
- проведение преддоговорных переговоров, согласование разногласий по договору;
- согласование проекта договора с контрагентом;

– подписание проекта договора предприятием, регистрация договора и размещение его в ЕИС;

– исполнение обязательств по договору.

Реализация всех этапов – очень трудоемкий и долгий процесс, требующий взаимодействия множества подразделений предприятия. Поэтому было принято решение о создании автоматизированной системы согласования закупочных документов и договоров. В качестве платформы автоматизации была выбрана уже внедрённая на предприятии система «1С: Предприятие 8.3». Предстояло внедрить конфигурацию «1С: Документооборот» и обеспечить её синхронизацию по некоторой нормативно справочной информации с существующей конфигурацией «1С: УПП».

«1С: Документооборот» является полноценной системой электронного документооборота, обеспечивающей ряд важных свойств:

– безопасность. Информация, которую несут в себе документы, должна иметь высокую степень защиты. Возможность работы с документами строго настроена, ограничена возможность чтения и изменения документов пользователями, для которых это не требуется;

– распространение документов в электронном виде и скорость этого распространения. Если мы говорим об автоматизации — мы хотим получить систему с моментальным откликом, которая экономит большое количество времени, в отличие от пересылки документов почтой;

– работа с реквизитами документов;

– регистрация документов;

– прямая интеграция документов, то есть создание документа непосредственно внутри системы, которое регулируется шаблонами;

– упорядоченность документов, разделение на папки для удобной работы.

Исследование системы электронного документооборота показало, что необходимо выполнить следующие виды работ:

1) Анализ процессов организации закупочных процедур и порядка проведения договорной работы на предприятии.

2) Разработка алгоритмов организации закупочных процедур и порядка проведения договорной работы.

3) Определение объектов из «1С: УПП», необходимых для функционирования системы «1С: Документооборот», разработка процедуры синхронизации.

4) Разработка и согласование перечня внутренних документов, классифицированных по видам, формам представления, необходимости регистрации и хранения шаблона на документ.

5) Разработка видов документов «1С: Документооборот», иерархии внутренних документов, необходимых для участия в документообороте.

6) Разработка форм представления регистрируемых документов.

7) Разработка шаблонов документов для заполнения форм представления.

8) Разработка шаблонов рабочих процессов.

9) Разработка процедур формирования печатных форм и отчётов.

10) Тестирование и исправление ошибок разработанной системы.

11) Подключение и настройка рабочих станций участников общих рабочих процессов.

12) Подключение и настройка рабочих станций участников рабочих процессов в подразделениях.

Анализ процессов организации закупочных процедур и порядка проведения договорной работы на предприятии позволил разработать ряд алгоритмов, которые в свою очередь легли в основу шаблонов рабочих процессов, процедур формирования печатных форм и отчётов. Были разработаны следующие алгоритмы:

– алгоритм формирования и согласования документа – базовый процесс, используемый впоследствии во всех остальных алгоритмах;

- алгоритм проведения закупки до 100 тысяч рублей у единственного поставщика по счёту;
- алгоритм проведения закупки до 100 тысяч рублей у единственного поставщика по договору;
- алгоритм проведения закупки свыше 100 тысяч рублей у единственного поставщика;
- алгоритм проведения закупки по конкурентной процедуре;
- алгоритм проведения продажи;
- алгоритм синхронизации справочников нормативной информации.

Шаблоны рабочих процессов (рис. 1), разработанные на основе этих алгоритмов, представляют собой совокупность задач для взаимодействующих сотрудников предприятия, запускаемых последовательно или параллельно в ходе проведения закупок (продаж).

N	Действие	Срок
1	Исполнение: Формирование и согласование проекта договора в ПАО "Интелтех"	не определен
2	Исполнение: Направить комплект "бумажных" документов в ООЗП для оформления протоколов по договору	не определен
3	Согласование: Оформление и согласование закупочной документации по договору	не определен
4	Исполнение: Согласование договора с начальниками отделов 0105 и 0706 (для закупок по конкурентной процедуре)	не определен
5	Исполнение: Направление уведомления о проведении закупки в специальную закупочную комиссию (при необходимости для закупок у единственного по ...)	не определен
6	Исполнение: Присвоение номера договора	не определен
7	Исполнение: Подписание договора	не определен
8	Исполнение: Добавить подписантов договора, дату подписания, перевести договор в состояние "Подписано"	не определен
9	Исполнение: Создание карточки договора в АС ФЭД, создание документа "Договор подписанный" и отправка его в ООЗП	не определен
10	Согласование: Размещение информации по договору в ЕИС	не определен
11	Исполнение: Передача оригиналов договора в ПЗО	не определен

Рис. 1. Шаблон рабочего процесса

Процедуры формирования печатных форм и отчётов предназначены для контроля процессов согласования документов, а также синхронизации справочников контрагентов, физических лиц и структуры предприятия с аналогичными справочниками в «1С: УПП».

Разработанный перечень внутренних документов, классифицированных по видам, формам представления, необходимости регистрации и хранения шаблона на документ, позволил сформировать формы представления регистрируемых документов и шаблоны документов для заполнения этих форм.

В процессе анализа было принято решение, что основными считаются следующие виды документов:

- закупка на сумму до 100 тыс. рублей по счёту;

- закупка на сумму до 100 тыс. рублей по договору;
- закупка по конкурентной процедуре;
- закупка у единственного поставщика;
- продажа;
- неоплачиваемая услуга;
- рамочный договор.

Эти документы включают все возможные для соответствующего вида закупок реквизиты и свойства, а остальные документы по закупке будут создаваться на основании перечисленных документов. Таким образом, обеспечивается однократный ввод данных в документы, так как при создании документа на основании другого, значения соответствующих реквизитов и свойств автоматически копируются.

Кроме того, шесть последних документов имеют свойство «Является комплектом документов», что позволяет этим документам иметь специальную закладку «Комплект документов», куда можно помещать все документы по данной закупке.

