



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

Николашин Ю.Л. Генеральный директор 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. Заместитель генерального директора по научной работе АО «НИИ «Рубин». Д.т.н., профессор.

Лычагин Н.И. Заслуженный работник высшей школы РФ 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 государственного научный центр». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

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

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

Яшин А.И. Заместитель генерального директора – директор научно-технического центра ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

Габриэлян Д.Д. ФНПЦ «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону). Д.т.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 электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

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

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

Михайлов Р.Л. Череповецкое высшее военное инженерное училище радиозлектроники (г. Череповец). К.т.н.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:

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

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

Kurnosov V.I. Director General in scientific work of JSC "NII" Rubin". 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 Director General – Director of Scientific and Technical Center of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor. Science Honored Worker of the Russian Federation

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

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

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

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

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

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

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

Куприянов А.И. Moscow Aviation Institut (National Research University) Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

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

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

Mikhailov R.L. Cherepovets Higher Military Engineering School of Radio Electronics (Cherepovets). Doctorate of Technical Sciences

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

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

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

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

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

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

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

Saenکو 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 Technical Sciences, Professor

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

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



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

Периодичность выхода журнала 4 номера в год.

Публикация в журнале является научным печатным трудом.

Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

Журнал зарегистрирован как сетевое и печатное издание 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

Поздравления к 70-летию ПАО «Интелтех».....	2
---	---

АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ

Козлов К.В., Кулешов И.А., Козлова А.К., Сенчуков М.В.

Актуальность разработки «цифрового двойника» автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны и предложения по формированию подхода к её выполнению.....

Паращук И.Б., Салюк Д.В.

Анализ особенностей и роли современных «сквозных» цифровых технологий в построении и совершенствовании техники средств связи и автоматизации управления специального назначения.....

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ. СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Дементьев В.Е., Киреев С.Х.

Выбор алгоритмов машинного обучения для классификации текстовых документов.....

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Васильев Н.В., Титов Г.С., Раков И.В.

Технологии построения систем защищенного электронного документооборота.....

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Вознесенский А.С., Миненков Д.В., Гульванский В.В., Антонов С.А., Каплун Д.И.

Исследование свойств оконных функций в приложении к синтезу цифровых фильтров методом окон.....

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Мегера Ю.А.

Концепция развития системы ремонта техники связи и автоматизированных систем управления.....

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Будко Н.П.

Методы доведения измерительной информации от удаленных и глобально перемещающихся объектов до сервера мониторинга распределенной информационно-телекоммуникационной сети Росморречфлота.....

CONTENTS

ANALYSIS OF NEW TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF COMMUNICATION EQUIPMENT

Kozlov K.V., Kuleshov I.A., Kozlova A.K., Senchukov M.I.

The relevance of the development of a "digital twin" of an automated communication system, radio engineering support and automation of the control of the aviation and air defense forces grouping and proposals for the formation of an approach to its implementation.....

Parashchuk I.B., Salyuk D.V.

Analysis of the features and role of modern «end-to-end» digital technologies in the construction and improvement of communication equipment and control automation of special purpose.....

INFORMATION PROCESSES AND TECHNOLOGIES. INFORMATION COLLECTION, STORAGE AND PROCESSING

Dementiev V.E., Kireev S.H.

Choosing machine learning algorithms for classification of text documents.....

INFORMATION SECURITY ISSUES

Vasiliev N.V., Titov G.S., Rakov I.V.

Technologies for building secret electronic document management systems. Means of Communication Equipment.....

COMPUTING SYSTEMS

Voznesensky A.S., Minenkov D.V., Gulvansky V.V., Antonov S.A., Kaplun D.I.

Study of the properties of window functions in the appendix to the synthesis of digital filters by the window method.....

COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Megera Yu.A.

The concept of development of the system of repair of communication equipment and automated control systems.....

SIGNAL TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING

Budko N.P.

Methods of bringing measurement information from remote and globally moving objects to the monitoring server of the distributed information and telecommunications network of Rosmorrechflot.....

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

Уважаемые работники и ветераны ПАО «Интелтех»!



Примите мои искренние поздравления с 70-летием со дня основания ПАО «Интелтех»!

За семьдесят лет работы талантливый и сплоченный коллектив предприятия создал немало уникальных приборов связи, стабильно и безотказно служивших надежными средствами управления и коммуникации Вооруженных Сил России.

Важно, что и сегодня ПАО «Интелтех» обеспечивает успешную научно-исследовательскую и производственную деятельность, осуществляет новые проекты по созданию инновационной продукции военного, двойного

и гражданского назначения, укрепляет свои позиции на отечественном рынке.

За всеми достижениями предприятия стоит самоотверженный труд многих поколений ученых, инженеров, конструкторов, разработчиков. Уверен, что впереди у вашего коллектива долгие годы плодотворной работы, перспективные планы и их яркое осуществление.

Желаю вам дальнейших успехов в труде, крепкого здоровья и благополучия!

Начальник ГУС ВС РФ -
заместитель начальника ГШ ВС РФ

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

В.А. Шамарин

Дорогие друзья!

От имени Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и от себя лично поздравляю коллектив ПАО «Интелтех» с 70-летием со дня создания предприятия!

Все эти годы организация находилась на передовых рубежах разработки и создания телекоммуникационной техники. На базе богатого исторического опыта, начиная со времен телефонной фабрики Л.М. Эриксона и завода «Красная Заря», предприятие разработало и поставило не одно поколение комплексов средств связи и передачи данных.

Созданная в ПАО «Интелтех» научная школа и высокий профессиональный уровень сотрудников позволяют организации и в наши дни оставаться общепризнанным центром компетенций в области инновационных телекоммуникационных технологий. Сегодня перед ПАО «Интелтех» стоят задачи по увеличению производительности труда, конкурентоспособности и экспортного потенциала производимой продукции. Не теряет актуальности цифровизация и экологизация производства, а также продолжение программы импортозамещения. И мы видим, как коллектив предприятия последовательно решает эти задачи, внедряя инновации и совершенствуя свою работу.

Уверен, что коллектив ПАО «Интелтех» и впредь будет идти в ногу со временем, сохранять и преумножать лучшие традиции.

Желаю предприятию дальнейшего развития и процветания, а всем его сотрудникам - благополучия и новых трудовых свершений во благо российской науки и техники!



Заместитель министра
промышленности и торговли

A stylized, handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke.

В.В. Шпак

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

УДК 004.722

DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-4-12

Актуальность разработки «цифрового двойника» автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск ПВО и предложения по формированию подхода к её выполнению

Козлов К.В., Кулешов И.А., Козлова А.К., Сенчуков М.В.

Аннотация. Постановка задачи: задачей исследования является обоснование актуальности, а также формирование научно-обоснованных практических предложений по разработке «цифрового двойника» автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны. **Цель работы:** в выявлении взаимосвязи между необходимостью разработки «цифрового двойника» объекта исследования и успешным завершением перспективных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, поиске пути формирования требований к техническим характеристикам исследуемой системы и разрабатываемым для её создания средством автоматизации управления, связи и радиотехнического обеспечения в условиях отсутствия необходимых исходных данных. **Используемые методы:** Формирование необходимых исходных данных представляется возможным построением в результате исследований «цифрового двойника» системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления перспективной группировки авиации и войск противовоздушной обороны, для получения которого, в свою очередь, предлагается разработать рациональный вариант её пространственно-информационных структуры. Для разработки «цифрового двойника» автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны, предложено использовать логико-эвристический метод, метод прототайпинга и применить информационный подход. **Новизна** подхода при решении поставленной задачи состоит в том, что до настоящего времени для формирования требований к техническим характеристикам автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны, как и требований к разрабатываемым для формирования её элементов средств автоматизации управления, связи и радиотехнического обеспечения, «цифровые двойники» не использовались. Ранее определение требований к характеристикам осуществлялось, преимущественно путём анализа статистических данных, полученных в ходе применения системы и её элементов по назначению, а также в ходе различных мероприятий боевой подготовки и экспериментов. **Результатом** работы являются сформированный научно-обоснованный подход к проведению работы, предложения о порядке её выполнения и перечень показателей рационального варианта пространственно-информационной структуры исследуемой системы. **Практическая значимость** полученных результатов состоит в том, что их применение позволит существенно сократить сроки и стоимость проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке перспективной автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны.

Ключевые слова: «цифровой двойник»; система связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления; группировка авиации и войск противовоздушной обороны; пространственно-информационная структура; информационно-логическое взаимодействие.

Актуальность разработки «цифрового двойника» автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны (ПВО) обусловлена рядом причин.

Во-первых, объективно-существующей потребностью исследования процесса функционирования перспективной автоматизированной системы связи, радиотехнического

обеспечения и автоматизации управления (СС, РТО и АУ) группировки авиации и войск ПВО (ГрАВВПВО), проводимого в поддержку создания средств автоматизации управления, связи и радиотехнического обеспечения, предназначенных для оснащения перспективной региональной группировки авиации и войск ПВО, а также необходимости сокращения сроков и стоимости выполнения НИОКР и других работ по созданию и наращиванию возможностей системы, созданию программно-аппаратных комплексов управления связью для перспективных систем связи создаваемых региональных группировок авиации и войск ПВО.

Во-вторых, тем что, исследование процессов функционирования систем (или фрагментов систем) связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления существующих объединений, соединений, частей и подразделений ВКС, СВ и ВМФ не позволит получить необходимый объём сведений о функционировании автоматизированной СС, РТО и АУ перспективной группировки авиации и войск ПВО, поскольку:

- системы управления войсками (силами) и оружием (средствами) (СУВО(С)) объединений, соединений, частей и подразделений упомянутых видов ВС не тождественны СУВО(С) перспективной ГрАВВПВО, и исследование процессов информационного обмена между входящими в их состав пунктами управления (ПУ) и объектами не позволят оценить требования к пропускной способности элементов СС, РТО и АУ формируемой группировки;

- СУВО(С) объединений, соединений, частей и подразделений ВКС, СВ и ВМФ и обеспечивающие их СС, РТО и АУ автоматизированы не полностью, исследование процессов информационного обмена в таких системах не позволит оценить требования к связи, РТО и АУ при управлении войсками (силами) и оружием (средствами) автоматизированным способом (АСПУ);

- значительная часть средств автоматизации управления, связи и радиотехнического обеспечения, предназначенные для формирования СУВО(С) перспективной ГрАВВПВО, ещё находится в стадии разработки, по этой причине развернуть фрагмент (опытного района) СУВО(С) или обеспечивающей её информационный обмен СС, РТО и АУ не представляется возможным; к тому же развёртывание опытного района, обладающего требуемым пространственным размахом весьма затратно.

По мнению авторов, выходом из сложившейся ситуации является задействование для проведения исследований имитационных моделей – «цифровых двойников» СУВО(С) и СС, РТО и АУ, формируемой ГрАВВПВО.

Формирование «цифрового двойника» автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск ПВО предлагается осуществлять на основе исследования комплексной модели СУВО(С) исследуемой группировки. Для построения модели СУВО(С) ГрАВВПВО целесообразно воспользоваться методом прототайпинга и осуществить информационный подход к решению поставленной задачи – провести исследование информационных процессов в системах, являющихся прототипами для формируемой. При построении модели необходимо учитывать элементы и связи системы прототипа, переходящие в новую систему (подлежащие сохранению), противоречия, которые необходимо устранить, новые элементы и связи (не присущие прототипу, но которые должны быть включены в состав формируемой группировки).

В качестве основных прототипов для формируемой СУВО(С) группировки авиации и войск ПВО на стратегическом направлении выберем систему управления войсками (силами) и оружием (средствами) существующих объединений ВВС (К ВВС и ПВО), которую необходимо дополнить элементами СУВО(С) СВ, ВМФ и других ведомств, задействованные для обеспечения управления авиацией и силами и средствами ПВО, а также новыми элементами, обеспечивающими решение объективно существующих задач по управлению войсками (силами) и оружием (средствами), наследованных формируемой системой от систем существовавших ранее, но прекративших своё существование в результате объединения видов (ВВС и Войск ПВО), и передачи сил и средств авиации и ПВО из вида в вид.

Предлагаемый подход логичен, поскольку:

а) ГрАВВПВО неизбежно будет создаваться на основе объединения (нескольких объединений) ВВС ВКС; при этом более 90% сил и средств перспективной группировки составят войска объединения ВВС, а остальные, по сути дела, являются приданными им для усиления;

б) объединение ВВС ВКС уже в мирное время решает и готовится к решению в военное время основной части задач, которые будут поставлены перед ГрАВВПВО.

При формировании модели учитываются такие особенности СУВО(С) ГрАВВПВО как:

– наличие большого количества многофункциональных управляемых объектов различной природы и сложности, а также широкого предназначения, что порождает интенсивные потоки информации, разнообразной и неоднородной по составу и способам кодирования;

– высокое быстродействие, вытекающее из требования поддержания СУВО(С) в постоянной готовности к отражению массированных, внезапных и кратковременных ударов воздушного противника;

– широкий диапазон изменения состояний системы при сохранении структуры и высокая динамичность изменения этих состояний; и при этом наличие возможностей изменения структуры;

– функционирование в реальном масштабе времени и больших пространственных масштабах;

– реализация одновременного решения комплекса различных боевых задач в определённом пространственном объёме и другие особенности.

В ходе работы необходимо учесть, что задачи выделяемых в состав группировки войск (сил), решаемые ими в составе видов ВС, министерств и ведомств не сняты, и СУВО(С) группировки, должна обеспечивать управление как при руководстве со стороны оперативно-стратегического командования, так и по линии видовой или ведомственной принадлежности.

Данное обстоятельство обусловлено:

а) предполагаемым характером действий и возможностями противника;

б) необходимостью привлечения войск, планируемых в состав группировки, к участию в стратегических операциях по плану Генерального штаба;

в) наличием у видовой и ведомственной авиации ряда специфических задач;

г) исторически сложившимся порядком контроля использования воздушного пространства; функционированием единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД); порядком и правилами предоставления экипажам летательных аппаратов полётной информации; функционированием единой системы определения государственной принадлежности;

д) существующим порядком всестороннего обеспечения (прежде всего тылового и технического);

г) существующей система боевой подготовки войск и другими факторами.

Авторы статьи придерживаются мнения, что наиважнейшей задачей, решаемой в ходе разработки «цифрового двойника» автоматизированной СС, РТО и АУ ГрАВВПВО является формирование рационального варианта её пространственно-информационной структуры, поскольку структура – это материальный остов системы, её основа, в рамках которой протекают процессы управления.

Внутренней основой, на которой строится функционирование любой системы управления при достижении цели, является её структура, отражающая её организационную форму. Именно структура делает систему некоторым определённым целым, так как структура предполагает взаимодействие элементов друг с другом по-разному, выдвигая на

первый план те или иные стороны, свойства элементов. Структура является важной характеристикой системы, так как при одном и том же составе элементов, но при различном взаимодействии между ними меняются возможности системы.

В предстоящей работе предлагается различать два определяющих понятия структуры: материальную и формальную структуру. Под формальной структурой понимается совокупность функциональных элементов и их отношений, необходимых и достаточных для достижения системой поставленных целей. Иначе говоря, формальная структура описывает нечто общее, присущее системам одного типа, в то время как, материальная структура является носителем конкретных типов и параметров элементов системы и их взаимосвязей. Приведённые рассуждения позволяют сделать выводы о том, что фиксированной цели соответствует, как правило, одна и только одна формальная структура, но одной формальной структуре может соответствовать множество материальных структур. Учитывая это обстоятельство, формальная структура первична по отношению к материальной, поскольку определяет порядок построения последней, по этой причине формирование требований к физической структуре любой сложной системы осуществляется на основе требований к её первооснове – структуре формальной.

В ходе работы необходимо исходить из того, что любую СУВО(С) (и входящую в неё систему связи, РТО и АУ) можно отнести к информационным системам. Так, Большой толковый словарь официальных терминов [1] определяет понятие информационной системы, как совокупность информационных ресурсов и информационных технологий, предназначенных для осуществления информационных процессов, или как организационно упорядоченную совокупность документов (массивов документов) и информационных технологий, в том числе с использованием средств вычислительной техники и связи, реализующих информационные процессы. В то же время система связи, РТО и АУ может быть отнесена к информационно-техническим системам, так как она представляет собой организационно-техническое объединение систем связи, автоматизации и технических средств специальных систем, осуществляющих в рамках согласованных целей, принципов и способов комплексное преобразование информации [2].

В структуре информационных систем рассматривается композиционная, состоящая из некоторого множества структур (подструктур), основными из которых является целевая, функциональная, информационная, алгоритмическая, техническая и организационная структуры [2, 3]. В зависимости от целей исследования, могут выделяться и другие структуры, например топологическая.

При этом:

– под целевой структурой понимается детализированная совокупность требований к значениям показателей существенных свойств процесса преобразования информации в пространстве и времени, и их взаимосвязь, относительно качества исследуемого процесса;

– под функциональной структурой понимается некоторое множество совокупностей задач, решаемых системой для достижения частных и глобальных целей её функционирования (т. е. некоторое множество выполняемых системой функций), и их взаимосвязей как между задачами при реализации одной функции, так и между задачами при реализации различных функций;

– под информационной структурой понимается совокупность ориентированных в пространстве локальных баз данных (файлов, таблиц паролей, маршрутно-адресных таблиц и т. п.) и их взаимосвязи, как между собой, так и между источниками и потребителями информации (где под источниками и потребителями понимаются должностные лица, технические устройства и информационные процессы);

– под алгоритмической структурой понимается ориентированная в пространстве и времени последовательность совокупностей операций (задач) по преобразованию

информации и их взаимосвязь с пользователями (пользователями, иницирующими и пользователями, потребляющими результаты преобразования информации) и объектами преобразования (файлами);

– под технической структурой понимается ориентированная в пространстве некоторая совокупность средств (комплексов) связи и автоматизации, объединённых каналами передачи информации.

В то же время как СУВО(С) ГрАвВПВО, так и её СС, РТО и АУ могут быть охарактеризованы как сложные, открытые, многоцелевые системы с различной степенью автоматизации их элементов. Как правило, такие системы могут быть описаны множеством уровней, включающими в себя:

– логический – отражающий логику работы системы и основные цели, стоящие перед ней;

– информационный – представляющий систему в виде совокупностей источников и получателей информации, мест ее обработки и хранения, а также путей прохождения информации, т. е. описывается информационная структура системы;

– функциональный – разъясняющий совокупность функций, реализуемых системой;

– математический – в котором, процесс функционирования системы описывается совокупностью математических выражений;

– физический – представляющий описание системы на уровне протекающих в ней физических процессов [3].

Учитывая изложенное выше, в состав комплексной модели СУВО(С) ГрАвВПВО целесообразно включить концептуальные модели реализуемого ею информационного процесса, информационного ресурса и модель пространственно-информационной структуры системы управления войсками (силами) и оружием (средствами) исследуемой группировки.

В результате исследования комплексной модели системы управления войсками (силами) и оружием (средствами) должны быть получены исходные данные, необходимые для формирования формальной структуры системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации войск ПВО на стратегическом направлении, осуществлён переход от $G^{СУВО(С)}$ к $G_{\text{формальная}}^{ССРТОАУ}$, где $G^{СУВО(С)}$ – пространственно-информационная структура СУВО(С), а $G_{\text{формальная}}^{ССРТОАУ}$ – формальная структура системы связи, РТО и АУ. Как отмечалось выше, для системы связи, РТО и АУ формальной является её пространственно-информационная структура.

Состав комплексной модели системы управления войсками (силами) и оружием (средствами) и взаимосвязь её элементов и элементов формальной структуры системы связи, РТО и АУ группировки авиации и войск ПВО на стратегическом направлении представлено на рис. 1.

По результатам исследования комплексной модели СУВО(С) станет возможным определить (сформировать):

– взаимную иерархию ПУ (объектов) и перечни решаемых ими информационных задач;

– конфигурацию контуров управления войсками (силами) и оружием (средствами);

– перечень видов информации и форм её представления; приоритеты информации и её категории (по содержанию государственной тайны);

– информационные потоки между корреспондирующими ПУ (объектами);

– требования к СС, РТО и АУ.

При формулировании требований к пространственно-информационной структуре системы связи, РТО и АУ воспользуемся порядком, представленным на рис. 2.



Рис. 1. Переход от комплексной модели СУВО(С) ГрАвВПВО к пространственно-информационной структуре обеспечивающей СС, РТО и АУ

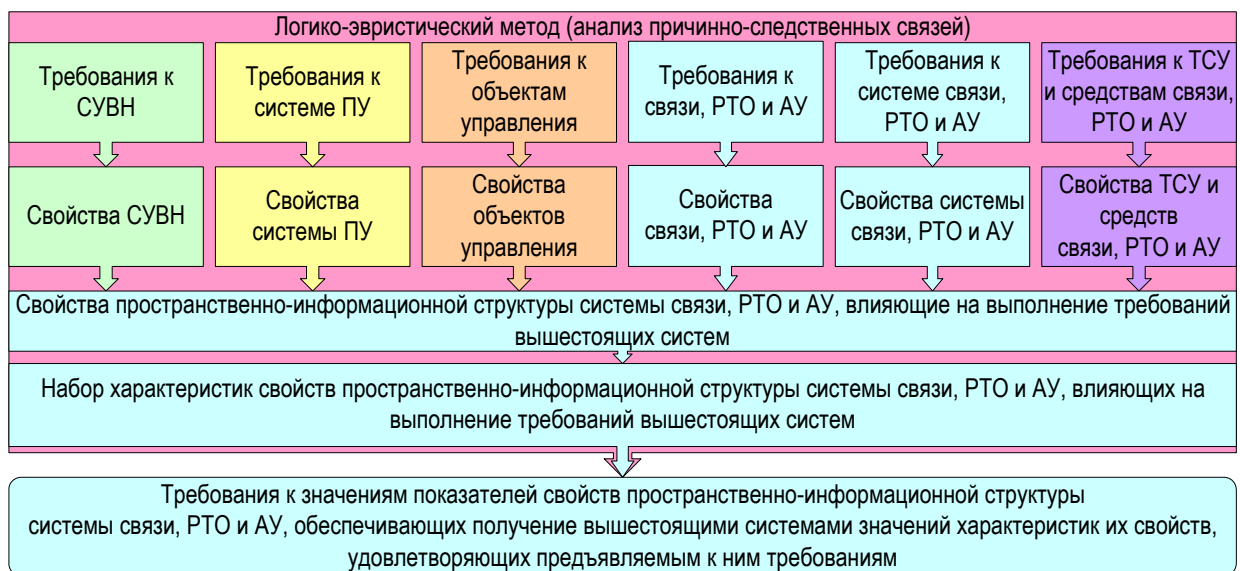


Рис. 2. Порядок определения требований к пространственно-информационной структуре системы связи, РТО и АУ

С учётом изложенного выше, при формировании требований к структуре системы связи, РТО и АУ будем стремиться выполнить два условия:

- а) перечень сформулированных требований должен позволить сформировать набор характеристик свойств и их показателей, который может быть использован при разработке методик формирования вариантов структуры системы связи, РТО и АУ группировки авиации и войск ПВО на СН и оценки соответствия варианта формируемой структуры системы связи, РТО и АУ группировки авиации и войск ПВО на СН, предъявляемым к ней требованиям;
- б) выбранные характеристики должны быть взаимно-независимыми (хотя бы по какому-то одному показателю).

Предлагаемый порядок работы позволяет установить связь между свойствами системы управления военного назначения (СУВН), системы ПУ, объектов управления и технических средств управления и связи, РТО и АУ, а также свойств связи, РТО и АУ с

такими свойствами структуры системы связи, РТО и АУ как способность структуры обеспечить формирование и функционирование необходимого количества (множества): типовых объектов структуры – $S^{\text{объект}}$, рабочих мест должностных лиц и комплексов средств автоматизации управления – $D^{\text{PM(КСАУ)}}$, направлений связи – $L^{\text{НС}}$, информационно-телекоммуникационных сетей – $S^{\text{ИТС}}$ (рассматриваются в общем виде), полей управления – $\Pi^{\text{поле}}$, схем радиосветотехнического обеспечения аэродромов и вертолётных площадок – $S^{\text{РСТО}}$, способность структуры СС, РТО и АУ изменять свою конфигурацию, в соответствии с изменениями структуры СУВО(С) ($K^{\text{конфиг}}$) и проводить на своих элементах мероприятия, направленные на повышение её разведзащищённости и живучести ($R^{\text{РЖ}}$).

В качестве характеристики, обеспечивающей взаимную независимость остальных характеристик свойств, предполагается рассматривать ресурс, использованный для формирования структуры – $R_{\text{исп}}^{G \text{ ССРТОАУ}}$, поскольку достижение требуемых значений показателей характеристик каждого из выбранных свойств пространственно-информационной структуры СС, РТО и АУ обеспечивается его различными составляющими. Качество сформированной структуры должно быть не хуже требуемого. С учётом этого, структура СС, РТО и АУ может быть охарактеризована массивом

$$G^{\text{СРТОАУ}} = \left\| S^{\text{объект}}, D^{\text{PM(КСАУ)}}, L^{\text{НС}}, \Pi^{\text{поле}}, S^{\text{РСТО}}, S^{\text{ИТС}}, K^{\text{конфиг}}, R^{\text{РЖ}} \right\| \begin{cases} T^{G \text{ ССРТОАУ}} \\ R_{\text{исп}}^{G \text{ ССРТОАУ}} \\ Q_{\text{обесп}}^{G \text{ ССРТОАУ}} \geq Q_{\text{треб}}^{G \text{ ССРТОАУ}} \end{cases} \cdot \quad (1)$$

А показатель, характеризующий качество её варианта – v , представлен в виде выражения

$$Q_{G_v \text{ ССРТОАУ}} = \left\| Q_{S_v^{\text{объект}}}, Q_{D_v^{\text{PM(КСАУ)}}}, Q_{L_v^{\text{НС}}}, Q_{\Pi_v^{\text{поле}}}, Q_{S_v^{\text{РСТО}}}, Q_{S_v^{\text{ИТС}}}, Q_{K_v^{\text{конфиг}}}, Q_{R_v^{\text{РЖ}}} \right\| \left\| Q_{\text{исп } v}^{G \text{ ССРТОАУ}} \right\|, \quad (2)$$

где Q с соответствующими индексами – способность варианта структуры выполнить предъявляемые требования. На основании полученных сведений, станет возможным сформировать цифровую модель пространственно-информационной структуры, представляющую собой её «цифрового двойника». Исследования «цифрового двойника» с подстановкой цифровых значений рассматриваемых показателей структуры позволят:

- 1) реализовать увязку информационных задач системы управления войсками (силами) и оружием (средствами) с задачами СС, РТО и АУ;
- 2) определить требования к техническим характеристикам средств автоматизации управления, связи и РТО, предназначенным для оснащения элементов СС, РТО и АУ ГрАвВПВО;
- 3) разработать проекты унифицированных протоколов:
 - а) информационно-логического взаимодействия между:
 - комплексом средств автоматизации управления (КСАУ) войсками (силами) и оружием (средствами) и КСАУ связью (системой связи), РТО и АУ;
 - КСАУ связью (системой связи), РТО и АУ и автоматизированными рабочими местами операторов комплексов (аппаратных) связи;
 - б) функционального взаимодействия между КСАУ войсками (силами) и оружием (средствами) и автоматизированными рабочими местами операторов комплексов (аппаратных) связи;
 - в) технического сопряжения между перечисленными средствами автоматизации управления, связи и РТО;
- 4) сформировать предложения по разработке:

а) логики функционирования подсистемы автоматизации управления связью, РТО и АУ в автоматизированной системе связи, РТО и АУ перспективной группировки авиации и войск ПВО;
 б) информационных моделей действий должностных лиц, осуществляющих планирование связи, РТО и АУ и управление системой связи, РТО и АУ перспективной ГрАвВПВО.

Решение проблемы, рассматриваемой в статье, напрямую влияет на успех решения задач, относящихся к приоритетам научно-технического и технологического развития, срокам и стоимости НИОКР, выполняемых промышленностью РФ.

Литература

1. Большой толковый словарь официальных терминов. – М.: Астрель. АСТ Транзит книга, 2004. 321 с.
2. Бушуев С.Н., Осадчий А.С., Фролов В.М. Теоретические основы создания информационно-технических систем. – СПб.: ВАС, 1998. 404 с.
3. Основы общей теории систем. Учебное пособие. Ч. I – СПб.: ВАС, 1992. 248 с.

References

1. *Bol'shoj tolkovyj slovar' oficial'nyh terminov* [A large explanatory dictionary of official terms]. Moscow. Astrel. AST Transit book, 2004. 321 p. (in Russian).
2. Bushuev S.N., Osadchy A.S., Frolov V.M. *Teoreticheskie osnovy sozdaniya informacionno-tehnicheskikh sistem* [Theoretical foundations of the creation of information technology systems]. St. Petersburg: VAS, 1998. 404 p. (in Russian).
3. *Osnovy obshchej teorii sistem* [Fundamentals of the general theory of systems]. Textbook. Part I. St. Petersburg: VAS, 1992. 248 p. (in Russian).

Статья поступила 18 мая 2022 г.

Информация об авторах

Козлов Константин Валентинович – Заместитель директора НТЦ ПАО «Интелтех». Кандидат военных наук. Область научных интересов: системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления специального назначения. Тел.: +7 (812)313-12-52. E-mail: k.kozlov@ntcl.inteltech.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

Кулешов Игорь Александрович – Заместитель директора ПАО «Интелтех» по научной работе. Доктор технических наук. Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения. Тел.: +7 (812)542-90-54. E-mail: inteltech@inteltech.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

Козлова Анастасия Константиновна – Студент СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Область научных интересов: системы связи, радиотехнические комплексы и системы. Тел.: +7 (812)346-17-96. E-mail: polarstation145@pochta.ru. Адрес: 197022, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, к. 3, пом 3242.

Сенчуков Михаил Викторович – Ведущий инженер НИО ПАО «Интелтех». Область научных интересов: системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления авиационными комплексами. Тел.: +7 (812)313-12-52. E-mail: m.senchukov@ntcl.inteltech.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

The relevance of the development of a "digital twin" of an automated communication system, radio engineering support and automation of the control of the aviation and air defense forces grouping and proposals for the formation of an approach to its implementation

K.V. Kozlov, I.A. Kuleshov, A.K. Kozlova, M.I. Senchukov

Annotation. Task statement: the task of the authors is to substantiate the relevance, as well as the formation of scientifically-based practical proposals for the development of a "digital twin" of an automated communication system, radio engineering support and automation of the control of the aviation and air

*defense forces grouping. **The purpose of the work:** to identify the relationship between the need to develop a "digital twin" of the object of research and the successful completion of promising R&D, to find a way to form requirements for the technical characteristics of the system under study and the automation of control, communication and radio equipment developed for its creation in the absence of the necessary initial data. **Methods used:** Obtaining the necessary initial data, the authors propose to obtain as a result of research a "digital twin" of a communication system, radio engineering support and control automation of a promising grouping of aviation and air defense forces, for the formation of which, in turn, it is proposed to develop a rational version of its spatial information structure. To develop a "digital twin" of an automated communication system, radio engineering support and control automation of aviation and air defense forces, the authors propose to use a logical-heuristic method, a prototyping method and apply an information approach. **The novelty** of the authors' approach to solving the problem is that to date, "digital doubles" have not been used to form requirements for the technical characteristics of an automated communication system, radio engineering support and control automation of the aviation and air defense forces grouping, as well as requirements for control automation, communications and radio engineering support developed for the formation of its elements. Previously, the definition of performance requirements was carried out mainly by analyzing statistical data obtained during the use of the system and its elements for their intended purpose, as well as during various combat training events and experiments. **The result of the work** is a scientifically based approach to the work formed by the authors, proposals on the procedure for its implementation and a list of indicators of a rational variant of the spatial information structure of the system under study. **The practical significance** of the results obtained lies in the fact that their application will significantly reduce the time and cost of R&D for the development of a promising automated communication system, radio engineering support and control automation of aviation and air defense forces.*

Keywords: "digital twin"; communication system, radio engineering support and control automation; grouping of aviation and air defense forces; spatial information structure; information and logical interaction.

Information about authors

Konstantin Valentinovich Kozlov – The deputy director of scientific and technical centre of PJSC "Inteltech". Candidate of military sciences. Field of research: Control systems and communications. Tel.: +7 (812)313-12-52. E-mail: k.kozlov@inteltech.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Igor Aleksandrovich Kuleshov – The first deputy of general director of PJSC "Inteltech" on scientific work. Dr.Sci.Tech., the senior lecturer. Field of research: Control systems and communications. Tel.: +7 (812)542-90-54. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Anastasia Konstantinovna Kozlova – A student of St. Petersburg State Technical University "LETI". Research interests: communication systems, radio engineering complexes and systems. Tel.: +7 (812)346-17-96. E-mail: polarstation145@pochta.ru. Address: 197022, Russia, St. Petersburg, Professor Popov str., 5, room 3, room 3242.

Mikhail Viktorovich Senchukov – A leading engineer of the Research Institute of PJSC "Inteltech". Field of research: communication systems, radio engineering support and automation of control of aviation complexes. Tel.: +7 (812)313-12-52. E-mail: m.senchukov@ntc1.inteltech.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Для цитирования: Козлов К.В., Кулешов И.А., Козлова А.К., Сенчуков М.В. Актуальность разработки «цифрового двойника» автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны и предложения по формированию подхода к её выполнению // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С 4-12. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-4-12.

For citation: Kozlov K.V., Kuleshov I.A., Kozlova A.K., Senchukov M.I. The relevance of the development of a "digital twin" of an automated communication system, radio engineering support and automation of the control of the aviation and air defense forces grouping and proposals for the formation of an approach to its implementation. Means of Communication Equipment. 2022. No. 2 (158). Pp. 4-12. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-4-12 (in Russian).

УДК 621.391

DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-13-21

Анализ особенностей и роли современных «сквозных» цифровых технологий в построении и совершенствовании техники средств связи и автоматизации управления специального назначения

Паращук И.Б., Салюк Д.В.

Постановка задачи: системный анализ и детальный обзор в области современных «сквозных» цифровых технологий, с точки зрения их возможного использования для повышения эффективности связи и автоматизации, для повышения уровня технологичности и интенсификации подходов к созданию и совершенствованию техники средств связи и автоматизации управления специального назначения. Изучение и формулировка возможных вариантов применения отечественных и зарубежных результатов теоретических исследований и опыта практической реализации «сквозных» цифровых технологий. **Новизна:** состоит в том, что предметом исследования являются два перспективных тренда в области повышения эффективности построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения – технология «цифровых двойников», выступающая как интегратор многих «сквозных» цифровых технологий, а также квантовая цифровая технология. **Целью работы** является анализ существующих подходов и разработка новых вариантов практической реализации перспективных «сквозных» цифровых технологий для обеспечения повышения уровня технологичности и интенсификации подходов к созданию и совершенствованию техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, для повышения их эффективности функционирования, обуславливаемого еще на этапах разработки, проектирования и производства техники такого класса. **Результат:** заключается в том, что предложены варианты применения, состава и взаимосвязи компонентов (субтехнологий) «сквозных» цифровых технологий, которые могут и должны повысить результативность построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения. Определены и сформулированы функциональные задачи техники средств связи и автоматизации, построенной с использованием технологии «цифровых двойников» и квантовой цифровой технологии. **Практическая значимость:** результаты исследований и представленный подход к анализу достоинств и перспектив применения технологии «цифровых двойников» и квантовой цифровой технологии позволяют на основе единых системных позиций сформировать варианты практической реализации новых механизмов повышения уровня технологичности и интенсификации процедур создания и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения.

Ключевые слова: техника средств связи, автоматизация управления, «сквозные» цифровые технологии, цифровой двойник, квантовая цифровая технология.*

Актуальность

Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 года, а также другие релевантные руководящие документы, ставят конкретные цели – поддержать отечественные организации, которые обладают необходимыми компетенциями в «сквозных» цифровых технологиях, и сформировать на их базе быстрорастущие, конкурентоспособные элементы различных отраслей народного хозяйства и обороны страны [1-3].

«Сквозная» цифровая технология (СЦТ) – это такая технология, которая имеет ключевое значение для развития сразу нескольких перспективных цифровых технологических направлений, которая одновременно охватывает несколько трендов или отраслей. При этом СЦТ способна не только радикально поменять ситуацию на существующих рынках, но и способна активно повлиять на формирование новых рынков.

К «сквозным» цифровым технологиям относятся: большие данные; технологии моделирования; искусственный интеллект и нейротехнологии; системы распределенного реестра (блокчейн) и сетевые ориентированные технологии; квантовые технологии;

технологии управления и умного контроля; новые производственные технологии (новые материалы с заданными свойствами: нано, композитные и др.), аддитивные технологии и технология «цифровых двойников»; новые транспортные технологии, технологии «умного» движения (беспилотные транспортные средства); промышленный интернет; квантовые технологии; компоненты робототехники и сенсорика (распознавание лиц и компьютерное зрение); «облачные» решения и технологии беспроводной связи; машинное обучение и голосовые интерфейсы, а также современные технологии виртуальной и дополненной реальности [2, 4].

Предварительный анализ и первые, пока не всегда верифицированные результаты практического применения показывают, что подавляющее большинство перечисленных «сквозных технологий» либо напрямую (например, когнитивное радио или радиочастотная идентификация), либо опосредовано, могут не просто повысить эффективность современных информационных и телекоммуникационных систем, но и могут быть напрямую ориентированы на сферу развития техники средств связи и автоматизации управления специального назначения в интересах различных министерств и ведомств, включая Вооруженные Силы Российской Федерации [4-7]. Необходимо отметить, что ряд технологий из разряда СЦТ уже рассматривается, с точки зрения их возможного применения для силовых ведомств. Например, сетевые технологии [8], «облачные» решения [9] и новые технологии беспроводной связи [10]. В этой связи детальный анализ, технический обзор и выработка общей системы взглядов на сущность, особенности и перспективы применения современных «сквозных» технологий, например, технологии «цифровых двойников» и квантовой технологии, при совершенствовании техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, на наш взгляд, является важной, актуальной задачей.

Технология «цифровых двойников» как интегратор «сквозных» цифровых технологий в интересах развития техники средств связи и автоматизации управления специального назначения

Особое место в консолидации преимуществ «сквозных» цифровых технологий с точки зрения совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, на наш взгляд, занимает технология «цифровых двойников» (*Digital Twin*) [11, 12].

Ее уникальность состоит в том, что технология «цифровых двойников» является технологией-интегратором практически всех СЦТ и входящих в них субтехнологий, выступает технологией-драйвером, обеспечивает технологические прорывы и позволяет высокотехнологичным компаниям и организациям переходить к новому уровню технологического и устойчивого развития на пути к промышленному лидерству как на глобальных рынках, так и в оборонной сфере.

Данная технология предусматривает создание модели, так называемого «цифрового двойника» (ЦД) – электронной копии физического объекта или процесса, помогающей оптимизировать эффективность функционирования системы. В интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, технология «цифровых двойников» призвана помочь предприятиям ВПК быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты в интересах обеспечения обороноспособности страны.

Помимо этого, технология «цифровых двойников» может быть применена непосредственно в оборонной сфере, являясь средством разработки и предварительного (прогностического) анализа ситуаций с точки зрения поведения техники средств связи и автоматизации в различных условиях боевой обстановки. В этом случае разработка изделий и продукции в интересах развития техники средств связи и автоматизации управления специального назначения на основе технологии «цифровых двойников» может существенно обеспечивать снижение временных, финансовых и иных ресурсных затрат.

Технология «цифровых двойников» обеспечивают производство («материализацию цифрового двойника») и поставку продукции – техники средств связи и автоматизации управления специального назначения с конкурентными характеристиками в кратчайшие сроки и в зависимости от возникающей конъюнктуры и насущных потребностей заказчика [11].

Технология «цифровых двойников» как интегратор «сквозных» цифровых технологий в интересах совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения на глобальном высокотехнологичном рынке вооружений и средств управления реализует для России последовательность результатов «технологический прорыв – технологический отрыв – технологическое лидерство и превосходство».

Важнейшим и обязательным этапом разработки и применения интегратора «сквозных» цифровых технологий – полномасштабных цифровых двойников в интересах совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, является формирование (путем каскадирования и декомпозиции) многоуровневой матрицы целевых показателей конкурентоспособного продукта (изделия) и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных).

При этом подразумевается, что «цифровой двойник» – это семейство сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, реальным объектам, системам, комплексам, средствам техники средств связи и автоматизации управления специального назначения и реализуемым ими физико-механическим процессам (включая технологические и производственные процессы) [11].

Примером может служить разработка и использование «цифрового двойника» в рамках осуществления проектов построения летательных аппаратов для ВКС России, кораблей для ВМФ РФ, а также этапы испытаний с помощью «цифрового двойника» блока оптико-электронной системы (модуля, БОМ) ЗРАК «Панцирь-М [12].

Как и в приведенных примерах, в ходе выполнения работ по построению и развитию техники средств связи и автоматизации управления специального назначения с использованием технологии «цифровых двойников», могут быть произведены оценки эффективности средств и комплексов связи и автоматизированных систем управления (АСУ) и выработаны решения, обеспечивающие заданные тактико-технические характеристики (ТТХ). При этом построение «цифрового двойника» техники средств связи и автоматизации управления специального назначения может и должно осуществляться на основе проведения расчетов в соответствии с матрицей ресурсных ограничений и целевых показателей, обеспечивающих выполнение требований к ТТХ. Благодаря технологии «цифровых двойников» разработчики и производители техники средств связи и автоматизации управления специального назначения могут перевести большую часть виртуальных испытаний на самый ранний период и смогут параметризовать модель создаваемого изделия. Это позволит произвести доработку конструкции техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, при этом полученные расчеты могут быть использованы для дальнейшей отработки элементов системы связи и АСУ на последующих этапах их жизненного цикла.

«Цифровые двойники» в интересах совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения могут и должны быть построены как «умная» модель, учитывающая особенности конкретного производства и технологии изготовления элементов системы связи и АСУ. Они должны быть описаны 3D нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных, обеспечивающих отличие между результатами виртуальных испытаний и натурных испытаний систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления специального назначения в пределах $\pm 5\%$ [11].

Обязательным компонентом разработки и применения «цифровых двойников» в задачах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения является многоуровневая матрица целевых показателей

конкурентоспособных элементов системы связи и АСУ и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических и т. д.). Общее число характеристик матрицы целевых показателей техники средств связи и автоматизации управления специального назначения может составлять 50 000 и более. Многоуровневая матрица целевых показателей техники средств связи и автоматизации управления специального назначения и ресурсных ограничений предназначена для осуществления согласования (балансировки) большого количества конфликтующих параметров и характеристик элементов системы связи и АСУ в целом, их компонентов и деталей в отдельности [11].