Все документы, с которыми необходимо работать исполнителю подразделения-инициатора закупки, за исключением входящей и исходящей корреспонденции, являются внутренними документами. Документ, как правило, состоит из карточки документа и файла (файлов) документа. Состав реквизитов и свойств документа определяется видом документа, а содержание файла документа определяется шаблоном документа. Таким образом, для работы с различными документами, обеспечивающими обмен в процессе проведения закупок, необходимо для каждого из них создать вид документа (рис. 2), добавив в него необходимые дополнительные свойства (рис. 3) и шаблон документа.

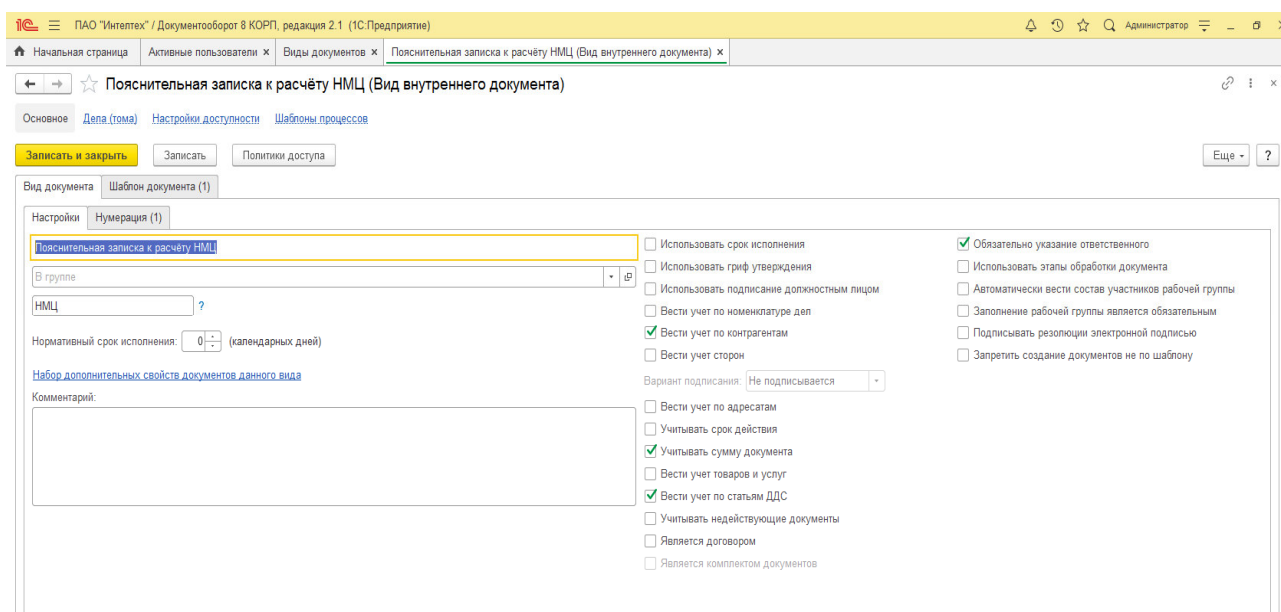


Рис. 2. Создание вида документа

При этом для заполнения некоторых значений в файл требуется разработка специальных скриптов (рис. 4), так как файл заполняется не самими свойствами, а соответствующими им значениями других свойств, не хранящихся в карточке документа.

Поскольку каждый документ в процессе проведения закупочных процедур проходит процедуру согласования, необходимо для каждого вида документа указать, чьи визы должен получить документ в процессе согласования (рис. 5).

В итоге формируется специальный шаблон файла документа (рис. 6), который обеспечивает автоматическое заполнение файла документа значениями реквизитов и свойств карточки документа.

Имя	Тип значения
– Изделие	Строка
– Номер заказа	Строка
– Номер закупки в РПЗ	Строка
– Номер закупки в ПЗ	Строка
– Предмет договора	Строка
– Минимально необходимые требования	Строка
– Место поставки продукции	<Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8, ...
– Срок исполнения договора	Дата
– Условия оплаты (порядок расчетов)	Строка
– Способ закупки	<ОК (Открытый конкурс), ОКсКО (Открытый ко...
– Сведения о НМЦ договора, руб.	Число
– Способ расчёта НМЦ	<1. Метод сопоставимых рыночных цен (анали...

Рис. 3. Дополнительные свойства документа

```

РезультатОбработки = "";
Запрос = Новый Запрос("ВЫБРАТЬ
|
| СтатьиДвиженияДенежныхСредствДокументов.СтатьяДвиженияДенежныхСредств.Наименование
КАК КодСтатьи
| ИЗ
| РегистрСведений.СтатьиДвиженияДенежныхСредствДокументов КАК
СтатьиДвиженияДенежныхСредствДокументов
| ГДЕ
| СтатьиДвиженияДенежныхСредствДокументов.Документ.Ссылка = &Ссылка");
Запрос.УстановитьПараметр("Ссылка", Файл.ВладелецФайла.Ссылка);
Результат = Запрос.Выполнить().Выбрать();
Пока Результат.Следующий() Цикл
    РезультатОбработки = РезультатОбработки + Результат.КодСтатьи + ";" + Символы.ПС;
КонецЦикла;
    
```