Это позволит не только отслеживать взаимное влияние конфликтующих параметров и характеристик элементов техники средств связи и автоматизации управления специального назначения на различных этапах их жизненного цикла, но и в кратчайшие сроки вносить необходимые изменения и уточнения («управление требованиями и изменениями»). Например, оперативно реагируя на геополитическую обстановку и действия конкурентов, что обеспечивает непрерывный характер разработки и представляет собой важнейшую особенность новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования на основе «цифровых двойников».

В основе применения «цифровых двойников» в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения лежит «оцифровка» всех физических, натуральных и т. д., как правило, дорогостоящих и зачастую уникальных экспериментов – фактически разработка и валидация математических моделей высокого уровня адекватности элементов системы связи и АСУ и реализуемых ими процессов (*MultiDisciplinary*-подход).

Это позволит в рамках комплексного подхода к разработке «цифровых двойников» в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения перейти от традиционной парадигмы проектирования и создания («доводка элементов системы связи и АСУ до требуемых характеристик на основе многочисленных дорогостоящих испытаний и итерационного перепроектирования») к одному из основных компонентов разработки «цифровых двойников» – современной триаде: «Виртуальные испытания» – «Виртуальные стенды» – «Виртуальные полигоны», используемые на всех этапах жизненного цикла и с наибольшим эффектом на этапе проектирования.

Это, в свою очередь, позволит значительно снизить объемы физических и натуральных испытаний, необходимых для проверки опытных образцов техники средств связи и автоматизации управления специального назначения.

«Сквозная» квантовая цифровая технология и возможности ее использования в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения

Особое значение для задач построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, на наш взгляд, имеют квантовые технологии (*Quantum technologies*), включающие квантовые вычисления, квантовые коммуникации, и квантовые сенсоры и метрологию [13-16].

Разработка и применение данной технологии в компьютерах, мобильных телефонах, планшетах, цифровых камерах, технике средств связи и автоматизации управления специального назначения и других элементах информационных и телекоммуникационных систем (комплексов) позволит расширить техническую основу этих средств и комплексов, а также защиту информации в них.

При этом субтехнология «квантовые вычисления» (*Quantum computing*) рассматривается как новый класс вычислительных устройств – квантовых компьютеров, использующих для решения задач построения и функционирования систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления специального назначения принципы квантовой механики. Эта субтехнология будет способна обеспечить многократное ускорение

вычислительных процессов, даже по сравнению с существующими суперкомпьютерами. Пример – в МГУ рассчитали, что математическую задачу, которую классический суперкомпьютер с производительностью нескольких тысяч персональных ЭВМ будет считать около 10 миллионов лет, квантовый компьютер сможет решить за 18 секунд [14].

Внедрение квантовых компьютеров упростит разработку и проверку программного обеспечения (ПО) для техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, ускорит проектирование различных элементов систем (комплексов, средств) связи и автоматизации, а также позволит сократить необходимое число натуральных испытаний. Высокая производительность также может быть полезна при создании систем с искусственным интеллектом специального назначения.

Как средство проверки программного обеспечения, квантовый компьютер может сыграть очень важную роль. При разработке ПО для работы техники средств связи и автоматизации управления специального назначения возможны те или иные ошибки, поиск и исправление которых отнимают много времени и ресурсов разработчика. Быстродействующий квантовый компьютер сможет провести тестирование программы в минимальное время и выявить все имеющиеся проблемы. В ряде случаев квантовые вычисления способны справиться с задачами, которые практически неразрешимы для систем с другими архитектурами [13, 14].

Субтехнология «квантовая криптография и защищенные коммуникации» (*Quantum cryptography and secure communications*) напрямую может быть применена в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, т. к. обеспечивает гарантированную криптографическую защиту информации, используя для передачи ключей шифрования индивидуальные квантовые частицы. Пример – разработанный на физфаке МГУ высокопроизводительный квантовый шифратор, который позволяет в автоматическом режиме шифровать информацию со скоростью до 10 Гбит в секунду. Шифратор гарантирует очень высокий уровень защищенности информации, канал распределения криптографических ключей обновляется раз в несколько секунд, тогда как существующие шифраторы меняют набор ключей один раз в несколько дней или месяцев, т. е., преимущество квантовой связи в части защиты передаваемой информации, бесспорно.

Технологию уже тестируют в рамках построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения. Система квантового шифрования в тестовом режиме уже стабильно работает на оптоволоконных линиях между двумя городами Московской области на расстоянии в 32 километра. Работа системы полностью автоматизирована, участие человека не предусматривается. Помимо этого, существует действующая защищенная квантовыми технологиями линия связи: квантовый телефон установлен между кабинетом ректора МГУ и кабинетом декана физфака МГУ [15].

Кроме того, в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения могут и должны быть применены квантовые сенсоры и средства метрологии (*Quantum metrology and sensors*), представляющие собой совокупность высокоточных измерительных приборов, основанных на квантовых эффектах [14].

Еще в 2019 году в России разработана и успешно реализуется дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии» [16]. С точки зрения реализации этапов этой дорожной карты и учета полученных результатов на прикладном уровне, в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, следует отметить, что данная дорожная карта сфокусирована на решении исследовательских и инженерных задач в области квантовых технологий и на формировании экосистемы для развития этого направления, в том числе, и в оборонной отрасли. Эта экосистема включает создание инфраструктурной базы, образовательных программ, консорциумов с индустриальными партнерами.

В дорожной карте «сквозной» квантовой технологии прописаны целевые показатели, приоритетные продукты, и технологии и план мероприятий для реализации. Особое внимание уделено технологическим показателям, к примеру, количеству частиц в квантовом симуляторе и количеству экспериментов и работ, выполненных на облачной платформе для квантовых вычислений, которую планируется создать [16].

Приоритетными продуктами и услугами определены пути, которые на наш взгляд, не сразу найдут свое применение при реализации работ на прикладном уровне в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, но могут рассматриваться как потенциальные тренды. Это сервис по предоставлению доступа к облачной платформе для квантовых вычислений, квантовые вычисления на основе сверхпроводников и иные перспективные способы реализации достоинств квантовых разрядов (кубитов) – наименьших элементов для хранения информации в квантовом компьютере, которые, как и биты, допускают два собственных состояния, обозначаемых $|0\rangle$ и $|1\rangle$, но с более сложными связями между собой.

С точки зрения построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения гораздо больший интерес может представлять квантовый процессор с десятками кубитов без кодов коррекции ошибок, квантовый процессор на основе нейтральных атомов, квантовый процессор на ионах в ловушках и квантовый процессор на основе фотонных чипов.

Выводы

Анализ особенностей и роли некоторых рассмотренных СЦТ в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения показывает, что данные технологии доступны и применимы для совершенствования систем связи и АСУ. Об этом говорят как уже существующие примеры создания «цифровых двойников» в оборонной сфере, так и сопоставление производительности классического суперкомпьютера и квантового компьютера. Квантовые и фотонные приборы, сенсоры, устройства защиты систем передачи и обработки информации значительно превосходят по характеристикам электронные аналоги.

С точки зрения построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения можно с большой долей уверенности наглядно представить и спрогнозировать, какую экономию материальных средств и какую экономию времени можно получить с помощью «цифровых двойников» и квантовых компьютеров, например, в расчетах аэродинамики или прочности крупногабаритных конструкций для систем (комплексов, средств) связи и автоматизации – антенн и антенных мачт, расчетов с максимально возможной скоростью и шифрованной передачи траекторий ракет или координат целей.

Таким образом, предложены варианты применения, варианты состава и взаимосвязи компонентов (субтехнологий) «сквозных» цифровых технологий, которые могут и должны повысить результативность построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения. Определены и сформулированы функциональные задачи техники средств связи и автоматизации, построенной с использованием технологии «цифровых двойников» и квантовой цифровой технологии. Результаты исследований и представленный подход к анализу достоинств и перспектив применения технологии «цифровых двойников» и квантовой цифровой технологии позволяют на основе единых системных позиций сформировать варианты практической реализации новых механизмов повышения уровня технологичности и интенсификации процедур создания и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ, 2017. № 32. Ст. 5138.
2. Сквозные технологии НТИ // Национальная технологическая инициатива [Электронный ресурс]. 16.10.2017. – URL: <https://nti2035.ru/technology/> (дата обращения: 16.07.2022).
3. Федеральный проект «Цифровые технологии» // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ [Электронный ресурс]. 30.04.2021. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/> (дата обращения: 17.07.2022).
4. Абашева О.Ю., Амирова Э.Ф., Беляева С.В. и др. Цифровая экономика и сквозные цифровые технологии: современные вызовы и перспективы экономического, социального и культурного развития / Под ред. Бондаренко И.А., Полетайкина А.Н. – Самара: ООО НИЦ «ПНК», 2020. 297 с.
5. Филипова И.А. Влияние цифровых технологий на труд: ориентиры для трудового права. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, 2021. 106 с.
6. Шевченко А.В. Обзор «сквозных» технологий в Российской Федерации // Вопросы студенческой науки, №7 (35), 2019, С. 14–17.
7. Макушкин А.Г., Осоченко Е.А. Атлас сквозных технологий цифровой экономики России. – М.: АО «Гринатом». 2019. 372 с.
8. Паращук И.Б. К вопросу применения сетеориентированных технологий для построения региональных информационно-коммуникационных систем // XIV-ая Санкт-Петербургская Международная Конференция «Региональная информатика 2014 (РИ-2014)». Материалы конференции. – СПб.: СПОИСУ. 2014. С. 96–97.
9. Паращук И.Б. Вопросы безопасности применения инфокоммуникационных технологий, реализующих «облачные» сервисы для абонентов систем специального назначения // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН. – СПб.: ФГБУ «РАРАН». 2015. С. 178–183.
10. Паращук И.Б. Анализ достоинств и аспекты возможного практического применения технологии DVB-H в информационно-управляющих системах специального назначения // Информация и космос. № 2. 2015. С. 8–11.
11. Прохоров А.Н., Лысачев М.Н. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное / Под ред. проф. Боровкова А.И. – М.: ООО «АльянсПринт». 2020. 401 с.
12. Цифровые двойники в военном кораблестроении // Новый оборонный заказ. Стратегии [Электронный источник]. 07.09.2020. – URL: <https://dfnc.ru/c106-technika/tsifrovye-dvojniki-v-voennom-korablestroenii/> (дата обращения 17.07.2022)
13. Вишневский К.О., Гохберг Л.М., Дементьев В.В. и др. Цифровые технологии в российской экономике / Под ред. Л.М. Гохберга. НИУ «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2021. 116 с.
14. Крылов В.С., Бекирова Э.А., Ветеранова Д.С. Сквозная квантовая технология цифровой экономики // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. № 1(67). 2020. С. 129–134.
15. Здания МГУ соединит квантовая сеть // Московский государственный университет [Электронный ресурс] 11.01.2021. – URL: https://www.msu.ru/science/main_themes/zdaniya-mgu-soedinit-kvantovaya-set.html (дата обращения: 17.07.2022).
16. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии» // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ [Электронный ресурс]. 14.10.2019. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6650/> (дата обращения: 17.07.2022).

References

1. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 28.07.2017 № 1632-r «Ob utverzhdenii programmy «Cifrovaya e'konomika Rossijskoj Federacii»* [Decree of the Government of the Russian Federation dated 28.07.2017 No. 1632-r «On the approval of the program «Digital Economy of the Russian Federation»]. *Sobranie zakonodatel'stva RF*, 2017. No 32. St. 5138 (in Russian)
2. *Skvozny'e texnologii NTI* [End-to-end technologies of National Technological Initiative]. *Nacional'naya texnologicheskaya iniciativa*. 16.10.2017. Available at: <https://nti2035.ru/technology/> (accessed 16 July 2022) (in Russian)

3. *Federal'nyj proekt «Cifrovye tehnologii»* [Federal project «Digital Technologies»]. *Ministerstvo cifrovogo razvitiya, svyazi i massovyx kommunikacij RF*. 30.04.2021. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/> (accessed 17 July 2022) (in Russian)
4. Abasheva O.Yu., Amirova E.F., Belyaeva S.V. *Cifrovaya e'konomika i skvozny'e cifrovye tehnologii: sovremennye vyzovy i perspektivy e'konomicheskogo, social'nogo i kul'turnogo razvitiya* [Digital economy and end-to-end digital technologies: current challenges and prospects for economic, social and cultural development]. *Pod red. Bondarenko I.A., Poletajkina A.N.* – Samara: OOO NICz «PNK», 2020. 297 p. (in Russian)
5. Filipova I.A. *Vliyanie cifrovyx tehnologij na trud: orientiry dlya trudovogo prava* [The impact of digital technologies on labor: guidelines for labor law] – Nizhnij Novgorod: *Nizhegorodskij gosuniversitet im. N.I. Lobachevskogo*. 2021. 106 p. (in Russian)
6. Shevchenko A.V. *Obzor «skvoznyx» tehnologij v Rossijskoj Federacii* [Overview of «end-to-end» technologies in the Russian Federation]. *Voprosy studencheskoj nauki*, No 7 (35), 2019, Pp. 14–17 (in Russian)
7. Makushkin A.G., Osochenko E.A. *Atlas skvoznyx tehnologij cifrovoj e'konomiki Rossii* [Atlas of end-to-end technologies of the digital economy of Russia]. Moscow: AO «Grinatom». 2019. 372 p. (in Russian)
8. Parashchuk I.B. *K voprosu primeneniya seteorientirovannyx tehnologij dlya postroeniya regional'nyx informacionno-kommunikacionnyx sistem* [On the issue of the use of network-oriented technologies for the construction of regional information and communication systems]. *XIV-aya Sankt-Peterburgskaya Mezhdunarodnaya Konferenciya «Regional'naya informatika 2014 (RI-2014)»*. *Materialy konferencii*. – SPb.: SPOISU. 2014. Pp. 96–97 (in Russian)
9. Parashchuk I.B. *Voprosy bezopasnosti primeneniya infokommunikacionnyx tehnologij, realizuyushhix «oblachnye» servisy dlya abonentov sistem special'nogo naznacheniya* [Security issues of the use of infocommunication technologies implementing "cloud" services for subscribers of special purpose systems]. *Aktual'nye problemy zashhity i bezopasnosti: Trudy XVIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii RARAN*. SPb.: FGBU «RARAN». 2015. Pp. 178–183 (in Russian)
10. Parashchuk I.B. *Analiz dostoinstv i aspekty vozmozhnogo prakticheskogo primeneniya tehnologij DVB-H v informacionno-upravlyayushhix sistemax special'nogo naznacheniya* [Analysis of the advantages and aspects of the possible practical application of DVB-H technology in special purpose information and control systems] // *Informaciya i kosmos* [Information and space] No 2. 2015. Pp. 8–11 (in Russian)
11. Proxorov A.N., Lysachev M.N. *Cifrovoj dvojniki. Analiz, trendy, mirovoj opyt* [Digital twin. Analysis, trends, world experience]. *Izдание pervoe, ispravlennoe i dopolnennoe. Pod red. prof. Borovkova A.I.* Moscow: OOO «Al'yansPrint». 2020. 401 p. (in Russian)
12. *Cifrovye dvojniki v voennom korablestroenii* [Digital doubles in military shipbuilding]. *Novyj oboronnyj zakaz. Strategii*. 07.09.2020. Available at: <https://dfnc.ru/c106-technika/tsifrovye-dvojniki-v-voennom-korablestroenii/> (accessed 17 July 2022) (in Russian)
13. Vishnevskij K.O., Goxberg L.M., Dement'ev V.V. *Cifrovye tehnologii v rossijskoj e'konomike* [Digital technologies in the Russian economy]. *Pod red. L.M. Goxberga. NIU «Vysshaya shkola e'konomiki»*. – M.: NIU VShE, 2021. 116 p. (in Russian)
14. Krylov V.S., Bekirova E.A., Veteranova D.S. *Skvoznaya kvantovaya tehnologiya cifrovoj e'konomiki* [End-to-end quantum technology of the digital economy]. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta* [Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University] No 1(67). 2020. Pp. 129–134 (in Russian)
15. *Zdaniya MGU soedinit kvantovaya set* [MSU buildings will be connected by a quantum network]. *Moskovskij gosudarstvennyj universitet* 11.01.2021. Available at: https://www.msu.ru/science/main_themes/zdaniya-mgu-soedinit-quantovaya-set.html (accessed 17 July 2022) (in Russian)
16. *Dorozhnaya karta razvitiya «skvoznoj» cifrovoj tehnologii «Kvantovye tehnologii»* [Roadmap for the development of «end-to-end» digital technology «Quantum Technologies»]. *Ministerstvo cifrovogo razvitiya, svyazi i massovyx kommunikacij RF*. 14.10.2019. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6650/> (accessed 17 July 2022) (in Russian)

Статья поступила 2 июня 2022 г.

Информация об авторах

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

Салюк Дмитрий Владиславович – Кандидат технических наук, доцент. Начальник отдела ПАО «Интелтех». Область научных интересов: проектирование и разработка автоматизированных систем специального назначения; технологии сбора и обработки информации. Тел.: +7 921 794 10 64. E-mail: salukdv@rambler.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Analysis of the features and role of modern «end-to-end» digital technologies in the construction and improvement of communication equipment and control automation of special purpose

I.B. Parashchuk, D.V. Salyuk

Annotation: system analysis and detailed review in the field of modern «end-to-end» digital technologies from the point of view of their possible use to increase the efficiency of communication and automation, to increase the level of manufacturability and intensification of approaches to the creation and improvement of communication equipment and automation of special-purpose control. Study and formulation of possible options for the application of domestic and foreign results of theoretical research and experience in the practical implementation of «end-to-end» digital technologies. **Novelty:** consists in the fact that the subject of the study are two promising trends in the field of improving the efficiency of building and improving the technology of communication and control automation for special purposes – the technology of «digital twins», acting as an integrator of many «end-to-end» digital technologies, as well as quantum digital technology. **Purpose:** of the work is to analyze existing approaches and develop new options for the practical implementation of promising «end-to-end» digital technologies to ensure an increase in the level of manufacturability and intensification of approaches to the creation and improvement of communication equipment and automation of special-purpose control, to increase their efficiency of functioning, conditioned at the stages of development, design and production of equipment of this class. **Results:** the variants of application, composition and interrelation of components (subtechnologies) of «end-to-end» digital technologies are proposed, which can and should increase the effectiveness of the construction and improvement of communication equipment and automation of special-purpose control. The functional tasks of communication and automation equipment built using the technology of «digital twins» and quantum digital technology are defined and formulated. **Practical relevance:** the research results and the presented approach to the analysis of the advantages and prospects of using the technology of «digital twins» and quantum digital technology allow, on the basis of unified system positions, to form options for the practical implementation of new mechanisms for increasing the level of manufacturability and intensification of procedures for creating and improving communication equipment and automation of special-purpose control.

Keywords: communication equipment, control automation, «end-to-end» digital technologies, digital twin, quantum digital technology.

Information about Authors

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

Dmitry Vladislavovich Salyuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the Department of PJSC «Inteltech». Research interests: design and development of automated systems for special purposes; technologies for collecting and processing information. Tel.: +7 921 794 10 64. E-mail: salukdv@rambler.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya St. 8.

Для цитирования: Паращук И.Б., Салюк Д.В. Анализ особенностей и роли современных «сквозных» цифровых технологий в построении и совершенствовании техники средств связи и автоматизации управления специального назначения // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С.13-21. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-13-21.

For citation: Parashchuk I.B., Salyuk D.V. Analysis of the features and role of modern «end-to-end» digital technologies in the construction and improvement of communication equipment and control automation of special purpose. Means of Communication Equipment. 2022. No. 2 (158). Pp. 13-21. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-13-21 (in Russian).

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

УДК 004.85

DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-22-52

Выбор алгоритмов машинного обучения для классификации текстовых документов

Дементьев В.Е., Киреев С.Х.

Аннотация. С увеличением доступности электронных документов и быстрым ростом количества систем обмена данными задача автоматической категоризации документов стала ключевым методом организации поиска информации и знаний. Правильная классификация электронных документов, онлайн-новостей, блогов, электронных писем и цифровых библиотек требует интеллектуального анализа текста, применения машинного обучения и методов обработки естественного языка для получения значимых знаний. **В статье ставится задача анализа современных используемых важных методов и методологий, которые используются при классификации текстовых документов. Целью работы** является классификация известных проблем, которые необходимо решить при представлении текста с помощью методов машинного обучения. **К результатам работы** относятся сравнительные выводы по методам классификации документов и интеллектуальному анализу текста с акцентом на существующую литературу, а также приведены некоторые возможности классификации неструктурированных данных и обнаружения знаний. **Практическая значимость** работы заключается в итоговых рекомендациях по применению подходов на основе Хи-квадрат, отбора и извлечения признаков, автоматической классификации документов, алгоритмов машины опорных векторов (SVM), байесовского классификатора и к-ближайших соседей. Показано, что выявление признаков, отражающих семантическое содержание, является одним из важных направлений исследований. SVM-классификатор признан одним из наиболее эффективных методов классификации текстов при сравнении управляемых алгоритмов машинного обучения.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ текста, веб-анализ, классификация документов, поиск информации, машина опорных векторов, наивный байесовский классификатор, к-ближайших соседей, выбор признаков, извлечение признаков, онтологии.

Введение

Исследования интеллектуального анализа текста приобретают все большее значение в последнее время из-за увеличения количества электронных документов из различных источников. К ресурсам неструктурированной и полуструктурированной информации относятся системы обмена данными (в т.ч. системы связи общего пользования (ССОП), правительственные электронные хранилища, статьи, базы данных, чаты, электронные библиотеки, онлайн-форумы, электронная почта и хранилища блогов. Поэтому правильная классификация и получение знаний из этих ресурсов является важной областью исследований.

Обработка естественного языка (NLP), интеллектуальный анализ данных и методы машинного обучения целесообразно использовать совместно для автоматической классификации и обнаружения шаблонов (паттернов) в электронных документах. Основная цель интеллектуального анализа текста состоит в том, чтобы обеспечить автоматическое быстрое извлечение информации из текстовых ресурсов и реализацию таких служб, как поиск, классификация (контролируемая, неконтролируемая и полууправляемая) и обобщение. На настоящий момент существует несколько подходов к предобработке документов по их аннотированию, представлению и классификации. Рассматриваемая задача состоит из нескольких этапов: корректная аннотация к документам, надлежащее представление документов, уменьшение размерности для решения алгоритмических проблем [1] и соответствующая функция классификатора для получения хорошего обобщения и предотвращения некорректной подгонки. Извлечение, интеграция и классификация электронных документов из различных источников и получение знаний из этих документов важны для исследовательских сообществ.

На настоящий момент ССОП является основным источником текстовых документов, объем доступных текстовых данных постоянно увеличивается, и примерно 80 % информации хранится в неструктурированном текстовом формате [2], в виде отчетов, электронной почты, просмотров и новостей и т. д. В [3] показано, что примерно 90 % мировых данных хранятся в неструктурированных форматах, поэтому информационные бизнес-процессы требуют, чтобы мы перешли от простого поиска документов к обнаружению знаний. На настоящий момент остро стоит проблема необходимости автоматического извлечения полезных знаний из текстовых данных и формализации данной области человеческого анализа [4]. Кроме того существуют смежные области, которые не относятся к области накопления текстовой информации, но в той или иной степени используют результаты и наработки в плане семантического, контекстного или других видов анализа символов [5-8]. В данном случае можно упомянуть формализованные сообщения, отправления или содержание передаваемого трафика. Для этих областей разработки поисковых систем на основе символьного или других видов анализа являются высокоактуальными и востребованными.

Тренд, основанный на содержании онлайн-новостных статей, настроений и событий, является новой темой для исследований в сообществе интеллектуального анализа данных и текстового анализа [9]. С этой целью современные подходы к классификации текстов представлены в [10], в котором обсуждались три проблемы: представление документов, построение классификатора и оценка классификатора. Таким образом, построение структуры данных, которая может представлять документы, и построение классификатора, который можно использовать для определения метки класса документа с высокой точностью, являются ключевыми моментами в классификации текста.

Одной из целей исследования является обзор доступных и известных работ, поэтому предпринята попытка собрать все, что известно о классификации и представлении документов. В статье сделана попытка обзора известных синтаксических и семантических вопросов, онтологии предметной области, проблемы токенизации, а также сделан акцент на различных методах машинного обучения для классификации текста с использованием существующей литературы. В смежных областях исследований интеллектуального анализа текста существует достаточно подходов, в частности:

- методы извлечения информации (*IE*) направлены на извлечение конкретной информации из текстовых документов. Это первый подход, предполагающий, что интеллектуальный анализ текста по существу соответствует извлечению информации;

- информационный поиск (*IP*) – это поиск документов, содержащих ответы на вопросы. Для достижения этой цели используются статистические показатели и методы для автоматической обработки текстовых данных и сравнения с заданным вопросом. Поиск информации в более широком смысле имеет дело со всем спектром обработки информации, от поиска данных до поиска знаний [11];

- обработка естественного языка (*NLP*) предназначена для достижения лучшего понимания естественного языка с помощью компьютеров и семантического представления документов для улучшения процесса классификации и поиска информации. Семантический анализ – это процесс лингвистического разбора предложений и абзацев на ключевые понятия, глаголы и имена собственные. Используя технологию, основанную на статистике, эти слова затем сравниваются на основе таксономии;

- онтология – это явное и абстрактное модельное представление уже определенных конечных наборов терминов и понятий, участвующих в управлении знаниями, разработке знаний и интеллектуальной информационной интеграции [12].

В этой статье осуществлен системный обзор литературы и выполнены стандартные шаги для поиска, отбора, извлечения данных и составления отчетов. Прежде всего, выполнен поиск соответствующих документов, презентаций, исследовательских отчетов и программных документов, которые в целом касались классификации документов или интеллектуального

анализа текста. Определены соответствующие электронные базы данных и веб-сайты. Потенциально релевантные статьи определены с использованием электронных баз данных и веб-сайтов, таких как *IEEE Explore*, *Springer Linker*, *Science Direct*, *ACM Portal* и поисковая система *Google*. Для наилучшего и последовательного поиска была принята стратегия систематического поиска. Правильные ключевые слова, запросы и фразы были получены из желаемого исследовательского вопроса. Эти ключевые слова распределялись по категориям, а связанные ключевые слова упорядочивались. Также были использованы некоторые возможности электронных библиотек, такие как сортировка по годам и т. д. Ключевые слова для поиска уточнялись, с целью определения наиболее релевантных. Для эффективного поиска, использовался логический вывод, например: Классификация, текст ИЛИ рекомендации. Использовалось сочетание таких слов, как Интеллектуальный анализ текста, Анализ тенденций и онтологий, Классификация документов и анализ субъективности и т. д.

Каждый результат поиска проверялся и оценивался, чтобы определить релевантность включения и исключения в соответствии с критериями, по которым составили две категории статей, например, в 2000 году, или до 2000 года и после 2000 года. Были использованы следующие исследования: Результаты написаны на английском языке, Исследование проведено после 1980 года, Опубликованные и/или неопубликованные исследования, сосредоточенные на классификации документов, машинном обучении и обработке естественного языка (*NLP*). Для поиска доказательств и проверки качества статей, проведено углубленное изучение результатов, полученных в ходе исследования. В будущих работах авторы постараются сделать этот шаг более акцентированным и эффективным. Кроме того, составлены некоторые отчеты с использованием таблиц и графиков на основе существующих исследований.

Основная часть статьи построена следующим образом. Поочередно представлены обзор подходов к представлению документов, модели классификации документов, новые и гибридные методы, сравнительное изучение различных методов, основные обсуждения и выводы.

Представление документов

Представление документов является одним из методов предварительной обработки, который используется для уменьшения сложности документов и упрощения их обработки, документ должен быть преобразован из полнотекстовой версии в векторное представление документа. Представление текста является важным аспектом в классификации документов и обозначает отображение документа в компактную форму его содержимого. Текстовый документ обычно представляется в виде вектора весов терминов (признаков слов) из набора терминов (словаря), где каждый термин встречается по крайней мере один раз в определенном минимальном количестве документов. Основной характеристикой проблемы классификации текста является чрезвычайно высокая размерность текстовых данных. Количество потенциальных функций часто превышает количество обучающих документов. Представление документа состоит в том, что он составлен из совместного набора терминов, имеющих различные закономерности появления. Классификация текста является важным компонентом во многих задачах управления информацией, однако в связи со взрывным ростом веб-данных крайне желательны алгоритмы, которые могут повысить эффективность классификации при сохранении точности [13].

Предварительная обработка документов или уменьшение размерности (*DR*) позволяет эффективно обрабатывать и представлять данные. В современной литературе много дискуссий о предварительной обработке и *DR*, и было предложено много моделей и методов. *DR* – очень важный шаг в классификации текста, поскольку нерелевантные и избыточные функции часто снижают производительность алгоритмов классификации как по скорости, так и по точности классификации, а также повышают их тенденцию к уменьшению переобучения.

Методы *DR* можно разделить на подходы к извлечению признаков (*FE*) [14] и выбору признаков (*FS*), что будет представлено ниже.

А. Извлечение признаков

Процесс извлечения признаков (или предварительной обработки) заключается в четком определении границ каждой языковой структуры и устранении зависящих от языка факторов, токенизации, удаления стоп-слов и стемминга, насколько это возможно [15]. *FE* – это первый этап предварительной обработки, который используется для представления текстовых документов в понятном формате *word*. Таким образом, удаление стоп-слов и основных слов является задачами предварительной обработки [16]. Документы в текстовой классификации представлены большим количеством признаков и большинство из них могут быть неуместными или зашумленными [17]. *DR* – это исключение большого количества ключевых слов, предпочтительно на основе статистического процесса, для создания вектора с низкой размерностью [18]. В последнее время большое внимание уделяется методам *DR*, поскольку эффективное уменьшение размера делает задачу обучения более эффективной и экономит больше места для хранения [19]. Обычно подход, используемый для извлечения признаков (рис. 1), выглядит следующим образом:

- токенизация: документ обрабатывают как строку, а затем разбивают на список токенов;
- удаление стоп-слов: Стоп-слова, такие как «а», «и», «не» ... и т. д., являются общими, поэтому второстепенные слова следует удалить;
- морфологический поиск: Применение базового алгоритма, который преобразует другую словоформу в аналогичную каноническую форму. Этот шаг представляет собой процесс объединения токенов с их корневой формой, например, соединение для соединения, вычисление для вычисления и т. д.

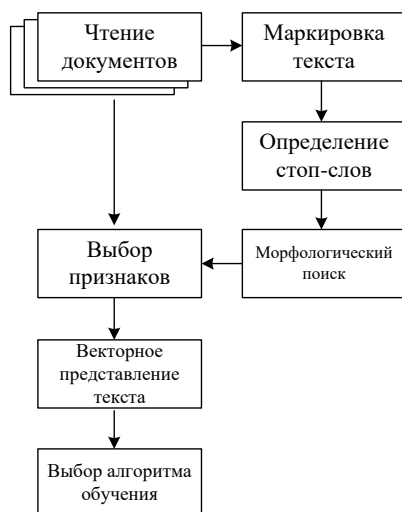


Рис. 1. Процесс классификации документов

В. Выбор признаков

После извлечения признаков (*FE*), важным шагом в предварительной обработке и классификации текста является выбор признаков (*FS*) для построения векторного пространства, что повышает масштабируемость, эффективность и точность текстового классификатора. В общем, хороший метод выбора признаков должен учитывать характеристики предметной области и алгоритма [20]. Основная идея *FS* заключается в выборе подмножества функций из исходных документов. *FS* выполняется путем сохранения слов с наивысшей ценностью в соответствии с заранее определенной метрикой важности слова [17]. Выбранные признаки сохраняют первоначальный физический смысл и обеспечивают лучшее понимание данных и процесса обучения [14]. Для классификации текста основной проблемой является высокая размерность пространства признаков. Почти каждая текстовая область имеет большое количество признаков, большинство из которых не являются релевантными и полезными для задачи классификации текста, и даже некоторые

шумовые признаки могут резко снизить точность классификации [21]. Следовательно, *FS* обычно используется в классификации текста для уменьшения размерности пространства признаков и повышения эффективности и точности классификаторов.

В машинном обучении существует в основном два типа методов выбора признаков: оболочки и фильтры. Оболочки используют точность классификации некоторых алгоритмов обучения в качестве своей функции оценки. Поскольку оболочкам приходится обучать классификатор для каждого оцениваемого подмножества признаков, они обычно занимают гораздо больше времени, особенно при большом количестве признаков. Таким образом, оболочки, как правило, не подходят для классификации текста. В отличие от оболочек, фильтры выполняют *FS*, независимо от алгоритма обучения, который будет использовать выбранные признаки. Чтобы оценить объект, фильтры используют метрику оценки, которая измеряет способность признаков дифференцировать каждый класс [22]. При классификации текста текстовый документ может частично соответствовать многим категориям. Необходимо найти наиболее подходящую категорию для текстового документа. На практике применяется подход, при котором термин (слово) частота/обратная частота документа (*TF-IDF*) обычно используется для взвешивания каждого слова в текстовом документе в соответствии с тем, насколько оно уникально. Другими словами, подход *TF-IDF* учитывает релевантность слов, текстовых документов и конкретных категорий.

Некоторые из литературных источников показывают, что ведутся работы по эффективному отбору признаков для оптимизации процесса классификации. Новый метод выбора признаков представлен в [22], в котором степени отклонения от распределения меток используются для выбора информативных признаков. Для улучшения категоризации текста используется алгоритм выбора признаков, основанный на оптимизации муравьиной колонии, который представлен в [23]. Также в [24] авторы ввели новый метод взвешивания, основанный на статистической оценке важности проблемы категоризации слов. В [25] предложен новый метод масштабирования, называемый взвешиванием признаков, зависящих от класса (*CDFW*), с использованием наивного байесовского классификатора (*NB*).

В процессе работы над статьей было изучено множество показателей оценки признаков, среди которых следует отметить информационный прирост (*IG*), частоту терминов, хи-квадрат, ожидаемую перекрестную энтропию, отношение шансов, вес доказательств текста, взаимную информацию, индекс Джини, частоту терминов и частоту документов (*TF/DF*) (табл. 1) и т. д. Таким образом, качественная метрика выбора признаков должна учитывать проблемную область и характеристики алгоритма.

Авторы в [26] сосредоточились на методах представления документов и демонстрируют, что выбор представления документов оказывает глубокое влияние на качество классификатора. Они использовали текстовый классификатор на основе центроида, который представляет собой простую и надежную схему классификации текста, и сравнили четыре различных типа представлений документов: *N*-граммы, отдельные термины, фразы и *RDR*, который представляет собой логическое представление документов. *N*-граммы представляют собой представление на основе строк без какой-либо лингвистической обработки. Подход с одним термином основан на словах с минимальной лингвистической обработкой. Фразеологический подход основан на лингвистически сформированных фразах и отдельных словах. *RDR* основан на лингвистической обработке и представлении документов в виде набора логических предикатов. В [27] авторы представляют значительно более эффективную индексацию и классификацию больших хранилищ документов, например, для поддержки поиска информации по всем корпоративным файловым серверам с частыми обновлениями файлов.

С. Представление документов на основе семантики и онтологии

Этот раздел посвящен методам семантики, онтологии, языку и связанным с ними вопросам классификации документов. Согласно [28], статистических методов недостаточно для интеллектуального анализа текста. Лучшая классификация будет выполнена при наблюдении

рассматриваемой семантики. Онтология – это модель данных, представляющая набор понятий в пределах предметной области и взаимосвязи между этими понятиями. Она используется для рассуждений об объектах внутри этой области. Онтология – это явное и абстрактное модельное представление уже определенных конечных наборов терминов и понятий, участвующих в управлении знаниями, разработке знаний и интеллектуальной информационной интеграции [12]. Характеристики объектов и сущностей (индивидов, экземпляров) являются реальными, а ассоциация (отношения) с атрибутом используется для названий двух понятий или сущностей. Онтология делится на три категории: Онтология естественного языка (*NLO*), Онтология предметной области (*DO*) и Экземпляр онтологии (*OI*) [29]. *NLO* – это связь между общими лексическими лемами утверждений, основанных на естественном языке, *DO* – это знание конкретной предметной области, а *OI* – это автоматически сгенерированная веб-страница, которая ведет себя как объект. Язык веб-онтологий (*OWL*) – это язык поддержки онтологий, производный от американского языка разметки агентов *DAPRA* (*DAML*) и основанный на онтологии, выводе и европейском языке обмена онтологиями (*OIL*) [30]. *OWL* утверждает, что является расширением в рамках описания ресурсов (*RDF*) [31]. В выражении логических утверждений, поскольку он не только описывает классы и свойства, но также предоставляет понятия пространства имен, импорта, отношения мощности между классами и перечисляемыми классами. Онтология была предложена для обработки семантической неоднородности при извлечении информации из различных текстовых источников, таких как Интернет [32].

Таблица 1 – Методы выбора признаков

Коэффициент усиления (<i>GR</i>)	$GR(t_k, c_i) = \frac{\sum_{c \in \{c_i, \bar{c}_i\}} \sum_{t \in \{t_k, \bar{t}_k\}} p(t, c) \log \frac{P(t, c)}{P(t)P(c)}}{- \sum_{c \in \{c_i, \bar{c}_i\}} P(c) \log P(c)}$
Информационный выигрыш (<i>IG</i>)	$IG(w) = - \sum_{j=1}^K P(c_j) \log P(c_j) + P(w) \sum_{j=1}^K P(c_j w) \log P(c_j w) + \sum_{j=1}^K P(c_j \bar{w}) \log P(c_j \bar{w}) = H(samples) - H(samples w)$
Хи-квадрат	$\chi^2(f_i, c_j) = \frac{ D \times (\#(c_j, f_i) \#(\bar{c}_j, \bar{f}_i) - \#(c_j, \bar{f}_i) \cdot \#(\bar{c}_j, f_i))^2}{(\#(c_j, f_i) + \#(c_j, \bar{f}_i)) \times (\#(\bar{c}_j, f_i) + \#(\bar{c}_j, \bar{f}_i)) \times ((c_j, f_i) + \#(\bar{c}_j, f_i)) \times (\#(c_j, \bar{f}_i) + \#(\bar{c}_j, \bar{f}_i))}$
Коэффициент взаимосвязи информации (<i>CMI</i>)	$CMI(C S) = H(C) - H(C S_1, S_2, \dots, S_n)$
Частота появления документов (<i>DF</i>)	$DF(t_k) = P(t_k)$
Частота (<i>TF</i>)	$tf(f_i, d_j) = \frac{freq}{\max_k freq_{K_j}}$
Обратная частота документа (<i>IDF</i>)	$ idf = \log \frac{ D }{\#(f_1)}$
Период	$s(t) = P(t \in y t \in x)$
Взвешенный коэффициент (<i>WR</i>)	$WR(w) = P(w) \times OR(w)$
Коэффициент отклонения (<i>OR</i>)	$OR(f_i, c_j) = \log \frac{P(f_i c_i) (1 - P(f_i -c_j))}{(1 - P(f_i c_i)) (P(f_i -c_j))}$

Алгоритмы машинного обучения автоматически создают классификатор, изучая характеристики категорий из набора классифицированных документов, а затем используют классификатор для классификации документов по предопределенным категориям. Однако у этих методов машинного обучения есть некоторые недостатки:

– для обучения классификатора необходимо собрать большое количество обучающих текстовых терминов, процесс очень трудоемкий. Если предопределенные категории изменились, необходимо собирать новый набор терминов обучающего текста;

– большинство из этих традиционных методов не учитывают семантические отношения между словами, поэтому трудно повысить точность этих методов классификации [10];

– проблема переводимости с одного естественного языка на другой естественный язык.

Эти типы недостатков указывают на то, что системы машинного обучения сталкиваются с проблемами. Такие вопросы обсуждаются в литературе, некоторые из них могут быть решены, если у нас есть машиночитаемая онтология [33], и именно поэтому это важная потенциальная область для исследований.

В процессе интеллектуального анализа текста онтология может использоваться для предоставления экспертных, базовых знаний о предметной области. Некоторые исследования показывают важность онтологии домена в процессе классификации текста, в [32] представлена автоматическая классификация входящих новостей с использованием иерархической онтологии новостей, основанной на этой классификации, с одной стороны, и на профилях пользователей, с другой стороны, механизм персонализации системы способен обеспечить персонализированный документ для каждого пользователя на его мобильном устройстве для чтения. Очередной метод автоматической классификации и ранжирования на основе онтологий представлен в [34], где веб-документы характеризуются набором взвешенных терминов, категории которых представлены онтологией. В [35] авторы представили подход к интеллектуальному анализу онтологии из естественного языка, в котором они рассмотрели специфичный для предметной области словарь для телекоммуникационных документов.

Исходя из вышеперечисленного возникает вопрос, как включить пользовательский контекст и предпочтения в виде онтологии для классификации неструктурированных документов по полезным категориям и использования контекстного интерпретатора свободного текста (*CFTI*) [36], который выполняет синтаксический анализ и лексико-семантическую обработку предложений, для получения описания содержимого неструктурированных документов, имеющих отношение к контексту пользователя. В [37] авторы представили метод категоризации текста, основанный на онтологических знаниях, который не требует обучающего набора. Также в [38] предложена система автоматического классификатора документов, основанная на онтологии и Наивном байесовском классификаторе.

Онтологии показали свою полезность в таких прикладных областях, как управление знаниями, биоинформатика, электронное обучение, интеллектуальная интеграция информации [39], информационное посредничество [40] и обработка естественного языка [41]. Теперь это позиционная и сложная область для классификации текста.

Семантический анализ – это процесс лингвистического разбора предложений и абзацев на ключевые понятия, глаголы и имена собственные. Используя технологию, основанную на статистике, эти слова затем сравниваются с таксономией (категориями) и группируются в соответствии с релевантностью [42]. Лучшая классификация будет выполнена при рассмотрении целевой семантики, поэтому семантическое представление текста или веб-документа является ключевой задачей для классификации документов и управления знаниями. В последнее время многие исследователи обращались к такого рода проблемам. Авторы в [43] представляют проблемы неоднозначности в тексте на естественном языке и представляют новый метод решения проблемы неоднозначности при извлечении понятия/сущности из текста, который может улучшить процесс классификации документов. Представление и классификация многоязычного текста является одной из основных и сложных проблем в их классификации.