Рис. 4. Скрипт для заполнения значения КодДДС

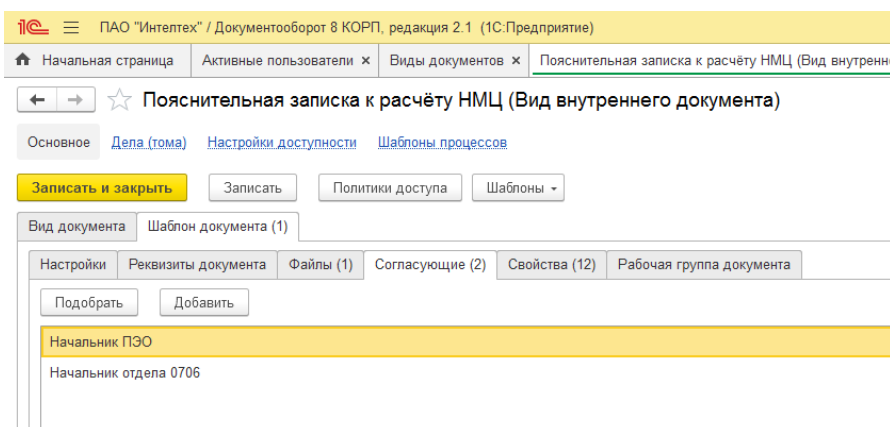


Рис. 5. Настройка виз согласования

Для разграничения доступа к создаваемым сотрудниками внутренним документам между подразделениями и упорядочивания этих документов создаётся иерархия папок. К каждой создаваемой папке настраивается доступ (рис. 7).

Основными папками для хранения внутренних документов являются:

- договоры;
- документации о закупке;

№ Регистрационный номер
От Дата регистрации

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к расчету начальной (максимальной) цены договора (цены лота)

Номер закупки / Номер закупки в ПЗ
(указывается номер закупки в РПЗ/ПЗИП)

Предмет договора
(указывается предмет договора)

N п/п	Основные показатели	Сведения о полученной информации
1.	Основные требования к продукции	Минимально необходимые требования
2.	Место поставки продукции	Место поставки продукции
3.	Срок начала и окончания исполнения договора (график выполнения этапов договора)	Срок исполнения договора
4.	Условия оплаты	Условия оплаты (порядок расчетов)
5.	Требования к участникам закупки (если установлены)	
6.	Особенности рынка и (или) закупочной ситуации, влияющие на величину НМЦ (заполняется при наличии)	
7.	Используемый метод (методы) определения НМЦ со ссылкой на пункты Рекомендаций	Способ расчёта НМЦ
8.	Иная информация об условиях договора, существенная для расчета НМЦ	
9.	Расчитанная величина НМЦ	Сведения о НМЦ договора, руб.
10.	Источник финансирования Номер заказа Статья структуры цены	Код ДДС Номер заказа Статья ДДС
11.	Перечень поставщиков, предоставивших ценовые предложения:	
11.1	Наименование, фирменное наименование (при наличии), ИНН, адрес места нахождения, номер телефона и (или) факса, адрес электронной почты (при наличии информации), адрес официального сайта организации в информационно-коммуникационной сети «Интернет» (при наличии)	Полное наименование ИНН ОГРН, ОГРНИП, Рег. номер КПП Код по ОКПО
11.2	Наименование, фирменное наименование (при наличии), ИНН, адрес места нахождения, номер телефона и (или) факса, адрес электронной почты (при наличии информации), адрес официального	

Рис. 6. Шаблон заполнения файла документа

Пользователь	Чтение	Изм. папок	Документы			Упр. правами	Для подпапок
			Добавление	Изменение	Удаление		
Исполнители - ФН-06	✓	✗	•	✓	•	✗	✗
Отдел организации договорной работы	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗
Отдел организации закупочных процедур	✓	✗	•	✓	•	✗	✗
Планово-экономический отдел	✓	✗	•	✓	•	✗	✗
Согласующие - ПАО "Интелтек"	✓	✗	•	•	•	✗	✗
Согласующие - ФН-06	✓	✗	•	•	•	✗	✗
Финансовый отдел	✓	✗	•	•	•	✗	✗
Юридический отдел	✓	✗	•	•	•	✗	✗

Рис. 7. Настройка доступа к папкам

- документы по исполнению договора;
- журналы преддоговорных переговоров;
- заключения по банковским гарантиям;
- закупки на сумму до 100 тыс. рублей;
- закупки по конкурентной процедуре;
- закупки у единственного поставщика;
- протоколы закупочной комиссии;
- сообщения о заинтересованности и др.

Внутри этих папок создаются папки в соответствии со структурой предприятия.

Литература

1. Стандарт организации ВМИР 7.4-12-2020. – СПб.: ПАО «Интелтех», 2020. – 287 с.
2. Единое положение о закупке Государственной корпорации «Ростех» от 18.03.2015 г. №2 (ред. 30.12.2020) // Наблюдательный совет Государственной корпорации «Ростех», 2015. – 315 с.
3. Федеральный закон от 18.07.2011 г. № 223-ФЗ (ред. 05.04.2021) «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» // Собрание законодательства РФ, 2011. – № 38. – ст. 4571.
4. Федеральный закон от 23.11.2007 г. № 270-ФЗ (ред. 31.07.2020) «О Государственной корпорации по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех» // Собрание законодательства РФ, 2007. – № 19. – ст. 5814.
5. Ульянцева С. Э. Управление документами: быстро, эффективно, своими силами. На примере «1С: Документооборот 8». М.: ООО «1С-Паблишинг», 2015. 148 с.
6. ООО «1С-Софт». 1С: Предприятие 8. Конфигурация «Документооборот КОРП». Редакция 2.1. Описание (в трёх частях). – М.: ООО «1С-Паблишинг», 2016. – 231 с.
7. Быкова Т. А. Документационное обеспечение управления «1С:Документооборот». – М.: ООО «1С-Паблишинг», 2016. – 156 с.
8. Лушников В. В. 1С: Документооборот. 200 вопросов и ответов: практическое пособие. – М.: ООО «1С-Паблишинг», 2014. – 298 с.

References

1. *Standart organizacii VMIR* [Standard of the organization VMIR] 7.4-12-2020. St. Petersburg: PAO "Inteltech", 2020. 287 p.
2. *Edinoe polozhenie o zakupke Gosudarstvennoj korporacii "Rostekh"* [Single regulation on the procurement of the State Corporation "Rostec"] dated March 18, 2015 No. 2 (as amended on December 30, 2020). *Nablyudatel'nyj sovet Gosudarstvennoj korporacii "Rostekh"* [Supervisory Board of the State Corporation "Rostec"], 2015. 315 p.
3. Federal Law No. 223-FZ of July 18, 2011 (as amended on April 5, 2021) "*O zakupkah tovarov, rabot, uslug ot del'nymi vidami yuridicheskikh lic*" ["On Procurement of Goods, Works, Services by Certain Types of Legal Entities"]. *Sobranie zakonodatel'stva RF* [Collected Legislation of the Russian Federation], 2011. No. 38. Art. 4571
4. Federal Law of November 23, 2007 No. 270-FZ (as amended on July 31, 2020) "*O Gosudarstvennoj korporacii po sodejstviyu razrabotke, proizvodstvu i eksportu vysokotekhnologichnoj promyshlennoj produkcii "Rostekh"*" ["On the State Corporation for Assistance in the Development, Production and Export of High-Technological Industrial Products "Rostec"]. *Sobranie zakonodatel'stva RF* [Collection of Legislation of the Russian Federation], 2007. No. 19. Art. 5814
5. Ulyantseva S. E. *Upravlenie dokumentami: bystro, effektivno, svoimi silami. Na primere "1S: Dokumentooborot 8"* [Document management: quickly, efficiently, on their own. For example, "1С: Workflow 8"]. Moscow. LLC "1С-Publishing", 2015. 148 p.
6. *ООО "1S-Soft". 1S: Predpriyatye 8. Konfiguraciya "Dokumentooborot KORP". Redakciya 2.1. Opisanie (v tryoh chastyah)* [LLC "1С-Soft". 1С: Enterprise 8. Configuration "Document Management CORP". Edition 2.1. Description (in three parts)]. Moscow. ООО "1С-Publishing", 2016. 231 p.
7. Bykova T. A. *Dokumentacionnoe obespechenie upravleniya "1S: Dokumentooborot"* [Documentation support for management "1С: Document management"]. Moscow. ООО "1С-Publishing", 2016. 156 p.
8. Lushnikov V.V. *1S: Dokumentooborot. 200 voprosov i otvetov: prakticheskoe posobie* [1С: Workflow. 200 questions and answers: a practical guide]. Moscow. LLC "1С-Publishing", 2014. 298 p.

Статья поступила 23 августа 2023 г.

Информация об авторах

Белоев Денис Васильевич – Начальник научно-исследовательского отделения развития информационных технологий и администрирования корпоративной информационной системы Публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Кандидат технических наук. Область научных интересов: анализ, внедрение, сопровождение информационных систем. E-mail: belousdv@inteltech.ru. Тел.: +7(911)798-99-70.

Сиразетдинов Рамазан Рафаэлевич – Начальник научно-исследовательского отдела внедрения и сопровождения информационных систем ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: анализ, внедрение, сопровождение информационных систем. E-mail: sirazetdinovrr@inteltech.ru. Тел.: +7(921)755-58-68.

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

Development of a system for coordinating procurement documents and contracts using "1C: Document Management"

R. R. Sirazetdinov, D. V. Belous

Annotation. The article is devoted to the main issues of developing a system for coordinating procurement documents and contracts using the "1C: Document Management" configuration on the "1C: Enterprise" platform. The main guiding documents are indicated in accordance with which procurement procedures are carried out at the enterprises of the Rostec Corporation. The stages of the life cycle of the contract concluded with contractors are singled out. The main properties of the "1C: Document Management" configuration and the types of work that need to be performed during the implementation process are listed. Based on the algorithms for conducting procurement procedures, a number of workflow templates have been developed, which are a set of tasks for interacting employees of the enterprise. Synchronization procedures with the 1C: SCP configuration have also been developed. The developed list of internal documents, classified by types, forms of presentation, the need for registration and storage of a template for a document, made it possible to form forms for the presentation of registered documents and document templates for filling out these forms. The procedure for creating document types and document templates is described. To differentiate access to internal documents created by employees between departments and organize these documents, a folder hierarchy is created. The main goal of the work, namely the automation of the processes of approval of procurement documents and contracts, has been achieved.

Keywords: 1C: Document Management, 1C: Enterprise, 1C: SCP, procurement procedures, workflow templates, types of documents, document templates, folders of internal documents.

Information about Authors

Belous Denis Vasilievich – Head of the Research Department for the Development of Information Technologies and Administration of the Corporate Information System of the Public Joint-Stock Company Information Telecommunications Technologies (PJSC Inteltech). PhD. E-mail: belousdv@inteltech.ru. Tel.: +7 (911) 798-99-70.

Sirazetdinov Ramazan Rafaelovich – Head of the Research Department for the Implementation of Information Technologies and Maintenance of Applied Software of PJSC Inteltech. PhD, Assistant professor. Research interests: analysis, implementation, maintenance of information systems. E-mail: sirazetdinovrr@inteltech.ru. Tel.: +7 (921) 755-58-68.

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

Для цитирования:

Сиразетдинов Р. Р., Белоус Д. В. Разработка системы согласования закупочных документов и договоров с использованием платформы «1С: Документооборот» // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С. 84-91. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-84-91.

For citation:

Sirazetdinov R. R., Belous D. V. Development of a system for coordinating procurement documents and contracts using "1C: Document Management". Means of communications equipment. 2023. No 3 (163). Pp. 84-91. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-84-91. (In Russian).

**АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ
ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ**

УДК 681.3.069; 621.397

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-92-98

**Анализ состояния научно-методического аппарата расчета
транспортной инфраструктуры мультисервисной сети связи
ведомственного назначения**

Ломоносов П. С., Ломоносов С. Ю.