В [44] представлена идея составления рабочего процесса и рассмотрены важные вопросы семантического описания таких сервисов, как сервисы для конкретной задачи интеллектуального анализа текста. Кроме того, в интеллектуальном анализе текста есть еще две открытые проблемы: многозначность, синонимия. Многозначность относится к тому факту, что слово может иметь несколько значений. Различение возможных значений слова (называемое устранением неоднозначности смысла слова) непросто и требует контекста, в котором появляется это слово. Синонимия означает, что разные слова могут иметь одно и то же или сходное значение. Некоторые из проблем естественного языка, которые следует учитывать в процессе интеллектуального анализа текста, показанные в обзоре [45], перечислены в табл. 2.

Таблица 2 – Семантические проблемы классификации документов

Разделение предложений	Как определяются границы предложений в документе.
Токенизация	Документы маркируются, а токены привязываются или аннотируются по слову или фразе. Это важно, потому что многие компоненты текста нуждаются в четкой идентификации токенов для анализа.
Пометка части речи (<i>pos</i>)	Описание характеристик части речи и аннотации данных, что позволяет компонентам присваивать тег <i>pos</i> информации о токене.
Список стоп-слов	Определяется список стоп-слов и какие термины в какой области следует рассматривать как стоп-слово.
Морфологический поиск	Сводятся слова к их основам и определяется степень влияния на смысл документов.
Зашумленные данные	Определяются шаги для очищения документа от зашумленных данных.
Смысл слова	Выясняется значение слов в тексте, устраняется проблема двусмысленности.
Словосочетания	Определяются сложные, специализированные и технические термины.
Синтаксис	Проводится синтаксический или грамматический анализ. Определяются зависимости от данных и анафорических проблем.
Представление текста	Определяется важность терминов для представления документов, например, фразы, слово или понятие, существительное или прилагательное, а также какие методы для этого целесообразно использовать.
Домен и данные, стоящие за онтологией	Определяется терминологическая область текста, доступность данных и их связь для построения онтологии.

Семантическое представление документов является сложной областью для исследований в области интеллектуального анализа текста. При правильном внедрении этого подхода будет улучшена классификация и процесс поиска информации.

Методы машинного обучения

Документы могут быть классифицированы тремя способами: неконтролируемыми, контролируемыми и полуконтролируемыми методами. В последнее время было предложено множество методов и алгоритмов для кластеризации и классификации электронных документов. В этом разделе основное внимание уделяется методам контролируемой классификации, новым разработкам и освещаются некоторые возможности и проблемы с использованием существующей литературы.

Автоматическая классификация документов по заранее определенным категориям является объектом активного внимания, поскольку скорость использования ССОП быстро возросла. За последние несколько лет задача автоматической классификации текста широко изучена, и в этой области наблюдается устойчивый прогресс, включая такие подходы к машинному обучению, как байесовский классификатор, дерево решений, *K*-ближайших соседей (*k*-*NN*), машины опорных векторов (*SVM*), нейронные сети, скрытый семантический анализ, метод *Rocchio*, нечеткая корреляция и генетические алгоритмы и т. д. Обычно контролируемые методы обучения используются для автоматической классификации текста, когда предварительно определенные метки категорий присваиваются документам на основе вероятности, предложенной обучающим набором помеченных документов. Некоторые из этих методов описаны ниже.

А. Алгоритм *A. Rocchio*

Алгоритм *Rocchio* [46] представляет собой метод векторного пространства для маршрутизации или фильтрации документов при информационном поиске, построения вектора прототипа для каждого класса с использованием обучающего набора документов, т. е. среднего вектора по всем векторам обучающего документа, которые принадлежат классу c_i , и вычисления сходства между тестовым документом и каждым из векторов прототипа, которые присваивают классу тестового документа с максимальным сходством, рис. 2.

$$C_i = \alpha * \text{centroid}_{c_i} - \beta * \text{centroid}_{\bar{c}_i} \quad (1)$$

Когда задана категория, вектору документов, принадлежащих к этой категории, присваивается положительный вес, а векторам остальных документов присваивается отрицательный вес. Из положительно и отрицательно взвешенных векторов получается вектор-прототип этой категории.

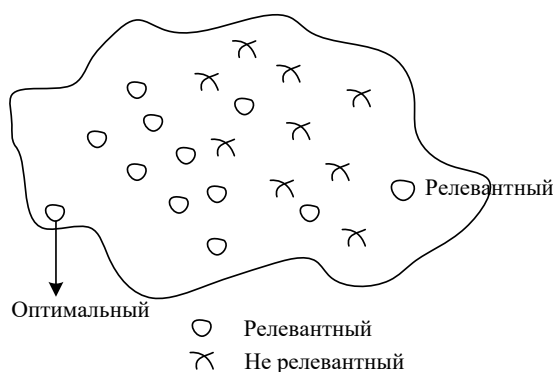


Рис. 2. Оптимальный запрос *Rocchio* для разделения релевантных и не релевантных документов

Этот алгоритм [47] прост в реализации, вычислительно оптимален, быстро обучаем и имеет механизм обратной связи по релевантности, но низкую точность классификации. Линейная комбинация слишком проста для классификации, а константы α и β являются эмпирическими. Это широко используемый алгоритм обратной связи по релевантности, который работает в модели векторного пространства [48]. Исследователи использовали вариацию алгоритма *Rocchio* в контексте машинного обучения, то есть для изучения профиля пользователя из неструктурированного текста [49], [50], целью этих приложений является автоматическое создание текстового классификатора, способного различать классы документов.

В. *К-ближайших соседей (k-NN)*

Алгоритм *k-ближайших соседей (k-NN)* [51] используется для проверки степени сходства между документами и k обучающими данными и для хранения определенного количества классификационных данных, тем самым определяя категорию тестовых документов. Этот метод представляет собой алгоритм мгновенного обучения, который классифицирует объекты на основе ближайшего пространства признаков в обучающем наборе [52]. Обучающие наборы отображаются в многомерное пространство признаков. Пространство признаков разбивается на области в зависимости от категории обучающего набора. Точка в пространстве признаков присваивается определенной категории, если она является наиболее частой категорией среди k ближайших обучающих данных. Обычно евклидово расстояние используется при вычислении сходства между векторами. Ключевым элементом этого метода является наличие меры сходства для идентификации соседей конкретного документа [52]. Этап обучения состоит только из сохранения векторов признаков и категорий обучающего набора. На этапе классификации вычисляются расстояния от нового вектора, представляющего входной документ, до всех сохраненных векторов и выбираются k ближайших выборок. Аннотированная категория документа прогнозируется на основе ближайшей точки, отнесенной к определенной категории.

$$\arg \max_i \sum_{j=1}^K \text{sim}(D_j | D) * \delta(C(D_j), i) . \quad (2)$$

Вычисление сходства между тестовым документом и каждым соседом и назначение тестовому документу класса, который содержит большинство соседей представлено на рис. 3.

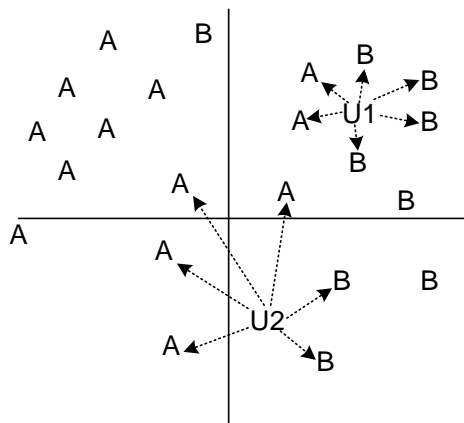


Рис. 3. Выбор k -ближайших соседей

Этот метод эффективен, непараметричен и прост в реализации. По сравнению с алгоритмом *Rocchio* рассматриваются более локальные характеристики документов, однако время классификации велико и трудно найти оптимальное значение k . Для анализа k -NN и алгоритма *Rocchio* некоторые недостатки каждого из них выявлены в [53]. В [54] предложен новый алгоритм, который включает взаимосвязь тезаурусов на основе концептов в категоризацию документов с использованием классификатора k -NN, в то время как в [55] представлено использование фраз в качестве основных признаков в задаче классификации электронной почты и проведена обширная эмпирическая оценка с использованием больших коллекций электронной почты и протестирована с помощью трех текстовых классификаций. алгоритмы, а именно наивный байесовский классификатор и два классификатора k -NN, использующие взвешивание *TF-IDF* и сходство соответственно. Метод классификации k -ближайших соседей отличается своей простотой и широко используется для классификации текста. Этот метод хорошо работает даже при выполнении задач классификации документов с несколькими категориями. Основным недостатком этого метода является то, что он использует все функции при вычислении расстояния и делает метод вычислительно интенсивным, особенно когда размер обучающего набора растет. Кроме того, точность классификации k -ближайших соседей сильно снижается из-за наличия зашумленных или нерелевантных признаков.

С. Дерево решений

Дерево решений перестраивает ручную категоризацию обучающих документов путем построения четко определенных запросов *true/false* в виде древовидной структуры. В структуре дерева решений листья представляют соответствующую категорию документов, а ветви представляют соединения объектов, которые ведут к этим категориям. Хорошо организованное дерево решений может легко классифицировать документ, поместив его в корневой узел дерева и позволяя ему проходить через структуру запросов, пока он не достигнет определенного листа, который представляет цель классификации документа.

Метод классификации дерева решений отличается от других инструментов поддержки принятия решений рядом преимуществ. Главным преимуществом дерева решений является его простота в понимании и интерпретации даже для неопытных пользователей. Кроме того, объяснение данного результата может быть легко воспроизведено с помощью простых математических алгоритмов и обеспечить консолидированное представление логики классификации, рис. 4.

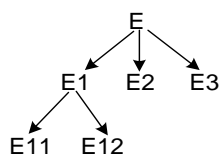


Рис. 4. Дерево решений

Экспериментально можно показать, что задачи классификации текстов часто включают в себя большое количество релевантных признаков [56]. Следовательно, тенденция дерева решений обосновывать классификации на как можно меньшем количестве тестов может привести к снижению производительности при классификации текста. Однако при наличии небольшого количества структурированных атрибутов производительность, простота и понятность деревьев решений для моделей, основанных на семантике, обладают всеми преимуществами. В [57] описано применение деревьев принятия решений для персонализации рекламы на веб-страницах.

Основной риск внедрения дерева решений заключается в том, что оно чрезмерно подгоняет обучающие данные с появлением альтернативного дерева, которое хуже классифицирует обучающие данные, но лучше классифицирует документы, подлежащие классификации [58]. Это связано с тем, что алгоритм классификации дерева решений предназначен для эффективной классификации обучающих данных, однако пренебрегает производительностью классификации других документов. Кроме того, огромная и чрезмерно сложная структура дерева строится из набора данных с очень большим количеством записей.

D. Классификация Правил Принятия решений

Метод классификации правил принятия решений использует основанный на правилах вывод для классификации документов по их аннотированным категориям [59], [60]. Алгоритмы создают набор правил, описывающих профиль для каждой категории. Правила обычно создаются в формате «ЕСЛИ условие, ТО заключение», где часть условия заполняется признаками категории, а часть заключения представлена именем категории или другим правилом, подлежащим проверке. Набор правил для определенной категории затем создается путем объединения каждого отдельного правила из той же категории с логическим оператором, обычно использующим «и» и «или». Во время выполнения задач классификации не обязательно должно выполняться каждое правило в наборе правил. В случае обработки набора данных с большим количеством признаков для каждой категории рекомендуется реализовать эвристику, чтобы уменьшить размер набора правил, не влияя на производительность классификации. В [61] представлен гибридный метод обработки на основе правил и нейронных сетей обратного распространения для фильтрации спама, вместо использования ключевых слов в этом исследовании поведение рассылки спама используется в качестве функций для описания электронных писем.

Основным преимуществом реализации метода решающих правил для задач классификации является построение локального словаря для каждой отдельной категории на этапе извлечения признаков [59]. Местные словари способны различать значение конкретного слова для разных категорий. Однако недостатком метода решающих правил является невозможность отнести документ к категории исключительно из-за того, что правила из разных наборов правил применимы друг к другу. Кроме того, изучение и обновление методов принятия решений требует широкого привлечения экспертов-людей для создания или обновления наборов правил. Как и метод классификации деревьев решений, метод правил принятия решений плохо работает, когда число отличительных признаков велико.

E. Наивный Байесовский алгоритм

Наивный байесовский классификатор – это простой вероятностный классификатор, основанный на применении теоремы Байеса с сильными допущениями независимости. Более

описательным термином для базовой вероятностной модели была бы модель независимых признаков. Эти предположения о независимости признаков делают порядок признаков неуместным и, следовательно, наличие одного признака не влияет на другие признаки в задачах классификации [62]. Эти допущения делают вычисление байесовского классификационного подхода более эффективным, но это допущение серьезно ограничивает его применимость. В зависимости от точного характера вероятностной модели наивные байесовские классификаторы могут быть обучены очень эффективно, требуя относительно небольшого объема обучающих данных для оценки параметров, необходимых для классификации. Поскольку предполагаются независимые переменные, необходимо определять только отклонения переменных для каждого класса, а не всю ковариационную матрицу.

Из-за своих явно чрезмерно упрощенных допущений наивные байесовские классификаторы часто работают намного лучше во многих сложных реальных ситуациях, чем можно было бы ожидать. Сообщалось, что наивные байесовские классификаторы на удивление хорошо работают для многих приложений классификации в реальном мире при некоторых конкретных условиях [63-67].

Преимущество наивного байесовского классификатора заключается в том, что для оценки параметров, необходимых для классификации, требуется небольшой объем обучающих данных. Байесовский подход к классификации приводит к правильной классификации до тех пор, пока правильная категория является более вероятной, чем другие. Вероятности категории не обязательно должны быть оценены очень хорошо. Другими словами, общий классификатор достаточно надежен, чтобы игнорировать серьезные недостатки в лежащей в его основе наивной вероятностной модели.

Основным недостатком наивного байесовского подхода к классификации является его относительно низкая производительность классификации по сравнению с другими дискриминационными алгоритмами, такими как *SVM* с его более высокой эффективностью классификации. Поэтому было проведено много активных исследований, чтобы выяснить причины, по которым наивный байесовский классификатор терпит неудачу в задачах классификации, и улучшить традиционные подходы, внедрив некоторые эффективные и действенные методы [63, 65-68].

$$P(D|c_i) = \prod_{j=1}^n P(d_j|c_i), \quad (3)$$

$$P(c_i|D) = \frac{P(c_i)P(D|c_i)}{P(D)}, \quad (4)$$

$$\text{где } P(C_i) = P(C = c_i) = \frac{N_i}{N} \text{ и } P(d_j|c_i) = \frac{1 + N_{ji}}{M + \sum_{k=1}^M N_{ki}}.$$

Наивный Байес уже много лет является одним из популярных методов машинного обучения. Его простота делает фреймворк привлекательным для различных задач, и достигаются разумные результаты, хотя это обучение основано на нереалистичном предположении о независимости. По этой причине также было много интересных работ по исследованию наивного Байеса. В [69] показаны очень хорошие результаты, при выборе наивного Байеса с *SVM* для классификации текста, также авторы в [70] доказывают, что наивный Байес с самоорганизующимися картами (*SOM*) дает очень хорошие результаты при кластеризации документов. Авторы в [71] предлагают наивную байесовскую модель классификации текста с методом взвешивания Пуассона и показывают, что новая модель предполагает, что документ генерируется с помощью многомерной модели Пуассона. Они используют нормализацию частоты терминов для каждого документа для оценки параметра Пуассона, в то время как традиционный мультиномиальный классификатор оценивает свои

параметры, рассматривая все обучающие документы как уникальный огромный обучающий документ. В [72] показано, что наивный Байес может на удивление хорошо работать в задачах классификации, где сама вероятность, вычисленная наивным Байесом, не важна. Авторы в обзоре [73] описали, что имеется большой интерес к наивному байесовскому классификатору для фильтрации спама. Таким образом, этот метод наиболее широко используется в электронной почте, веб-контенте и категоризации спама.

Наивный Байес хорошо работает с числовыми и текстовыми данными, прост в реализации и вычислениях по сравнению с другими алгоритмами, однако предположение об условной независимости нарушается реальными данными и негативными результатами, в случае сильной корреляции функций и не учитывают частоту встречаемости слов.

Г. Искусственная нейронная сеть (ANN)

Искусственные нейронные сети строятся из большого числа элементов с входным веером на порядок больших величин, чем в вычислительных элементах традиционных архитектур, рис. 5 [74, 75]. Эти элементы, а именно искусственный нейрон, объединены в группу с использованием математической модели обработки информации, основанной на коннекционистском подходе к вычислениям. Нейронные сети делают свой нейрон чувствительным к хранящемуся набору. Он может быть использован для устойчивого к искажениям хранения большого количества случаев, представленных векторами высокой размерности. Для решения задач классификации документов реализованы различные типы нейросетевых подходов. В некоторых исследованиях используется однослойный персептрон, который содержит только входной слой и выходной слой из-за его простоты реализации [76]. Входные сигналы подаются непосредственно на выходы через серию весов. Таким образом, его можно считать самым простым видом сети прямой связи. Широко реализован для задач классификации многослойный персептрон, который является более сложным и состоящим из входного слоя, одного или нескольких скрытых слоев и выходного слоя в своей структуре [74].

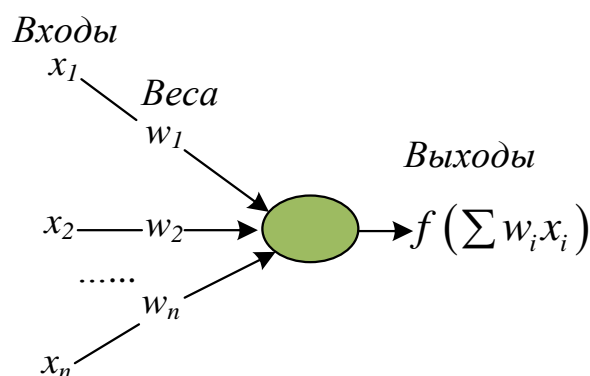


Рис. 5. Искусственная нейронная сеть

Основным преимуществом реализации искусственной нейронной сети в задачах классификации является возможность обработки документов с многомерными объектами, а также документов с зашумленными и противоречивыми данными. Кроме того, линейное ускорение процесса сопоставления в отношении большого числа вычислительных элементов обеспечивается вычислительной архитектурой, которая по своей сути является параллельной, где каждый элемент может сравнивать свое входное значение со значением сохраненных случаев независимо от других [75].

Недостатками искусственных нейронных сетей является их высокая вычислительная стоимость, требующая увеличения использования процессора и физической памяти, а также тот факт, что они чрезвычайно сложны для понимания обычными пользователями.

В последние годы нейронные сети стали применяться в системах классификации документов для повышения эффективности. Модели категоризации текста с использованием нейронной сети обратного распространения (*BPNN*) и модифицированной нейронной сети обратного распространения (*MBPNN*) предложены в [76] для классификации документов. Эффективный метод выбора объектов используется для уменьшения размерности, а также для повышения производительности. Представлен новый метод классификации документов на основе нейронных сетей [77], который помогает компаниям более эффективно управлять патентными документами.

ANN может получать входные данные x_i , поступающие через пресинаптические соединения, синаптическая эффективность моделируется с использованием реальных весов w_i , а отклик нейрона представляет собой нелинейную функцию f его взвешенных входных данных. Выходной сигнал нейрона j для паттерна p равен O_{pj} , где

$$O_{pj}(\text{net}_j) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda \text{net}_j}} \cdot \quad (5)$$

$$\text{net}_j + \text{bias} * W_{\text{bias}} + \sum_k O_{pk} W_{jk} \cdot \quad (6)$$

Нейронная сеть для классификации документов дает хорошие результаты в сложных областях и подходит как для дискретных, так и для непрерывных данных (наиболее для непрерывной области). Тестирование проходит очень быстро, однако обучение происходит относительно медленно, а полученные результаты пользователям труднее интерпретировать, чем выученные правила (по сравнению с деревом решений), эмпирическая минимизация рисков (*ERM*) заставляет *ANN* минимизировать ошибку обучения, что может привести к переобучению.

G. Нечеткая корреляция

Нечеткая корреляция может работать с нечеткой информацией или неполными данными, а также преобразовывать значение свойства в нечеткие множества для классификации нескольких документов [78]. В [79] авторы исследуют проблемы многоклассовой категоризации текста, используя машину нечетких опорных векторов «один против одного». В [47] представили усовершенствование решающего правила и разработали новый алгоритм *f-k-NN* (*fuzzy k-NN*) для улучшения производительности категоризации, когда распределение классов неравномерно, и показали, что новый метод более эффективен. Поэтому в последнее время исследователи проявляют большой интерес к использованию нечетких правил и наборов для повышения точности классификации, путем включения нечеткой корреляции или нечеткой логики с алгоритмом машинного обучения и методами выбора признаков для улучшения процесса классификации.

H. Генетический алгоритм

Генетический алгоритм [80] направлен на поиск оптимальных характеристических параметров с использованием механизмов генетической эволюции и выживания наиболее приспособленных в естественном отборе. Генетические алгоритмы позволяют устранить вводящие в заблуждение суждения в алгоритмах и повысить точность классификации документов. Это адаптивный вероятностный алгоритм глобальной оптимизации, который моделируется в естественной среде биологической и генетической эволюции и широко используется из-за своей простоты и надежности. Известны примеры нескольких исследований использования этого метода для улучшения процесса классификации текстов. В [81] авторы ввели генетический алгоритм для категоризации текста и использовали для построения и оптимизации пользовательского шаблона, а также ввели имитацию отжига для устранения недостатков генетического алгоритма. В ходе экспериментального анализа они показывают, что улучшенный метод выполним и эффективен для классификации текстов.

1. Машина опорных векторов (SVM)

Машины опорных векторов (SVM) являются одним из методов дискриминационной классификации, которые обычно считаются более точными. Метод классификации SVM основан на принципе минимизации структурных рисков из теории вычислительного обучения [82]. Идея этого принципа состоит в том, чтобы найти гипотезу, гарантирующую наименьшую истинную ошибку. Кроме того, SVM хорошо обоснованы и очень открыты для теоретического понимания и анализа [83].

SVM нуждается как в положительном, так и в отрицательном обучающем наборе, что необычно для других методов классификации. Эти положительные и отрицательные обучающие наборы необходимы SVM для поиска поверхности принятия решений, которая наилучшим образом отделяет положительные и отрицательные данные в трехмерном пространстве, так называемой гиперплоскости. Признаки документа, которые находятся ближе всего к поверхности принятия решения, называются опорным вектором. Производительность классификации SVM остается неизменной, если документы, которые не принадлежат к опорным векторам, удаляются из набора обучающих данных [62].

Метод классификации SVM отличается от других своей выдающейся эффективностью классификации [62, 84-88]. Кроме того, он может обрабатывать документы с большим пространством ввода и отбрасывает большинство нерелевантных функций. Однако основным недостатком SVM является их относительно сложные алгоритмы обучения и категоризации, а также большие затраты времени и памяти на этапе обучения и классификации. Кроме того, при выполнении задач классификации возникает путаница из-за того, что документы могут быть отнесены к нескольким категориям, поскольку сходство обычно рассчитывается индивидуально для каждой категории [62].

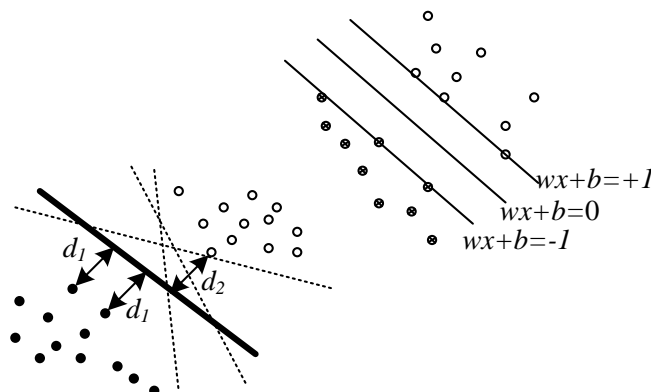


Рис. 6. Иллюстрация оптимального разделения гиперплоскости, гиперплоскостей и опорных векторов

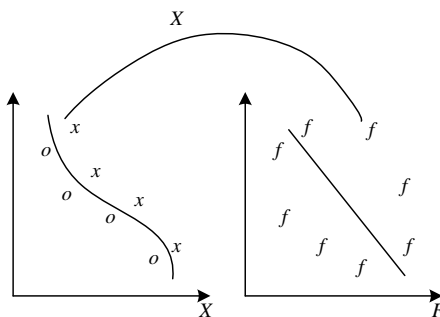


Рис. 7. Отображение нелинейного входного пространства на многомерное пространство

Таким образом, SVM – это контролируемый метод обучения для классификации, позволяющий определить линейную разделяющую гиперплоскость, которая максимизирует запас, т. е. оптимальную разделяющую гиперплоскость (OSH) и максимизирует запас между двумя наборами данных. Чтобы вычислить запас, строятся две параллельные

гиперплоскости, по одной с каждой стороны разделяющей гиперплоскости, которые «прижимаются» к двум наборам данных, рис. 6, 7. Интуитивно понятно, что хорошее разделение достигается за счет гиперплоскости, которая имеет наибольшее расстояние до соседних точек данных обоих классов, поскольку, как правило, чем больше запас, тем ниже ошибка обобщения классификатора.

Максимизация выигрыша эквивалентна:

$$\begin{aligned} & \min_{w, b, \zeta_i} \text{imize } \frac{1}{2} \omega^T \omega + C \left(\sum_{i=1}^N \zeta_i \right), \\ & \text{subject to } y_i \left(\omega^T x - b \right) + \zeta_i - 1 \geq 0, 1 \leq i \leq N \quad . \\ & \zeta_i \geq 0, \quad 1 \leq i \leq N \end{aligned} \quad (9)$$

Вводя множители Лагранжа α, β , лагранжиан равен:

$$\begin{aligned} \ell(w, b, \zeta_i; \alpha, \beta) &= \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^N \zeta_i - \sum_{i=1}^N \alpha_i \left[y_i \left(w^T x_i - b \right) + \zeta_i - 1 \right] - \sum_{i=1}^N \mu_i \zeta_i = \\ &= \frac{1}{2} w^T w + \sum_{i=1}^N (C - \alpha_i - \mu_i) \zeta_i - \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i x_i^T \right) w - \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i \right) b + \sum_{i=1}^N \alpha_i. \end{aligned} \quad (10)$$

Авторы в [89] внедрили и измерили производительность ведущих контролируемых и неконтролируемых подходов к категоризации многоязычного текста; они выбрали машины опорных векторов (*SVM*) в качестве репрезентативных контролируемых методов, а также методы скрытого семантического индексирования (*LSI*) и самоорганизующихся карт (*SOM*) для неконтролируемых методов для реализации системы. В [90] авторы анализируют и сравнивают ансамбли *SVM* с четырьмя различными методами построения ансамблей, а именно *bagging*, *AdaBoost*, *Arc-X4* и модифицированный *AdaBoost*. Двадцать наборов реальных данных из репозитория *UCI* используются в качестве эталонов для оценки и сравнения производительности этих классификаторов ансамбля *SVM* по их точности классификации.

В [91] разработан оптимальный алгоритм *SVM* с использованием нескольких оптимальных стратегий, таких как новое определение веса важности, выбор признаков с использованием схемы взвешенной энтропии, оптимальные настройки параметров. В [69] показано, что *SVM* является наилучшим методом классификации документов.

Гибридные методы

В последнее время в области машинного обучения и интеллектуального анализа текста предложено много новых гибридных методов и техник. Концепция объединения классификаторов предложена в качестве нового направления для улучшения производительности отдельных классификаторов. В последнее время было предложено много методов для создания ансамбля классификаторов. Механизмы, которые используются для построения ансамбля классификаторов [92], включают:

- i) Использование различных подмножеств обучающих данных с помощью одного метода обучения;
- ii) Использование различных параметров обучения с помощью одного метода обучения (например используя разные начальные веса для каждой нейронной сети в ансамбле);
- iii) Используя различные методы обучения [93].

Преимущества локальных по сравнению с глобальными наборами функций и локальных по сравнению с глобальными словарями в категоризации текста были рассмотрены в [94]. Локальные объекты являются объектами, зависящими от класса, в то время как глобальные объекты являются объектами, независимыми от класса. Локальные словари являются словарями, зависящими от класса, в то время как глобальные словари являются независимыми от класса словарями. Наилучшая категоризация текста достигается с использованием местных особенностей и местных словарей [94].

В [69] предложен новый гибридный подход к классификации текстовых документов, использующий метод наивного Байеса на входе для векторизации необработанных текстовых данных в сочетании с классификатором *SVM* на выходе для отнесения документов к нужной категории. Они показывают, что предложенный гибридный подход наивного байесовского векторизатора и классификатора *SVM* улучшил точность классификации по сравнению с одним наивным байесовским классификационным подходом. В [70] представлен еще один гибридный метод наивного Байеса с самоорганизующейся картой (*SOM*). Предлагаемый байесовский классификатор используется во внешнем интерфейсе, в то время как *SOM* выполняет шаги индексации для извлечения наилучших совпадений.

Таким образом, в контексте объединения нескольких классификаторов для категоризации текста ряд исследователей показали, что объединение различных классификаторов может повысить точность классификации [95]. Из сравнения между лучшим индивидуальным классификатором и комбинированным методом видно, что производительность комбинированного метода выше [96-98].

Гибридный метод предложен в [99], в котором нейронная сеть обратного распространения оценки фазы обучения (*LPEBP*) улучшает традиционную *BPNN*. И использовать метод разложения по сингулярным значениям (*SVD*), чтобы уменьшить размерность и построить скрытую семантику между терминами, и показать, что *LPEBP* намного быстрее, чем традиционный *BPNN*, что повышает производительность традиционного *BPNN*. Технология *SVD* может не только значительно снизить высокую размерность, но и повысить производительность. Таким образом, *SVD* стремится к дальнейшему совершенствованию точности и эффективности систем классификации документов.

В [100] предлагается новый гибридный метод классификации текста, который требует меньше обучающих данных и меньше вычислительного времени, и показывает, что классификация текста, требующая меньшего количества документов для обучения, вместо использования слов, отношения слов, т. е. правила ассоциации из этих слов, используется для получения набора признаков из предварительно классифицированных текстовых документов. Концепция наивного байесовского классификатора затем используется для производных признаков, и, наконец, для окончательной классификации была добавлена только одна концепция генетического анализа.

В [53] предложен гибридный алгоритм, основанный на грубом наборе переменной точности, чтобы объединить сильные стороны методов *k-NN* и *Rocchio* для повышения точности классификации текста и преодоления недостатков алгоритма *Rocchio*.

Авторы в [101] предлагают новый гибридный подход к классификации веб-документов, основанный как на графических, так и на векторных представлениях. Алгоритм *k-NN* показывает, что предлагаемые графовые и векторные подходы работают лучше с точки зрения точности классификации наряду со значительным сокращением времени классификации.

В [102] предложены два метода модификации стандартного *BPNN* и принятия метода пространства семантических признаков (*SFS*) для уменьшения количества измерений, а также построения скрытой семантики между терминами, и показано, что модифицированные методы повысили производительность стандартного *BPNN* и были более эффективными, чем стандартный *BPNN*. Метод *SFS* не только значительно уменьшает размерность, но и повышает производительность и, следовательно, может быть использован для дальнейшего совершенствования точности и эффективности систем классификации текста.

В [103] представлен полууправляемый метод обучения *SSRANK* для задачи классификации. Он использует использование как маркированных, так и немаркированных данных, использует представления как традиционного ИК, так и контролируемого обучения для проведения маркировки данных и полагается на критерий для управления процессом маркировки данных.

Новый алгоритм f - k - NN (нечеткий k - NN), предложенный в [104] для улучшения решающего правила и дизайна, чтобы улучшить производительность классификации, когда распределение классов неравномерно, и показать, что новый метод более эффективен. Подход [105] представляет собой нетривиальное расширение методологии классификации документов от фиксированного набора классов к иерархии знаний, подобной генной онтологии.

В [106] авторы предложили новый подход к автоматическому обнаружению неявной риторической информации из текстов, основанный на методах эволюционных вычислений для управления поиском риторических связей в текстах на естественном языке. А в [107] авторы представляют методологию сегментации рукописных документов по их отдельным сущностям, а именно текстовым строкам и словам.

В [108] комбинация алгоритмов обучения, основанных на сходстве, и связанных с ними стратегий порогового значения значительно влияет на общую производительность классификации текста. После исследования двух классификаторов на основе сходства (k - NN и *Rocchio*) и трех распространенных методов определения порога (*RCut*, *PCut* и *SCut*) они описали новый алгоритм обучения, известный как сеть ассоциаций ключевых слов (*KAN*), и новую стратегию определения порога (*RinSCut*) для повышения производительности по сравнению с существующими методами, и показали что новые подходы дают лучшие результаты.

Предложен новый метод машинного обучения для построения моделей ранжирования при поиске документов [109]. Он направлен на использование преимуществ как традиционных методов поиска информации (*IR*), так и методов контролируемого обучения для *IR*.

Основная задача авторов в [110] состоит в том, чтобы исследовать эффективность использования нескольких слов для представления текста с точки зрения эффективности классификации текста. Во-первых, предлагается практический метод для реализации извлечения нескольких слов из документов на основе синтаксической структуры. Во-вторых, представлены две стратегии представления общей концепции и представления подтемы для представления документов с использованием извлеченных нескольких слов. Предлагаемый метод запускается в [111] для задач классификации текста только с немаркированными документами и заголовочным словом каждой категории для изучения, а затем он автоматически изучает текстовый классификатор с помощью методов начальной загрузки и проекции объектов.

Сравнительное исследование

Увеличение количества текстовых данных требует привлечения интеллектуального анализа текста, машинного обучения и методов и методологий обработки естественного языка для организации и извлечения шаблонов и знаний из документов. В данной статье основное внимание уделено существующей литературе и методам представления и классификации документов. Представление текста – важнейший вопрос. Большая часть литературы дает описание синтаксического решения для представления текста. Однако модель представления зависит от информации, которая необходима. Концептуальная база или семантическое представление документов требуют большего внимания.

На производительность алгоритма классификации при интеллектуальном анализе данных в значительной степени влияет качество источника данных. Нерелевантные и избыточные функции данных не только увеличивают стоимость процесса интеллектуального анализа данных, но и в некоторых случаях ухудшают качество результата [112]. Каждый алгоритм имеет свои преимущества и недостатки.

Однако в [10] автор сравнивает различные методы классификации текстов и должен иметь в виду, что сравнения надежны только тогда, когда основаны на экспериментах, проведенных одним и тем же автором в тщательно контролируемых условиях. Вместо этого они являются более проблематичными, когда они связаны с различными экспериментами, выполняемыми разными авторами. В этом случае на результаты могут влиять различные «фоновые условия», часто посторонние по отношению к самому

алгоритму обучения. Они могут включать, среди прочего, различные варианты предварительной обработки (выделение и т. д.), индексацию, уменьшение размерности и значений параметров классификатора и пр.

Снижение производительности в [113] охарактеризовало контролируемое исследование большого количества методов выбора фильтра для классификации текста. Было рассмотрено более 100 вариантов пяти основных критериев отбора признаков с использованием четырех хорошо известных алгоритмов классификации: наивного байесовского подхода (*NB*), классификатора в стиле *Rocchio*, метода *k-NN* и системы *SVM*. В качестве тестовых площадок были выбраны две эталонные коллекции: *Reuters-21578* и небольшая часть *Reuters Corpus* версии 1 (*RCV1*), что делает новые результаты сопоставимыми с опубликованными результатами. Они показали, что методы отбора признаков, основанные на статистике χ^2 , последовательно превосходили методы, основанные на других критериях (включая получение информации) для всех четырех классификаторов и обоих наборов данных, и что дальнейшее повышение производительности было получено путем объединения некоррелированных и высокопроизводительных методов отбора признаков. Результаты, которые они получили, используя только 3 % доступных функций, являются одними из лучших, включая результаты, полученные с полным набором функций. Эмпирические результаты их исследования предполагают использование методов фильтрации, которые включают статистику χ^2 , комбинирование их с *DF* или *IG* и исключение редких слов. Такие методы были неизменно лучше.

В [114] авторы обсуждали, что в некоторых исследованиях сравнивались методы выбора признаков или преобразования пространства признаков, в то время как в некоторых других сравнивалась производительность различных алгоритмов. В последнее время растет интерес к подходам на основе *SVM*, различные исследования показали, что *SVM* превосходит другие алгоритмы классификации. Авторы решили исследовать этот вопрос и сравнили *SVM* с *k-NN* и наивным Байесом в задачах двоичной классификации. Важным вопросом является сравнение оптимизированных версий этих алгоритмов; из их результатов видно, что все классификаторы достигли сопоставимой производительности в большинстве задач. Одним из неожиданных результатов является то, что *SVM* не был явным победителем, несмотря на довольно хорошие общие показатели. Если с *k-NN* используется подходящая предварительная обработка, этот алгоритм продолжает достигать очень хороших результатов и хорошо масштабируется в зависимости от количества документов, чего нельзя сказать о *SVM*. Что касается наивного Байеса, то он также характеризуется хорошей производительностью.

В [115] рассматривается производительность различных алгоритмов классификации и влияние алгоритма выбора признаков на классификатор логистической регрессии, как он контролирует частоту ложных обнаружений (*FDR*) и, таким образом, повышает эффективность классификатора логистической регрессии. Согласно анализу, *SVM* имеет больше параметров, чем логистическая регрессия и классификатор дерева решений, большую часть времени обладает самой высокой точностью классификации, однако очень трудоемкий из-за большого количества параметров, требует больше времени вычислений. По сравнению с *SVM* логистическая регрессия эффективна с точки зрения вычислений, ее результаты обычно имеют статическое значение. Однако она не удовлетворяет требованиям, когда набор данных содержит явные структуры данных.

В [116] для классификации спама предлагается сжатие на основе четырех алгоритмов машинного обучения, которые являются наивными байесовскими (*NB*), нейронными сетями (*NN*), машиной опорных векторов (*SVM*) и машиной векторов релевантности (*RVM*). Представлена эмпирическая оценка для них на эталонных корпусах фильтрации спама. Эксперименты выполняются на основе различного размера обучающего набора и размера извлеченных объектов. Экспериментальные результаты показывают, что *NN*-классификатор непригоден для использования отдельно в качестве инструмента отбраковки спама. Как

правило, характеристики классификаторов *SVM* и *RVM* явно превосходят характеристики классификатора *NB*. По сравнению с *SVM* показано, что *RVM* обеспечивает аналогичный результат классификации с меньшим количеством векторов релевантности и гораздо более быстрым временем тестирования, несмотря на более медленную процедуру обучения, они показывают, что *RVM* более подходит, чем *SVM*, для классификации спама с точки зрения приложений, требующих низкой сложности.

В [117] данные электронной почты были классифицированы с использованием четырех различных классификаторов (Нейронная сеть, классификатор *SVM*, Наивный байесовский классификатор и простой классификатор *J48*). Эксперимент был проведен на основе разного размера данных и разного размера объектов. Окончательный результат классификации должен быть «1», если это окончательно спам, в противном случае он должен быть «0». В этой статье показано, что простой классификатор *J48*, который создает двоичное дерево, может быть эффективным для набора данных, который может быть классифицирован как двоичное дерево.

В [108] показано, что двумя основными областями исследований в области статистической категоризации текста являются: алгоритмы обучения на основе сходства и связанные с ними стратегии порогового значения. Сочетание этих методов существенно влияет на общую эффективность категоризации текста. После исследования двух классификаторов на основе сходства (*k-NN* и *Rocchio*) и трех распространенных методов определения порога (*RCut*, *PCut* и *SCut*) они описали новый алгоритм обучения, известный как сеть ассоциаций ключевых слов (*KAN*), и новую стратегию определения порога (*RinSCut*) для повышения производительности по сравнению с существующими методами. Обширные эксперименты были проведены с наборами данных *Reuters-21578* и *20-Newsgroups* и показали, что новые подходы дают лучшие результаты.

По сравнению с *ANN*, *SVM* лучше улавливает присущие данным характеристики и внедряет принцип структурной минимизации рисков (*SRM*), который минимизирует верхнюю границу ошибки обобщения (лучше, чем эмпирический принцип минимизации рисков). Также способность к обучению может быть независимой от размерности пространства признаков и глобальных минимумов по сравнению с локальными минимумами, однако существуют некоторые трудности при настройке параметров и выборе ядра.

Заключение

В статье представлен обзор методов представления документов для машинного обучения. Результаты работы представляют собой анализ методов отбора признаков и алгоритмов классификации. В ходе исследования было подтверждено, что предобработка информации и статистика являются наиболее часто используемыми и хорошо выполняемыми методами отбора признаков, однако в последнее время многие другие методы *FS* предлагаются как единый или гибридный метод, показали хорошие результаты и нуждаются в дополнительном изучении для эффективного процесса классификации. Для автоматической классификации документов было предложено несколько алгоритмов или комбинаций алгоритмов в качестве гибридных подходов, среди этих алгоритмов классификаторы Хи-квадрат, *SVM*, *NB* и *k-NN* показаны наиболее подходящими в существующей литературе.

Большинство исследователей в области классификации текстов предполагают представление документа в виде мешка (набора) слов (*BOG*), хотя, согласно [28], статистических методов недостаточно для интеллектуального анализа текста. Представление текста – важнейший вопрос. Большая часть литературы дает описание синтаксического решения для представления текста. Однако модель представления зависит от необходимой информации. Концептуальная база или семантическое представление документов требуют дополнительных исследований. Оптимальная классификация выполняется в ходе семантических соображений.

В этой статье обсуждались возможности представления документов с семантической и онтологической базой. С добавлением онтологии и семантики для представления

документов улучшается точность и оптимизируется процесс классификации. Таким образом, выявление признаков, отражающих семантическое содержание, является одним из важных направлений исследований. Общие проблемы множественного обучения в зашумленных данных – это чрезвычайно сложная проблема, которая только сейчас формулируется и, вероятно, потребует дополнительной работы для успешной разработки стратегий по выявлению основной природы многообразия.

Для автоматической классификации документов было предложено несколько алгоритмов или комбинаций алгоритмов в качестве гибридных подходов. Среди этих алгоритмов *SVM*, *NB*, *kNN* и их гибридная система с комбинацией различных других алгоритмов и методов выбора признаков объявляются наиболее подходящими в существующей литературе. *NB* хорошо справляется с фильтрацией нежелательной почты и категоризацией электронной почты, требует небольшого объема обучающих данных для оценки параметров, необходимых для классификации. Наивный Байес хорошо работает с числовыми и текстовыми данными, прост в реализации по сравнению с другими алгоритмами, однако предположение об условной независимости нарушается реальными данными и работает очень плохо, когда функции сильно коррелированы и не учитывают частоту встречаемости слов.

SVM-классификатор признан одним из наиболее эффективных методов классификации текстов при сравнении управляемых алгоритмов машинного обучения [118]. *SVM* лучше улавливает присущие данным характеристики и внедряет принцип структурной минимизации рисков (*SRM*), который минимизирует верхнюю границу ошибки обобщения (лучше, чем эмпирический принцип минимизации рисков). Способность к обучению может быть независимой от размерности пространства признаков и глобальных минимумов по сравнению с локальными, однако, у *SVM* были обнаружены некоторые трудности при настройке параметров и выборе ядра.

Если с *k-NN* используется подходящая предварительная обработка, то этот алгоритм продолжает достигать очень хороших результатов и хорошо масштабируется с количеством документов, чего нельзя сказать о *SVM* [119, 120]. Что касается наивного Байеса, то он также достиг хорошей производительности при соответствующей предварительной обработке. Алгоритм *k-NN* функционирует удовлетворительно, поскольку рассматриваются более локальные характеристики документов, однако время классификации велико и трудно найти оптимальное значение *k*.

Для повышения производительности и точности процесса классификации документов требуются дополнительные исследования. Для получения полезных знаний из растущего объема электронных документов требуются новые методы и решения. Ниже приведены некоторые возможности классификации неструктурированных данных и обнаружения знаний:

- модернизация методов выбора признаков для улучшения процесса классификации;
- сокращение времени обучения и тестирования классификатора и повышение точности классификации;
- для фильтрации нежелательной почты и категоризации электронной почты у пользователя могут быть папки, такие как электронные счета, электронная почта и т. д., следовательно может потребоваться классификация каждого входящего электронного письма и последующего автоматического перемещения его в соответствующую папку;
- автоматическое распределение папок для загруженных статей, документов из текстовых редакторов и из ССОП;
- использование семантики и онтологии для классификации документов и информационного поиска;
- тенденции майнинга, т. е. маркетинговые, деловые и финансовые тенденции (тенденции фондовой биржи) формируют электронные документы (онлайн-новости, истории, мнения и события);
- потоковый текст требует разработки новых методов управления информацией;

- автоматическая классификация и анализ настроений, мнений и извлечение из них знаний;
 - классификация и группирование полуструктурированных документов сопряжены с некоторыми проблемами и новыми возможностями;
 - для восстановления смысла слов, используемых в определенном контексте, необходима реализация процедуры классификации текста на основе семантики;
 - информационное извлечение полезных знаний из электронных документов и веб-страниц, таких как продукты и результаты поиска для получения полных шаблонов;
 - идентификация или сопоставление семантически схожих данных из ССОП является важной проблемой для многих практических приложений.
- Таким образом, информация, интеграция и сопоставление схем требуют дополнительного изучения.

Литература

1. A. Dasgupta, "Feature selection methods for text classification.", In Proceedings of the 13th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, pp. 230 -239, 2007.
2. Raghavan, P., S. Amer-Yahia and L. Gravano eds., "Structure in Text: Extraction and Exploitation." In. Proceeding of the 7th international Workshop on the Web and Databases(WebDB), ACM SIGMOD/PODS 2004, ACM Press, Vol 67, 2004.
3. Oracle corporation, WWW,oracle.com, 2008.
4. Merrill lynch, Nov.,2000. e-Business Analytics: Depth Report. 2000.
5. Дементьев В.Е., Чулков А.А. Метод автоматизированной идентификации признаков протоколов сетей передачи данных // Информация и космос. 2021. № 1. С. 87-94.
6. Дементьев В.Е., Чулков А.А. Модель протокола сети передачи данных в условиях деструктивных кибернетических воздействий. Часть 1 // Защита информации. Инсайд. 2021. № 1 (97). С. 62-68.
7. Дементьев В.Е., Чулков А.А. Модель протокола сети передачи данных в условиях деструктивных кибернетических воздействий. Часть 2 // Защита информации. Инсайд. 2021. № 2 (98). С. 68-76.
8. Дементьев В.Е., Чулков А.А. Методика оценки защищенности протоколов сети передачи данных в условиях деструктивных кибервоздействий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 265-276.
9. Pegah Falinouss "Stock Trend Prediction using News Article's: a text mining approach" Master thesis - 2007.
10. Sebastiani, F., "Machine learning in automated text categorization" ACM Computing Surveys (CSUR) 34, pp.1 – 47, 2002.
11. Andreas Hotho "A Brief Survey of Text Mining" 2005.
12. D.Fensel, "Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and e-Commerce", Springer Verlag, Berlin, 2000.
13. Shang, W., Huang, H., Zhu, H., Lin, Y., Qu, Y., and Wang Z., " A Noval Feature Selection Algorithm for text catogorization." Elsevier, science Direct Expert system with application -2006, 33(1), pp.1-5, 2006.
14. Liu, H. and Motoda, "Feature Extraction, constraction and selection: A Data Mining Perspective.", Boston, Massachusetts(MA): Kluwer Academic Publishers.
15. Wang, Y., and Wang X.J., " A New Approach to feature selection in Text Classification", Proceedings of 4th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE- 2005, Vol.6, pp. 3814-3819, 2005.
16. Lee, L.W., and Chen, S.M., "New Methods for Text CategorizationBased on a New Feature Selection Method a and New Similarity Measure Between Documents", IEA/AEI, France 2006.
17. Montanes,E., Ferandez, J., Diaz, I., Combarro, E.F and Ranilla, J., " Measures of Rule Quality for Feature Selection in Text Categorization", 5th international Symposium on Intelligent data analysis , Germeny-2003, SpringerVerlag 2003, Vol2810, pp.589-598, 2003.
18. Manomaisupat, P., and Abmad k., "Feature Selection for text Categorization Using Self Orgnizing Map", 2nd International Conference on Neural Network and Brain, 2005,IEEE press Vol 3, pp.1875-1880, 2005.
19. Yan, J., Liu, N., Zhang, B., Yan, S., Chen, Z., Cheng, Q., Fan, W., and Ma, W., "OCFS: Optimal Orthogonal centroid Feature selection for Text Categorization." 28 Annual International conference on Reserch and Informational reterival, ACM SIGIR, Barizal, , pp.122-129, 2005.
20. Zi-Qiang Wang, Xia Sun, De-Xian Zhang, Xin Li "An Optimal Svm-Based Text Classification Algorithm" Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian,pp. 13-16 , 2006.

21. Jingnian Chen a,b., Houkuan Huang a, Shengfeng Tian a, Youli Qua Feature selection for text classification with Naïve Bayes” Expert Systems with Applications 36, pp. 5432–5435, 2009.
22. Hiroshi Ogura, Hiromi Amano, Masato Kondo “Feature selection with a measure of deviations from Poisson in text categorization” Expert Systems with Applications 36, -pp 6826–6832, 2009.
23. Mehdi Hosseinzadeh Aghdam, Nasser Ghasem-Aghaee, Mohammad Ehsan Basiri “Text feature selection using ant colony optimization”, Expert Systems with Applications 36 pp.6843–6853, 2009.
24. P. Scucy, G.W.Mineanu “Beyond TFIDF weighting for text Categorization in the Vector Space Model”, 2003.
25. E. Youn, M. K. Jeong , “Class dependent feature scaling method using naive Bayes classifier for text datamining” Pattern Recognition Letters , 2009.
26. G. Forman, E. Kirshenbaum, “Extremely Fast Text Feature Extraction for Classification and Indexing”, Napa Valley California, USA. CIKM’08, October 26–30, 2008.
27. Mostafa Keikha, Ahmad Khonsari, Farhad Oroumchian, “ Rich document representation and classification: An analysis” , Knowledge-Based Systems 22 , pp.67–71, 2009.
28. Yah, As., Hirschman, L., and Morgan, A.A. “Evaluation of text data mining for databassecuration: lessons learned from the KDD challenge cup.” Bioinformatics 19-(supp.1), pp.i331-i339, 2003.
29. B. Omelayenko., “learning og ontologies for the Web: the analysis of existent approaches”, in the proceeding of theInternational Workshop on Web Dynamics, 2001.
30. OWL Web Ontology Language, viewed March 2008 <http://www.w3.org/TR/owl-features>.
31. Sean B. Palmer, “The Semantic Web, an introduction”, 2007.
32. Lena Tenenboim, Bracha Shapira, Peretz Shoval “Ontology-Based Classification Of News In An Electronic Newspaper” International Conference "Intelligent Information and Engineering Systems" INFOS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008.
33. Mu-Hee Song, Soo-Yeon Lim, Dong-Jin Kang, and SangJo Lee, "Automatic Classification of Web pages based on the Concept of Domain Ontology", Proc. of the 12th AsiaPacific Software Engineering Conference, 2005.
34. Jun Fang, Lei Guo, XiaoDong Wang and Ning Yang “Ontology-Based Automatic Classification and Ranking for Web Documents” Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery -FSKD - 2007.
35. Alexander Maedche and Ste en Staab “Mining Ontologies from Text” LNAI 1937, pp. 189-202, 2000. SpringerVerlag Berlin Heidelberg, 2000.
36. Ching Kang Cheng, Xiao Shan Pan, Franz Kurfess “Ontology-based Semantic Classification of Unstructured Documents”, 2000.
37. Maciej Janik and Krys Kochut “Training-less Ontologybased Text Categorization” , 2007.
38. Yi-Hsing Chang, Hsiu-Yi Huang “An Automatic Document Classifier System Based On Naïve Bayes Classifier And Ontology” Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, 2008.
39. G. Wiederhold and M. Genesereth, “The conceptual basis for mediation services”,IEEE Expert / Intelligent Systems, 12(5):38-47, 1997.
40. S. Staab, J. Angele, S. Decker, M. Erdmann, A. Hotho, A. Maedche, H.-P. Schnurr, R. Studer, and Y. Sure. “Semantic community web portals”, In Proceedings of the 9th International World Wide Web Conference, Amsterdam, The Netherlands, May, 15-19, 2000. Elsevier, 2000.
41. S. Staab, C. Braun, I. Bruder, A. D’usterh’oft, A. Heuer, M. Klettke, G. Neumann, B. Prager, J. Pretzel, H.-P. Schnurr, R. Studer, H. Uszkoreit, and B. Wrenger. Getess, “Searching the web exploiting german texts”, In Proceedings of the 3rd international Workshop on Cooperating Information Agents. Upsala, Sweden, 1999, LNAI 1652, pp. 113-124. Springer, 1999.
42. http://www.nstein.com/en/tme_intro.php- 2008.
43. H.M.Al Fawareh, S.Jusoh, W.R.S.Osman, “Ambiguity in Text Mining”, IEEE-2008.
44. M. Sarnovský, M. Parali “Text Mining Workflows Construction with Support of Ontologies” 6th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics- SAMI 2008.
45. A.Stavrianou, P. Andritsos, N. Nicoloyannis “Overview and semantic issues of text mining”, SIGMOD Record, 2007, Vol.36,N03, 2007.
46. Rocchio, J; “Relevance Feedback in Information Retrieval”, In G. Salton (ed.). The SMART System: pp.67-88.
47. Willian W. Cohen and Yoram Singer, “Context-sensitive learning method for text categorization”, SIGIR’ 96, 19th International Conference on Research and Develeoement in Informational Retrieval, pp-307-315, 1996.
48. Ittner, D., Lewis, D., Ahn, D; “Text Categorization of Low Quality Images”, In: Symposium on Document Analysis and Information Retrieval, Las Vegas, NV .pp. 301-315, 1995.
49. Balabanovic, M., Shoham Y.: FAB; “Content-based, Collaborative Recommendation”, Communications of the Association for Computing Machinery 40(3) pp. 66-72, 1997.

50. Pazzani M., Billsus, D; “Learning and Revising User Profiles”, *The Identification of Interesting Web Sites. Machine Learning* 27(3) pp. 313-331, 1997.
51. Tam, V., Santoso, A., & Setiono, R. “A comparative study of centroid-based, neighborhood-based and statistical approaches for effective document categorization”, *Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition*, pp.235–238, 2002.
52. Eui-Hong (Sam) Han, George Karypis, Vipin Kumar; “Text Categorization Using Weighted Adjusted k-Nearest Neighbor Classification”, Department of Computer Science and Engineering. Army HPC Research Centre, University of Minnesota, Minneapolis, USA. 1999.
53. [Duoqian Miao , Qiguo Duan, Hongyun Zhang, Na Jiao, “Rough set based hybrid algorithm for text classification”,*Expert Systems with Applications* -2009 .
54. Bang, S. L., Yang, J. D., & Yang, H. J. “Hierarchical document categorization with k-NN and concept-based thesauri. *Information Processing and Management*”, pp. 397–406, 2006.
55. Matthew Changa, Chung Keung Poon_, “Using Phrases as Features in Email Classification”, *The Journal of Systems and Software*, doi: 10.1016/j.jss, 2009.
56. Joachims, T; “Text Categorization With Support Vector Machines: Learning with Many Relevant Features”, In: *European Conference on Machine Learning*, Chemnitz, Germany 1998, pp.137-142, 1998.
57. Kim, J., Lee, B., Shaw, M., Chang, H., Nelson, W; “Application of Decision-Tree Induction Techniques to Personalized Advertisements on Internet Storefronts”, *International Journal of Electronic Commerce* 5(3) pp.45-62, 2001.
58. Russell Greiner, Jonathan Schaffer; *AIxploratorium - Decision Trees*, Department of Computing Science, University of Alberta,Edmonton,ABT6G2H1, Canada. 2001. URL:<http://www.cs.ualberta.ca/~aixplore/learning/DecisionTrees>.
59. Chidanand Apte, Fred Damerau, Sholom M. Weiss.; “Towards Language Independent Automated Learning of Text Categorization Models”, In *Proceedings of the 17th Annual International ACM-SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, pp. 23-30. 1994.
60. Chidanand Apte, Fred Damerau, Sholom M. Weiss; “Automated Learning of Decision Rules for Text Categorization”, *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, Vol. 12 , Issue 3, pp. 233 – 251. 1994.
61. Chih-Hung Wu, “Behavior-based spam detection using a hybrid method of rule-based techniques and neural networks”, *Expert Systems with Applications*, pp. 4321–4330, 2009.
62. Heide Brücher, Gerhard Knolmayer, Marc-André Mittermayer; “Document Classification Methods for Organizing Explicit Knowledge”, Research Group Information Engineering, Institute of Information Systems, University of Bern, Engehaldenstrasse 8, CH - 3012 Bern, Switzerland. 2002.
63. Andrew McCallum, Kamal Nigam; “A Comparison of Event Models for Naïve Bayes Text Classification”, *Journal of Machine Learning Research* 3, pp. 1265-1287. 2003.
64. Irina Rish; “An Empirical Study of the Naïve Bayes Classifier”, In *Proceedings of the IJCAI-01 Workshop on Empirical Methods in Artificial Intelligence*. 2001.
65. Irina Rish, Joseph Hellerstein, Jayram Thathachar; “An Analysis of Data Characteristics that affect Naïve Bayes Performance”, IBM T.J. Watson Research Center 30 Saw Mill River Road, Hawthorne, NY 10532, USA. 2001.
66. Pedro Domingos, Michael Pazzani; “On the Optimality of the Simple Bayesian Classifier under Zero-One Loss, *Machine Learning*”, Vol. 29, No. 2-3, pp.103-130. 1997.
67. Sang-Bum Kim, Hue-Chang Rim, Dong-Suk Yook,Huei-Seok Lim; “Effective Methods for Improving Naive Bayes Text Classification”, *7th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 2417. 2002.
68. Susana Eyheramendy, Alexander Genkin, Wen-Hua Ju, David D. Lewis, and David Madigan; “Sparse Bayesian Classifiers for Text Categorization”, Department of Statistics, Rutgers University.2003.
69. Dino Isa, Lam Hong lee, V. P Kallimani, R. RajKumar, “ Text Documents Preprocessing with the Bahes Formula for Classification using the Support vector machine”, *IEEE, Traction of Knowledge and Data Engineering*, Vol-20, N0-9 pp-1264-1272, 2008.
70. Dino Isa,, V. P Kallimani Lam Hong lee, “Using Self Organizing Map for Clustering of Text Documents”, , Elsevier , *Expert System with Applications*-2008.
71. Sang-Bum Kim, Kyoung-Soo Han, Hae-Chang Rim, and Sung Hyon Myaeng, “Some Effective Techniques for Naive Bayes Text Classification”, *IEEE Transactions On Knowledge And Data Engineering*, Vol. 18, No. 11, Pp-1457-1466 , November 2006.
72. P. Domingos and M. J. Pazzani, “On the Optimality of the Simple Bayesian Classifier under Zero-One Loss,” *Machine Learning*, vol. 29, nos. 2/3, pp. 103-130, 1997.
73. Thiago S.Guzella, Walimir M. Caminhas “A Review of machine Learning Approches to Spam Filtering”, Elsevier , *Expert System with Applications*-2009.

74. Miguel E. Ruiz, Padmini Srinivasan; “Automatic Text Categorization Using Neural Network”, In Proceedings of the 8th ASIS SIG/CR Workshop on Classification Research, pp. 59-72. 1998.
75. Petri Myllymaki, Henry Tirri; “Bayesian Case-Based Reasoning with Neural Network”, In Proceeding of the IEEE International Conference on Neural Network’93, Vol. 1, pp. 422-427. 1993.
76. Hwee-Tou Ng, Wei-Boon Goh, Kok-Leong Low; “Feature Selection, Perceptron Learning, and a Usability Case Study for Text Categorization, In Proceedings of the 20th Annual International ACM-SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp. 67-73. 1997.
77. Bo Yu, Zong-ben Xu, Cheng-hua Li, “Latent semantic analysis for text categorization using neural network”, Knowledge-Based Systems 21- pp. 900–904, 2008.
78. Trappey, A. J. C., Hsu, F.-C., Trappey, C. V., & Lin, C.-I., “Development of a patent document classification and search platform using a back-propagation network”, Expert Systems with Applications, pp. 755–765, 2006.
79. Que, H. -E. “Applications of fuzzy correlation on multiple document classification. Unpublished master thesis”, Information Engineering department, Tamkang University, Taipei, Taiwan-2000.
80. Tai-Yue Wang and Huei-Min Chiang “One-Against-One Fuzzy Support Vector Machine Classifier: An Approach to Text Categorization”, Expert Systems with Applications, doi: 10.1016/j.eswa.2009.
81. Wang Xiaoping, Li-Ming Cao. Genetic Algorithm Theory, Application and Software [M]. XI'AN: Xi'an Jiaotong University Press, 2002.
82. ZHU Zhen-fang, LIU Pei-yu, Lu Ran, “Research of text classification technology based on genetic annealing algorithm” IEEE., 978-0-7695-3311-7/08, 2008.
83. Vladimir N. Vapnik, “The Nature of Statistical Learning Theory”, Springer, New York. 1995.
84. Thorsten Joachims, “Text Categorization with Support Vector Machines: Learning with Many Relevant Features” ECML-98, 10th European Conference on Machine Learning, pp. 137-142. 1998.
85. YiMing Yang, Xin Liu; “A Re-examination of Text Categorization Methods, School of Computer Science”, Carnegie Mellon University. 1999.
86. Saurav Sahay, “Support Vector Machines and Document Classification” URL: <http://www-static.cc.gatech.edu/~ssahay/sauravsahay7001-2.pdf>.
87. Soumen Chakrabarti, Shourya Roy, Mahesh V. Soundalgekar; “Fast and Accurate Text Classification via Multiple Linear Discriminant Projection”, The International Journal on Very Large Data Bases (VLDB), pp.170-185. 2003.
88. Yi Lin, “Support Vector Machines and the Bayes Rule in Classification”, Technical Report No.1014, Department of Statistics, University of Wisconsin, Madison. 1999.
89. Chung-Hong Lee a, Hsin-Chang Yang, “Construction of supervised and unsupervised learning systems for multilingual text categorization”, Expert Systems with Applications, pp. 2400–2410, 2009.
90. Shi-jin Wang, Avin Mathew, Yan Chen, Li-feng Xi, Lin Ma, Jay Lee, “Empirical analysis of support vector machine ensemble classifiers”, Expert Systems with Applications, pp. 6466–6476, 2009.
91. Zi-Qiang Wang, Xia Sun, De-Xian Zhang, Xin Li “An Optimal Svm-Based Text Classification Algorithm” Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, 2006.
92. Wikipedia Ensembles of classifiers, http://en.wikipedia.org/wiki/Ensembles_of_classifiers, 2008.
93. M. Ikonomakis, S. Kotsiantis, V. Tampakas, “Text Classification Using Machine Learning Techniques”, Wseas Transactions on Computers, issue 8, volume 4, pp. 966-974, 2005.
94. How, B. C. and Kiong, W. T. (2005). An examination of feature selection frameworks in text categorization. In AIRS. 558–564.
95. Bao Y. and Ishii N., “Combining Multiple kNN Classifiers for Text Categorization by Reducts”, LNCS 2534, pp. 340- 347, 2002.
96. Bi Y., Bell D., Wang H., Guo G., Greer K., “Combining Multiple Classifiers Using Dempster's Rule of Combination for Text Categorization”, MDAI, 2004, 127-138, 2004.
97. Sung-Bae Cho, Jee-Haeng Lee, “Learning Neural Network Ensemble for Practical Text Classification”, Lecture Notes in Computer Science, Volume 2690, p. 1032– 1036, 2003.
98. Nardiello P., Sebastiani F., Sperduti A., “Discretizing Continuous Attributes in AdaBoost for Text Categorization”, LNCS, Volume 2633, pp. 320-334, 2003
99. “Cheng Hua Li, Soon Choel Park, “An efficient document classification model using an improved back propagation neural network and singular value decomposition” Expert Systems with Applications 36 ,pp- 3208–3215, 2009.
100. S. M. Kamruzzaman and Farhana Haider; “Hybrid Learning Algorithm For Text Classification”, 3rd International Conference on Electrical & Computer Engineering ICECE 2004, 28-30 December 2004, Dhaka, Bangladesh.
101. Alex Markov and Mark Last, “A Simple, Structure Sensitive Approach for Web Document Classification”, Springer, AWIC 2005, LNAI 3528, pp. 293–298, 2005.

102. Cheng Hua Li, Soon Cheol Park, “Combination of modified BPNN algorithms and an efficient feature selection method for text categorization.” *Information Processing and Management* 45, 329–340, 2009.
103. Ming Li , Hang Li , Zhi-Hua Zhou , “Semi-supervised document retrieval”, *Information Processing and Management* 45, pp, 341–355 -2009.
104. Wenqian Shang, Houkuan Huang, Haibin Zhu, Yongmin Lin Youli Qu, and Hongbin Dong “An Adaptive Fuzzy kNN Text Classifier”, Springer, ICCS LNCS 3993, pp. 216 – 223, 2006.2006, Part III.
105. H.Kim, and S.S. Chen, “Associative Naïve Bayes Classifier: Automated Linking Of Gene Ontology To Medline Documents” *Pattern Recognition* doi:10.1016/j.patcog. 2009.
106. John Atkinson a, Anita Ferreira b, Elvis Aravena, “Discovering implicit intention-level knowledge from naturallanguage texts”, *Knowledge-Based Systems* -2009.
107. G. Louloudis, B. Gatos, I. Pratikakis², C. Halatsis, “Text Line and Word Segmentation of Handwritten Documents”, *Pattern Recognition* doi:10.1016/j.patcog.2008.12.016, 2009.
108. Kang Hyuk Lee, Judy Kay, Byeong Ho Kang, and Uwe Rosebrock, “A Comparative Study on Statistical Machine Learning Algorithms and Thresholding Strategies for Automatic Text Categorization”, pp. 444-453, 2002. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002.
109. Ming Li, Hang Li, Zhi-Hua Zhou “Semi-supervised document retrieval” *Information Processing and Management* -2008.
110. Wen Zhang a, Taketoshi Yoshida a, Xijin Tang “Text classification based on multi-word with support vector machine”, *Knowledge-Based Systems* 21 -pp. 879–886, 2008.
111. Youngjoong Ko a, Jungyun Seo, “Text classification from unlabeled documents with bootstrapping and feature projection techniques”, *Information Processing and Management* 45 -, pp. 70–83, 2009.
112. Wu W, Gao Q, Wang M “An efficient feature selectionmethod for classification data mining” *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 3: pp 2034-2040. 2006.
113. Monica Rogati , Yiming Yang “High-Performing Feature Selection for Text Classification Monica Rogati, Monica Rogati”, *CIKM’02*, November 4–9, 2002, McLean, Virginia, USA., 2002.
114. Fabrice Colas and Pavel Brazdil, “Comparison of SVM and Some Older Classification algorithms in Text Classification Tasks” , “*IFIP International Federation for Information Processing*”, Springer Boston Volume 217, *Artificial Intelligence in Theory and Practice*, pp. 169-178, 2006.
115. Hanuman Thota , Raghava Naidu Miriyala , Siva Prasad Akula, .Mrithyunjaya Rao , Chandra Sekhar Vellanki ,Allam Appa Rao, Srinubabu Gedela , “Performance Comparative in Classification Algorithms Using Real Datasets”, *JCSB/Vol.2* February 2009.
116. Bo Yu a,, Zong-ben Xu b , “A comparative study for content-based dynamic spam classification using four machine learning algorithms”, 2008, Elsevier , *Knowledge Based Systems* 21 ,pp. 355–362,2008.
117. Youn and Dennis McLeod, “A Comparative Study for Email Classification, Seongwook Los Angeles”, CA 90089, USA, 2006.
118. Y.Yang,and X.Liu, “An re-examination of text categorization”, *Proceedings of the 22nd Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, Berkeley, pp.42-49, August 1999.
119. Pingpeng Yuan, Yuqin Chen, Hai Jin, Li Huang “MSVM-kNN: Combining SVM and k-NN for Multi-Class Text Classification”978-0-7695-3316-2/08,2008, IEEE DOI 10.1109/WSCS.2008
120. Fabrice Colas and Pavel Brazdil, “Comparison of svm and some older classification algorithms in text classification tasks”, *Artificial Intelligence in Theory and Practice* (2006), pp. 169-178, 2006.

References

1. A. Dasgupta, “Feature selection methods for text classification.”, In *Proceedings of the 13th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pp. 230 -239, 2007.
2. Raghavan, P., S. Amer-Yahia and L. Gravano eds., “Structure in Text: Extraction and Exploitation.” In. *Proceeding of the 7th international Workshop on the Web and Databases(WebDB)*, ACM SIGMOD/PODS 2004, ACM Press, Vol 67, 2004.
3. Oracle corporation, WWW,oracle.com, 2008.
4. Merrill lynch, Nov.,2000. e-Business Analytics: Depth Report. 2000.
5. Dementiev V.E., Chulkov A.A. *Metod avtomatizirovannoj identifikacii priznakov protokolov setej peredachi dannyh. Informaciya i kosmos* [Method of automated identification of signs of protocols of data transmission networks. Information and Cosmos]. 2021. No. 1. pp. 87-94 (in Russian).
6. Dementiev V.E., Chulkov A.A. *Model' protokola seti peredachi dannyh v usloviyah destruktivnyh kiberneticheskikh vozdeystvij. CHast' 1. Zashchita informacii* [Model of a data transmission network protocol in conditions of destructive cybernetic influences. Part 1. Information protection]. Insider. 2021. No. 1 (97). pp. 62-68 (in Russian).

7. Dementiev V.E., Chulkov A.A. *Model' protokola seti peredachi dannyh v usloviyah destruktivnyh kiberneticheskikh vozdeystvij. CHast' 2. Zashchita informacii* [A model of a data transmission network protocol in conditions of destructive cybernetic influences. Part 2. Information protection]. Insider. 2021. No. 2 (98). pp. 68-76 (in Russian).
8. Dementiev V.E., Chulkov A.A. *Metodika ocenki zashchishchennosti protokolov seti peredachi dannyh v usloviyah destruktivnyh kibervozdeystvij* [Methodology for assessing the security of data transmission network protocols in conditions of destructive cyber actions]. Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2021. No. 2. pp. 265-276 (in Russian).
9. Pegah Falinouss "Stock Trend Prediction using News Article's: a text mining approach" Master thesis - 2007.
10. Sebastiani, F., "Machine learning in automated text categorization" ACM Computing Surveys (CSUR) 34, pp.1 – 47, 2002.
11. Andreas Hotho "A Brief Survey of Text Mining" 2005.
12. D.Fensel, "Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and e-Commerce", Springer Verlag, Berlin, 2000.
13. Shang, W., Huang, H., Zhu, H., Lin, Y., Qu, Y., and Wang Z., "A Novel Feature Selection Algorithm for text categorization." Elsevier, science Direct Expert system with application -2006, 33(1), pp.1-5, 2006.
14. Liu, H. and Motoda, "Feature Extraction, construction and selection: A Data Mining Perspective.", Boston, Massachusetts(MA): Kluwer Academic Publishers.
15. Wang, Y., and Wang X.J., "A New Approach to feature selection in Text Classification", Proceedings of 4th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE- 2005, Vol.6, pp. 3814-3819, 2005.
16. Lee, L.W., and Chen, S.M., "New Methods for Text Categorization Based on a New Feature Selection Method and New Similarity Measure Between Documents", IEA/AEI, France 2006.
17. Montanes, E., Fernandez, J., Diaz, I., Combarro, E.F and Ranilla, J., "Measures of Rule Quality for Feature Selection in Text Categorization", 5th international Symposium on Intelligent data analysis, Germany-2003, SpringerVerlag 2003, Vol2810, pp.589-598, 2003.
18. Manomaisupat, P., and Abmad k., "Feature Selection for text Categorization Using Self Organizing Map", 2nd International Conference on Neural Network and Brain, 2005, IEEE press Vol 3, pp.1875-1880, 2005.
19. Yan, J., Liu, N., Zhang, B., Yan, S., Chen, Z., Cheng, Q., Fan, W., and Ma, W., "OCFS: Optimal Orthogonal centroid Feature selection for Text Categorization." 28 Annual International conference on Research and Informational retrieval, ACM SIGIR, Barizal, , pp.122-129, 2005.
20. Zi-Qiang Wang, Xia Sun, De-Xian Zhang, Xin Li "An Optimal Svm-Based Text Classification Algorithm" Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, pp. 13-16, 2006.
21. Jingnian Chen a,b,, Houkuan Huang a, Shengfeng Tian a, Youli Qua Feature selection for text classification with Naïve Bayes" Expert Systems with Applications 36, pp. 5432–5435, 2009.
22. Hiroshi Ogura, Hiromi Amano, Masato Kondo "Feature selection with a measure of deviations from Poisson in text categorization" Expert Systems with Applications 36, -pp 6826–6832, 2009.
23. Mehdi Hosseinzadeh Aghdam, Nasser Ghasem-Aghaee, Mohammad Ehsan Basiri "Text feature selection using ant colony optimization", Expert Systems with Applications 36 pp.6843–6853, 2009.
24. Sccuy P., Mineanu G.W. "Beyond TFIDF weighting for text Categorization in the Vector Space Model", 2003.
25. Youn E., Jeong M. K., "Class dependent feature scaling method using naive Bayes classifier for text datamining" Pattern Recognition Letters, 2009.
26. Forman G., Kirshenbaum E., "Extremely Fast Text Feature Extraction for Classification and Indexing", Napa Valley California, USA. CIKM'08, October 26–30, 2008.
27. Mostafa Keikha, Ahmad Khonsari, Farhad Oroumchian, "Rich document representation and classification: An analysis", Knowledge-Based Systems 22, pp.67–71, 2009.
28. Yah, As., Hirschman, L., and Morgan, A.A. "Evaluation of text data mining for database security: lessons learned from the KDD challenge cup." Bioinformatics 19-(supp.1), pp.i331-i339, 2003.
29. Omelayenko B. "learning og ontologies for the Web: the analysis of existent approaches", in the proceeding of the International Workshop on Web Dynamics, 2001.
30. OWL Web Ontology Language, viewed March 2008 <http://www.w3.org/TR/owl-features>.
31. Sean B. Palmer, "The Semantic Web, an introduction", 2007.
32. Lena Tenenboim, Bracha Shapira, Peretz Shoval "Ontology-Based Classification Of News In An Electronic Newspaper" International Conference "Intelligent Information and Engineering Systems" INFOS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008.
33. Mu-Hee Song, Soo-Yeon Lim, Dong-Jin Kang, and SangJo Lee, "Automatic Classification of Web pages based on the Concept of Domain Ontology", Proc. of the 12th AsiaPacific Software Engineering Conference, 2005.

34. Jun Fang, Lei Guo, XiaoDong Wang and Ning Yang “Ontology-Based Automatic Classification and Ranking for Web Documents” Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery -FSKD -2007.
35. Alexander Maedche and Ste_en Staab “Mining Ontologies from Text” LNAI 1937, pp. 189-202, 2000. SpringerVerlag Berlin Heidelberg, 2000.
36. Ching Kang Cheng, Xiao Shan Pan, Franz Kurfess “Ontology-based Semantic Classification of Unstructured Documents”, 2000.
37. Maciej Janik and Krys Kochut “Training-less Ontologybased Text Categorization” , 2007.
38. Yi-Hsing Chang, Hsiu-Yi Huang “An Automatic Document Classifier System Based On Naïve Bayes Classifier And Ontology” Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, 2008.
39. Wiederhold G. and Genesereth M. “The conceptual basis for mediation services”,IEEE Expert / Intelligent Systems, 12(5):38-47, 1997.
40. S. Staab, J. Angele, S. Decker, M. Erdmann, A. Hotho, A. Maedche, H.-P. Schnurr, R. Studer, and Y. Sure. “Semantic community web portals”, In Proceedings of the 9th International World Wide Web Conference, Amsterdam, The Netherlands, May, 15-19, 2000. Elsevier, 2000.
41. Staab S., Braun C., Bruder I., D"usterh A."oft, Heuer A., Klettke M., Neumann G., Prager B., Pretzel J., Schnurr H.-P., Studer R., Uszkoreit H., and Wrenger B. Getess, “Searching the web exploiting german texts”, In Proceedings of the 3rd international Workshop on Cooperating Information Agents. Upsala, Sweden, 1999, LNAI 1652, pp. 113-124. Springer, 1999.
42. http://www.nstein.com/en/tme_intro.php- 2008.
- 43..Al Fawareh H.M, Jusoh S., Osman W.R.S., “Ambiguity in Text Mining”, IEEE-2008.
44. Sarnovský M., Parali M. “Text Mining Workflows Construction with Support of Ontologies” 6th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics- SAMI 2008.
45. Stavrianou A., Andritsos P., Nicoloyannis N. “Overview and semantic issues of text mining”, SIGMOD Record, 2007, Vol.36,N03, 2007.
46. Rocchio J. “Relevance Feedback in Information Retrieval”, In G. Salton (ed.). The SMART System: pp.67-88.
47. Willian W. Cohen and Yoram Singer, “Context-sensitive learning method for text categorization”, SIGIR' 96, 19th International Conference on Research and Develeoement in Informational Retrieval, pp-307-315, 1996.
48. Ittner, D., Lewis, D., Ahn, D; “Text Categorization of Low Quality Images”, In: Symposium on Document Analysis and Information Retrieval, Las Vegas, NV .pp. 301-315, 1995.
49. Balabanovic, M., Shoham Y.: FAB; “Content-based, Collaborative Recommendation”, Communications of the Association for Computing Machinery 40(3) pp. 66-72, 1997.
50. Pazzani M., Billsus, D; “Learning and Revising User Profiles”, The Identification of Interesting Web Sites. Machine Learning 27(3) pp. 313-331, 1997.
51. Tam, V., Santoso, A., & Setiono, R. “A comparative study of centroid-based, neighborhood-based and statistical approaches for effective document categorization”, Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition, pp.235–238, 2002.
52. Eui-Hong (Sam) Han, George Karypis, Vipin Kumar; “Text Categorization Using Weighted Adjusted k-Nearest Neighbor Classification”, Department of Computer Science and Engineering. Army HPC Research Centre, University of Minnesota, Minneapolis, USA. 1999.
53. [Duoqian Miao , Qiguo Duan, Hongyun Zhang, Na Jiao, “Rough set based hybrid algorithm for text classification”,Expert Systems with Applications -2009 .
54. Bang, S. L., Yang, J. D., & Yang, H. J. “Hierarchical document categorization with k-NN and concept-based thesauri. Information Processing and Management”, pp. 397–406, 2006.
55. Matthew Changa, Chung Keung Poon_, “Using Phrases as Features in Email Classification”, The Journal of Systems and Software, doi: 10.1016/j.jss, 2009.
56. Joachims, T; “Text Categorization With Support Vector Machines: Learning with Many Relevant Features”, In: European Conference on Machine Learning, Chemnitz, Germany 1998, pp.137-142, 1998.
57. Kim, J., Lee, B., Shaw, M., Chang, H., Nelson, W; “Application of Decision-Tree Induction Techniques to Personalized Advertisements on Internet Storefronts”, International Journal of Electronic Commerce 5(3) pp.45-62, 2001.
58. Russell Greiner, Jonathan Schaffer; AIxploratorium - Decision Trees, Department of Computing Science, University of Alberta,Edmonton,ABT6G2H1, Canada. 2001. URL:<http://www.cs.ualberta.ca/~aixplore/learning/DecisionTrees>.
59. Chidanand Apte, Fred Damerau, Sholom M. Weiss.; “Towards Language Independent Automated Learning of Text Categorization Models”, In Proceedings of the 17th Annual International ACM-SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp. 23-30. 1994.

60. Chidanand Apte, Fred Damerau, Sholom M. Weiss; “Automated Learning of Decision Rules for Text Categorization”, *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, Vol. 12, Issue 3, pp. 233 – 251. 1994.
61. Chih-Hung Wu, “Behavior-based spam detection using a hybrid method of rule-based techniques and neural networks”, *Expert Systems with Applications*, pp. 4321–4330, 2009.
62. Heide Brücher, Gerhard Knolmayer, Marc-André Mittermayer; “Document Classification Methods for Organizing Explicit Knowledge”, *Research Group Information Engineering, Institute of Information Systems, University of Bern, Engehaldenstrasse 8, CH - 3012 Bern, Switzerland*. 2002.
63. Andrew McCallum, Kamal Nigam; “A Comparison of Event Models for Naïve Bayes Text Classification”, *Journal of Machine Learning Research* 3, pp. 1265-1287. 2003.
64. Irina Rish; “An Empirical Study of the Naïve Bayes Classifier”, In *Proceedings of the IJCAI-01 Workshop on Empirical Methods in Artificial Intelligence*. 2001.
65. Irina Rish, Joseph Hellerstein, Jayram Thathachar; “An Analysis of Data Characteristics that affect Naïve Bayes Performance”, *IBM T.J. Watson Research Center 30 Saw Mill River Road, Hawthorne, NY 10532, USA*. 2001.
66. Pedro Domingos, Michael Pazzani; “On the Optimality of the Simple Bayesian Classifier under Zero-One Loss”, *Machine Learning*, Vol. 29, No. 2-3, pp.103-130. 1997.
67. Sang-Bum Kim, Hue-Chang Rim, Dong-Suk Yook, Huei-Seok Lim; “Effective Methods for Improving Naïve Bayes Text Classification”, *7th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 2417. 2002.
68. Susana Eyheramendy, Alexander Genkin, Wen-Hua Ju, David D. Lewis, and David Madigan; “Sparse Bayesian Classifiers for Text Categorization”, *Department of Statistics, Rutgers University*. 2003.
69. Dino Isa, Lam Hong lee, V. P Kallimani, R. RajKumar, “Text Documents Preprocessing with the Bayes Formula for Classification using the Support vector machine”, *IEEE, Traction of Knowledge and Data Engineering*, Vol-20, N0-9 pp-1264-1272, 2008.
70. Dino Isa, V. P Kallimani Lam Hong lee, “Using Self Organizing Map for Clustering of Text Documents”, Elsevier, *Expert System with Applications*-2008.
71. Sang-Bum Kim, Kyoung-Soo Han, Hae-Chang Rim, and Sung Hyon Myaeng, “Some Effective Techniques for Naive Bayes Text Classification”, *IEEE Transactions On Knowledge And Data Engineering*, Vol. 18, No. 11, Pp-1457-1466, November 2006.
72. Domingos P., Pazzani M. J. “On the Optimality of the Simple Bayesian Classifier under Zero-One Loss,” *Machine Learning*, vol. 29, nos. 2/3, pp. 103-130, 1997.
73. Thiago S.Guzella, Walimir M. Caminhas “A Review of machine Learning Approches to Spam Filtering”, Elsevier, *Expert System with Applications*-2009.
74. Miguel E. Ruiz, Padmini Srinivasan; “Automatic Text Categorization Using Neural Network”, In *Proceedings of the 8th ASIS SIG/CR Workshop on Classification Research*, pp. 59-72. 1998.
75. Petri Myllymaki, Henry Tirri; “Bayesian Case-Based Reasoning with Neural Network”, In *Proceeding of the IEEE International Conference on Neural Network'93*, Vol. 1, pp. 422-427. 1993.
76. Hwee-Tou Ng, Wei-Boon Goh, Kok-Leong Low; “Feature Selection, Perceptron Learning, and a Usability Case Study for Text Categorization, In *Proceedings of the 20th Annual International ACM-SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, pp. 67-73. 1997.
77. Bo Yu, Zong-ben Xu, Cheng-hua Li, “Latent semantic analysis for text categorization using neural network”, *Knowledge-Based Systems* 21- pp. 900–904, 2008.
78. Trappey, A.J.C., Hsu, F.-C., Trappey, C.V., & Lin, C.-I., “Development of a patent document classification and search platform using a back-propagation network”, *Expert Systems with Applications*, pp. 755–765, 2006.
79. Que, H. -E. “Applications of fuzzy correlation on multiple document classification. Unpublished master thesis”, *Information Engineering epartment, Tamkang University, Taipei, Taiwan*-2000.
80. Tai-Yue Wang and Huei-Min Chiang “One-Against-One Fuzzy Support Vector Machine Classifier: An Approach to Text Categorization”, *Expert Systems with Applications*, doi: 10.1016/j.eswa.2009.
81. Wang Xiaoping, Li-Ming Cao. *Genetic Algorithm Theory, Application and Software [M]*. XI'AN: Xi'an Jiaotong University Press, 2002.
82. ZHU Zhen-fang, LIU Pei-yu, Lu Ran, “Research of text classification technology based on genetic annealing algorithm” *IEEE*,, 978-0-7695-3311-7/08, 2008.
83. Vladimir N. Vapnik, “The Nature of Statistical Learning Theory”, Springer, New York. 1995.
84. Thorsten Joachims, “Text Categorization with Support Vector Machines: Learning with Many Relevant Features” *ECML-98, 10th European Conference on Machine Learning*, pp. 137-142. 1998.
85. YiMing Yang, Xin Liu; “A Re-examination of Text Categorization Methods, School of Computer Science”, *Carnegie Mellon University*. 1999.