Аннотация. В работе представлен научно-методический аппарат расчета транспортной инфраструктуры мультисервисной сети связи ведомственного назначения через характеристики двух групп показателей. К первой группе отнесены пропускная способность и устойчивость, а ко второй – топологическая структура и количественные показатели множества сетевых узлов. При этом задача синтеза транспортной инфраструктуры состоит в нахождении рационального варианта ее построения, который характеризуется совокупностью показателей второй группы и должна обеспечивать реализацию заданных системой связи показателей качества функционирования. Данная задача является оптимизационной и характеризуется большой размерностью формальной модели сети, изменением характера и интенсивности внешних воздействий и требуемых показателей качества функционирования в процессе развития сети, а также многовариантностью результатов решения. Вид целевой функции оптимизационной задачи синтеза выбирается в зависимости от решаемых задач, особенностей и условий ее построения и функционирования. Обычно в качестве целевой функции задачи синтеза транспортной инфраструктуры используются функции, характеризующие расход средств на ее построение. Рассмотрены два основных подхода к решению задачи анализа пропускной способности и устойчивости транспортной сети, определены их недостатки и достоинства. В силу теоремы о максимальном потоке и минимальном сечении объективно показан подход к анализу пропускной способности транспортной инфраструктуры, связанный с нахождением области допустимых значений, в пределах которой возможно осуществить распределение и перераспределение каналов. Нахождение области допустимых значений сводится к определению специальной системы неравенств, выраженной через значения минимальных пропускных способностей реберных сечений сети.

Ключевые слова: показатели качества функционирования, пропускная способность, мультисервисная сеть связи, топология сети, транспортная инфраструктура, устойчивость.

Транспортная инфраструктура современной мультисервисной сети, как сложная организационно-техническая система, описывается совокупностью показателей, которые можно разбить на две группы.

Первая группа показателей характеризует свойства транспортной инфраструктуры, к которым предъявляет требования мультисервисная сеть. Поэтому показатели первой группы являются показателями качества функционирования, а мера их соответствия предъявляемым требованиям характеризует эффективность функционирования транспортной инфраструктуры.

К показателям качества функционирования следует отнести показатели, которые позволяют оценить следующие основные свойства транспортной инфраструктуры:

- пропускную способность;
- устойчивость.

Пропускная способность транспортной инфраструктуры характеризует ее способности по образованию сетевых трактов и типовых каналов передачи (каналообразованию) для совокупности организуемых направлений связи. Она может быть оценена максимальным количеством типовых каналов передачи, которые могут быть образованы отдельно на каждом направлении связи и общим количеством типовых каналов передачи, которые могут быть образованы с учетом всех направлений связи.

В свою очередь, устойчивость транспортной инфраструктуры характеризует ее способность выполнять свои функции при всех воздействующих факторах. В соответствии с характером воздействия этих факторов устойчивость транспортной инфраструктуры определяется живучестью, помехоустойчивостью и надежностью. В том случае, если распределение и назначение каналов передачи (сетевых трактов) транспортной инфраструктуре известно, ее устойчивость может быть оценена с помощью коэффициентов исправного действия направлений связи и средних времен простоя или (и) значений математического ожидания числа исправных каналов передачи на направлениях связи. В противном случае устойчивость транспортной инфраструктуры представляется целесообразным оценивать коэффициентами (параметрами) связности направлений связи, под которыми понимают количество независимых путей составления каналов, которые могут быть образованы на ней для каждого направления связи.

Вторая группа показателей транспортной инфраструктуры характеризует ее организационно-техническое построение и обеспечивает достижение требуемых телекоммуникационной сетью значений показателей качества функционирования. Ко второй группе показателей относятся:

– топологическая структура транспортной инфраструктуры, которая изображается в виде графа и отражает совокупность узлов, станций и центров сети (сетевых узлов) и соединяющих их участков линий передачи в их взаимном расположении;

– количественные показатели множества сетевых узлов.

Задача анализа транспортной инфраструктуры состоит в нахождении (оценке) значений показателей качества ее функционирования. В качестве исходных данных для решения этой задачи используется вторая группа ее показателей, которые считаются известными. Кроме того, должно быть известно множество корреспондирующих пар узлов (направлений связи), в интересах которого осуществляется образование сетевых трактов и типовых каналов передачи.

В результате анализа транспортной инфраструктуры представляется возможным оценить ее эффективность по совокупности показателей качества функционирования, а также разработать и обосновать мероприятия по их улучшению.

Содержательная постановка задачи анализа пропускной способности и устойчивости транспортной инфраструктуры может быть сформулирована следующим образом.

Определить возможности транспортной инфраструктуры по образованию каналов требуемого качества и их устойчивость для совокупности организуемых направлений связи, если известны:

– структура транспортной инфраструктуры, описываемая графом $G\{A, B\}$;

– совокупность векторов $\{\vec{W}a_i\}$ и $\{\vec{W}b_{ij}\}$.

Задача синтеза транспортной инфраструктуры состоит в нахождении рационального варианта ее построения, который характеризуется совокупностью показателей второй группы и должна обеспечивать реализацию заданных системой связи показателей качества функционирования. Данная задача является оптимизационной и характеризуется:

– большой размерностью формальной модели сети;

– изменением характера и интенсивности внешних воздействий и требуемых показателей качества функционирования в процессе развития сети;

– многовариантностью результатов решения.

В содержательном плане задача синтеза транспортной инфраструктуры формулируется таким образом.

Определить $G\{A, B\}$, $\{\vec{W}a_i\}$ и $\{\vec{W}b_{ij}\}$, которые доставляют минимальное значение целевой функции. При этом должны выполняться требования системы связи к транспортной инфраструктуре к показателям качества функционирования. Вид целевой функции выбирается в зависимости от решаемых задач, особенностей и условий ее построения и

функционирования. Обычно в качестве целевой функции задачи синтеза транспортной инфраструктуры используются функции, характеризующие расход средств на ее построение.

Следует отметить, что рассмотренное разделение задач на задачи анализа и синтеза достаточно условное и в чистом виде на практике встречается редко. Практические задачи по формированию инфраструктуры телекоммуникационной сети обычно всегда содержат как элементы анализа, так и синтеза, которые тесно взаимосвязаны между собой.

Для решения задачи анализа пропускной способности и устойчивости транспортной сети в настоящее время существует два основных подхода [1].

Первый подход основан на том, что потребности по количеству и качеству сетевых трактов и типовых каналов передачи считаются заранее известными. В этом случае появляется возможность решения задачи распределения канального ресурса и образования требуемого количества составных каналов на направлениях связи, которая может быть сформулирована как задача математического программирования:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{h=1}^H x_k^h \cdot \sum_{b_{i,j} \in \pi_k^h} a_{i,j} \Rightarrow \min ; \quad (1)$$

где x_k^h – количество каналов, образуемых по π_k^h пути; a_{ij} – коэффициент, характеризующий рациональность образования канала через b_{ij} ребро.

Если ограничения задачи (1) совместны и ее решение будет найдено, то можно утверждать, что транспортная инфраструктура способна образовать для совокупности направлений связи требуемое количество каналов.

На основании полученного решения и известных коэффициентов исправного действия простых каналов, функционирующих на ребрах сети могут быть найдены коэффициенты исправного действия каждого направления связи или средние значения времени их простоя. Если решение распределительной задачи при данных ограничениях не найдено, то потребности вторичных сетей в каналах корректируются, и решение задачи повторяется.

К недостаткам рассмотренного подхода на основе решения распределительной задачи следует отнести:

- большой объем вычислений, необходимый для получения оптимального решения задачи, который из-за NP -полноты задачи [2] будет расти экспоненциально с ростом числа узлов в сети. Это накладывает существенные ограничения на размер сети, для которой задача может быть решена;

- использование квазиоптимальных методов параллельного, последовательного и последовательно-параллельного распределения каналов позволяет получить лишь один из множества вариантов решения, который будет носить частный характер и не обеспечивает объективного анализа сети;

- невозможность оценить потенциальные возможности пропускной способности транспортной инфраструктуры.

В силу теоремы о максимальном потоке и минимальном сечении объективно существует второй подход к анализу пропускной способности транспортной инфраструктуры [3]. Он непосредственно связан с нахождением области допустимых значений, в пределах которой возможно осуществить распределение и перераспределение каналов. Нахождение области допустимых значений сводится к определению специальной системы неравенств, выраженной через значения минимальных пропускных способностей реберных сечений сети:

$$\begin{cases} V_k^{\max} \leq C(\sigma_k^{\min}), k=1, m \\ V_Z^{\max} \leq C(\sigma_Z^{\min}) \end{cases}, \quad (2)$$

где, используя термины графовой модели сети с одно- и многопродуктовым потоком: V_k^{\max} – максимальный поток k -го продукта, а V_Z^{\max} – максимальный общий поток m -продуктов,

которые не могут быть больше, чем пропускные способности минимального сечения для k -ой корреспондирующей пары узлов (КПУ) $C(\sigma_k^{\min})$ и минимального рассекающего множества $C(\sigma_Z^{\min})$ соответственно.

При анализе сети величине V_k^{\max} ставится в соответствие максимальное количество каналов, которые могут быть образованы отдельно между z_k ; $k = \overline{1, m}$ корреспондирующими парами узлов (направлением связи), а V_Z^{\max} — одновременно между всем множеством $Z = \{z_k; k = \overline{1, m}\}$.

Под минимальным сечением σ_k^{\min} понимают неизбыточную совокупность ребер, исключение которых из сети разрывает все пути составления каналов между z_k КПУ (направлениями связи (НС)) $\Pi_k = \{\pi_k^h; k = \overline{1, H}\}$, $k = \overline{1, m}$. Причем пропускная способность этого сечения, равная сумме канальных емкостей, входящих в него ребер, должна быть наименьшей.

В отличие от минимального сечения, минимальное рассекающее множество (МРМ) σ_Z^{\min} должно разрывать пути составления каналов одновременно для всех КПУ сети $Z = \{z_k; k = \overline{1, m}\}$ $\Pi = \{\Pi_k; k = \overline{1, m}\}$, а также иметь наименьшую пропускную способность из всех возможных на сети рассекающих множеств []. Поскольку величины $C(\sigma_k^{\min})$; $k = \overline{1, m}$ ограничивают возможности канального ресурса по образованию каналов передачи отдельно на каждом направлении связи, а $C(\sigma_Z^{\min})$ на всех направлениях связи, то можно утверждать, что на рассматриваемой сети не существует такого распределения каналов, которое не было бы ограничено системой неравенств (4).

Однако область допустимых значений, ограниченная только данной системой неравенств, не позволяет провести анализ пропускной способности транспортной инфраструктуры с учетом требуемого качества образуемых каналов и трактов. Кроме того, данный подход наиболее полно проработан для анализа пропускной способности аналоговой транспортной инфраструктуры.

В настоящее время известен целый ряд методик и алгоритмов, разработанных для синтеза транспортных инфраструктур мультисервисных сетей (МСС). При их рассмотрении важно учитывать, что возможности сети по каналообразованию, реализуемые в процессе расчета, рациональность её построения должны быть заложены в структуру сети, основу которой составляет множество сетевых узлов. Большинство существующих методик и алгоритмов обычно предполагают осуществлять решение общей задачи синтеза сети путем её декомпозиции на две частные [4].

Первая частная задача заключается в определении множества сетевых узлов – узловой основы сети, а вторая состоит в построении на ней сетки линий, реализуемой линиями связи различной физической природы.