86. Saurav Sahay, “Support Vector Machines and Document Classification” URL: <http://www-static.cc.gatech.edu/~ssahay/sauravsahay7001-2.pdf>.
87. Soumen Chakrabarti, Shourya Roy, Mahesh V. Soundalgekar, “Fast and Accurate Text Classification via Multiple Linear Discriminant Projection”, *The International Journal on Very Large Data Bases (VLDB)*, pp.170-185. 2003.
88. Yi Lin, “Support Vector Machines and the Bayes Rule in Classification”, Technical Report No.1014, Department of Statistics, University of Wisconsin, Madison. 1999.
89. Chung-Hong Lee a, Hsin-Chang Yang, “Construction of supervised and unsupervised learning systems for multilingual text categorization”, *Expert Systems with Applications*, pp. 2400–2410, 2009.
90. Shi-jin Wang, Avin Mathew, Yan Chen, Li-feng Xi, Lin Ma, Jay Lee, “Empirical analysis of support vector machine ensemble classifiers”, *Expert Systems with Applications*, pp. 6466–6476, 2009.
91. Zi-Qiang Wang, Xia Sun, De-Xian Zhang, Xin Li “An Optimal Svm-Based Text Classification Algorithm” *Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Dalian, 2006.
92. Wikipedia Ensembles of classifiers, http://en.wikipedia.org/wiki/Ensembles_of_classifiers, 2008.
93. Ikonomakis M., Kotsiantis S., Tampakas V., “Text Classification Using Machine Learning Techniques”, *Wseas Transactions on Computers*, issue 8, volume 4, pp. 966-974, 2005.
94. How B.C., Kiong W.T. (2005). An examination of feature selection frameworks in text categorization. In *AIRS*. 558–564.
95. Bao Y., Ishii N. “Combining Multiple kNN Classifiers for Text Categorization by Reducts”, *LNCS* 2534, pp. 340- 347, 2002.
96. Bi Y., Bell D., Wang H., Guo G., Greer K., “Combining Multiple Classifiers Using Dempster's Rule of Combination for Text Categorization”, *MDAI*, 2004, 127-138, 2004.
97. Sung-Bae Cho, Jee-Haeng Lee, “Learning Neural Network Ensemble for Practical Text Classification”, *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 2690, p. 1032– 1036, 2003.
98. Nardiello P., Sebastiani F., Sperduti A., “Discretizing Continuous Attributes in AdaBoost for Text Categorization”, *LNCS*, Volume 2633, pp. 320-334, 2003
99. “Cheng Hua Li, Soon Choel Park, “An efficient document classification model using an improved back propagation neural network and singular value decomposition” *Expert Systems with Applications* 36, pp. 3208–3215, 2009.
100. Kamruzzaman S. M. and Farhana Haider; “Hybrid Learning Algorithm For Text Classification”, 3rd International Conference on Electrical & Computer Engineering ICECE 2004, 28-30 December 2004, Dhaka, Bangladesh.
101. Alex Markov and Mark Last, “A Simple, Structure Sensitive Approach for Web Document Classification”, Springer, AWIC 2005, LNAI 3528, pp. 293–298, 2005.
102. Cheng Hua Li, Soon Cheol Park, “Combination of modified BPNN algorithms and an efficient feature selection method for text categorization.” *Information Processing and Management* 45, 329–340, 2009.
103. Ming Li, Hang Li, Zhi-Hua Zhou, “Semi-supervised document retrieval”, *Information Processing and Management* 45, pp, 341–355 -2009.
104. Wenqian Shang, Houkuan Huang, Haibin Zhu, Yongmin Lin Youli Qu, and Hongbin Dong “An Adaptive Fuzzy kNN Text Classifier”, Springer, ICCS LNCS 3993, pp. 216 – 223, 2006.2006, Part III.
105. H.Kim, and S.S. Chen, “Associative Naïve Bayes Classifier: Automated Linking Of Gene Ontology To Medline Documents” *Pattern Recognition* doi:10.1016/j.patcog. 2009.
106. John Atkinson a, Anita Ferreira b, Elvis Aravena, “Discovering implicit intention-level knowledge from natural language texts”, *Knowledge-Based Systems* -2009.
107. Louloudis G., Gatos B., Pratikakis I., Halatsis C. “Text Line and Word Segmentation of Handwritten Documents”, *Pattern Recognition* doi:10.1016/j.patcog.2008.12.016, 2009.
108. Kang Hyuk Lee, Judy Kay, Byeong Ho Kang, and Uwe Rosebrock, “A Comparative Study on Statistical Machine Learning Algorithms and Thresholding Strategies for Automatic Text Categorization”, pp. 444-453, 2002. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002.
109. Ming Li, Hang Li, Zhi-Hua Zhou “Semi-supervised document retrieval” *Information Processing and Management* -2008.
110. Wen Zhang a, Taketoshi Yoshida a, Xijin Tang “Text classification based on multi-word with support vector machine”, *Knowledge-Based Systems* 21 -pp. 879–886, 2008.
111. Youngjoong Ko a, Jungyun Seo, “Text classification from unlabeled documents with bootstrapping and feature projection techniques”, *Information Processing and Management* 45 -, pp. 70–83, 2009.
112. Wu W, Gao Q, Wang M. “An efficient feature selection method for classification data mining” *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 3: pp 2034-2040. 2006.

113. Monica Rogati , Yiming Yang “High-Performing Feature Selection for Text Classification Monica Rogati, Monica Rogati”, CIKM’02, November 4–9, 2002, McLean, Virginia, USA., 2002.

114. Fabrice Colas and Pavel Brazdil, “Comparison of SVM and Some Older Classification algorithms in Text Classification Tasks” , “IFIP International Federation for Information Processing”, Springer Boston Volume 217, Artificial Intelligence in Theory and Practice, pp. 169–178, 2006.

115. Hanuman Thota , Raghava Naidu Miriyala , Siva Prasad Akula, .Mrithyunjaya Rao , Chandra Sekhar Vellanki ,Allam Appa Rao, Srinubabu Gedela , “Performance Comparative in Classification Algorithms Using Real Datasets”, JCSB/Vol.2 February 2009.

116. Bo Yu. a, Zong-ben Xu. b, “A comparative study for content-based dynamic spam classification using four machine learning algorithms”, 2008, Elsevier , Knowledge Based Systems 21 ,pp. 355–362,2008.

117. Youn and Dennis McLeod, “A Comparative Study for Email Classification, Seongwook Los Angeles”, CA 90089, USA, 2006.

118. Yang Y., Liu X., “An re-examination of text categorization”, Proceedings of the 22nd Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Berkeley, pp.42-49, August 1999.

119. Pingpeng Yuan, Yuqin Chen, Hai Jin, Li Huang “MSVM-kNN: Combining SVM and k-NN for Multi-Class Text Classification”978-0-7695-3316-2/08,2008, IEEE DOI 10.1109/WSCS.2008

120. Fabrice Colas and Pavel Brazdil, “Comparison of svm and some older classification algorithms in text classification tasks”, Artificial Intelligence in Theory and Practice (2006), pp. 169–178, 2006.

Статья поступила 27 июня 2022 г.

Информация об авторах

Дементьев Владислав Евгеньевич – Доктор технических наук, доцент. Главный специалист отдела ПАО "Интелтех". Тел:+7(812)4489659. E-mail:dem-vlad@rambler.ru.

Киреев Сергей Хаирбекович – Главный эксперт Военно-научного комитета Главного управления связи МО РФ. Тел:+7(812)4489659. E-mail:dem-vlad@rambler.ru.

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

Choosing machine learning algorithms for classification of text documents

V.E. Dementiev, S.H. Kireev

Annotation. With the increasing availability of electronic documents and the rapid growth of the number of data exchange systems, the task of automatic categorization of documents has become a key method of organizing the search for information and knowledge. The correct classification of electronic documents, online news, blogs, emails and digital libraries requires intelligent text analysis, the use of machine learning and natural language processing methods to obtain meaningful knowledge. **The article** sets the task of analyzing the modern used important methods and methodologies that are used in the classification of text documents. The purpose of the work is to classify known problems that need to be solved when presenting text using machine learning methods. **The results** of the work include comparative conclusions on methods of document classification and text mining with an emphasis on existing literature, as well as some possibilities for classifying unstructured data and knowledge discovery. **The practical significance** of the work lies in the final recommendations on the use of Chi-square approaches, feature selection and extraction, automatic classification of documents, algorithms of the support vector machine (SVM), Bayesian classifier (NB) and k-nearest neighbors (kNN). It is shown that the identification of features reflecting semantic content is one of the important areas of research. The SVM classifier is recognized as one of the most effective methods of text classification when comparing controlled machine learning algorithms.

Keywords: intelligent text analysis, web analysis, document classification, information retrieval, support vector machine, naive Bayesian classifier, k-nearest neighbors, feature selection, feature extraction, ontologies.

Information about the authors

Vladislav E. Dementiev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Specialist of the Department of PJSC "Inteltech". Tel:+7(812)4489659. E-mail:dem-vlad@rambler.ru.

Sergey Khairebikov Kireev – Expert of the Military Scientific Committee of the Main Directorate of Communications of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Tel:+7(812)4489659. E-mail: gamlet8806@rambler.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8.

Для цитирования: Дементьев В.Е., Киреев С.Х. Выбор алгоритмов машинного обучения для классификации текстовых документов // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С. 22–52. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-22-52.

For citation: Dementiev V.E., Kireev S.H. Choosing machine learning algorithms for classification of text documents. Means of Communication Equipment. 2022. No. 2 (158). Pp. 22–52. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-22-52 (in Russian).

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 004.912

DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-53-61

Технологии построения систем защищенного электронного документооборота

Васильев Н.В., Титов Г.С., Раков И.В.

***Аннотация.** В связи с изменением характера и условий ведения современных войн и боевых действий, возрастают требования к повышению эффективности системы управления войсками и оружием. В современных условиях успех боевых действий определяется не только соотношением сил и средств, но и качеством управления, основанном, в том числе, на своевременно получаемых данных, обрабатываемых с помощью автоматизированных информационных систем военного назначения. Постоянное возрастание объемов информации, необходимой в ходе управления войсками, обуславливает повышение требований к оперативности таких систем. В целях исполнения данных требований, а также своевременного выполнения задач органами военного управления в Министерстве обороны Российской Федерации, применяются автоматизированные информационные системы электронного документооборота в защищенном исполнении. Основным предназначением данных систем является организация документооборота, хранения образов электронных документов и работы с ними. При этом, в целях поддержания эффективной работы таких систем, возникает целый спектр задач по обеспечению защищенности метаданных и образов электронных документов, обрабатываемых защищенными системами документооборота. Данный вопрос особенно актуален, так как основным источником угроз безопасности информации, циркулирующей в них, является внутренний нарушитель, как в результате умышленных действий, так и вследствие ошибок, вызванных человеческим фактором. **Целью** настоящей статьи является анализ существующих и перспективных технологий построения защищенных систем электронного документооборота. В работе используется **научно-методический аппарат** системного анализа. **Научная новизна** работы состоит в анализе степени реализации современными защищенными системами электронного документооборота специальных требований, формировании концепции цифрового портфеля и защищенной среды работы с образами документов. **Практическая значимость** работы состоит в формировании методологического базиса для построения защищенных систем электронного документооборота*

***Ключевые слова:** защищенные системы электронного документооборота, рабочие процессы, электронная цифровая подпись, электронные образы документов, цифровые портфели.*

Введение

На современном этапе защищенные системы электронного документооборота (ЗСЭД) представляются как системы, обеспечивающие автоматизацию делопроизводства, согласно стандарта ГОСТ Р ИСО 15489-1-2007 «Управление документами» [1-3] с учетом особенностей принятых в Ведомствах приказов-инструкций по секретному делопроизводству и опирающееся на систему стандартов ГОСТ Р 51583-2014 «Автоматизированные системы в защищенном исполнении» [4].

Основным специальным требованием к ЗСЭД, вытекающем из особенностей процесса предоставления доступа к образу документа, является изолированное хранение, передача и обработка данных, принадлежащих различным группам пользователей. Неотъемлемой частью контроля в ЗСЭД является аудит любых действий (чтение, копирование, обновление, удаление) с образами электронных документов (ЭлД), а также первичный учет бланков и специальных тетрадей для составления проектов.

Свои особенности накладывает необходимость специальной проверки и сертификации решения защищенного электронного документооборота после этапа внедрения на объекте

автоматизации. Особенность процедуры тематических исследований предполагает фиксацию структур баз данных (БД). Это ограничение весьма существенно, так как коммерческие системы электронного документооборота (СЭД), присутствующие на рынке РФ в качестве базового архитектурного принципа предполагают добавление новых и изменение структуры существующих таблиц реляционной базы.

Несмотря на наличие на рынке базового защищенного специального программного обеспечения (СПО) для работы с государственной тайной в виде защищенных операционных систем («АстраЛинукс», «Синтез», «АльтЛинукс»), решение задач защищенного электронного документооборота на сегодня фрагментарно. Анализ присутствующего на рынке СПО говорит об отсутствии решения, учитывающего требования ГОСТ Р 51583-2014. Указанные соображения определяют актуальность настоящего исследования.

Дальнейшая часть работы организована следующим образом. В разделе 1 статьи описываются основные функции и требования к ЗСЭД на основе анализа ведомственных инструкций по секретному делопроизводству с учетом требований ГОСТ Р 51583-2014. В разделе 2 приводится анализ реализации перечисленных в разделе 1 функций существующими решениями в области защищенного документооборота. В разделе 3 приводится описание перспективных компонентов ЗСЭД, которые могут обеспечить более полную реализацию указанных функций.

1 Основные задачи ЗСЭД

В настоящее время автоматизация делопроизводства обеспечивает реализацию следующих задач:

- подготовка и доведение приказов, директив, распоряжений с контролем их исполнения;

- официальный обмен служебными документами;

- служебный обмен информацией (сообщениями) между пользователями системы.

На основе нормативных ГОСТ и инструкций по секретному производству, обеспечение решения указанных задач осуществляется следующими функциями:

- учет и хранение образов секретных документов, за счет реализации контролируемого журналируемого доступа к образам документов. Эта функция также включает обеспечение контролируемого сканирования, размножения и печати образов документов. Хранение должно осуществляться с учетом возможности организации дифференцированного доступа к информации на основе дискреционной и мандатной модели разграничения доступа. Все операции в хранилище документов должны быть контролируемы. Поэтому ЗСЭД должна предоставлять сертифицированный механизма аудита действий пользователей с образами документов. В число контролируемых операций должны входить не только создание, копирование и перемещение файлов образов, но и сканирование/печать. В ЗСЭД должен быть реализован контроль неявного копирования цифрового образа документа (например, исключение долговременного сохранения образа документа в кэше на рабочем месте);

- обеспечение контроля процессов документооборота, за счет реализации электронной канцелярии и возможности поддержки всех реквизитов регистрационно-контрольных карточек (форм) на всех стадиях жизненного цикла документа. ЗСЭД должна иметь возможность настройки форм электронного документооборота за счет возможности корректировки структуры журналов делопроизводства и форм карточек документов. Этот функционал должен, по возможности, осуществляться без изменения структуры базы данных СЭД, так как любое такое изменение приводит к необходимости повторной сертификации. Для данных функций важна фиксация базовой схемы данных СЭД, так как любое изменение структуры базы может потребовать повторной сертификации решения;

– реализация технологии настраиваемых рабочих процессов, обеспечивающих автоматизацию движения секретного документа при многоэтапной его обработке (согласование и утверждение, рассмотрение, ознакомление подразделения и пр.). При этом, как и в предыдущем случае, важно, чтобы изменение описания рабочих процессов документооборота не приводило к изменению структуры таблиц базы данных. Вторым немаловажным требованием является необходимость верификации создаваемых описаний рабочих процессов во избежание утечек информации при развертывании рабочих процессов в ЗСЭД;

– возможность централизованного администрирования СЭД на всех уровнях объекта автоматизации (добавление новых пользователей и подразделений);

– контроль исполнения документов, за счет поддержки оперативной аналитики рабочих процессов документооборота, включающей непосредственно контроль исполнительской дисциплины (контроль времени исполнения задания);

– повышение оперативности обмена информацией и доведения документов до исполнителей, за счет интеграции СЭД с сертифицированными средствами инфокоммуникационного взаимодействия (защищенной шины). Возможность организации распределенного документооборота. К этой группе функций также относится требование ГОСТ Р 51583-2014 по изолированному (в различных пространствах оперативной памяти) передаче и обработке данных образов документов;

– поддержка механизмов цифровой подписи [5-7] в полной мере по сведениям, имеющимся у авторов для ЗСЭД, пока не реализуется по причине отсутствия сертифицированных средств усиленной квалифицированной ЭЦП. На данный момент можно говорить лишь о контроле целостности электронных документов.

2 Сравнение существующих решений СЭД

В настоящее время на рынке СЭД с перспективой расширения до ЗСЭД представлены следующие решения:

- СЭД «Бюрократ» (разработчик – ИВК);
- СЭД «Пергамент» (разработчик – НПО ВС);
- СЭД «Docsvision» («ДоксВижн», г. Москва);
- СЭД разработки ПАО «Интелтех», г. Санкт-Петербург;
- СЭД «Тезис» (Haulmont, г. Самара).

Проведем сравнение (табл. 1) указанных СЭД по сформированным в разделе 1 требованиям.

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что контролируемую среду работы с образами документов поддерживают лишь специализированные системы (СЭД «Интелтех», «Пергамент», «Бюрократ»), в то время как для других СЭД, пришедших из незащищенного сегмента рынка данный функционал в принципе не характерен. Это же относится и к настройке СЭД в части типов электронных карточек и журналов. Зачастую проще и быстрее под каждый справочник или тип карточки создать отдельную таблицу в базе данных СЭД воспользовавшись, например, средствами объектно-реляционного отображения *ORM* (платформа *CUDA* в СЭД «Тезис» и «Бюрократ»), чем реализовывать более медленную и сложную документо-реляционную схему.

В части организации распределенного документооборота основной тенденцией является реализация в СЭД протоколов межведомственного обмена (МЭДО, СМЭВ) с попыткой перенесения задела на защищенный документооборот. Хотя по ряду положений концепция передачи разнородной (по секретности) информации через единую среду обмена (без изоляции пространств обмена) противоречит ГОСТ Р 51583-2014.

Таблица 1 – Сравнение решений в области защищенного электронного документооборота

	«Бюрократ»	«Пеграмент»	Docsvision	«Тезис»	«Интелтех»
Платформа	AltLinux	AstraLinux	Windows (сервер)	AstraLinux	AstraLinux
Учет и хранение образов электронных документов с аудитом доступа к ним	Поддерживается средствами ИВК «Юпитер»	Поддерживается	Поддерживается частично в части файлового хранилища без сертифицированного аудита.	Не поддерживается	Поддерживается
Контроль сканирования и размножения, работа со штрихкодами	Поддерживается работа со штрихкодами.	Поддерживается контроль размножения. Штрихкоды не поддерживаются	Только штрихкоды	Только штрихкоды	Поддерживается частично в части контроля размножения электронных образов
Ведение журналов и электронных карточек документооборота с возможностью модификации их структуры	Поддерживается, но требует повторной тематики	Поддерживается без возможности модификации карточек и журналов	Поддерживается, но требует повторной тематики	Поддерживается, но требует повторной тематики	Поддерживается
Настраиваемые верифицируемые рабочие процессы документооборота (управление рабочими процессами)	Поддерживается без возможности верификации	Не поддерживается	Поддерживается без верификации описаний	Поддерживается без верификации описаний	Поддерживается частично в виде механизма блочно-структурированного описания рабочих процессов
Межуровневый обмен электронными документами с изолированными для субъектов пространствами обмена	Поддерживается в виде ИВК «Юпитер»	Не поддерживается	Не поддерживается	Не поддерживается	Поддерживается
Контроль целостности электронных документов (вычисление хэша по ГОСТ Р 34.11-2012)	Поддерживается	Поддерживается	Поддерживается	Поддерживается	Поддерживается

3 Компоненты перспективной СЗЭД

Согласно ГОСТ Р 51583-2014 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении», данные различных групп пользователей должны обрабатываться различными модулями (процессами) с изолированными друг от друга адресными пространствами. Экономически целесообразно имеющимися средствами базового СПО реализовать это за счет использования виртуальных рабочих мест (АРМ) и серверов ЗСЭД, выделяемых на группы пользователей при общей БД с мандатным разграничением доступа для изоляции хранения. Это в полной мере обеспечит требование изоляции по хранению и обработке данных. В дальнейшем изложении будем исходить из того, что сервера и АРМы в перспективной системе представлены виртуальными машинами.

Рассмотрим вопросы организации учета образов документов и файлов-бланков проектов документов.

Эффективная работа с проектом документа возможна только при помощи текстового процессора, который в любом случае работает с файловой системой. По этой причине хранение образа проекта документа в реляционной СУБД будет требовать этапа копирования в файловую систему. Требование аудита любых действий с образами, особенно размножения и формирования выписок, налагаемых инструкциями по секретному делопроизводству делают такое решение крайне сложным.

Возможным решением является раздельное хранение регистрационно-учетной информации (карточек) в реляционной СУБД и образов документов в файловой системе. Требования аудита в последнем случае могут быть выполнены специальными средствами, входящими в состав защищенной операционной системы (ОС) «АстраЛинукс» в рамках создания защищенной файловой среды.

В таком случае, каждому пользователю администратором безопасности может быть в файловой системе выделена папка (электронный портфель) с ограниченным набором прав на создание и копирование в ней образов документов (рис. 1).

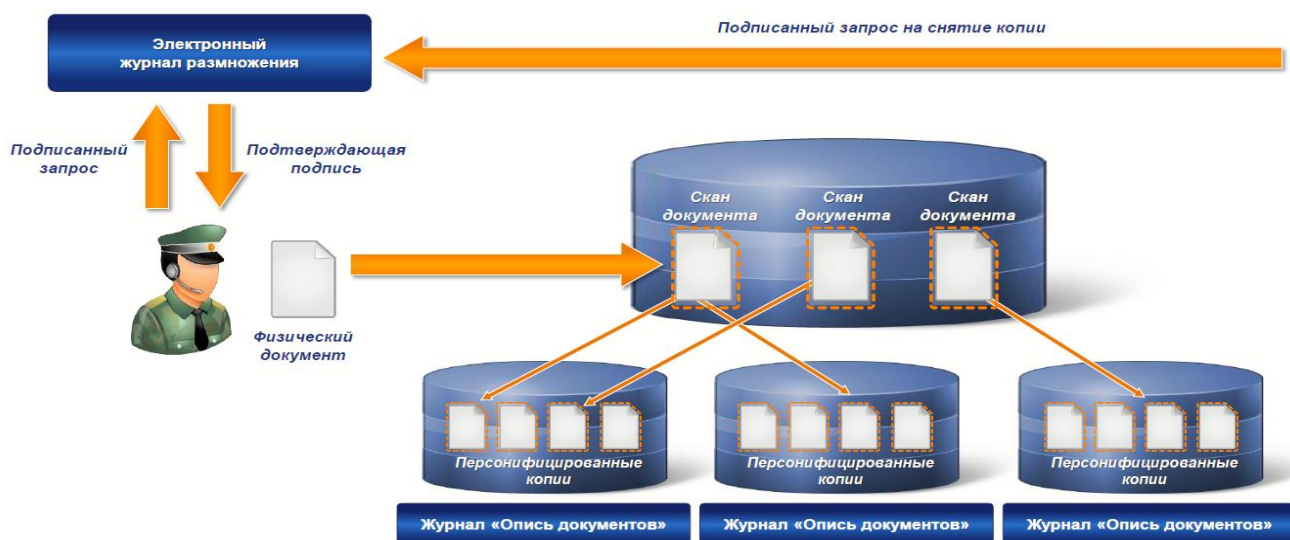


Рис. 1. Работа с электронными портфелями

При запросе пользователем доступа к документу, в соответствующий журнал делопроизводства заносится запись с подписью пользователя и ответственного за секретное делопроизводство.

Работа нескольких пользователей с одним документом будет сводиться к явному или неявному копированию его образа на рабочие места, что тоже должно быть регламентировано. Распространение смартфонов со встроенными фотокамерами значительно усложняет эту задачу. Изъятие телефонов при входе в специальное помещение не всегда возможно, по тем или иным причинам. Поэтому необходимо привязывать (персонализировать) копию запрашиваемого документа к сессии пользователя для обеспечения расследования фактов несанкционированного копирования (рис. 2).

Технически указанная операция персонализации копии документа может быть произведена средствами стеганографии, посредством включения в выдаваемый образ документа теневого штрих-кода (см. рис. 3). При этом, очевидно распознаваемый фрагмент документа должен покрываться штрих-кодом, исходя из семантически-значимой средней единицы (3-4 слова). В случае фотокопирования какой-либо части документа, идентификатор сессии может быть восстановлен посредством наложения на изображение фильтров и последующее распознавание кода.

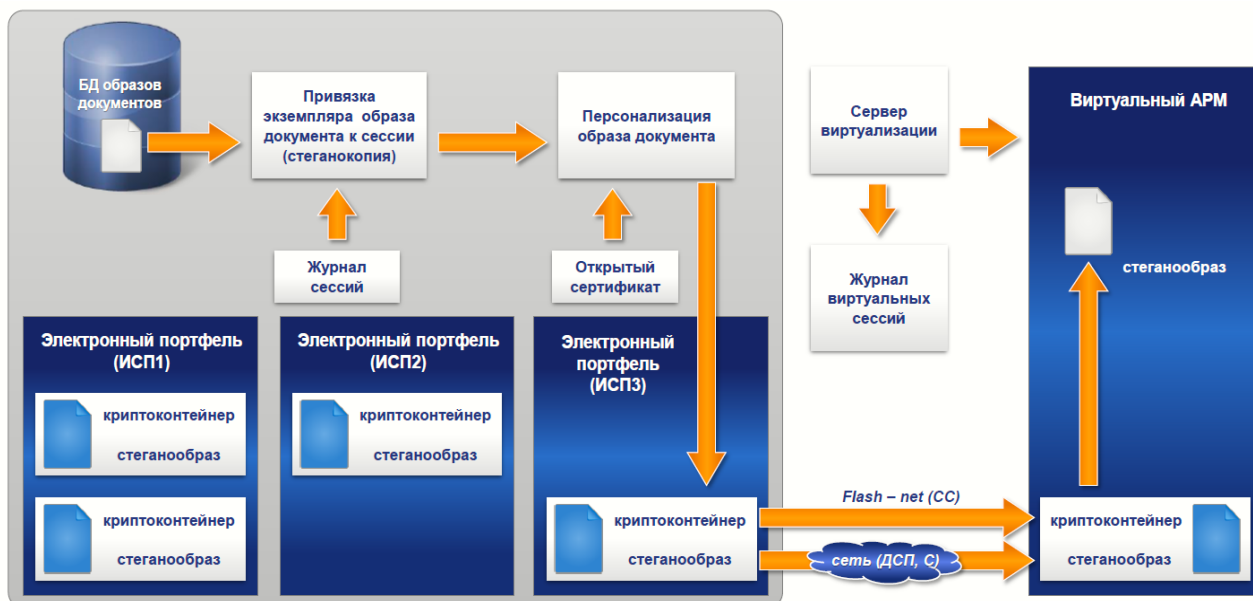


Рис. 2. Работа с криптопортфелями в СЗЭД



Крипто-контейнер предназначен для передачи персоналицированного образа секретного документа на АРМ сотрудника через телекоммуникационную сеть или на сменном носителе

Рис. 3. Формирование персоналицированных копий в СЗЭД

В соответствии с инструкциями по секретному делопроизводству, должна осуществляться фиксация факта работы с копией документа, что может быть произведено средствами контролируемой файловой системы защищенной ОС [8].

Сложившаяся практика адаптации платформ СЭД к объектам автоматизации основана на концептуальном моделировании предметной области (организационно-штатной структуры, приказов по документообороту) в виде справочников.

Рассмотрим основные особенности организации подсистемы справочников в защищенной СЭД. Справочники представляют собой структурированные хранилища условно-постоянной информации. Каждый справочник характеризуется наборами реквизитов базовых (число, дата, строка) и пользовательских (другие справочники) типов данных. Помимо этого, защищенный характер СЭД предполагает наличие обязательного поля «Цифровая подпись», обеспечивающего целостность и достоверность записи справочника.

Назовем основные задачи, решаемые защищенной подсистемой справочников:

- создание и редактирование справочников. Подсистема обеспечивает работу со структурой (метаописанием) справочников: создание новых справочников и добавление/удаление в справочники реквизитов;
- связывание справочников и навигация по структуре связанных справочников. Записи других справочников связаны с текущей записью, если текущая запись используется в других справочниках;
- просмотр, добавление, модификация и поиск записей в справочниках;
- контроль актуальности и целостности запрашиваемой информации относительно сроков действия и электронной цифровой подписи (ЭЦП), ограничивающий использование записи в отчетах и других справочниках;
- разграничение пользователей и групп по доступу к справочникам. Права могут назначаться на справочник в целом и на его отдельные записи;
- организация распределенной работы системы на нескольких серверах в случае, когда доступ к центральному серверу в режиме постоянного подключения невозможно.

Упомянутая выше проблема фиксированной структуры базы данных на момент проведения сертификации решения создает ряд вопросов по жизненному циклу ЗСЭД. В случае, если объектами доступа в матрице разграничения доступа являются справочники и виды карточек, то всякий раз, добавляя новый справочник (например, для интеграции с какой-либо внешней системой), становится необходимым проведение новых тематических исследований. Проблема может быть решена, если объектом доступа становится группа записей одной таблицы при их дополнении метаописанием, необходимых для их интерпретации. Основная проблема состоит в возможности настраиваемого представления регистрационно-контрольной карточки или записи справочника. Среди возможных вариантов решения может быть предварительное выделение «про запас» колонок в таблице хранения записей справочников, хранение настраиваемых атрибутов в отдельной таблице, а также использование для хранения документ-ориентированных хранилищ. Последнее представляется наиболее рациональным по причине разумного компромисса между гибкостью и приемлемым снижением скорости выборки данных. Подход становится более привлекательным в связи с гибридным реляционно-документным характером современных СУБД. В частности, СУБД *Postgres* позволяет создавать в таблицах структурированные *json*-типы при возможности обращения в запросах к отдельным тегам структурированного типа.

Рассмотрим подходы моделирования и защищенного контроля исполнения регламентов (рабочих процессов). Частью любой современной СЭД является подсистема управления рабочими процессами (машина исполнения рабочих процессов). В качестве машины исполнения могут использоваться как готовые проприетарные решения на основе *JBPM (Activiti, Camunda* и пр.), так и собственные разработки. Однако, в случае СЗЭД, по причине требований по защите информации при совместном исполнении заданий рабочего процесса пользователями различных групп должны учитываться права на доступ к отдельным атрибутам и правила их обработки. Реализоваться данный механизм должен сугубо средствами разрешенных регулятором программных средств защиты информации. Практика показывает, что в таком случае объем модификаций существующей машины исполнения соизмерим с разработкой «с нуля», т. к. данные требования влияют на самые базовые механизмы чтения и записи атрибутов и передачи управления между различными пользователями. Наиболее перспективным представляется блочно-структурированный подход к описанию бизнес-процессов [9]. Одними из неоспоримых его преимуществ является возможность задания только логически корректных описаний и достаточная простота [10] реализации встроенного редактора.

Выводы

1. В настоящее время на рынке отсутствует СЗЭД, в полной мере реализующая требования ГОСТ Р 51583-2014.
2. Основными требованиями к СЗЭД являются контроль за размножением и доступом к образам документов, а также возможности адаптации СЗЭД к изменению нормативной базы документооборота.
3. Адаптация существующих незащищенных СЭД к требованиям ГОСТ Р 51583-2014 охватывает базовые архитектурные механизмы, что может быть сопряжено с затратами, сопоставимыми с созданием новой системы.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 15489-1-2007. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Управление документами. Общие требования. Введ. 2007-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2007.
2. Андреева В.И. Делопроизводство. Изд. 6-е, перераб. и доп. – М.: ЗАО "Бизнес-школа "Интел-Синтез", 2005.
3. Документы и делопроизводство: Справочное пособие / Т.В. Кузнецова, М.Т. Лихачев, А.Л. Райхцаум, А.В. Соколов / Сост. М.Т. Лихачев. М.: Экономика, 2005.
4. ГОСТ Р 51583-2014 Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения. Росстандарт, 2014.
5. Федеральный закон от 06.04.2011 N 63-ФЗ "Об электронной подписи". 2013.
6. ГОСТ Р 34.10-2012. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи. Госстандарт России 2012.
7. ГОСТ Р 34.11-2012. Функция хэширования. Госстандарт России. 2012.
8. Буренин П.В., Девянин П.Н., Лебеденко Е.В. и др. Операционная система специального назначения Astra Linux. 3-е издание, перераб. и доп. М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 404 с.
9. Васильев Н.В., Яшин А.И., Довжиков С.Н. Интеграция средств анализа и исполнения бизнес-процессов на основе блочного подхода. Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 6. С. 60-68.
10. Vasiliev N.V., Yashin A.I. and Dovzhikov S.N., "A Simple Engine for the Execution and Analysis of Block-structured Business Processes," 2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). 2020. Pp. 1-4. DOI: 10.1109/MECO49872.2020.9134316.

References

1. GOST R ISO 15489-1-2007. *Sistema standartov po informacii, bibliotechnomu i izdatel'skomu delu. Upravlenie dokumentami. Obshchie trebovaniya* [System of standards on information, librarianship and publishing. Document management. General requirements]. Introduction 2007-01-01. – М.: IPK Standards Publishing House, 2007 (in Russian).
2. Andreeva V.I. Office work. 6th edition, revised. and additional . Moscow. CJSC "Business School "Intel-Sintez", 2005 (in Russian).
3. *Dokumenty i deloproizvodstvo: Spravochnoe posobie* [Documents and office work: Reference manual]. T.V. Kuznetsova, M.T. Likhachev, A.L. Reichzaum, A.V. Sokolov / Compiled by M.T. Likhachev. Moscow. Economics, 2005 (in Russian).
4. GOST R 51583-2014 *Zashchita informacii. Poryadok sozdaniya avtomatizirovannykh sistem v zashchishchennom ispolnenii. Obshchie polozheniya* [Information security. The order of creation of automated systems in protected execution. General provisions]. Rosstandart, 2014 (in Russian).
5. Federal Law No. 63-FZ of April 6, 2011 "On Electronic Signature". 2013 (in Russian).
6. GOST R 34.10-2012. *Processy formirovaniya i proverki elektronnoj cifrovoj podpisi* [Processes of formation and verification of electronic digital signature]. Gosstandart of Russia 2012 (in Russian).
7. GOST R 34.11-2012. Hash function. Gosstandart of Russia 2012 (in Russian).
8. Burenin P.V., Devyanin P.N., Lebedenko E.V. et al. *Operacionnaya sistema special'nogo naznacheniya Astra Linux* [Special-purpose operating system Astra Linux]. 3rd edition, revised. and additional М.: Hotline - Telecom, 2019. 404 p. ISBN 978-5-9912-0807-9 (in Russian).
9. Vasiliev N.V., Yashin A.I., Dovzhikov S.N. *Integraciya sredstv analiza i ispolneniya biznes-processov na osnove blochnogo podhoda. Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyah Zemli*

[Integration of tools for analysis and execution of business processes based on a block approach. Science-intensive technologies in space exploration of the Earth]. 2021. V. 13. No. 6. Pp. 60-68 (in Russian).

10. Vasiliev N.V., Yashin A.I. and Dovzhikov S.N., "A Simple Engine for the Execution and Analysis of Block-structured Business Processes," 2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/MECO49872.2020.9134316.

Статья поступила 28 июня 2022 г.

Информация об авторах

Васильев Николай Владимирович – Начальник сектора ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук. E-mail: vasilievnv@inteltech.ru.

Титов Григорий Сергеевич – Начальник отдела ПАО «Интелтех». E-mail: titov@inteltech.ru.

Раков Игорь Васильевич – Заместитель директора ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук. E-mail: i.rakov@inteltech.ru.

Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8. Тел. +7 (812) 448-19-01.

Technologies for building secret electronic document management systems

N.V. Vasiliev, G.S. Titov, I.V. Rakov

Annotation. *In connection with the changing nature and conditions of the conduct of modern wars and combat operations, the requirements for increasing the efficiency of the command and control system of troops and weapons are increasing. In modern conditions, the success of military operations is determined not only by the balance of forces and means, but also by the quality of control, based, among other things, on timely received data processed using automated military information systems. The constant increase in the amount of information required in the course of command and control of troops leads to an increase in the requirements for the efficiency of such systems. In order to fulfill these requirements, as well as the timely fulfillment of tasks by military command and control bodies in the Ministry of Defense of the Russian Federation, automated information systems for electronic document management in a secure design are used. The main purpose of these systems is the organization of workflow, storage of images of electronic documents and work with them. At the same time, in order to maintain the effective operation of such systems, a whole range of tasks arises to ensure the security of metadata and images of electronic documents processed by secure document management systems. This issue is especially relevant, since the main source of threats to the security of information circulating in them is an insider, both as a result of deliberate actions and due to errors caused by the human factor. The purpose of this article is to analyze existing and promising technologies for building secure electronic document management systems. The work uses the scientific and methodological apparatus of system analysis. The scientific novelty of the work lies in the analysis of the degree of implementation of special requirements by modern secure electronic document management systems, the formation of the concept of a digital portfolio and a secure environment for working with document images. The practical significance of the work lies in the formation of a methodological basis for building secure electronic document management systems*

Keywords: *secure electronic document management systems, workflows, electronic digital signature, electronic images of documents, digital portfolios.*

Information about the author

Nikolai Vladimirovich Vasiliev – Head of the sector of PJSC «Inteltech». Candidate of Technical Sciences. E-mail: vasilievnv@inteltech.ru.

Grigory Sergeevich Titov – Head of the department of PJSC «Inteltech». E-mail: titov@inteltech.ru.

Igor Vasilievich Rakov – Deputy Director of PJSC «Inteltech». Candidate of Technical Sciences. E-mail: i.rakov@inteltech.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8.

Для цитирования: Васильев Н.В., Титов Г.С., Раков И.В. Технологии построения систем защищенного электронного документооборота // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С. 53-61. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-53-61.

For citation: Vasiliev N.V., Titov G.S., Rakov I.V. Technologies for building secret electronic document management systems. Means of Communication Equipment. 2022. No. 2 (158). Pp. 53-61. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-53-61 (in Russian).

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 519.254

DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-62-68

Исследование свойств оконных функций в приложении к синтезу цифровых фильтров методом окон

Вознесенский А.С., Миненков Д.В., Гульванский В.В., Антонов С.А., Каплун Д.И.

Аннотация: Рассмотрен метод синтеза цифровых фильтров с помощью наиболее часто используемых оконных функций Хэмминга, Кайзера, Гаусса, Ханна, Блэкмена-Харриса, Наталла, Бомена и Парзена. Исследованы такие показатели, как размер занимаемой памяти каждой оконной функцией, а также скорость синтеза цифрового фильтра в зависимости от его порядка от 1 до 512. Даны рекомендации по использованию оконных функций для синтеза цифровых фильтров при их аппаратной реализации на программно-логических интегральных схемах. Математическое моделирование выполнено в среде MATLAB. Метод синтеза цифровых фильтров с использованием оконных функций позволяет значительно сократить размер занимаемой памяти. Для окон Ханна, Бомена и Парзена и порядка фильтра 512 выигрыш составляет $512 \cdot 8/4 = 1024$ раз. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Госзадание» №075-01024-21-02 от 29.09.2021 (проект FSEE-2021-0015).

Ключевые слова: оконная функция, цифровой фильтр, синтез фильтров, память, постоянное запоминающее устройство, оперативное запоминающее устройство, программируемая логическая интегральная схема.

Классический цифровой фильтр можно представить следующим разностным уравнением [1]:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i x(n-i) + \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k). \quad (1)$$

где n – номер отсчёта, $x(n)$ – воздействие на систему, $y(n)$ – реакция системы, N – число элементов системы, M – число рекурсивных элементов системы, a_k, b_i – параметры системы (коэффициенты).

Как видно из выражения (1), цифровой фильтр может быть полностью описан своими коэффициентами. На данный момент существуют различные методы аппаратной и программной реализации цифровых фильтров. При этом цифровой фильтр, реализованный на аппаратной платформе, работает значительно быстрее, чем фильтр, выполненный программным способом. В свою очередь, аппаратная реализация цифровых фильтров использует два вида платформ – цифровые процессоры обработки сигналов (ЦПОС) и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) [2]. В данной статье будет рассматриваться реализация цифровых фильтров на ПЛИС.

Исходя из формулы (1), отсчёты входного сигнала умножают на коэффициенты фильтра. Поскольку фильтр однозначно определяется своими коэффициентами, для хранения фильтра в памяти ПЛИС достаточно хранить его коэффициенты. При этом порядок фильтра может быть большим, и коэффициенты будут занимать большой объём памяти при использовании фильтра. Для примера, если предположить, что один коэффициент имеет тип данных *float* и занимает 8 байт, то для фильтра 8-го порядка понадобится 64 байта, что для ПЛИС является достаточно большим объёмом. Также стоит учесть, что ПЛИС, помимо оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), обладает постоянным запоминающим устройством (ПЗУ), где хранятся коэффициенты фильтра (и другая информация), когда они не используются, а также, если количество доступной оперативной памяти (ОЗУ) не хватает для хранения всех коэффициентов. Тем не менее, размер ПЗУ также ограничен, и помимо коэффициентов цифровых фильтров должен хранить множество другой информации, используемой при работе ПЛИС [2].

Таким образом, возникает задача минимизации количества затрачиваемой на хранение цифровых фильтров памяти. Одним из методов минимизации требуемой фильтру памяти является метод синтеза фильтров с помощью оконных функций. Данный метод предполагает синтез фильтра через оконную функцию и идеальную импульсную характеристику (ИХ) требуемого фильтра (нижних или верхних частот).