В существующих в настоящее время подходах к решению первой задачи предполагается осуществлять нахождение узловой основы транспортной инфраструктуры исходя, в основном, из организационно-технических условий. Используемые для этой цели методики [5] позволяют определить количество и предполагаемые районы расположения данной части сетевых узлов при известном размещении пользователей МСС с учетом их привязки существующим типажом средств каналообразования при минимизации суммарных затрат. Окончательное решение о местах размещения сетевых узлов привязки принимается на основе анализа многочисленных факторов организационного и физико-географического характера, *полностью формализовать которые на современном этапе пока не удается.*

Для решения второй задачи, которая заключается в построении на известной узловой основе сетки линии, в настоящее время наиболее широко используются методики и

алгоритмы, основанные на, так называемом, путевом методе [6]. Путевой метод, заключается в представлении всей сети наложением двухполюсных сетей в виде совокупности пучков составных каналов передачи, образуемых на всех НС. Он предполагает осуществлять построение сетки линий путем последовательного нахождения:

- топологической структуры сети;
- пропускной способности (канальной емкости) ребер сети, требуемой для образования на НС заданного количества каналов и трактов;
- варианта распределения имеющегося ресурса систем передачи между ребрами сети, который обеспечивает реализацию требуемой канальной емкости ребер.

Однако нахождение рациональной топологической структуры сети, даже при наличии достаточного опыта и объема знаний по структурным свойствам, представляет собой трудноразрешимую задачу, при решении которой возникает необходимость учитывать целый ряд противоречивых требований и ограничений. Сложность использования для этой цели процедур нахождения структуры сети на основе методов насыщенного сечения, замены и устранения ребер [7] ограничена в виду их общего недостатка – в них не предложен способ построения начальной структуры, удовлетворяющей всем или наиболее важным требованиям и ограничениям. Большинство авторов предполагают её выбирать случайным образом или задавать проектировщику. Однако в этом случае нет уверенности в том, что начальная структура будет содержать рациональную структуру. Для гарантированного выполнения данного условия можно задавать структуру с большей степенью избыточности, в частности, даже выбирать в качестве начальной структуры полносвязный граф. Но тогда процесс построения начальной структуры сильно затягивается, а его вычислительная сложность резко возрастает.

Второй недостаток, ограничивающий целесообразность практического использования путевого метода, заключается в том, что раздельное решение задач по определению топологической структуры сети, пропускных способностей ребер сети и распределению между ними систем передачи вызывает сомнение в нахождении рационального варианта построения сетки линий транспортной инфраструктуры в целом.

Приведенные недостатки построения сетки линий путевым методом вызвали необходимость разработки более совершенных методов построения сетки линий транспортной инфраструктуры сети. Одним из таких методов является метод сечений, предложенный в работах [2, 4]. Он основан на том, что, как известно, возможности сети по образованию каналов (каналообразованию) ограничены пропускными способностями минимальных реберных сечений (рассекающих множеств). Сущность метода заключается в том, что транспортную инфраструктуру сети представляют в виде суперпозиции конечного множества сетей определенного вида, получаемую из исходной сети при задании на ней некоторой основной системы сечений. Пропускная способность и ранг сечений этой системы определяют возможности рассматриваемой транспортной инфраструктуры сети по передаче многопродуктового потока (каналообразованию). Тогда рассмотрение и формирование ребер сечений основной системы позволяет взаимосвязано в рамках решения единой оптимизационной задачи находить структуру, канальные емкости ребер и распределение систем передачи сети, обеспечивающей реализацию заданных возможностей по каналообразованию.

Разработанные на его основе алгоритмы имеют простую вычислительную схему, допускают диалоговый режим работы вычислительными средствами и удобны для практического использования. Была найдена совокупность требований к сечениям основной системы, называемые условиями реализуемости, выполнение которых в процессе расчета обеспечивают построение сетки линий. Однако достаточно полно метод сечений разработан только для сетей, инвариантным [4] ко всем местам привязки пользователей. Свойство инвариантности в известных работах обеспечивается за счет равенства пропускных способностей всех рассматриваемых при синтезе сечений основной системы величине максимального многопродуктового потока, что, естественно, требует их существенной избыточности.

Таким образом, формирование собственной транспортной инфраструктуры и развитие на ее основе современной мультисервисной сети приводит к усложнению процесса ее построения и к значительным экономическим затратам. В связи с этим, вопросы эффективного планирования с использованием оптимизационных процедур для рационального формирования транспортной инфраструктуры современных сетей связи в настоящее время приобретают все большую актуальность и особую значимость.

Литература

1. Соколов В. М. Методика синтеза структуры транспортной сети телекоммуникационной системы специального назначения. - СПб.: ВАС, 2012. – 245 с.
2. Зюзин А. Н. Методика формирования структуры транспортной сети территориальной системы связи. – СПб.: ВАС, 2006. – 236 с.
3. Муравцов А. А. Оптимизация структуры региональной цифровой транспортной сети связи территориальной системы связи. – СПб.: ВУС, 2003. – 260 с.
4. Лебедев А. Т., Столяров В. И. Синтез цифровой первичной сети связи объединения // НТС № 65. - СПб.: ВАС. - 1998. - С. 3-6.
5. Чудаков А. М. Методика синтеза структуры региональной транспортной сети связи Объединенной автоматизированной цифровой системы связи ВС РФ. – СПб.: ВАС, 2007. – 237 с.
6. Столярова М. И. Комплексная методика формирования структуры транспортной сети связи в телекоммуникационной системе специального назначения // Труды ВКА им. Можайского ВНТК «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения». – СПб.: ВКА им. Можайского, 2013. – С.101-105.
7. Лебедев А. Т., Соловьев Б. И. Задача синтеза потоковой структуры цифровой транспортной сети связи // Информация и Космос № 4, 2007. – С.5-7.