Для примера, рассмотрим фильтр нижних частот (ФНЧ). Его идеальная ИХ выглядит следующим образом:

$$h_0(n) = \frac{\sin(\omega_c n)}{\pi n} \quad (2)$$

где ω_c – частота среза ФНЧ.

При этом ИХ реального ФНЧ выражается через оконную функцию следующим образом [1]:

$$h(n) = w(n)h_0(n), \quad 0 \leq n \leq N, \quad (3)$$

где $w(n)$ – оконная функция, h_0 – идеальная ИХ, N – длина окна.

Далее, подставляя функцию выбранного окна, можно получить выражение для искомого фильтра. В предположении, что мы выбрали окно Хэмминга, которое имеет следующую формулу:

$$W(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right), \quad 0 \leq n \leq N, \quad (4)$$

получим выражение для ИХ ФНЧ:

$$h(n) = \left(0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)\right) \frac{\sin(\omega_c n)}{\pi n}, \quad 0 \leq n \leq N, \quad (5)$$

Как видно из полученной формулы ИХ ФНЧ (5), требуется хранить в памяти ПЛИС 3 значения: 0.54 (*float*, 8 байт), 0.46 (*float*, 8 байт), N (*int*, 4 байта). Для этих трёх значений требуется всего 20 байт. Если предположить, что размер окна составлял бы 10 ($N=10$), то для хранения в памяти его коэффициентов понадобилось бы 10 значений коэффициентов, на что потребовалось бы 80 байт памяти (учитывая, что коэффициенты имеют тип *float*, который занимает 8 байтов памяти). Недостаток данного метода состоит в том, что синтез фильтра с помощью оконных функций занимает больше времени, чем непосредственное использование коэффициентов фильтра. Таким образом, требуется подобрать такую оконную функцию для синтеза, чтобы она требовала минимум памяти, и при этом синтез фильтра на её основе происходил достаточно быстро.

Далее будут рассмотрены восемь наиболее часто используемых оконных функций [3-8], рассмотрены их свойства и характеристики, такие как требуемая память и скорость синтеза фильтра (НЧ) на их основе.

Окно Хэмминга. Коэффициент подавления лепестков: 0.04 %.

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right), \quad 0 \leq n \leq N \quad (6)$$

Расчёт необходимой памяти при использовании окна Хэмминга приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Расчёт необходимой памяти при использовании окна Хэмминга

Тип	Значение	Комментарий
<i>float</i>	0.54	Постоянный коэффициент
<i>float</i>	0.46	Постоянный коэффициент
<i>int</i>	N	Размерность окна
Итого: 20 байт		

Окно Кайзера. Коэффициент подавления лепестков: 0.09 %.

$$w(n) = \frac{I_0 \left(\beta \sqrt{1 - \left(\frac{n - N/2}{N/2} \right)^2} \right)}{I_0(\beta)}; \quad 0 \leq n \leq N \quad (7)$$

где I_0 – функция Бесселя первого рода нулевого порядка, β – коэффициент подавления лепестков.

Расчёт необходимой памяти при использовании окна Кайзера приведен в табл. 2.

Таблица 2 – Расчёт необходимой памяти при использовании окна Кайзера

Тип	Значение	Комментарий
float	β	Коэффициент подавления лепестков
Итого: 8 байт		

Окно Гаусса. Коэффициент подавления лепестков: 0.01 %.

$$w(n) = e^{-\frac{1}{2} \left(\alpha \frac{n}{(L-1)/2} \right)^2} = e^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}}; \quad \alpha \sim 1/\sigma; \quad \sigma = (L-1)/2\alpha; \quad -(L-1)/2 \leq n \leq (L-1)/2. \quad (8)$$

Расчёт необходимой памяти при использовании окна Гаусса приведен в табл. 3.

Таблица 3 – Расчёт необходимой памяти при использовании окна Гаусса

Тип	Значение	Комментарий
float	α	Ширина окна
int	N	Размерность окна
Итого: 12 байт		

Окно Ханна. Коэффициент подавления лепестков: 0.05 %.

$$w(n) = 0.5 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi n}{N} \right) \right); \quad 0 \leq n \leq N. \quad (9)$$

Расчёт необходимой памяти при использовании окна Ханна приведен в табл. 4.

Таблица 4 – Расчёт необходимой памяти при использовании окна Ханна

Тип	Значение	Комментарий
int	N	Размерность окна
Итого: 4 байта		

Окно Блэкмена-Харриса. Коэффициент подавления лепестков: 0.00 %.

$$w(n) = a_0 - a_1 \cos \left(\frac{2\pi n}{N} \right) + a_2 \cos \left(\frac{4\pi n}{N} \right) - a_3 \cos \left(\frac{6\pi n}{N} \right); \quad 0 \leq n \leq N-1; \quad (10)$$

$$a_0 = 0.35875; \quad a_1 = 0.48829; \quad a_2 = 0.14128; \quad a_3 = 0.01168.$$

Расчёт необходимой памяти при использовании окна Блэкмена-Харриса показан в табл. 5.

Таблица 5 – Расчёт необходимой памяти при использовании окна Блэкмена-Харриса

Тип	Значение	Комментарий
int	N	Размерность окна
float	a_0	Первый коэффициент
float	a_1	Второй коэффициент
float	a_2	Третий коэффициент
float	a_3	Четвёртый коэффициент
Итого: 36 байт		

Окно Наталла. Коэффициент подавления лепестков: 0.00 %.

$$w(n) = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) - a_3 \cos\left(\frac{6\pi n}{N}\right); \quad 0 \leq n \leq N-1; \quad (11)$$

$$a_0 = 0.3635819; \quad a_1 = 0.4891775; \quad a_2 = 0.1365995; \quad a_3 = 0.0106411.$$

Расчёт необходимой памяти при использовании окна Наталла приведен в табл. 6.

Таблица 6 – Расчёт необходимой памяти при использовании окна Наталла

Тип	Значение	Комментарий
<i>int</i>	N	Размерность окна
<i>float</i>	a_0	Первый коэффициент
<i>float</i>	a_1	Второй коэффициент
<i>float</i>	a_2	Третий коэффициент
<i>float</i>	a_3	Четвёртый коэффициент
Итого: 36 байт		

Окно Бомена. Коэффициент подавления лепестков: 0.00 %.

$$w(x) = (1 - |x|) \cos(\pi |x|) + \frac{1}{\pi} \sin(\pi |x|); \quad -1 \leq x \leq 1. \quad (12)$$

Расчёт необходимой памяти при использовании окна Бомена показан в табл. 7.

Таблица 7 – Расчёт необходимой памяти при использовании окна Бомена

Тип	Значение	Комментарий
<i>int</i>	N	Размерность окна
Итого: 4 байта		

Окно Парзена. Коэффициент подавления лепестков: 0.00 %.

$$w(n) = \begin{cases} 1 - 6 \left(\frac{|n|}{N/2}\right)^2 + 6 \left(\frac{|n|}{N/2}\right)^3; & 0 \leq |n| \leq \frac{N-1}{4} \\ 2 \left(1 - \frac{|n|}{N/2}\right)^3; & \frac{N-1}{4} < |n| \leq \frac{N-1}{2} \end{cases}; \quad -\frac{(N-1)}{2} \leq n \leq \frac{(N-1)}{2}. \quad (13)$$

Расчёт необходимой памяти при использовании окна Парзена приведен в табл. 8.

Таблица 8 – Расчёт необходимой памяти при использовании окна Парзена

Тип	Значение	Комментарий
<i>int</i>	N	Размерность окна
Итого: 4 байта		

Для наглядности, размеры занимаемой памяти каждым окном показаны на рис. 1.

Как видно из рис. 1, наименьшее количество памяти требуют окна Ханна, Бомена, Парзена (по 4 байта).

Далее, на рис. 2, показаны скорости синтеза фильтров для каждой оконной функции, в зависимости от порядка синтезируемого фильтра. Моделирование было выполнено на ПК со следующей конфигурацией: ОС Win 10 64-бит, ЦП Intel Core i7 Skylake 4.0 ГГц, ОЗУ DDR4

Kingston HyperX Fury 64 Гб 2.4 ГГц, видеокарта NVIDIA GeForce GTX 1080 1.7 ГГц DDR5 8 Гб 10ГГц, CUDA шейдеры 2560, MATLAB R2022b 64-бит.

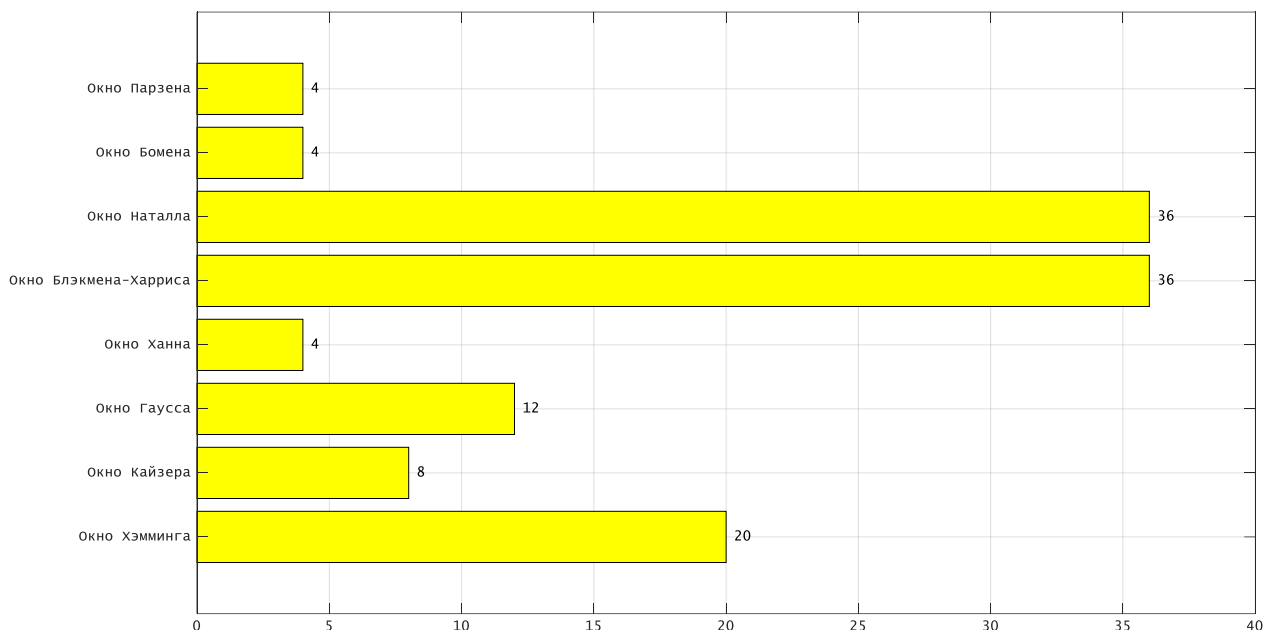


Рис. 1. Объём памяти, занимаемый оконными функциями (в байтах)



Рис. 2. Скорость синтеза цифровых фильтров порядков: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 с помощью оконных функций

Как видно из представленных графиков, для использования метода синтеза цифровых фильтров с помощью оконных функций рекомендуется использование оконных функций Ханна, Бомена и Парзена, так как они требуют наименьшее количество памяти для хранения их параметров (4 байта), и при этом не проигрывают по скорости синтеза фильтров остальным оконным функциям [3-8].

Заключение

В статье проанализировано восемь наиболее часто используемых оконных функций при синтезе фильтров. В результате анализа получены такие характеристики, как объём занимаемой памяти каждой оконной функции, а также, на примере синтеза фильтра низких частот, время синтеза фильтра на основе данных оконных функций, в зависимости от порядка фильтра. В результате исследований выбраны три наилучших оконных функции – Ханна, Бомена и Парзена, которые требуют наименьшего количества памяти для хранения параметров (по 4 байта каждая), а скорость синтеза фильтров с их помощью показывает значения не хуже, чем остальные исследованные окна.

Литература

1. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов, 3-е изд.: Учебное пособие – СПб.: БХВ – Петербург, 2011 – 768 с.
2. Каплун, Д.И. Применение метода симметрирования АЧХ при синтезе нерекурсивных цифровых фильтров. Д.И. Каплун, Т.В. Меркучева // Научно-технические ведомости СПб ГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. №2. С.104–110.
3. Digital Signal Processing Committee of the IEEE Acoustics, Speech, and Signal Processing Society, eds. *Programs for Digital Signal Processing*. New York: IEEE Press, 1979, Algorithm 5.2.
4. Oppenheim, Alan V., Ronald W. Schafer, and John R. Buck. *Discrete-Time Signal Processing*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
5. Hansen, Eric W. *Fourier Transforms: Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons, 2014.
6. Nuttall, Albert H. "Some Windows with Very Good Sidelobe Behavior." *IEEE® Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. Vol. ASSP-29, February 1981, pp. 84–91.
7. Harris, Fredric J. "On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform." *Proceedings of the IEEE®*. Vol. 66, January 1978, pp. 51–83.
8. Kaiser, James F. "Nonrecursive Digital Filter Design Using the I_0 -Sinh Window Function." *Proceedings of the 1974 IEEE® International Symposium on Circuits and Systems*. April, 1974, pp. 20–23.

References

1. Sergienko, A.B. *Cifrovaya obrabotka signalov* [Digital Signal Processing] 3rd ed.: Textbook. St. Petersburg: BHV - Petersburg, 2011. 768 p. (in Russian).
2. Kaplun, D.I. *Primenenie metoda simmetrirovaniya ACHKH pri sinteze nerekursivnykh cifrovyykh fil'trov*. [Application of the method of frequency response balancing in the synthesis of non-recursive digital filters]. DI Kaplun, T.V. Merkucheva. Scientific and technical statements of St. Petersburg GPU. Informatics. Telecommunications. Management. 2009. №2. Pp.104-110 (in Russian).
3. Digital Signal Processing Committee of the IEEE Acoustics, Speech, and Signal Processing Society, eds. *Programs for Digital Signal Processing*. New York: IEEE Press, 1979, Algorithm 5.2.
4. Oppenheim, Alan V., Ronald W. Schafer, and John R. Buck. *Discrete-Time Signal Processing*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
5. Hansen, Eric W. *Fourier Transforms: Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons, 2014.
6. Nuttall, Albert H. "Some Windows with Very Good Sidelobe Behavior." *IEEE® Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. Vol. ASSP-29, February 1981, pp. 84–91.
7. Harris, Fredric J. "On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform." *Proceedings of the IEEE®*. Vol. 66, January 1978, pp. 51–83.
8. Kaiser, James F. "Nonrecursive Digital Filter Design Using the I_0 -Sinh Window Function." *Proceedings of the 1974 IEEE® International Symposium on Circuits and Systems*. April, 1974, pp. 20–23.

Статья поступила 29 июня 2022 г.

Информация об авторах

Вознесенский Александр Сергеевич – Младший научный сотрудник каф. АПУ СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: asvoznenskiy@etu.ru .

Миненков Дмитрий Владимирович – Младший научный сотрудник лаборатории ФОИС СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: dvminenkov@etu.ru .

Гульванский Вячеслав Викторович – Старший научный сотрудник лаборатории МИС СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: vvgulvanskii@etu.ru.

Антонов Сергей Андреевич – Младший научный сотрудник лаборатории ФОИС СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: sergeyantonov461@gmail.com.

Каплун Дмитрий Ильич – Доцент каф. АПУ СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: dikaplun@etu.ru.

Адрес: 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5, литера Ф.

Study of the properties of window functions in the appendix to the synthesis of digital filters by the window method

Voznesensky A.S., Minenkov D.V., Gulvansky V.V., Antonov S.A., Kaplun D.I.

Annotation. *The method of synthesizing digital filters using the most commonly used window functions of Hamming, Kaiser, Gauss, Hann, Blackman-Harris, Nuttall, Beaumain and Parzen has been considered. Indicators such as the size of the memory occupied by each window function, as well as the rate of synthesis of the digital filter, depending on its order from 1 to 512, have been investigated. Recommendations on the use of window functions for the synthesis of digital filters during their hardware implementation on FPGA are given. Mathematical modeling is performed in the MATLAB environment. The method of synthesizing digital filters using window functions significantly reduces the size of memory occupied. For the Hann, Bohman, and Parzen windows and filter order 512, the gain is $512 * 8/4 = 1024$ times. The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation "State Assignment" No. 075-01024-21-02 dated 29.09.2021 (project FSEE-2021-0015).*

Keywords: *window function, digital filter, filter synthesis, memory, read-only memory, random access memory, programmable logic integrated circuit.*

Information about the author

Alexander Sergeevich Voznesensky – Junior researcher, Department of Automation and Control Processes, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: asvoznenskiy@etu.ru .

Dmitrii Vladimirovich Minenkov – Junior researcher, fundamentals of intelligent systems lab, Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: dvminenkov@etu.ru.

Viacheslav Viktorovich Gulvanskii – Senior researcher, mobile intellectual systems lab, Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: vvgulvanskii@etu.ru.

Sergey Andreevich Antonov – Junior researcher, fundamentals of intelligent systems lab, Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI".

Dmitrii Il'ich Kaplun – Associate professor (Department of Automation and Control Processes) Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI". Тел.: +7 812 346-44-87. E-mail: dikaplun@etu.ru.

Address: 197022, Russia, St. Petersburg, st. Professor Popov, house 5, letter F.

Для цитирования: Вознесенский А.С., Миненков Д.В., Гульванский В.В., Антонов С.А., Каплун Д.И. Исследование свойств оконных функций в приложении к синтезу цифровых фильтров методом окон // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С. 62-68. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-62-68.

For citation: Voznesensky A.S., Minenkov D.V., Gulvansky V.V., Antonov S.A., Kaplun D.I. Study of the properties of window functions in the appendix to the synthesis of digital filters by the window method. Means of Communication Equipment. 2022. No. 2 (158). Pp. 62-68. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-62-68 (in Russian).

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 623.618.5

DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-69-76

**Концепция развития системы ремонта техники связи
и автоматизированных систем управления**

Мегера Ю.А.

***Аннотация:** В статье рассматриваются пути совершенствования системы ремонта техники связи и автоматизированных систем управления, что является важным и необходимым условием для качественного выполнения всего комплекса мероприятий технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления, а также обеспечения надёжного функционирования системы связи Вооружённых Сил Российской Федерации. Новые подходы к разработке средств связи и автоматизации, в целях дальнейшей реализации агрегатного метода ремонта и выполнения требований к комплексному показателю ремонтпригодности техники связи и автоматизированных систем управления. Переход к разработке и производству беспилотных летательных аппаратов военного назначения на качественно новом техническом уровне.*

***Ключевые слова:** техническое обеспечение, система ремонта, информационные технологии, техническая разведка, беспилотные летательные аппараты.*

Техническое обеспечение связи и автоматизированных систем управления (ТОС и АСУ) выделено в отдельный вид технического обеспечения и включает комплекс мероприятий, которые направлены на обеспечение войск техникой связи и АСУ (ТС и АСУ), поддержание её в исправном (работоспособном) состоянии и постоянной готовности к применению, восстановление и возвращение в строй при повреждениях и эксплуатационных отказах.

Выполнение указанных мероприятий возложено на систему ТОС и АСУ, которая является элементом системы военной связи, и представляет собой совокупность взаимоувязанных и согласованных по задачам органов управления, подсистем восстановления и снабжения различных звеньев управления. При этом состояние системы ТОС и АСУ находится в прямой зависимости от состава и технической оснащённости системы связи Вооружённых Сил Российской Федерации (ВС РФ), развитие которой требует постоянного совершенствования и адаптации сил и средств ТОС и АСУ к потребностям существующей и перспективной системы связи ВС РФ. Система ТОС и АСУ в своём развитии неразрывно связана со структурой войск связи, органов технического обеспечения и ВС РФ, в целом. Поэтому её структурное совершенствование является важным и необходимым условием для качественного выполнения всего комплекса мероприятий ТОС и АСУ и обеспечения надёжного функционирования системы связи Вооружённых Сил Российской Федерации [1].

Опыт боевого применения, боевой подготовки войск, а также результаты исследований свидетельствуют о том, что при сложившейся совокупности элементов, образующих систему ремонта ТС и АСУ соединений (частей) управления (связи), значительное влияние на эффективность данной системы оказывает организация процесса её функционирования. Для обеспечения требуемой оперативности решения задач войскового ремонта ТС и АСУ необходимо повысить степень автоматизации планово-производственной деятельности ремонтных органов системы войскового ремонта ТС и АСУ, основанные на:

– совершенствовании методов и средств, используемых для сбора, обработки и анализа информации о техническом состоянии ТС и АСУ на стадии эксплуатации и ремонта, поддержки принятия решений, контроля их выполнения;

– внедрении технологий информационной поддержки жизненного цикла изделия, что позволит создать единую информационную среду для заказчиков, разработчиков, производителей и потребителей вооружения.

Основные направления развития системы ремонта должны быть связаны с повышением эффективности процесса ремонта, за счет внедрения современных технологий, и позволяют выделить следующие основные направления и пути совершенствования системы ремонта ТС и АСУ:

- разработка нового технологического оборудования, принципов его применения в технологических процессах ремонта ТС и АСУ;
- создание внутренних и внешних автоматизированных средств диагностирования;
- разработка диагностического обеспечения (алгоритмов и программ диагностирования);
- определение оптимального количества запасов элементов и составных частей и распределение их в структуре системы ремонта;
- совершенствование процессов управления;
- повышение качества подготовки личного состава ремонтных органов;
- повышение взаимодействия тыловых и технических подразделений;
- обоснование требований по ремонтпригодности и надежности ТС и АСУ, исходя из современных оперативных требований.

Каждое из указанных направлений включает в себя взаимосвязанную совокупность задач и мероприятий по их реализации, положительное решение которых будет способствовать повышению эффективности функционирования системы ремонта [2].

Дальнейшая реализация агрегатного метода ремонта требует новых подходов к разработке средств связи и автоматизации в направлении формирования и выполнения требований по основным составляющим (свойствам) ремонтпригодности: контролепригодность, доступность, легкоосъемность, модульность, взаимозаменяемость и восстанавливаемость.

Система ремонта ТС и АСУ, с учетом отношений подчиненности в войсках, должна содержать три организационно-технических уровня иерархической структуры, в которой процесс ремонта будет реализован от начала до конца, то есть от возникновения отказа на образце ТС и АСУ, и его восстановления путем замены неработоспособного электронного модуля (ЭМ) на работоспособный до восстановления этого ЭМ в вышестоящих ремонтно-восстановительных органах [3] и отражена на рис. 1.

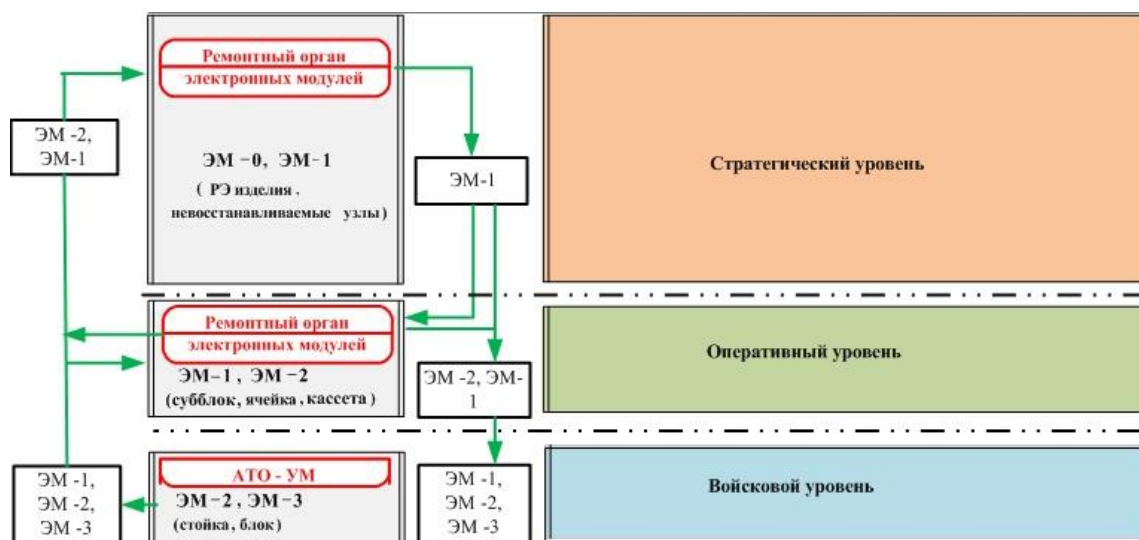


Рис.1. Структура системы ремонта ТС и АСУ с учетом уровня восстановления

Ремонтный орган из состава ремонтно-восстановительных подразделений (частей) всех уровней иерархии состоит из:

- каналов восстановления техники связи, включающих в себя специалистов по ремонту ТС и АСУ, а также необходимую техническую документацию;
- диагностического и специального оборудования;
- оборудования (монтажное, демонтажное и т. д.);
- запасных частей (комплекты ЗИП), ремонтных комплектов, необходимых для проведения ремонта;
- накопителя на выходе канала восстановления (места хранения неработоспособной техники связи (ЭМ));

На входе ремонтно-восстановительных подразделений (частей) всех уровней иерархии находится канал дефектации. По результатам дефектации, в зависимости от технического состояния техники связи (ЭМ), их можно разделить на:

- требующие проведения текущего ремонта;
- требующие проведения среднего ремонта;
- требующие проведения капитального ремонта;
- подлежащие отбраковке в связи с тем, что их восстановление технически неосуществимо или экономически нецелесообразно (безвозвратные потери).

Для оперативного и стратегического уровней иерархии системы ремонта необходимо включить ремонтный орган восстановления ЭМ, включающий в себя специалистов по ремонту ЭМ, диагностическое оборудование, а также необходимую техническую документацию, как показано на рис. 2.

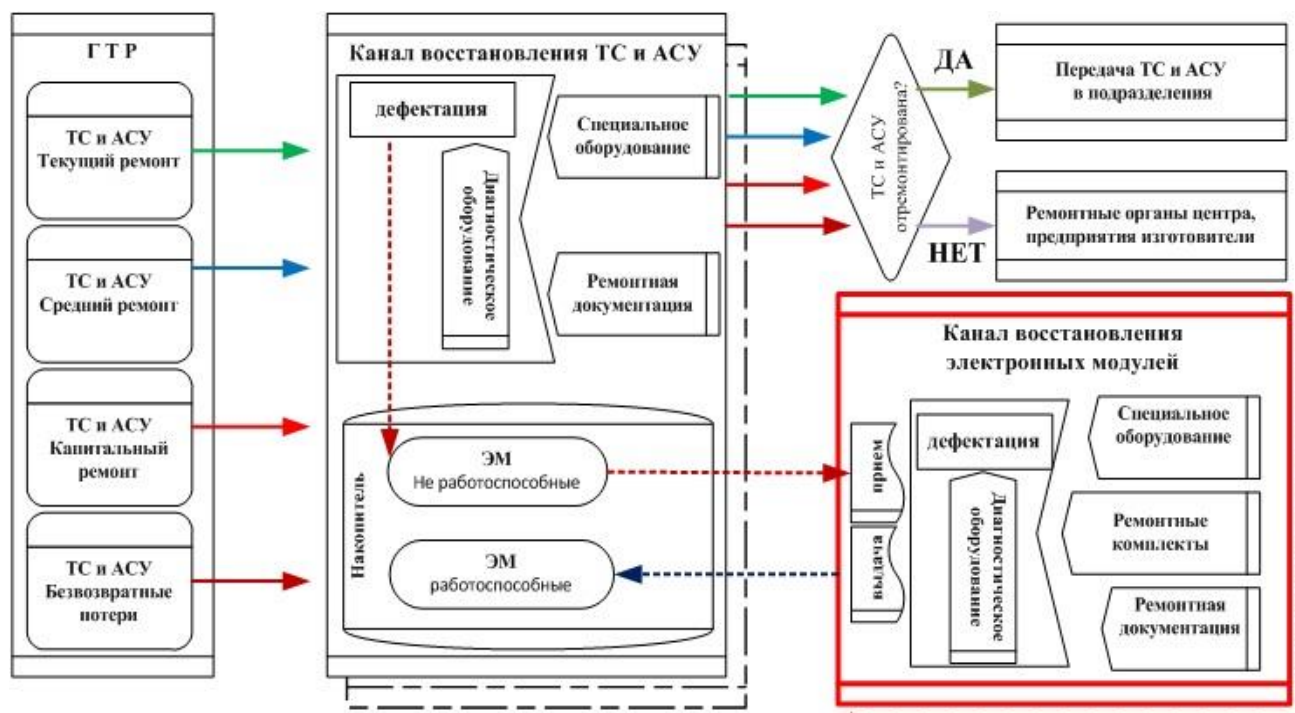


Рис.2. Канал восстановления ЭМ в общей системе ремонта ТС и АСУ

Необходимость данного ремонтного органа ЭМ можно сформулировать следующим образом: на основе анализа требований системы связи по своевременности восстановления и обеспеченности войск техникой связи и АСУ, потребностей в восполнении потерь ТС и АСУ в ходе операции, проведения агрегатного метода ремонта, с целью минимизации затрат системы восстановления ТС и АСУ.

Проведенные исследования модели системы ремонта ТС и АСУ показывают [4]:

- изменение количества поврежденной техники связи в сторону увеличения приводит к снижению коэффициента технической готовности и требует дополнительного выделения ресурса ремонтных органов;

- возрастание трудозатрат на восстановление техники связи влечет за собой значительное снижение коэффициента технической готовности и увеличение числа ремонтников.

Исходя из этого, возникает требование к промышленности – создавать технику связи модульного типа с применением электронных модулей (ЭМ) всех уровней иерархии с меньшим временем их восстановления, совершенствовать диагностическое обеспечение и технологию восстановления техники связи.

В то же время, наличие обученного персонала, использование для диагностирования техники связи автоматизированных измерительных систем, позволит существенно снизить трудозатраты на восстановление техники связи и, следовательно, приведет к уменьшению количества ремонтников и затрат на системы ремонта ТС и АСУ.

Следовательно, одним из перспективных направлений развития системы ТОС и АСУ (подсистемы восстановления) является совершенствование методов и способов диагностирования и ремонта ТС и АСУ. Разработка и внедрение перспективных автоматизированных программно-аппаратных комплексов контроля и диагностики позволит существенно сократить время на проведение измерений электрических параметров в ходе технического обслуживания и поиск неисправных элементов (плат, субблоков, электронных модулей и др.) при осуществлении ремонта техники связи и АСУ.

Существующая система проведения электрических измерений параметров и диагностирование ТС и АСУ занимает до 80 процентов времени от общего времени выполнения ремонта. Так как современные средства связи являются программно-аппаратными, рассмотрение вопросов диагностирования целесообразно проводить с акцентом на средства автоматизации.

Например, средства измерений и диагностики средств электропроводной и оптической связи реализованы в соответствующих блоках контроля и управления, и реализуют свои возможности путем программного взаимодействия между самим блоком и терминалом управления (АРМ), на котором установлена соответствующая программа.

Основные контролируемые параметры сетевого оборудования большей части средств связи – это состояние сетевых интерфейсов (работает или не работает) или состояние «оборудование включено или выключено».

Контроль параметров сетевого оборудования осуществляется путем просмотра индикаторов на лицевой панели оборудования, а также вывода диагностических сообщений, которые выводит операционная система во время настройки оборудования, а также может увидеть механик в процессе загрузки и просмотре конфигурации устройства. Проблемным вопросом остается то, что оборудование разных производителей имеет свои интерфейсы и протоколы, нет унификации и единой системы контроля, мониторинга параметров оборудования.

Наличие инструментальной базы, предполагающей разработку и внедрение автоматизированных комплексов диагностирования ТС (как внешних, так и внутренних) с различными возможностями по глубине, в зависимости от уровня построения системы ремонта ТС и АСУ показана на рис. 3.

Диагностирование при организации ремонта ТС и АСУ должно включать три уровня:

- непосредственно войсковые подразделения (войсковой уровень),
- подразделения ремонта (оперативный уровень),
- подразделения ремонта (стратегический уровень).

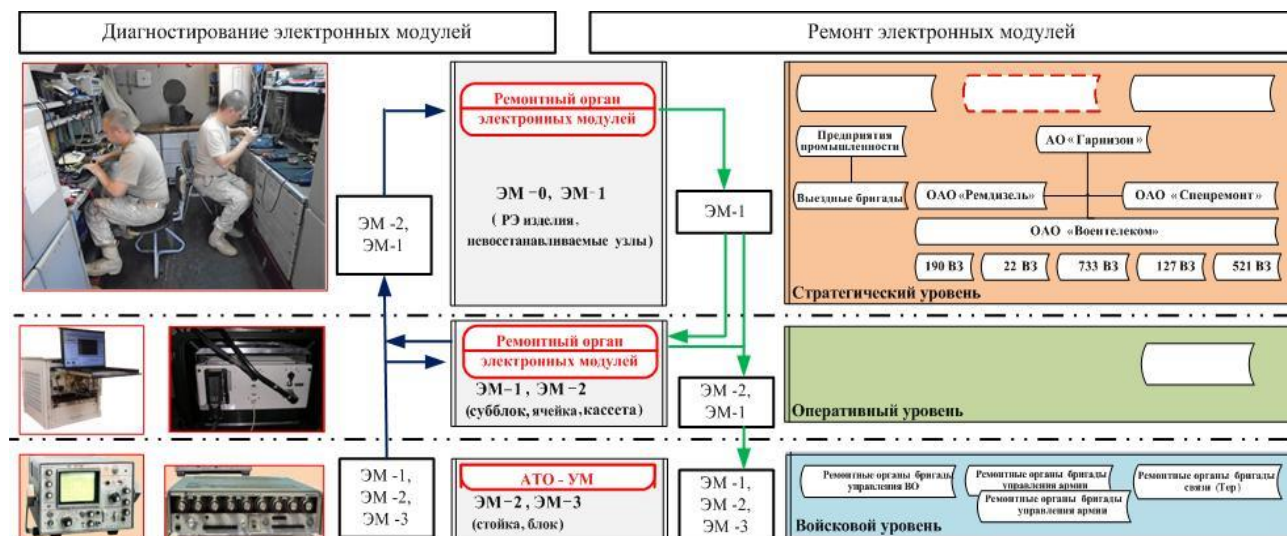


Рис. 3 Диагностирование и ремонт ЭМ на различных уровнях иерархии системы ремонта ТС и АСУ

На первом – в войсковых подразделениях необходимо производить локализацию неисправностей с глубиной до конструктивно съемных модулей замены (сборочных узлов, блоков). Неисправные модули выявлять встроенными или внешними средствами контроля и диагностики и передавать на второй уровень. На втором, оперативном уровне, производить замену вышедших из строя модулей исправными для передачи в войсковые подразделения, а также осуществлять проверку и ремонт неисправных модулей. На третьем уровне – осуществлять ремонт неисправных модулей и печатных плат, которые не восстановлены на предыдущем уровне, и передавать их на второй уровень.

Войсковой уровень эксплуатации должен быть оснащен унифицированным диагностическим оборудованием (встроенным или внешним), с возможностью локализации до отказавшего типового элемента замены (ТЭЗ) в единой системе контроля и мониторинга параметров всего оборудования ТС и АСУ. Для этого необходимо:

1) Подвижные средства диагностики и ремонта ТС и АСУ всех уровней оснастить измерительным и диагностическим оборудованием на основе магистрально-модульных автоматизированных систем и комплексов измерительной техники. Основными используемыми технологиями при разработке автоматизированных средств диагностирования являются технические решения с использованием интерфейсов *VXI* и *LXI*, которые являются самостоятельными стандартами на контрольно-измерительную и управляющую аппаратуру в общей концепции сетевой архитектуры *NFV* (*Network Functions Virtualization*).

2) Войсковые ремонтные органы должны быть ориентированы на создание оборотного фонда ЭМ, осуществлять работы по предварительной диагностике поступивших ЭМ, а также проводить ремонт, путем замены в нем субблоков, кассет, ячеек и т. п., а также замену отдельных ЭРИ и подготавливать ЭМ к отправке на предприятия промышленности, если ремонт на месте невозможен.

3) Создавать ТС и АСУ с применением ЭМ всех уровней иерархии разукрупнения с меньшим временем восстановления и направленное в первую очередь на устранение излишнего многообразия изделий, их составных частей и процессов изготовления.

Следовательно, основными направлениями дальнейшего развития являются:

– обеспечение соответствующего уровня ремонтпригодности методами конструктивно-технической и схмотехнической унификации и стандартизации;

- проектирование аппаратных и программных средств контроля и диагностирования;
- интеграция этапов функционального проектирования изделий и проектирования системы ремонтпригодности;
- повышение достоверности результатов оценки и прогнозирования качества изделий и т. д. [5].

Немаловажное значение при осуществлении ремонта ТС и АСУ имеет вопрос определения технического состояния ТС и АСУ, доставки отказавших ЭМ в ремонтные органы и отремонтированных ЭМ в места эксплуатации. Это определяется прежде всего огромным территориальным размахом театра военных действий, а, следовательно, возможной значительной удаленностью объектов системы ремонта друг от друга.

На рис. 4 представлен фрагмент расчета времени восстановления образца ТС и АСУ с удалением от ремонтного органа на 50 км. Время на восстановление работоспособного состояния ТС и АСУ с применением различных вариантов диагностирования и ремонта приведены в табл.

Nz	L выдв	V выдв	L тран	V тран	T пр	N бл	T зам	Q	T н	α	п	т	Трем	Wоб
	50	40	50	30	0,4	50	0,2	1	0,1		1	1	0,3	
				Тэв						Т диаг	Т рем		Тож	
				2,916667					↑ 0,95	1,46	0,3		0,00	4,38
									→ 0,64	2,26	0,3			5,17
									↓ 0,36	2,97	0,3			5,89
									↓ 0,16	3,49	0,3			6,40
									↓ 0,07	3,72	0,3			6,63

Рис. 4. Фрагмент расчета времени восстановления образца ТС и АСУ

Таблица – Необходимое время восстановления работоспособного состояния ТС и АСУ

Вариант диагностирования и ремонта	Время до ремонта	Время диагностирования	Время восстановления	Время возвращения в строй	Общее время
ГТР с эвакуацией	2 ч 30 мин	2 ч 26 мин	5 ч 17 мин	1ч 15 мин	9 ч 02 мин
ГТР без эвакуации	3 ч 45 мин	3 ч 37 мин	6 ч 29 мин	-	9 ч 34 мин
ГТР с применением программного комплекса	1ч 15 мин	1 ч 45 мин	4 ч 38 мин	-	5 ч 53 мин

Сегодня в мире наблюдается устойчивый интерес к развитию и совершенствованию авиационной беспилотной техники [6]. Применение БПЛА характеризуется также возможностью интеграции БПЛА в единое информационное пространство ТВД.

Преимуществами беспилотных летательных аппаратов являются:

- потенциал по созданию БПЛА, которые могли бы выполнять самые разнообразные задачи в местах ведения боевых действий;
- способность проведения технической разведки и мониторинга технического состояния ТС и АСУ с передачей информации в реальном масштабе времени;
- отсутствие ограничений по использованию в крайне тяжелой боевой обстановке, связанной с риском их утраты;
- возможности войсковой эксплуатации в сложных природно-климатических условиях Крайнего Севера и Арктики, в районах бездорожья и горной местности;
- наличие высокой боеготовности и мобильности.

Учитывая особенности проведения специальной операции в Украине, действия подразделений на незнакомой территории в ходе военной операции в САР, применение

БПЛА для решения задач технической разведки (ТР) позволит оперативно обеспечить должностное лицо органа ТОС и АСУ актуальной информацией и, как следствие, уменьшить время на принятие решения об эвакуации и ремонте поврежденной ТС и АСУ в условиях различной местности [7].

По сравнению с традиционной формой доставки ремонтных комплектов и ЭМ с помощью автомобильной техники для сухопутных подразделений и катеров для ВМФ, использование БПЛА могут значительно сократить время реагирования и процесс доставки ремонтных комплектов и ЭМ сухопутным подразделениям, а также с берега на корабли ВМФ, что существенно снизит логистические расходы.

Литература

1. Буренок В.М. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе. Части 1, 2 / В. М. Буренок и др. М: Издательская группа «Граница», 2013. 520 с.
2. Степшин М.П. Особенности технического обеспечения российских войск в локальных войнах и вооруженных конфликтах // Военная мысль. 2008. № 11. С. 28-34.
3. Мегера Ю. А. Структура системы ремонта техники связи и АСУ с учетом уровня разукрупнения // Технологии. Инновации. Связь. Сборник материалов научно-практической конференции. 2022. С. 243-247.
4. Мегера Ю. А. Математическая модель ремонта техники связи и автоматизированных систем управления // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 9. С. 34-37.
5. Слабуха В.Н. Особенности создания и внедрения автоматизированных систем контроля и диагностирования в практику войскового ремонта техники связи и оценка их влияния на готовность ремонтных органов. Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях // Труды II международной научно-практической конференции. 2017. С.10-14.
6. Барковский В.Ю. Беспилотные летательные аппараты мира. Под ред. Н.Н. Новичкова. Справочник. – М: Информационное агентство «АРМС-ТАСС». 2014. 462 с.
7. Бойко А. Военные беспилотники вертолетного типа. URL: <http://robotrends.ru/robopeia/voennye-bespiilotniki-vertoletnogo-tipa> (дата обращения: 25.01.2022).

References

1. Burenok V.M. *Metodologiya programmno-celevogo planirovaniya razvitiya sistemy vooruzheniya na sovremennom etape* [Methodology of program-target planning of the development of the weapons system at the present stage]. Parts 1, 2. V.M. Burenok et al. Moscow. Publishing group "Border", 2013. 520 p. (in Russian).
2. Stepshin M.P. *Osobennosti tekhnicheskogo obespecheniya rossijskih vojsk v lokal'nyh vojnah i vooruzhennykh konfliktah* [Features of technical support of Russian troops in local wars and armed conflicts]. Military thought. 2008. No. 11. Pp. 28-34 (in Russian).
3. Megera Yu.A. *Struktura sistemy remonta tekhniki svyazi i ASU s uchetom urovnya razukrupneniya* [The structure of the system of repair of communication equipment and automated control systems, taking into account the level of unbundling]. Technologies. Innovation. Connection. Collection of materials of the scientific and practical conference. 2022. Pp. 243-247 (in Russian).
4. Megera Yu.A. *Matematicheskaya model' remonta tekhniki svyazi i avtomatizirovannykh sistem upravleniya* [Mathematical model of repair of communication equipment and automated control systems]. News of TulSU. Technical sciences. Issue 9. 2021. Pp. 34-37 (in Russian).