References

1. Sokolov V. M. *Metodika sinteza struktury transportnoj seti telekommunikacionnoj sistemy special'nogo naznacheniya* [Method of synthesis of the structure of the transport network of a special-purpose telecommunication system]. St. Petersburg. Military Academy of Communications Publ., 2012. 245 p.
2. Zyuzin A. N. *Metodika formirovaniya struktury transportnoj seti territorial'noj sistemy svyazi* [Methodology of forming the structure of the transport network of the territorial communication system]. St. Petersburg. Military Academy of Communications Publ., 2006. 236 p.
3. Muravtsov A. A. *Optimizaciya struktury regional'noj cifrovoj transportnoj seti svyazi territorial'noj sistemy svyazi* [Optimization of the structure of the regional digital transport communication network of the territorial communication system]. St. Petersburg. Military Academy of Communications Publ., 2003. 260 p.
4. Lebedev A. T., Stolyarov V. I. *Sintez cifrovoj pervichnoj seti svyazi ob"edineniya* [Synthesis of the digital primary communication network of the association]. NTS No. 65. St. Petersburg. Military Academy of Communications Publ., 1998. Pp. 3-6.
5. Chudakov A. M. *Metodika sinteza struktury regional'noj transportnoj seti svyazi Ob"edinennoj avtomatizirovannoj cifrovoj sistemy svyazi* [Methodology of synthesis of the structure of the regional transport communication network of the Unified automated digital communication system of the Armed Forces of the Russian Federation]. St. Petersburg. Military Academy of Communications Publ., 2007. 237 p.
6. Stolyarova M. I. *Kompleksnaya metodika formirovaniya struktury transportnoj seti svyazi v telekommunikacionnoj sisteme special'nogo naznacheniya* [Complex methodology of forming the structure of the transport communication network in a special-purpose telecommunication system]. *Trudy VKA im. Mozhayskogo VNTK «Teoreticheskie i prikladnye problemy razvitiya i sovershenstvovaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya voennogo naznacheniya»* [Proceedings of the VKA im. Mozhaisk VNTC "Theoretical and applied problems of development and improvement of automated control systems for military purposes"]. St. Petersburg. Military Space Academy named after A.F.Mozhaiskiy Publ., 2013. Pp.101-105.
7. Lebedev A. T., Soloviev B. I. *Zadacha sinteza potokovoj struktury cifrovoj transportnoj seti svyazi* [The task of synthesizing the streaming structure of a digital transport communication network]. *Informaciya i Kosmos* [Information and Space]. 2007. No. 4. Pp. 5-7.

Статья поступила 30 августа 2023 г.

Сведения об авторе

Ломоносов Павел Сергеевич – заместитель директора ООО «Осатек». Область научных интересов: управление ресурсами мультисервисной сетей связи. Тел.: 8-921-413-78-38, e-mail: p.lomonosov@inbox.ru.

Адрес: 142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Береговая, д.24.

Ломоносов Сергей Юрьевич – начальник сектора ПАО «Интелтех». Область научных интересов проектирование систем управления и телекоммуникаций. Тел.: (812)448-96-24, e-mail: LomonosovSU@inteltech.ru.

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

Analysis of the state of the scientific and methodological apparatus of calculation transport infrastructure of a multiservice communication network for departmental purposes

P. S. Lomonosov, S.U. Lomonosov

***Annotation.** The paper presents a scientific and methodological apparatus for calculating the transport infrastructure of a multiservice communication network for departmental purposes through the characteristics of two groups of indicators. The first group includes throughput and stability, and the second group includes the topological structure and quantitative indicators of a multitude of network nodes. At the same time, the task of synthesizing transport infrastructure is to find a rational variant of its construction, which is characterized by a set of indicators of the second group and should ensure the implementation of the indicators of the quality of functioning set by the communication system. This task is an optimization one and is characterized by a large dimension of the formal network model, a change in the nature and intensity of external influences and the required indicators of the quality of functioning in the process of network development, as well as the multivariance of the solution results. The type of the objective function of the optimization synthesis problem is selected depending on the tasks to be solved, the features and conditions of its construction and functioning. Usually, as the objective function of the task of synthesizing transport infrastructure, functions are used that characterize the expenditure of funds for its construction. Two main approaches to solving the problem of analyzing the capacity and stability of the transport network are considered, their disadvantages and advantages are determined. By virtue of the maximum flow and minimum cross-section theorem, an approach to analyzing the capacity of transport infrastructure is objectively shown, associated with finding an area of acceptable values within which it is possible to distribute and redistribute channels. Finding the range of acceptable values is reduced to the definition of a special system of inequalities expressed in terms of the values of the minimum throughput of the edge sections of the network.*

Keywords: performance indicators, throughput, multiservice communication network, network topology, transport infrastructure, stability.

Information about Authors

Lomonosov Pavel Sergeevich - deputy Director of LLC «Osatek». Research interests: resource management of multiservice communication networks. Тел.: 8-921-413-78-38, e-mail: p.lomonosov@inbox.ru. Address: 142432, Moscow region, Chernogolovka, st. Beregovaya, d.24.

Lomonosov Sergey Yuryevich - head of the sector of PJSC Inteltech. Research interests design of control and telecommunications systems. Тел.: (812)448-96-24, e-mail: LomonosovSU@inteltech.ru. Address: 197342, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Для цитирования:

Ломоносов П. С., Ломоносов С.Ю. Анализ состояния научно-методического аппарата расчета транспортной инфраструктуры мультисервисной сети связи ведомственного назначения // Техника средств связи. 2023. № 3 (163). С. 92-98. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-92-98.

For citation:

Lomonosov P. S., Lomonosov S.U. Analysis of the state of the scientific and methodological apparatus of calculation transport infrastructure of a multiservice communication network for departmental purposes. Means of communications equipment. 2023. No 3 (163). Pp. 92-98. (In Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-92-98.

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 15/1-нс от 28 мая 2021 г.

Естественные науки:	1.2. Компьютерные науки и информатика:
	1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).
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);
2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).	
Военные 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.
59.00.00 Приборостроение