5. Slabukha V.N. *Osobennosti sozdaniya i vnedreniya avtomatizirovannykh sistem kontrolya i diagnostirovaniya v praktiku vojskovogo remonta tekhniki svyazi i ocenka ih vliyaniya na gotovnost' remontnykh organov. Problemy tekhnicheskogo obespecheniya vojsk v sovremennykh usloviyakh* [Features of the creation and implementation of automated monitoring and diagnostics systems in the practice of military repair of communication equipment and assessment of their impact on the readiness of repair bodies. Problems of technical support of troops in modern conditions]. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. 2017. Pp.10-14 (in Russian).

6. Barkovsky V.Yu. *Bespilotnye letatel'nye apparaty mira* [Unmanned aerial vehicles of the world]. Edited by N.N. Novichkov. Directory. Moscow. News Agency "ARMS-TASS". 2014. 462 p. (in Russian).

7. Boyko A. *Voennye bespilotniki vertoletnogo tipa* [Helicopter-type military drones]. URL: <http://robotrends.ru/robopeia/voennye-bespilotniki-vertoletnogo-tipa> (accessed 25.01.2022).

Статья поступила 30 июня 2022 г.

Информация об авторе

Мегера Юрий Анатольевич – Ведущий инженер ПАО «Интелтех». Кандидат военных наук. Тел.: +7(812)448-96-36. E-mail: yamegera1971@mail.ru Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д.8.

The concept of development of the system of repair of communication equipment and automated control systems

Yu.A. Megera

Annotation: *The article discusses ways to improve the system of repair of communication equipment and automated control systems, which is an important and necessary condition for the qualitative implementation of the entire complex of CBT and automated control systems and ensuring the reliable functioning of the communication system of the Armed Forces of the Russian Federation. New approaches to the development of communication and automation tools in order to further implement the aggregate repair method and meet the requirements for a comprehensive indicator of the maintainability of communication equipment and automated control systems. Transition to the development and production of unmanned aerial vehicles (UAVs) at a qualitatively new technical level for military purposes.*

Keywords: *technical support, repair system, military security, automated control system, information technology, application and implementation problems, technical intelligence, unmanned aerial vehicles.*

Information about the author

Yuri Anatolyevich Megera – Leading Engineer of the department of PJSC «Inteltech». Candidate of Military Sciences. Tel.: +7(812)295-66-66. E-mail: yamegera1971@mail.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8.

Для цитирования: Мегера Ю.А. Концепция развития системы ремонта техники связи и автоматизированных систем управления // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С. 69-76. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-69-76.

For citation: Megera Yu.A. The concept of development of the system of repair of communication equipment and automated control systems. Means of Communication Equipment. 2022. No. 2 (158). Pp. 69-76. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-69-76 (in Russian)

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 621.39

DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-77-100

Методы доведения измерительной информации от удаленных и глобально перемещающихся объектов до сервера мониторинга распределенной информационно-телекоммуникационной сети Росморречфлота

Будко Н.П.

Аннотация. Представлены методы помехоустойчивого доведения измерительной информации о техническом состоянии элементов распределённой информационно-телекоммуникационной сети общего пользования с использованием декаметровых радиолиний на основе использования линейно-частотно-модулированных и дискретных линейно-частотно-модулированных сигналов. **Актуальность:** разработка методов помехоустойчивой передачи аварийных сигналов по результатам мониторинга технического состояния территориально-распределенной информационно-телекоммуникационной сети. Повышение эффективности функционирования подсистемы удаленного мониторинга в режиме реального времени, или близкого к нему. **Цель работы:** повышение помехоустойчивости аварийных сигналов подсистемы мониторинга распределенной сетевой инфраструктуры, рассматриваемой в виде телеметрической системы, функционирующей в условиях дестабилизирующих факторов естественной и искусственной природы. **Используемые методы:** применение новой сигнально-кодовой конструкции в радиоканале доведения измерительной информации; использование режима так называемой «быстрой» перестройки рабочих частот по псевдослучайному закону. **Новизна:** расширение возможностей систем удаленного мониторинга технического состояния географически распределенной информационно-телекоммуникационной сети общего пользования с использованием декаметровых радиолиний на основе применения SDR-технологий и режима перестройки рабочих частот по псевдослучайному закону. **Результат:** использовано графическое отображение бинарных посылок измерительной информации при их приеме в виде спектрограммы, когда вместо азбуки Морзе в виде «точек» и «тире» представлены линейно- либо дискретно-частотно-модулированные сигналы с возрастающим (убывающим) градиентом наклона. **Практическая значимость:** использование помехоустойчивого доведения измерительной информации на сервер удалённого мониторинга элементов сетевых инфраструктур.

Ключевые слова: техническое состояние, измерительная информация, подсистема удалённого мониторинга, телекоммуникационный уровень, помехоустойчивость.

Введение

Рассматривая подсистему интеллектуального мониторинга состояния информационно-телекоммуникационной сети (ИТКС) общего пользования (ОП) с позиции многоуровневого синтеза, представленную сенсорным, телекоммуникационным и диспетчерским уровнями, рис. 1, необходимо отметить, что наиболее сложным с позиции обеспечения устойчивости функционирования распределенных сетевых инфраструктур является телекоммуникационный уровень в силу таких его характерных особенностей применения в Росморречфлоте как:

– глобальные расстояния (протяженные внутренние водные пути (ВВП) РФ, ближняя и дальняя морская, а также океанская зоны) нахождения наблюдаемых подсистемой мониторинга критически-важных элементов (КВЭ) от пунктов управления и центров мониторинга (ситуационного центра (СЦ) Минтранса РФ), и связанные с этим сетевые задержки;

– гетерогенность каналов сбора измерительной информации (ИИ) от сенсорного уровня (глобально-перемещающихся объектов – ГПО) до диспетчерского уровня (АСУ движения судов (ДС), СЦ), а также сред передачи данных для репликации серверов подсистемы мониторинга: от проводных и волоконно-оптических – на материковой части ИТКС, до радиоканалов международной глобальной морской системы связи при бедствиях GMDSS (англ. *Global Maritime Distress and Safety System*), использующей MF – средние (СЧ), HF – высокие (ВЧ), VHF – очень высокие (ОВЧ), UHF – ультравысокие (УВЧ) и SHF – сверхвысокие (СВЧ) частоты;

– существенная нестационарность радиоканалов из-за дрейфа основных параметров среды распространения радиоволн (РРВ), а также воздействия дестабилизирующих факторов различной природы, что относит их к классу каналов с высоким коэффициентом ошибок.

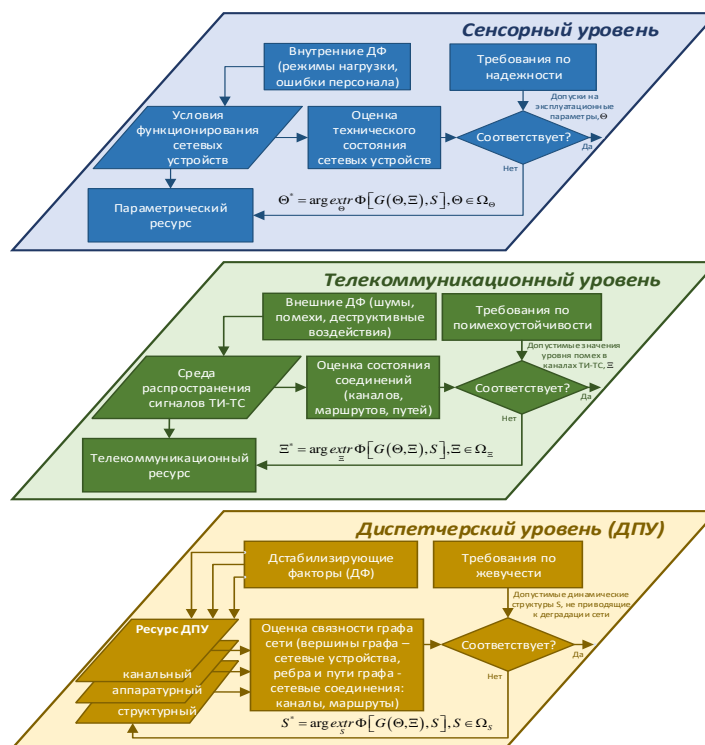


Рис. 1. Многоуровневый подход к задаче синтеза подсистемы мониторинга состояния ИТКС ОП

Учитывая то, что структурно интеллектуальная система контроля (ИСК) характеризуется трехуровневой архитектурой (сенсорный, телекоммуникационный и диспетчерский уровни) и исходя из перечисленных особенностей телекоммуникационного уровня и его применимости в подсистемах мониторинга на распределенных ИТКС Росморречфлота РФ, в статье будет уделено особое внимание методам передачи (доведения) ИИ от объектов контроля (ОК) (сенсорного уровня) до серверов мониторинга ведомства (диспетчерский уровень) по радиоканалам, как наиболее сложным в математическом описании и наиболее вероятным для использования в процессе мониторинга удаленных ГПО.

Актуальность проведения исследования

Рост количества источников ИИ на современных географически распределенных гетерогенных ИТКС ОП, имеющих в своем составе как стационарные так и подвижные (ГПО) элементы с высокой критичностью отказа (КВЭ), предполагает возрастание сложности и специфичности задач, возникающих при дистанционном мониторинге их технического состояния (ТС), возникающих из-за многообразия возможных каналов передачи, что требует ужесточения требований к телеметрическим системам (ТМС) [1, 2] до уровня требований к системам обмена информации (данными). Применение подобных ТМС и систем мониторинга на больших пространствах ВВП РФ и просторах мирового океана характеризуется недостаточной помехоустойчивостью при доведении аварийных сигналов на пункты управления от контролируемых объектов, функционирующих в условиях наличия дестабилизирующих факторов (ДФ), имеющих естественный и искусственный характер, что в целом существенно снижает эффективность функционирования ИТКС ведомства.

Имеющиеся на сегодня автоматизированные системы контроля и мониторинга на глобальных ИТКС имеют множество проблем сбора аварийных сигналов по разнородным каналам связи (используя различные среды РРВ) в условиях воздействия различных ДФ, что определяет как ТС объектов мониторинга (а, соответственно, готовность ИТКС ведомства к применению по назначению), так и состояние среды РРВ ТМС. В связи с чем существующими методами и алгоритмами не всегда удается осуществить сбор и передачу больших объемов ИИ с достоверностью не хуже заданной, особенно в условиях воздействия

ДФ в виде шумов, различного вида помех и пр. [3]. Продолжительность дистанционного измерения параметров ОК и длительность анализа ИИ обусловлены спецификой среды РРВ и воздействием ДФ, в связи с чем, существующие в ТМС методы дистанционного контроля и мониторинга географически распределенных элементов ИТКС характеризуются достаточно низкой производительностью по полноте, оперативности и достоверности оценки ТС, что в конечном итоге сказывается на эффективности сетевой инфраструктуры в целом.

Процесс совершенствования береговых и корабельных (судовых) комплексов связи, а также средств навигационного оборудования, подвергаемых мониторингу их ТС, привел к тому, что кратковременные перерывы в поступлении ИИ или её значительное искажение становятся неприемлемыми в вопросе обеспечения требований по устойчивости [4]. Все это требует разработки новых методов дистанционного мониторинга, способствующих повышению помехоустойчивости в ходе трансляции аварийных сигналов ТС удаленных элементов ИТКС на диспетчерский пункт управления (ДПУ) в виде СЦ, АСУ ДС и др.

Проблема повышения эффективности применения ИТКС ОП непосредственно связана с обеспечением устойчивого её функционирования, особенно в условиях воздействия ДФ различной физической природы (сосредоточенные по спектру помехи; индустриальные шумы крупных мегаполисов; сложные климатические факторы, включая мощные ионосферные возмущения на высоких арктических широтах; преднамеренные радиоэлектронные воздействия организованных террористических и пиратских группировок и пр.). Поэтому в данной статье при исследовании телекоммуникационного уровня подсистемы мониторинга ИТКС в качестве показателя её эффективности выбрана помехоустойчивость, под которой понимается способность выполнять свои задачи по передаче сообщений (в данном случае – аварийных сигналов и управляющих команд) с требуемым качеством при возможном воздействии ДФ естественного и искусственного происхождения, что относится к основной по значимости этого свойства системы, а также по сложности её обеспечения [5, 6]. При этом обеспечение требуемой устойчивости телекоммуникационного уровня подсистемы мониторинга является, де-факто, ключевым в ИСК, где осуществляется «маневр» внешних и внутренних телекоммуникационных ресурсов в условиях динамики изменения обстановки по связи. Исходя из этого, вопросы повышения помехоустойчивости телекоммуникационного уровня подсистемы мониторинга ИТКС в условиях воздействий ДФ и внешней среды на передачу ИИ считаются актуальными.

Цель статьи состоит в разработке метода повышения помехоустойчивости аварийных сигналов подсистемы мониторинга распределенной ИТКС ОП, рассматриваемой как телеметрическая система, функционирующая в условиях ДФ естественного и искусственного характера. Для достижения цели исследования предлагается в интересах телекоммуникационного уровня ИСК использовать когнитивные радиосистемы (*Cognitive Radio System, CRS*), способные получать сведения об особенностях собственной эксплуатации и на основе этих данных корректировать свои параметры [7], оптимально адаптируя услуги, предоставляемые органам управления к изменяющимся условиям среды РРВ, помехам и пр., включая учет загрузки частотного диапазона. Использование технологического базиса когнитивных радиосистем позволит существенно повысить помехоустойчивость доведения ИИ и аварийных сигналов о ТС наблюдаемых объектов до диспетчерского уровня, и, в целом, обеспечит эффективное функционирование ИСК на распределенных ИТКС ОП.

Анализ научно-методического аппарата

Рассмотрим существующие методы передачи информации, использование которых способствует повышению помехоустойчивости систем удаленного контроля и мониторинга.

Так, применяемый еще с начала прошлого века способ ведения радиообмена, основанный на использовании кода Морзе [8], активно задействован для связи с удаленными объектами наземного, воздушного и морского базирования. В данном способе бинарная посылка формируется с помощью коротких и длинных сигналов («тире» и «точек»), при этом в качестве

единицы времени при кодировке символов алфавита принята длина «точки». Длина «тире» равнозначна трём «точкам», пауза между знаками внутри буквы равна одной «точке», пауза между буквами внутри слова – трем «точкам», а между словами сообщения соответствует семи «точкам». Трансляция сигналов кода Морзе осуществляется в режиме АТ (амплитудной телеграфии) на фиксированных частотах волн, а соответственно прием радиотелеграфистом на слух, на головные телефоны. Такое длительное (более 100 лет) безальтернативное применение данного метода связано с уникальными возможностями слухового аппарата человека, по сравнению с автоматическим распознаванием сигналов азбуки Морзе на фоне помех и шумов. В то же время недостатками этого способа является незначительная скорость телеграфирования, достаточно низкая помехозащищенность радиообмена, связанная с наличием замираний сигнала в среде РРВ (в ионосфере) и большой загрузкой диапазона волн сосредоточенными помехами.

Другим методом передачи информации по радиоканалам на основе применения линейно-частотно-модулированных (ЛЧМ¹) [9, 10] бинарных сигналов предусматривается построение сигнально-кодовой конструкции (СКК) с формированием сигналов, соответствующих информационной «1» – с линейно возрастающим и информационному «0» – с линейно убывающим законом изменения частоты. При этом на приёмной стороне применяется согласованная фильтрация или корреляционный метод. К недостаткам указанного метода также является низкая помехозащищенность радиообмена, что повышает вероятности пропуска сигнала при распознавании его в условиях помех и шумов, а также при автоматическом приеме.

Одним из способов повышения помехоустойчивости для средств радионавигации в условиях шумов и сосредоточенных по спектру помех является визуальный радиообмен (*Quasi Random Signal Source (QRSS)*, крайне низкая скорость передачи телеграфных сигналов) [11], называемый в США «сверхмедленным телеграфом». Данный подход построен на процессе формирования бинарных посылок на передающей стороне последовательностью длинных и коротких элементов с минимальной скоростью передачи, трансляция которых происходит на фиксированных частотах, а приём – с экрана монитора визуально, по спектрограмме. Причем длительность телеграфных посылок кода Морзе для «точки» может достигать от 3 с до 60 с и для «тире» от 9 с до 180 с соответственно (так называемый режим *QRSS-60*). В связи с чем, приём на слух становится невозможным, но применяя компьютерную обработку сигналов с использованием звуковой карты, можно зарегистрировать сигналы с представлением их на экране монитора спектрограммой типа «водопад» (в плоскости «время-частота») в виде телеграфного кода. Недостатками данного способа можно считать крайне малую скорость передачи информации (при передаче в режиме *QRSS-60* за 180 с одного бинарного элемента (бита) знака время трансляции буквы или цифры (знака) в целом может доходить до 10 мин, а слова – соответственно более 1 ч. Также прием становится затруднительным если частота передачи сигнала совпадёт с частотой мощной сосредоточенной помехи, а для загруженных участков радиодиапазона это является критичным.

Известен метод передачи и приема данных в радиолиниях (РЛ), при котором на передающей стороне осуществляют модуляцию величины несущей частоты информационной последовательностью по какому-либо из известных узкополосных способов, изменяют рабочую частоту расширяющей кодовой последовательностью по псевдослучайному закону (ППРЧ) и излучают в эфир, при этом используется сигнал ППРЧ с расширением спектра скачками частоты [12]. На приемной стороне частоту первого гетеродина изменяют по правилу расширяющей кодовой последовательности (передающей стороны), а сигнал, принятый после гетеродина, переносят на фиксированную промежуточную частоту для проведения селективной фильтрации. Недостатком данного метода приема сигналов ППРЧ является необходимость в обеспечении динамического скоростного переключения фильтров (их перестройки). Данные процессы усложняют приемное устройство, а также не всегда позволяют улучшить качество фильтрации.

¹ **Линейная частотная модуляция (ЛЧМ)** сигнала – это вид частотной модуляции, при которой частота несущего сигнала изменяется по линейному закону

Также известен метод сдвоенного приема с разнесением по частоте [13], предполагающий подачу сигнала на одну антенну через дуплексор от двух передатчиков, излучающих на разных частотах, и к которым от одного модулятора поступает групповой сигнал от каналообразующей аппаратуры. На приёмной стороне используется также одна антенна, на которую подключены через дуплексор два приемника, настроенные на соответствующие передающей стороне частоты. Причём используя определенный разнос между этими заданными частотами можно добиться декорреляции замираний радиосигналов на входах радиоприёмных устройств (РПУ), за счёт чего и обеспечивается снижение влияния быстрых замираний радиосигнала, а также помех на качество приема. Недостатками данного способа при повышении помехоустойчивости приема является: во-первых, необходимость R -кратного разнесения по частоте, что требует наличия R передатчиков и R приемников; во-вторых, предъявление весьма высоких требований к стабильности частоты возбuditелей передатчиков и гетеродинов, что характеризуется высокой сложностью для мощных радиопередающих устройств (РПДУ) и чувствительных РПУ.

В отношении достижимости цели настоящей статьи (повышения помехоустойчивости ТМС) наибольший интерес представляет способ повышения помехоустойчивости средств радионавигации и посадки [14]. В соответствие с данным способом, повышение помехоустойчивости в условиях наличия шумов и помех, осуществляется путём расширения спектра передаваемого сигнала в режиме ППРЧ. На приёмной стороне восстановление бинарных посылок производится путем обратного преобразования в исходную форму принятого сигнала. Помимо этого, длительность бинарных посылок соответствует отношению длительности бита к числу скачков рабочей частоты внутри него, изменяющихся по тому же псевдослучайному закону, что и на передающей стороне. Восстановление принятого бита осуществляется за счёт преобразования принимаемого сигнала в исходную частотную форму путём его перемножения со сформированным сигналом гетеродина на частотах матрицы ППРЧ. Данная процедура приёма сообщений может осуществляться только в автоматическом режиме. Для обеспечения помехоустойчивой связи при компенсации сложной помеховой обстановки в канале диапазона дециметровых волн (ДКМВ), как правило, повышают мощность РПДУ. К недостаткам данного способа можно отнести то, что применение метода анализа панорамных спектрограмм в реальном масштабе времени визуально не позволяет диспетчеру (оператору) демодулировать и декодировать группы коротких (менее 0,1 с) импульсов, передаваемых в режиме ППРЧ. Также для эффективного использования режима ППРЧ в РЛ (системе радиосвязи) в обязательном порядке необходимо наличие высокоточной синхронизации.

Проведенный выше анализ существующего научно-методического аппарата, в основном, показал, что рассмотренные способы и методы обладают недостаточной помехоустойчивостью, низкой скоростью и скрытностью, а также и требуют значительного усложнения аппаратуры передачи информации. Всё это делает востребованным разработку новых методов повышения помехоустойчивой передачи информации через телекоммуникационный уровень подсистемы мониторинга распределенных ИТКС ОП, к которым всецело относятся ведомственные ИТКС Минтранса РФ.

Использование интеллектуальных технологий в удалённом мониторинге технического состояния территориально-распределенной ИТКС ОП

На сегодня известен ряд интеллектуальных подходов, применяемых в современных системах передачи информации (ИИ), которые обладают высокой помехоустойчивостью за счёт использования механизма динамического управления спектром. Особенностью таких интеллектуальных радиосистем можно отметить такое их свойство, как способность прогноза изменения их параметров [15-18], извлечение и анализ информации из окружающего радиопространства, оптимальная адаптация услуг связи, предоставляемые абонентам сети к изменяющимся параметрам среды РРВ, помеховой обстановке и загрузке частотного диапазона.

Рассмотрим некоторые из таких подходов.

Когнитивные радиосистемы (*Cognitive Radio System, CRS*) рассматриваются как новый этап в развитии радиосвязи. Опираясь на гносеологические методы, *CRS* характеризуются «интеллектуальностью» функционирования, способностью к познанию состояния среды и самообучению [18]. Причем, принципы когнитивности радиосистем с позиции административного смысла включают в себя, прежде всего, вторичность использования ресурсов радиочастотного спектра (РЧС), в то время как в технологическом смысле опираются на адаптивность радиосистем в части применения полос и номиналов радиочастот [7, 18]. Так Резолюция МСЭ-R2117 устанавливает, что «...к системам когнитивного радио относятся радиосистемы, использующие технологию, позволяющую получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установленных правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы, согласно полученным знаниям, для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов...».

Одним из перспективных направлений развития систем радиосвязи является использование *SDR*-технологий (*Software-defined radio*, программно-определяемая радиосистема), обуславливающая создание РПУ с системой графического отображения сигналов на спектрограмме типа «водопад», что способствует повышению помехозащищенности и помехоустойчивости, а также эффективности их функционирования в целом. К *SDR*-радиоустройствам всецело можно отнести цифровые РПУ диапазона ДКМВ, работающие под управлением компьютера. В соответствии МСЭ-R2117, «...*SDR* – это устройство с программируемыми параметрами: передатчик и/или радиоприемное устройство, использующие технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения установить или изменить рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность...» [7, 18].

Известно, что в распределенных ТМС, большое значение придается средствам «прямой» радиосвязи, обеспечивающим оперативный обмен ИИ между сенсорным и диспетчерским уровнями минуя каналы и линии первичной сети связи и сети связи ОП. К классу таких телекоммуникационных систем относятся линии радиосвязи ДКМВ, находящие широкое применение фактически во всех звеньях управления, за счет возможности доведения информации на дальние и сверхдальние расстояния, а также относительно низкой стоимости и компактности элементов декаметровых (ДКМ) РЛ.

В то же время, существенной особенностью ДКМ канала является наличие помех естественной и искусственной физической природы, а также искажения радиосигналов, связанные с наличием в среде РРВ эффекта «многолучёвости», что, в итоге, ведет к снижению вероятности приёма сообщений в автоматизированных комплексах. Для нивелирования данных недостатков и обеспечения помехоустойчивой передачи сообщений в некоторых случаях используют параллельную передачу, подбор соответствующей СКК, а также передача текста в коде Морзе с последующим его приёмом автоматически или дежурным оператором в «слуховом режиме». Это вызвано тем, что слуховой аппарат человека способен адаптироваться к шумам радиоэфира и определять полезный сигнал даже при соотношении сигнал/шум менее 1.

Также необходимо отметить, что, как известно из нейрофизиологии, зрительное восприятие оператором заранее заданного образа может быть обеспечено при искажении или потере до 90 % элементов его изображения под воздействием шумов и помех, позволяя по оставшимся элементам изображения отождествить заданный образ [19, 20].

Проведенные исследования [7] на реальных радиотрассах с использованием РПУ, отображающего на мониторе временную спектрограмму сигнала, показали, что визуальный приём элементов азбуки Морзе позволяет зрительно регистрировать передаваемую информацию, даже когда из-за слишком низкого ОСШ в слуховом режиме приём будет невозможен. Исходя из чего можно отметить, что визуализация сигнала с его графическим отображением на мониторе оператора в реальном масштабе времени является достаточно

эффективным средством повышения помехоустойчивости радиосистем и требует проведения исследований новых СКК, а также эффективности их визуального восприятия человеком, поскольку может быть использована для создания новых методов помехоустойчивой передачи и приёма сообщений (ИИ).

Таким образом, рассмотренные интеллектуальные методы передачи и приема информации на основе последующего графического распознавания сигнала позволяют применять их различные комбинации и осуществить разработку перспективных СКК для повышения помехоустойчивости в ИСК и мониторинга территориально-распределенных ИТКС.

Методы повышения помехоустойчивости удалённого мониторинга технического состояния территориально-распределенной ИТКС ОП

Предложен метод повышения помехоустойчивости удалённого мониторинга ТС территориально-распределенной ИТКС, основанный на внедрении перспективных СКК в интересах передачи аварийных сигналов между сенсорным и диспетчерским уровнями ИСК с использованием *CRS*- и *SDR*-технологии. В данном параграфе предлагается использовать графическое отображение аварийных сигналов с ОК при их приеме на ДПУ в виде спектрограмм с линейно- (ЛЧМ) либо дискретными линейно-частотно модулированными (ДЛЧМ) сигналами с возрастающим, либо убывающим градиентом модуляции, соответствующих передаче/приему информационной «1» и информационного «0». Рассмотрим блок-схемы возможных вариантов построения алгоритмов реализации метода.

Вариант 1. Один из подходов реализации метода доведения измерительной информации от географически удаленных и ГПО до сервера мониторинга на распределенной ИТКС Росморречфлота представлен в виде блок-схемы алгоритма, показанного на рис. 2.

Предлагаемый на рис. 2 алгоритм повышения помехоустойчивости удалённого мониторинга ТС территориально-распределенной ИТКС заключается в последовательности следующих действий относительно процесса доведения ИИ от удаленных терминалов, размещаемых непосредственно на подконтрольном элементе ИТКС и представляющих собой контроллеры и датчики сенсорного уровня подсистемы мониторинга, на главный терминал ДПУ для последующей обработки и принятия соответствующих решений. Также предложенный алгоритм позволяет осуществлять обмен сохраненной в различных базах данных (БД) ИИ для их репликации на распределенной системе.

Реализуемость предложенного метода заключается в том, что сначала на сенсорном уровне подсистемы мониторинга формируются пакеты ИИ в виде бинарных посылок, которые передаются на заданном временном интервале. Их прием может осуществляться автоматически или в ручном режиме с отображением спектрограммы типа «водопад» на экране монитора автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора ДПУ (СЦ, АСУ ДС). Причём бинарные посылки на передающей стороне представляются отрезками ЛЧМ сигналов с линейно- возрастающим или линейно-убывающим законами изменения частоты в соответствии со значением «0» или «1» бинарной посылки. На приёмной стороне принятые сигналы отображаются на спектрограмме монитора РПУ в виде графических элементов с разными градиентами наклона², которые не должны совпадать с градиентом прямых, отображающих в плоскости «время-частота» сосредоточенные по спектру помехи.

Далее принятый бит ИИ (при работе ИСК в режиме телеизмерения-телесигнализации – ТИ-ТС) или информационного сообщения (при работе ИСК в режиме репликации БД) декодируется по используемому на передающей стороне заданному образу двоичного алфавита (в соответствии с базой образов), после чего по принятой бинарной последовательности автоматически или по зрительному образу производится идентификации знака сообщения.

² На спектрограмме в частотно-временной области помеха отображается в виде вертикальной линии и любые одночастотные сигналы типа азбуки Морзе (унаследованная СКК) при совпадении с нею неразличимы (градиент отличия равен нулю).

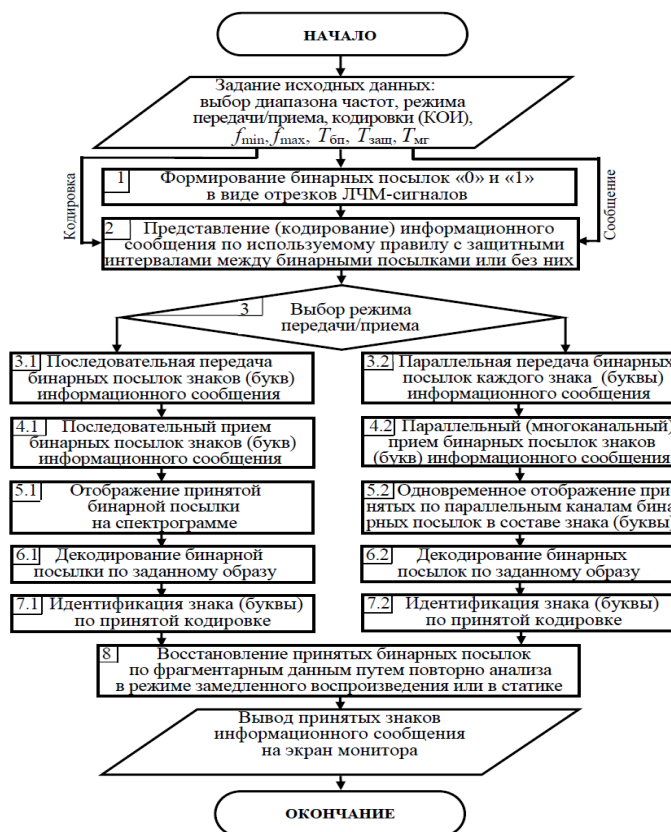


Рис. 2. Алгоритм повышения помехоустойчивости удалённого мониторинга ТС элементов ИТКС ОП

Повышение помехоустойчивости удалённого мониторинга осуществляется на основе введенной последовательности действий и за счёт использования автоматической и визуальной идентификации аварийных сигналов (ИИ), транслируемых от сенсоров ОК бинарными посылками, отличающихся от изображения на мониторе оператора сосредоточенных и шумовых помех, что отображается на спектрограмме. При ошибочном распознавании в ходе автоматического приёма повышение помехоустойчивости возможно осуществить путём использования визуальной идентификации оператором по зрительному образу с учётом соответствующих градиентов наклона бинарных посылок. Алгоритм повышения помехоустойчивости удалённого мониторинга ТС элементов территориально-распределенной ИТКС ОП описывается следующими действиями, разграниченными на 8 шагов.

На шаге 1, на сенсорном уровне ОК в формирователях сигналов РПДУ производится формирование бинарных посылок («0» и «1»), в качестве которых используются отрезки ЛЧМ-сигналов с линейно возрастающим

$$S_{\text{лчм}}^{''0''}(t) = S_0 \cos \varphi_0 + \varphi(t) = S_0 \cos \varphi_0 + 2\pi [f_0 t + (b / 2)t^2]$$

и линейно убывающим

$$S_{\text{лчм}}^{''1''}(t) = S_0 \cos \varphi_0 - \varphi(t) = S_0 \cos \varphi_0 - 2\pi [f_0 t + (b / 2)t^2]$$

законами изменения частоты (рис. 3 а, б), где S_0 – амплитуда сигнала, $f_0 = (f_{\text{max}} + f_{\text{min}}) / 2$ – центральное значение несущей частоты, $b = (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) / T_c$ – параметр скорости изменения частоты во времени, φ_0 – начальная фаза сигнала, T_c – длительность сигнала, f_{min} и f_{max} – соответственно минимальное и максимальное значения частоты радиосигнала.

Формирование ЛЧМ-сигналов известен и подробно описан, например, в [24]. Порядок построения бинарных посылок такой СКК, когда логический «0» формируется по линейно возрастающему, а логическая «1» – по линейно убывающему законам изменения частоты представлено на рис. 3 в, г. Данные бинарные посылки отображены на спектрограмме в плоскости «время-частота» наклонными линейными отрезками с положительным и отрицательным градиентами наклона линейного изменения закона модуляции, рис. 3 а, б.

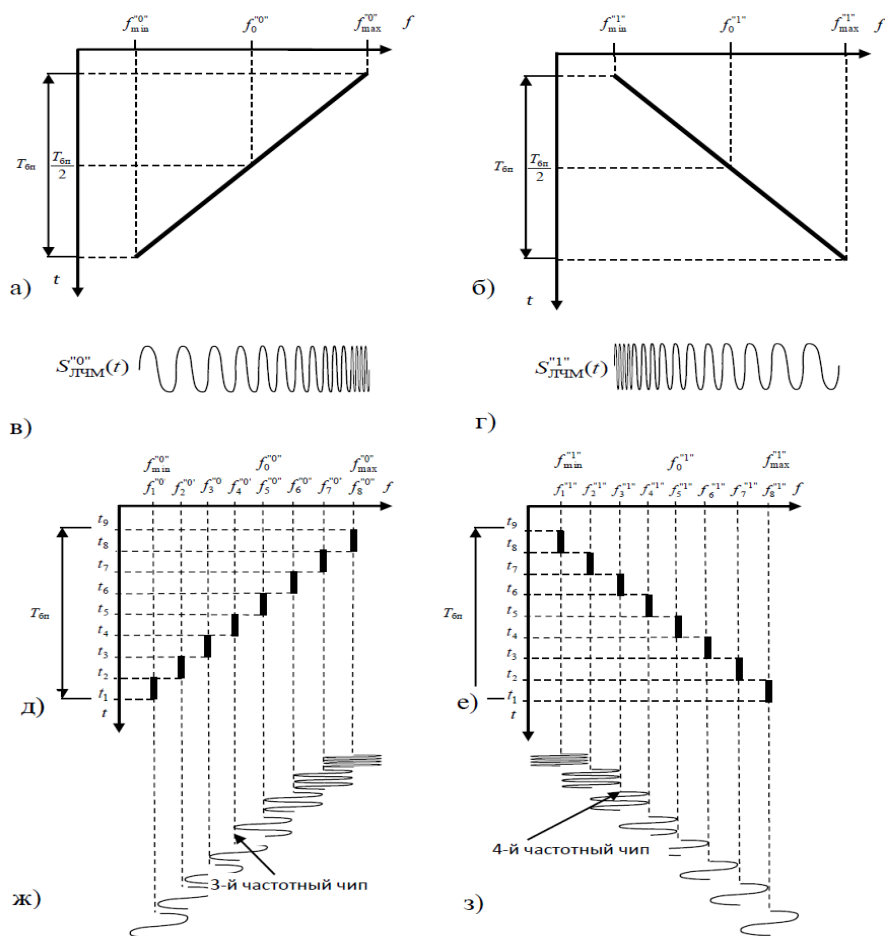


Рис. 3. Характеристики линейно-частотно-модулированного сигнала: а) частотно-временная характеристика (ЧВХ) ЛЧМ-сигнала с законом линейно возрастающего изменения частоты (в); б) ЧВХ ЛЧМ-сигнала с законом линейно убывающего изменения частоты (г); д) ЧВХ многочастотного ДЛЧМ-сигнала с законом линейно возрастающего изменения частоты (ж); е) ЧВХ многочастотного ДЛЧМ-сигнала с законом линейно убывающего изменения частоты (з)

На шаге 2 (рис. 2) последовательность логических «1» и «0», сформированных для передачи сообщения об аварии (или ИИ) с удаленного терминала ИТКС (или между БД для их репликации) представляют так, что время передачи любой бинарной посылки $T_{\text{бп}}$ соответствует 70 мс (времени передачи «точки») в режиме амплитудной телеграфии (АТ) при передаче кода азбуки Морзе, при этом «тире» в режиме АТ передается 210 мс (в три раза длиннее «точки»), защитный интервал между бинарными посылками («точками» и «тире») $T_{\text{зщ}}$ внутри одного знака по времени равен периоду передачи «точки», а межгрупповой интервал между знаками информационного сообщения $T_{\text{мг}}$ – длительности «тире», рис. 4 а.

Для повышения оперативности доведения аварийных сигналов в ТМС в предложенном методе появляется возможность сократить время передачи удаленным терминалом подсистемы мониторинга бинарной посылки, повысив скорость трансляции сигналов аварии (ИИ), причём в ДПУ принятую бинарную последовательность возможно анализировать как в автоматическом режиме в режиме реального времени, так и в «ручном» режиме визуализации оператором с записью и последующим изменением скорости воспроизведения, или даже в статике – когда автоматический прием невозможен при сложной помеховой обстановке. Помимо этого, трансляция бинарных посылок внутри знака ИИ может быть осуществима как с защитным интервалом $T_{\text{зщ}}$, так и без него, что позволяет получить дополнительный выигрыш $T_{\text{в}}$ в оперативности передачи знака (рис. 4 б, в). Это важно для ранней идентификации развития аварийной ситуации на элементах ИТКС.

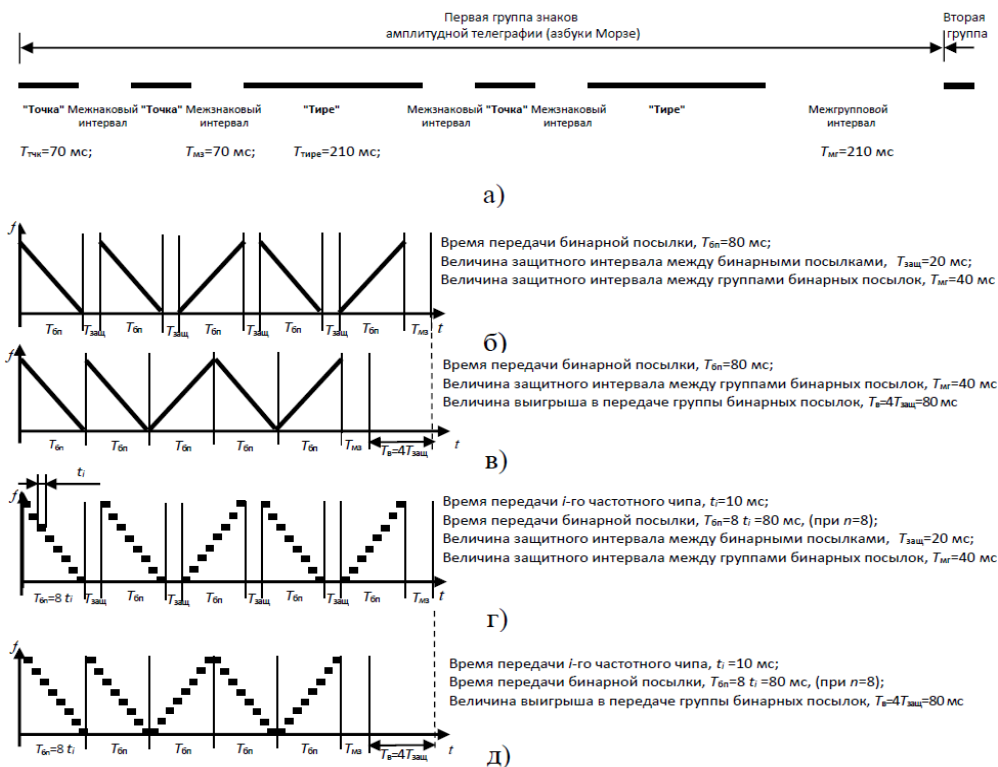


Рис. 4. Сравнение величины выигрыша в оперативности передачи знака (групп бинарных посылок) ИИ: а) при передаче АТ-сигналов в коде азбуки Морзе; б) при передаче бинарных посылок перспективной СКК (ЛЧМ-сигналов) с защитными интервалами между ними; в) при передаче бинарных посылок перспективной СКК без защитных интервалов между ними; г) при передаче бинарных посылок в виде многочастотного ДЛЧМ-сигнала с защитными интервалами между ними; д) при передаче бинарных посылок в виде многочастотного ДЛЧМ-сигнала без защитных интервалов между ними, позволяющего обеспечить работу в режиме ППРЧ

Для дальнейшего повышения оперативности предлагается межзнаковый интервал внутри информационной посылки сократить в сравнение с интервалами, используемыми при передаче кода азбуки Морзе. Полная ликвидация межзнакового интервала нецелесообразна, поскольку в этом случае на приемной стороне для эффективной идентификации знаков потребует создания дополнительной системы синхронизации.

На рис. 4 проведено сравнение выигрыша в оперативности передачи знаков ИИ. Так, при времени передачи бинарных посылок по предложенному алгоритму $T_{бп} = 80$ мс, величине защитного интервала между ними $T_{защ} = 20$ мс и величине защитного интервала между группами бинарных посылок (знаками) $T_{гр} = 40$ мс (рис. 4 б) величина выигрыша в оперативности трансляции знака ИИ (группы бинарных посылок) по сравнению с алгоритмом передачи кода азбуки Морзе в режиме АТ (рис. 4 а) составила 600 мс, т. е. более чем в два раза, а при отсутствии защитных интервалов внутри знака между бинарными посылками составит еще больше – 680 мс, рис. 4 в. Исходя из этого скорость передачи ИИ увеличится. Длину межзнаковых интервалов и самих бинарных посылок можно уменьшать и далее, а скорость передачи увеличивать, поскольку современные РПУ, построенные на SDR-технологиях, позволяют осуществлять запись принятой бинарной последовательности ИИ, а также анализ и идентификацию в дальнейшем при воспроизведении на медленной скорости или в статике.

На шаге 3 (рис. 2) осуществляют передачу сформированных ЛЧМ-сигналов известными ранее способами [12, 16]. При этом производят согласование ЧВХ разверток для каждой несущей $S_{ЛЧМ}^{0*}(t)$ и $S_{ЛЧМ}^{1*}(t)$ (рис. 3 а, б) по отношению к их длительности $T_{бп}$ в соответствии с условиями среды РРВ (в радиоканалах со сложной помеховой обстановкой $T_{бп}$ может быть увеличена). Причём на интервале $T_{бп}$ модулируют ИИ несущей частотой,

линейно изменяющейся от f_{\min} до f_{\max} или наоборот, в зависимости от трансляции информационных «0» или «1» в сформированном сигнале.

На шаге 4 (рис. 2) прием сигнала аварии РПУ на ДПУ также осуществляется ранее известными в радиотехнике способами [9, 13]. Причём после фильтрации сигнала производят согласование с ЛЧМ сигналом, его оцифровку и преобразование в другую частотную форму путём перемножения или смешивания принятого сигнала с сигналом, полученным от гетеродина со знаком изменения частоты, противоположным знаку изменения несущей частоты передаваемого сигнала, таким образом, что несущая частота преобразованного сигнала остаётся постоянной, либо частотные составляющие соответствующего спектра являются постоянными частотами. Также имеется возможность обработки спектральных гармоник принятого частотно-преобразованного сигнала с использованием более сложных схем фильтрации параллельно в блоке, по одиночке, либо комбинируя их друг с другом для восстановления, или выделения параметров, содержащих информацию. Для этого можно использовать известные способы [21].

На шаге 5 (рис. 2) производится отображение принятых бинарных посылок сигнала аварии (ИИ) ОК на экране монитора АРМ оператора ДПУ. Для борьбы с помеховыми составляющими возможно использование простых фильтров (например, полосно-пропускающих фильтров – ППФ). Они настраиваются на необходимые составляющие помех, или же эти составляющие переносятся в заданный диапазон частот, например, за счёт синхронизации соответствующей вспомогательной частоты с соответствующей многолучевой составляющей. Помимо этого, с целью улучшения помехоустойчивости в условиях помех можно применить согласованные фильтры с блоком защиты от сосредоточенных помех [22, 23].

На шаге 6 (рис. 2) производится декодирование бинарной посылки, отображенной на экране монитора оператора ДПУ путём соотнесения её с заданным образом из двоичного алфавита «0» или «1». При этом важно отметить, что до настоящего времени во всех используемых ЛЧМ несущих частотные градиенты устанавливаются относительно малой величины (около $\pm 20^\circ$ от вертикали), поэтому в рассматриваемом алгоритме визуализации для получения наилучшего технического результата при передаче данных и для эффективного декодирования оператором принятых бинарных посылок, с целью улучшения различимости информационных «1» и «0» и повышения помехоустойчивости ТМС величину градиента отображаемых на мониторе АРМ оператора бинарных посылок с линейно возрастающими или убывающими законами изменения частоты предложено поддерживать около $\pm 45^\circ$ от вертикали, как приведено на рис. 3 а, б. Такая величина градиента наклона бинарной посылки на спектрограмме оправдана тем, что только противоположные градиенты наклона ЛЧМ сигнала, близкие к $\pm 45^\circ$ (равноудалённые от вертикали и горизонтали) на изображении наиболее различимы нейронной сетью головного мозга при идентификации оператором, включая и идентификацию в условиях помех. Данное утверждение доказано изотерической практикой с применением «карт Зенера» [24], при которой для лучшего зрительного восприятия человеком наиболее различимыми фигурами являются: «/», «\», «x», «□», «○», «≈», «☆». При этом отображение отрезков с различной крутизной наклона градиентов «/» «\» на мониторе, фиксирующих линейно возрастающий (убывающий) законы изменения частоты легко меняется регулировкой скорости развертки на АРМ оператора, поддерживая оптимальную величину в 45° .

На шаге 7 (рис. 2) осуществляют распознавание (идентификацию) буквы (знака) принимаемого сообщения с заранее известной по БД (базе фильтров) в автоматическом режиме или в режиме реального времени непосредственно диспетчеру (оператору) ДПУ кодировкой (КОИ-8, МТК-2 и др.). Обычно, при нормальном изображении, целостность восприятия его оператором формируется эмпирически, а при недостаточно полном отображении действительности (потере некоторых элементов изображения) у оператора задействуется мыслительная деятельность. При фрагментарном зрительном представлении в образе объекта

зачастую могут отсутствовать некоторые значимые детали, что в существенной мере преодолевается за счёт развития навыков зрительного обследования объектов в сочетании с мыслительной деятельностью в ходе формирования целостного образа объекта как совокупности его свойств: схематизм, фрагментарность восприятия, неточное отражение в сознании внешнего мира. Если к данному процессу добавить еще один канал (степень свободы) восприятия, а именно, слух человека, то качество процесса отображения объекта в сознании внешнего мира существенно улучшится. При этом в неавтоматическом режиме визуальная идентификация принимаемой ИИ способствует увеличению скорости приема в сравнение со слуховым приемом, используемым до настоящего времени. Однако слух оператора принципиально не позволяет принимать знак в целом (при слуховом приёме). В то время как при визуализации проще распознавать (идентифицировать) и читать отображаемый на экране монитора текст познаково. Принятый знак визуально идентифицируется в целом «образами». Как отмечено в [25], мозг человека способен идентифицировать заранее известный зрительный образ за 13 мс, а также с высокой вероятностью восстановить весь образ (отрезок линии, фигуру, и т. п.) в целом при сохранении хотя бы 10 % его фрагментов на фоне визуальных шумов и помех. Причём исследования показали, что отображение визуальной информации познаково (с использованием кода МТК-2) фактически повышает скорость приема в 5 раз в сравнение с приёмом на слух отдельно и последовательно каждой бинарной посылки знака/буквы алфавита.

На шаге 8 (рис. 2) в случае необходимости, при сложной помеховой обстановке, а также при малой длительности бинарных посылок и высокой скорости их передачи, по сохраняемой в цифровой форме спектрограмме можно использовать режим замедленного воспроизведения (или режим статической картинки) для более детального восстановления принятых бинарных посылок в информационном сообщении по фрагментарным данным путем повторного визуального анализа. Предложенный метод возможно использовать для доведения любой двоичной информации с любой скоростью, поскольку современные средства ЭВТ располагают инструментарием записи на карту памяти для повторного просмотра и восстановления информации как в целом познаково (буквы, знаки, цифры), так и побитно (поэлементно) на медленной скорости воспроизведения или в статике. При этом восстановление ИИ по видеоизображению возможно даже при снижении ОСШ, когда исключена возможность приема азбуки Морзе автоматически или на слух. На спектрограмме рис. 5 показана возможность визуальной идентификации сигналов АТ (азбуки Морзе) при нахождении «тире» и «точек» рядом с шумовой помехой, под сосредоточенной помехой и под шумовыми помехами. Как видно на спектрограмме, в условиях помеховой обстановки, показанной на рис. 5а еще возможен прием на слух, в то время как на рис. 5 б-г приведен случай, когда слуховой прием невозможен.

Оценка полученных результатов применения заявленного метода (по варианту 1)

Вариант идентификации бинарных посылок по предложенному алгоритму представлен на рис. 6, где в режиме реального времени сигнал с правым и левым градиентами наклона бинарных посылок хорошо просматривается в центральной части спектрограммы рис. 6 в на участке диапазон частот, свободном от помех и шумов, в отличие от использования сигнала с унаследованной структурой (азбуки Морзе) при ОСШ ≈ 0 дБ и ОСШ ≈ -40 дБ (рис. 6 а и рис. 6 б).

При переносе передачи сигнала предложенным методом в полосу частот, занятую мощной сосредоточенной помехой его можно легко восстановить визуально по левому и правому градиенту наклона бинарных посылок, рис. 6 в, несмотря на ОСШ $h_n = -40$ дБ, табл. 1.

При использовании ДЛЧМ-сигналов число частотных чипов внутри формируемой бинарной посылки может быть разным, например, до 10 и более. В адаптивных радиосистемах это зависит от состояния среды РРВ или от преднамеренного воздействия. Так на рис. 3 д, е представлены информационные бинарные посылки с 8 частотными чипами, что существенно повышает помехоустойчивость предлагаемого метода, поскольку вероятность одновременных глубоких замираний сигнала в такой частотной полосе меньше вероятности столь же глубоких замираний в частотной полосе индивидуально каждого передаваемого частотного чипа.

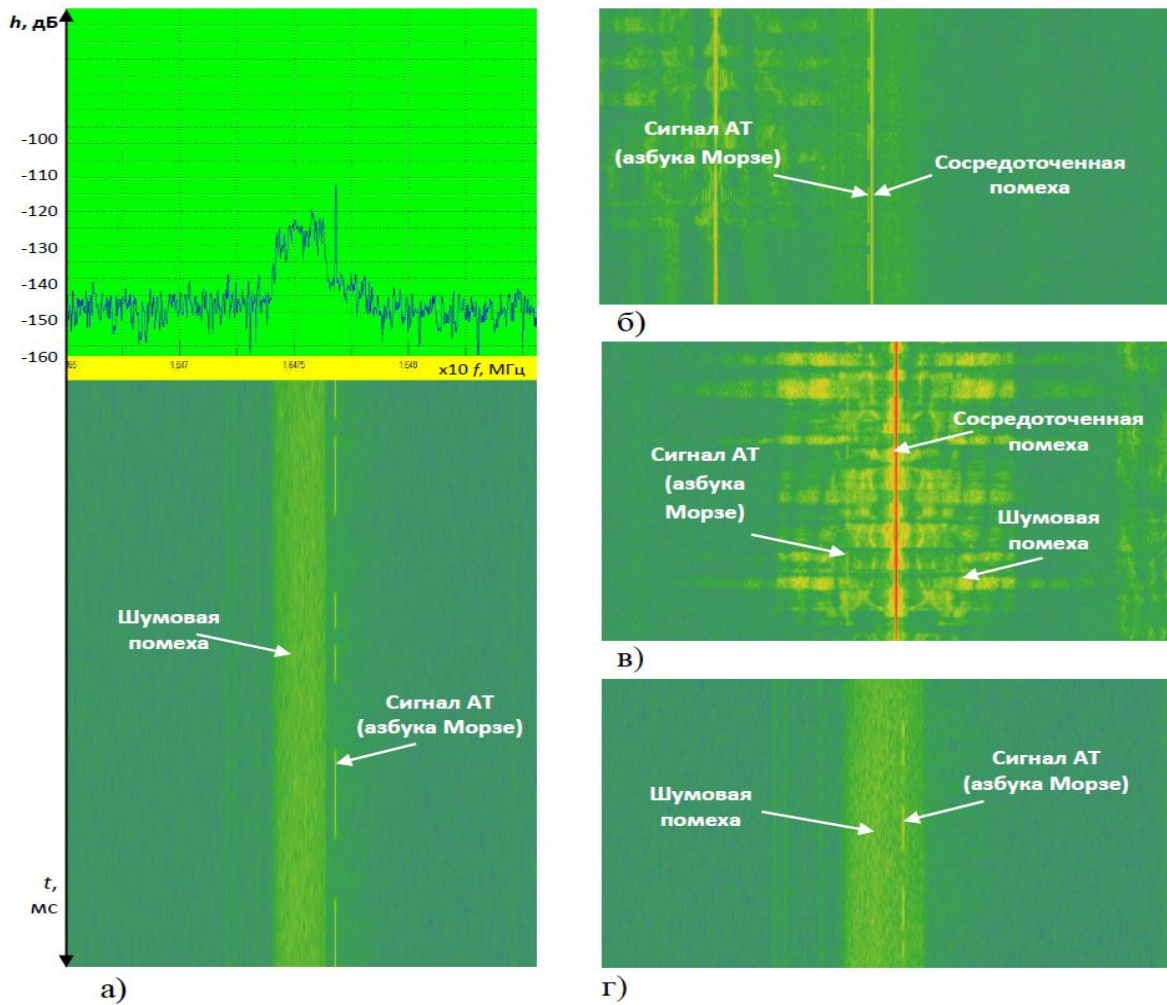
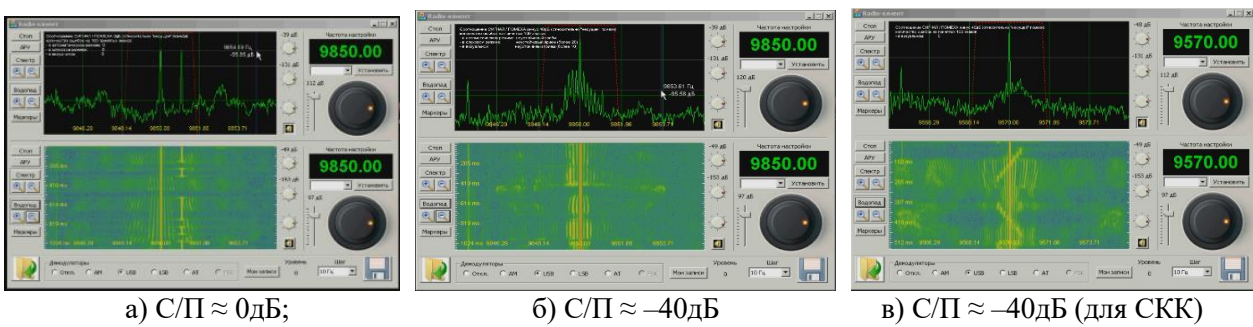


Рис. 5. Вариант визуализации сигналов кода Морзе (АТ) в условиях шумовых и сосредоточенных помех: а) спектрограмма и АЧХ сигнала АТ рядом с шумовой помехой; б) спектрограмма сигнала АТ рядом с сосредоточенной по спектру помехой; в) спектрограмма сигнала АТ под мощными сосредоточенной и шумовой помехами; г) спектрограмма сигнала АТ под шумовой помехой



а) $S/P \approx 0\text{dB}$; б) $S/P \approx -40\text{dB}$ в) $S/P \approx -40\text{dB}$ (для СКК)

Рис. 6. Вариант идентификации бинарных посылок в виде ЛЧМ-сигналов: а) без помех $h_{\text{п}} = 0\text{ dB}$; б) в условиях сосредоточенной помехи с уровнями помехи и сигнала $h_{\text{п}} = -40\text{ dB}$; в) отображение сигнала с перспективной СКК, $h_{\text{п}} = -40\text{ dB}$

Таблица 1 – Соотношение уровня сигналов и помех в канале связи подсистемы мониторинга ИТКС

Соотношение (С/П), дБ (относительно «несущей» помехи)	Автоматический режим	Слуховой режим	Визуальный режим
0	0	0	0
-20	3-5	1-2	0
-40	неустойчивый прием	неустойчивый прием (более 20)	неустойчивый прием (более 10)

Минимальное число частотных чипов, достаточных для надежной (уверенной) идентификации на приемной стороне (с определением линейно убывающего или возрастающего градиента наклона по закону дискретного изменения частоты) при визуальном восприятии оператором информации, равно двум, поскольку любой наклон отрезка определяется всего лишь по двум точкам. Это говорит о том, что даже в случае глубоких замираний, поражающих один или несколько частотных чипов, из которых состоит бинарная информационная посылка, на приёмной стороне для ее визуальной идентификации достаточно уверенно распознать (восстановить) всего два частотных чипа с дальнейшим определением градиента наклона бинарной посылки. Так, на рис. 7 показан вариант визуального восстановления принятой в помехах бинарной посылки по сохранившимся фрагментарным данным, когда принято четыре (рис. 7 а), три (рис. 7 б) и два (рис. 7 в, г, д) из шести элементов бинарных посылок (частотных чипов) в условиях воздействия сосредоточенных по спектру помех. Вертикальные пунктирные и сплошные линии на рис. 6 соответствуют мощным сосредоточенным помехам на спектрограмме.

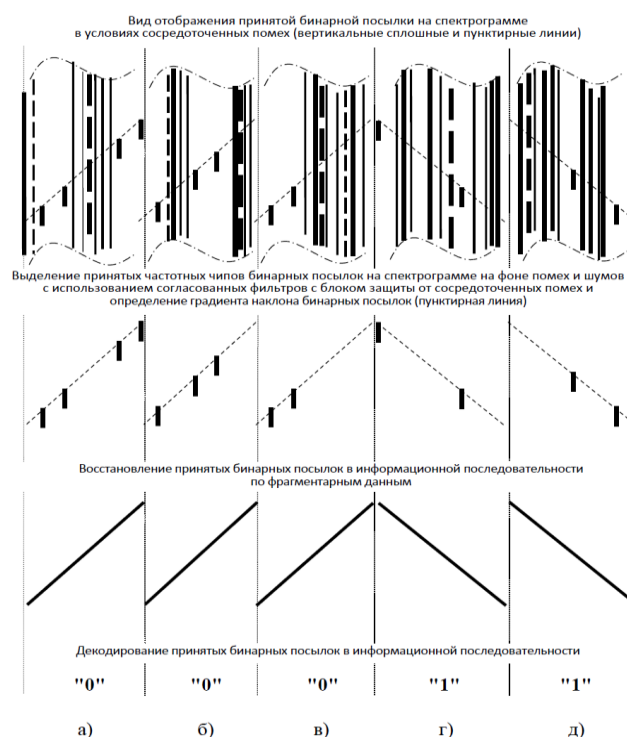


Рис. 7. Вариант визуального восстановления принятой в помехах бинарной посылки по сохранившимся фрагментарным данным, при приёме четырёх (а), трёх (б) и двух (в, г, д) из шести элементов бинарных посылок (частотных чипов) в условиях воздействия сосредоточенных по спектру помех

Таким образом, теоретический и практический эффект от полученного научного результата при реализации предложенного метода заключается:

- в повышении помехоустойчивости ИИ, передаваемой в подсистеме мониторинга распределённой ИТКС, к сосредоточенным по спектру помехам;
- обеспечении равновероятного приема ЛЧМ-сигналов в предложенной перспективной СКК в смысле обеспечения одинаковой помехоустойчивости для условных «ЛЧМ-точек» и «ЛЧМ-тире». Здесь следует отметить, что при передаче в унаследованном режиме АТ кода Морзе, наблюдается различная помехоустойчивость «точек» и «тире». В наследуемых РЛ при воздействии сосредоточенных помех «точка» зачастую может трансформироваться в «тире». Для новой СКК такой трансформации не произойдет;
- возможности использования на средствах связи старого парка исходя из классического определения, что широкополосный сигнал не создает шумов для узкополосного;
- повышении различимости на общем слуховом фоне приема «тире» и «точек»;

- простоте реализации согласованных фильтров автоматического приема ЛЧМ-сигналов;
- совместимости ЛЧМ-сигналов ИИ с иными РЛ наследуемого класса;
- расширение степеней свобод в возможных методах приема ИИ как в автоматизированном, так и в ручном режимах (визуализация, слух). В обычных условиях работает автоматический прием ИИ, но при преднамеренном воздействии ДФ на ИТКС (телекоммуникационный уровень подсистемы мониторинга), добавляется визуализация и слух;
- простота организации допускового контроля параметров ЛЧМ-сигналов (скважность их следования, снижение глубины модуляции градиента наклона «точек» и «тире» и пр.).

Вариант 2. В качестве второго варианта рассматриваемого метода повышения помехозащищенности удалённого мониторинга ТС территориально-распределенной ИТКС для передачи сигналов аварии на телекоммуникационном уровне её подсистемы мониторинга предложено использовать режим «быстрой» ППРЧ. Так в работе [26] описывается режиме ППРЧ используемый для передачи данных по ДКМ РЛ в целях повышения их помехозащищенности. Это обусловлено уменьшением влияния как случайных, так и преднамеренных помех на работу таких РЛ, а также снижением вероятности группирования ошибок, вызванных наличием глубоких замираний сигнала в принимаемых сообщениях. В [27] отмечено, что дальнейшее повышение качества приема при сохранении скорости передачи ИИ может достигаться при использовании многоканальной РЛ с параллельным излучением элементов сообщения в виде узкополосных (сверхузкополосных) сигналов в режиме ППРЧ.

Сначала формируется бинарная посылка в виде многочастотного дискретного сигнала, включающая n чипов, каждый i -й которого, $i = \overline{1, n}$, передают на частоте псевдослучайного кода, а на ДПУ (СЦ) путем преобразования в исходную частотную форму принимаемого сигнала, принимают и восстанавливают. Причем, при передаче каждого i -го частотного чипа бинарной посылки «0» или «1» несущие колебания частот «точек» и «тире» f_i^{0r} (f_i^{1r}) дискретно изменяют с равномерным шагом до частотного преобразования по псевдослучайному закону $\Delta f = f_i^{0r(c1r)} - f_{i-1}^{0r(c1r)} = f_{i+1}^{0r(c1r)} - f_i^{0r(c1r)}$, с постоянным дискретно повышающим или дискретно понижающим на заданных интервалах времени $T_{\text{бн}}^{0r}$ или $T_{\text{бн}}^{1r}$ изменением частоты так, что несущие колебания частот на длительности i -го частотного чипа t_i остаются постоянными ($f_i^{0r} = \text{const}$, $f_i^{1r} = \text{const}$). После чего осуществляется прием сигнала с обратным псевдослучайному закону преобразованием. Принятые n частотных чипов многочастотного дискретного сигнала отображают в виде группы n чипов, воспроизводящих вид бинарной посылки на спектрограмме в плоскости «время-частота» с соответствующим градиентом наклона визуально или в автоматическом режиме. Далее принятый бит ИИ декодируют по заданному образцу (из базы образов) по двоичному алфавиту, и на завершающем этапе по принятой бинарной последовательности автоматически или по зрительному образу идентифицируют знак сообщения.

Приращение помехозащищенности средств удалённого мониторинга осуществляется за счет введенной последовательности действий, представленной в блок-схеме алгоритма рис. 8 на основе использования визуальной или автоматической идентификации перспективной СКК аварийных сигналов в режиме внутрибитовой ППРЧ, при длительности частотного чипа по времени, меньше времени реакции системы радиоэлектронного противодействия (РЭП).

Причём добиться повышения помехозащищенности и фактического преобразования канала с прицельной преднамеренной помехой в канал со случайными сосредоточенными по спектру помехами с последующим выделением на фоне помех «полезного» сигнала осуществляется за счёт идентификации (визуальной и автоматической) принятых бинарных посылок. При ошибочном распознавании, в случае автоматического приема, повышение помехозащищенности производится за счёт последующей параллельной идентификации отличий зрительного образа бинарных посылок от отображения помех оператором ДПУ,

согласно базе образов, по градиентам их наклона и другим характеристикам. Помимо этого, данный процесс обеспечивается за счет доведения от зрительного анализатора до нейронной сети головного мозга оператора информации, отображаемой на спектрограмме (зрительный анализатор «транслирует в мозг» до 90 % информации об окружающем мире) [19, 24].

Предлагаемый метод повышения помехозащищенности удалённого мониторинга ТС территориально-распределенной ИТКС с использованием режима «быстрой» ППРЧ сводится к алгоритму (рис. 8), включающему следующими действиями, в соответствии с 9 шагами.

На шаге 1 на удаленном терминале сенсорного уровня ТМС в формирователях сигналов РПДУ формируются бинарные послылки на основе многочастотных дискретных сигналов, в котором несущие колебания частот f_i^{0*} или f_i^{1*} каждого i -го ($i = \overline{1, n}$) частотного чипа, логической бинарной послылки «0» или «1» скачкообразно изменяются с постоянным (линейным) повышающим или понижающим градиентом на установленном интервале времени, как показано на рис. 3 д-з, при $n = 8$. Причём шаг скачкообразного изменения частоты Δf между частотными чипами, обеспечивающими передачу логического «0» или логической «1» одинаков $\Delta f = \text{const}$, $\Delta f = f_i^{0*(1*)} - f_{i-1}^{0*(1*)} = f_{i+1}^{0*(1*)} - f_i^{0*(1*)}$. Частота передачи каждого i -го чипа при формировании логических «0» или «1» внутри чипа также постоянна ($f_i = \text{const}$), в то время как увеличение частот от f_1 до f_n от одного чипа к другому изменяется по способу модуляции скачкообразного изменения частоты по линейному закону.

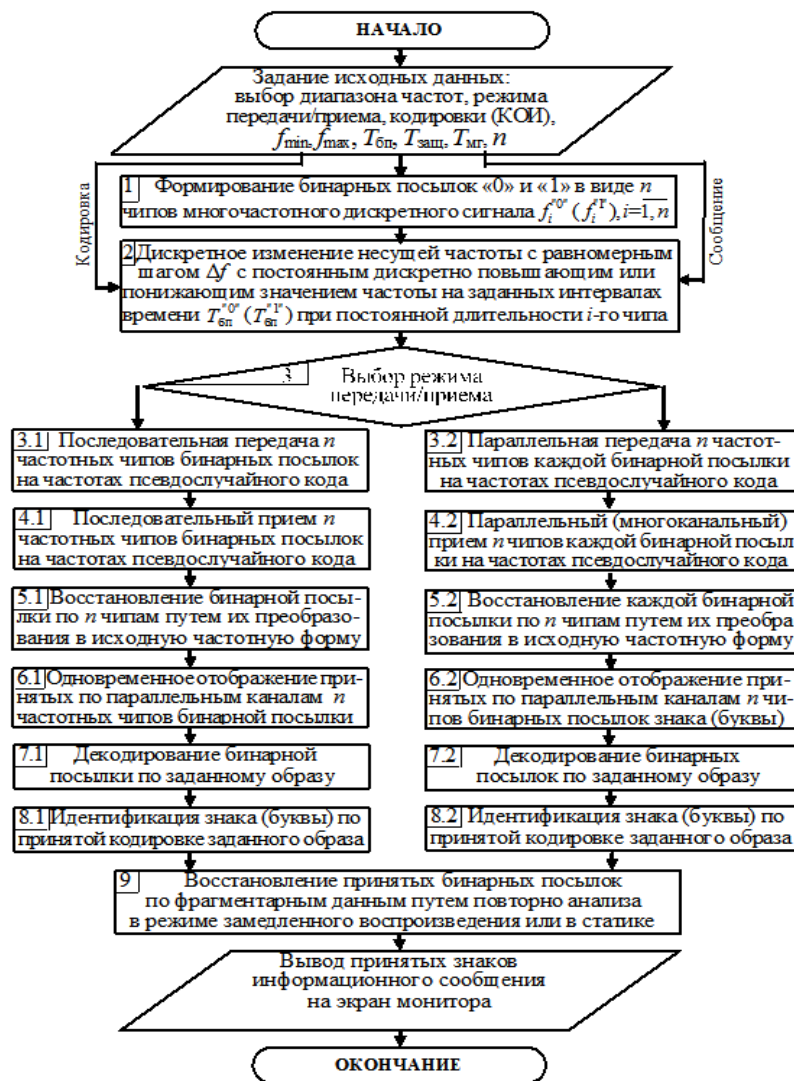


Рис. 8. Алгоритм повышения помехозащищенности удалённого мониторинга технического состояния территориально-распределенной ИТКС ОП с использованием режима «быстрой» ППРЧ

На шаге 2 (рис. 8) в сформированных на шаге 1 бинарных посылках (рис. 3 д-з) изменяют частоту модуляции дискретно через одинаковые промежутки времени Δt , которые равны величине временных дискретов для каждого из n чипов бинарной посылки «0» или «1» на установленных интервалах времени $T_{\text{бн}}^{0^*}$ или $T_{\text{бн}}^{1^*}$ с длительностью каждого t_i . При этом данные длительности бинарных посылок равны между собой $T_c = T_{\text{бн}}^{0^*} = T_{\text{бн}}^{1^*} = nt_i$, $i = \overline{1, n}$.

Длительность временного дискрета i -го чипа t_i зависит от заданной (требуемой) точности идентификации сигнала ГИ-ТС в условиях различного состояния среды РРВ (помеховой обстановки) и должна выполнять условия: быть меньше времени срабатывания системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ) противоборствующей стороны [28]

$$t_i < \tau_{\text{РЭБ}}^{\text{реакц.}}$$

Число частотных чипов в одной бинарной посылке, соответствующих логическим «0» или «1» должно быть не менее чем отношение

$$n = [T_{\text{бн}} / \tau_{\text{РЭБ}}^{\text{реакц.}}]$$

Максимально возможное число частотных чипов n , обеспечивающих формирование бинарной посылки (логических «0» или «1»), и надежной (устойчивой) их идентификации на АРМ оператора ДПУ при воздействии преднамеренных, мультипликативных и аддитивных (сосредоточенных и шумовых) помех, зависит от ширины выделенной полосы частот для ТМС. Чем шире выделена полоса частот, тем ниже вероятность попадания ДКМВ канала связи ТМС в интервал селективных замираний или под помеху. Причём полосу частот в ДКМВ радиоканалах для передачи чипов ДЛЧМ-сигналов необходимо выбирать больше коэффициент частотной корреляции в канале для недопущения ситуации, когда вся бинарная посылка может попасть под замирания. С высокой вероятностью селективные замирания в ДКМВ канале связи проявляются в полосе $3 \div 5$ кГц. В связи с чем для борьбы с замираниями транслируемых частотных чипов внутри бинарных посылок «0» или «1» частотную полосу для них необходимо устанавливать шириной в $10 \div 15$ кГц.

При этом несущие колебания частот излучения каждого i -го чипа $f_i^{0^*}$ или $f_i^{1^*}$ меняются с равномерным шагом и постоянным дискретно повышающим или понижающим градиентом модуляции на заданных интервалах времени $T_{\text{бн}}^{0^*}$ ($T_{\text{бн}}^{1^*}$) при сохранении их постоянными $f_i^{0^*} = \text{const}$ ($f_i^{1^*} = \text{const}$).

Для передачи нулевой бинарной посылки (логического «0») из веера n частотных чипов формируется сигнал с линейно возрастающим законом дискретного изменения частот передачи $f_1 \div f_n$ от $f_{\text{min}} = f_1 = f_1^{0^*}$ до $f_{\text{max}} = f_n = f_n^{0^*}$, при $f_i^{0^*} > f_{i-1}^{0^*}$.

Для передачи единичной бинарной посылки (логической «1») из веера n частотных чипов формируется сигнал с линейно убывающим законом дискретного изменения частот передачи чипов от $f_{\text{max}} = f_1 = f_1^{1^*}$ до $f_{\text{min}} = f_n = f_n^{1^*}$, при $f_i^{1^*} < f_{i-1}^{1^*}$.

Кроме этого, трансляцию бинарных посылок внутри буквы (знака) можно осуществлять с защитным интервалом $T_{\text{защ}}$ или без него (рис. 4 г, д), позволяя получить дополнительный выигрыш $T_{\text{в}}$ по времени передачи знака (буквы).

На шаге 3 (рис. 8) с целью повышения помехозащищенности при передаче ИИ с удаленного терминала ТМС частотные чипы бинарной последовательности «1» или «0» передают в режиме ППРЧ (на частоте псевдослучайного кода), например, см. рис. 4 д, с последующей обратной сверткой бинарной посылки на приёмной стороне. Это позволяет получить более высокую устойчивость при передаче ИИ в условиях динамических помех. При этом передача бинарных посылок производится в режиме так называемой «побитовой» ППРЧ [25], когда каждый i -й частотный чип внутри логической бинарной посылки «1» или «0» передаётся на частотах псевдослучайного кода $f_i^{0^*(1^*)}$ ППРЧ. Причём число чипов n внутри одной бинарной посылки равно числу скачков рабочей частоты и более (рис. 3 д, е).

На шаге 4 (рис. 8) на ДПУ сигналы ИИ с удалённого терминала ТМС принимаются известным способом [25] и обрабатываются в соответствии с заданным порядком их трансляции [9, 10] или по частотно-временной матрице ППРЧ [32], осуществляя целенаправленный перенос независимых частотных чипов (элементов бинарной посылки) сигнала, распределённых в режиме побитовой ППРЧ в частотно-временной области, путем фильтрации, оцифровки и преобразования в иную частотную форму [28, 30] осуществляя перемножение принимаемого сигнала со сформированным сигналом гетеродина на частотах используемого передающей стороной псевдослучайного кода со знаком градиента частоты, противоположный градиенту частоты несущей волны, так, что несущая частота принимаемого (преобразованного) сигнала является постоянной, или частотные составляющие спектра сигнала будут представлять собой постоянные частоты.

На шаге 5 (рис. 8) восстанавливают принятую бинарную посылку, преобразуя её частотные чипы в исходную частотную форму определенного градиента наклона.

На шаге 6 (рис. 8) после обратного преобразования по псевдослучайному закону и восстановлению на приёмной стороне бинарные посылки отображают на спектрограмме в плоскости «время-частота» в виде группы n чипов с установленным градиентом наклона в составе информационной бинарной последовательности. При этом для эффективного декодирования и идентификации отображённых на экране монитора бинарных посылок, величину их градиента необходимо поддерживать около $+45^\circ$ от вертикали, рис. 3 д, е, что доказывалось изотерической практикой с применением «карт Зенера» [24]. Представление бинарных посылок на спектрограмме типа «водопад» на экране монитора оператора ДПУ показано на рис. 6 в. Для отделения/очистки от помех принятого сигнала можно использовать фильтрацию, как описано на этапе 5 предыдущего алгоритма.

На шаге 7 (рис. 8) осуществляется декодирование принятой бинарной посылки в соответствие с заданным образом (из базы образов) двоичного алфавита «0» или «1» по процедуре шага 6 предшествующего алгоритма. Для эффективного визуального или автоматического декодирования бинарных посылок на экране монитора АРМ оператора в зоне отображения принимаемых импульсов реализуется «маска», отображающая принятые сигналы с левым и правым градиентами наклона. Такой подход используется для сокращения площади отображения сигналов, наращивания скорости и повышения вероятности правильного анализа принятого графического элемента сообщения (информационного бита). При этом использование пространственных фильтров (ПФ) ПФ-0 и ПФ-1 для графических «0» и «1» позволяет увеличить вероятность приёма путём решения задачи сравнительной оценки правдоподобия объекта распознавания оператором ДПУ (нейронной сетью мозга человека) или автоматически (ЭВМ).

На сегодня все методы передачи/приема и декодирования информации, на основе применения режима ППРЧ в обязательном порядке требуют автоматического приема, а также наличия системы синхронизации. В то же время в предложенном методе повышения помехозащищенности удалённого мониторинга ТС территориально-распределенной ИТКС с использованием режима «быстрой» ППРЧ без наличия дорогостоящей системы единого времени (СЕВ) невозможно обеспечить четкую синхронизацию на протяжённых РЛ, тем более при длительности в 10-20 мс трансляции частотного чипа бинарной посылки (т. е. меньше времени реакции системы РЭБ, $t_i < \tau_{\text{РЭБ}}^{\text{реакт.}}$) [28]. В связи с этим, новизной предложенного метода является то, что синхронизация РЛ осуществляется без размещения на удаленном терминале СЕВ, а только путем ввода в текст информационного сообщения (ИИ) межзнаковых интервалов, после передачи каждой группы частотных чипов бинарной информационной посылки: буквы, знака, цифры. Так, если в коде азбуки Морзе длина межгруппового интервала равна 210 мс, то при передаче ИИ предложенным методом в режиме «быстрой» ППРЧ межзнаковый интервал соизмерим с временем трансляции бинарной посылки (бита) – 40-80 мс.

При этом отсутствие дорогостоящей СЕВ в предложенном методе является значительным преимуществом, и наряду с использованием ППФ, существенно уменьшающих площадь анализа частотно-временного пространства на спектрограмме при визуальном или автоматическом декодировании бинарных посылок. Это позволяет вести устойчивый приём ИИ (аварийных сигналов и сигналов ТИ-ТС) от удаленных терминалов ТМС в режиме ППРЧ как автоматически, так и визуально, что особо важно при приёме и декодировании ИИ оператором ДПУ в условиях мощных помех.

На шаге 8 (рис. 8) осуществляется идентификация букв (знаков) принимаемой ИИ по результатам анализа декодированных бинарных посылок с априори известным кодом (КОИ-8, МТК-2 и др.) по БД визуально оператором в режиме реального времени или автоматически.

На шаге 9 (рис. 8) в условиях сложной помеховой обстановки, а также в случае высокой скорости передачи или малой длительности частотных чипов бинарных посылок, по записанной в цифровой формате спектрограмме можно произвести восстановление принятых бинарных посылок информационного сообщения (ИИ) по фрагментарным данным на основе повторного визуального анализа в режиме замедленного воспроизведения (в статике), или автоматически.

Оценка полученных результатов применения заявленного метода (по варианту 2)

Предложенный метод фактически может быть использован для передачи любой двоичной информации с различной скоростью, поскольку современные средства ЭВТ позволяют вести запись в карту памяти, а также за счёт использования реплицированных БД на АРМ ДПУ для документирования, дополнительного анализа и восстановления измерительной информации.

Эффективность предложенного метода повышения помехозащищенности удалённого мониторинга ТС территориально-распределенной ИТКС ОП с использованием режима «быстрой» ППРЧ, функционирующей в сложных условиях помех, может быть оценена вероятностью безошибочного приема ИИ (аварийных сигналов), см. табл. 2.

Таблица 2 – Вероятность безошибочного приема аварийного сигнала в условиях помех (для сообщения длиной 40 знаков)

Вид помехи	Штатный код Морзе			СКК, оптимизированная для визуального приема		Режим ППРЧ	
	Слуховой прием	Слуховой + визуальный прием	Автоматический прием	Визуальный прием	Автоматический прием	Визуальный прием	Автоматический прием
Сосредоточенная	0,67	0,73	0,57	1,0	0,99	1,0	1,0
Широкополосная	0,83	0,92	0,71	0,98	0,68		

Теоретической и практической значимостью предложенного метода повышения помехозащищенности удалённого мониторинга технического состояния территориально-распределенной ИТКС ОП с использованием режима «быстрой» ППРЧ, дополнительно к перечисленному выше является:

- повышение скрытности работы подсистемы мониторинга за счёт трансляции каждого частотного чипа бинарной посылки на своей частоте с длительностью менее времени реакции системы РЭП;

- увеличение оперативности почти в 2 раза в передаче ИИ при работе на уровне телекоммуникации ТМС при отсутствии защитного интервала между знаками в буквах и словах кода Морзе с новой СКК, а также за счет параллельных передачи и приема бит в режиме ППРЧ;

- повышение оперативности приёма ИИ при работе ТМС за счет того, что в наследуемом режиме радиообмена (АТ) обычно приём ведется побитно (последовательно), но оператор (радиотелеграфист) воспринимает (читает) информацию позначно (цифрами, буквами). Как раз предложенный метод на основе параллельной передачи/приёме ИИ в канале радиосвязи и визуальном отображении бинарных посылок на мониторе позволяет оператору ДПУ воспринимать сообщения позначно. При автоматическом приеме на экране

монитора отображается текст ИИ, принимаемый на различных скоростях, независимых от подготовки (обучения) оператора ДПУ к приему кода Морзе;

– отказ от необходимости использования СЕВ при реализации в ТМС приема ИИ на ДПУ методом, основанном на побитовой («быстрой») ППРЧ.

Заключение

Проведенные исследования предложенных Метода повышения помехоустойчивости удалённого мониторинга ТС территориально-распределённой ИТКС ОП и Метода повышения помехозащищенности удалённого мониторинга ТС территориально-распределённой ИТКС ОП с использованием режима «быстрой» ППРЧ показали возможность обеспечения эффективного функционирования подсистем мониторинга распределённых сетевых инфраструктур.

Новизной данных методов является возможность передачи/приема ИИ от сенсорного уровня ТМС к ДПУ, представленных перспективными СКК на основе ЛЧМ- и ДЛЧМ-сигналов с противоположными (+450) градиентами наклона, отличными от нулевого градиента прямых, отображающих при регистрации передаваемой ИИ на спектрограмме в плоскости «время-частота» сосредоточенные по спектру помехи. При этом ИИ на передающей стороне представляется бинарными посылками в виде отрезков ЛЧМ- (ДЛЧМ-) сигналов с линейно возрастающим или линейно убывающим законами изменения частоты в соответствии со значением бинарной посылки (информационный «0» или информационная «1»), а на приемной стороне их автоматически (или визуально) распознают с помощью банка фильтров, что и относится к новизне заявленных методов.

В отличие от существующих способов [7, 10, 25, 26], предложенные методы повышения помехоустойчивости в системах удалённого мониторинга позволяют вести приём аварийных сигналов (ИИ) в автоматическом режиме. При изменяющейся динамике состояния среды РРВ (шумы, помехи, замирания) оператору ДПУ возможно применение комбинированного приема: автомат-видео-слух. В обычной обстановке используется автоматический прием ИИ (сигналов аварии), а в условиях воздействия ДФ на ТМС ИТКС добавляется возможность слухового или визуального приема на ДПУ.

Так на рис. 5 показана сложная помеховая обстановка (широкополосная помеха), при которой превышение уровня сосредоточенной помехи над уровнем полезного сигнала составляет 40 дБ. В таких условиях использован предложенный метод повышения помехоустойчивости с передачей аварийного сигнала, построенного на основе новой СКК с использованием ЛЧМ-сигналов. Вероятность правильного приема элемента сообщения (бита ИИ) в данном случае для автоматического режима приёма составила $P_{пр}^{Авт.} = 0,68$, а для визуального приёма сообщения в тех же условиях помех значение вероятности правильного приема будет равно $P_{пр}^{Виз.} = 0,98$. При трансляции сообщения с ИИ той же длительностью (длиной 40 знаков) с применением предложенного метода повышения помехозащищенности в режиме ППРЧ для сложной помеховой обстановки (широкополосная помеха) с уровнем преднамеренных помех выше уровня полезного сигнала на 40 дБ, как в автоматическом режиме, так и при визуальном приёме можно обеспечить вероятность правильного приема информационного бита $P_{пр}^{Авт.} = 1,0$, $P_{пр}^{Виз.} = 1,0$.

На основании чего можно сделать вывод о повышении помехоустойчивости в системах удаленного мониторинга предложенными методами. Здесь важно отметить, что помехоустойчивость рассмотренных в статье методов также будет зависеть от выбранного диапазона частот, состояния среды РРВ, длительности бинарной посылки (Тбп), количества частотных чипов n , используемых для её формирования и их длительности t_i , а также от потенциальных возможностей системы РЭБ.

Литература

1. Будко П.А., Винограденко А.М., Кузнецов С.В., Гойденко В.К. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 71-101.
2. Яшин А.И., Будко П.А., Винограденко А.М., Педан А.В. Имитационное моделирование автоматизированной системы контроля технического состояния элементов распределенных радиоцентров // Морская радиоэлектроника. 2018. № 1 (63). С. 32-37.
3. Zelensky E.G., Kononov Yu.G., Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Samoylenko V.V. Development of a distributed multi-agent system monitoring and control networks of 0.4–35 kV // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, (CTS 2017). 2017. Vol. 2. P. 271-274. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109543.
4. Яшин А.И., Будко П.А., Винограденко А.М. Интеллектуальный контроль технического состояния морского робототехнического комплекса // Морская радиоэлектроника. 2020. № 1 (71). С. 48-53.
5. Михайлов Р.Л., Макаренко С.И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на нее дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4. С. 69-79.
6. Исаков Е.Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. – СПб.: Политехнический университет, 2009. – 400 с.
7. Николашин Ю.Л., Кулешов И.А., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. SDR радиоустройства и когнитивная радиосвязь в декаметровом диапазоне частот // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 1. С. 20-31.
8. История отечественных средств связи. / Под ред. А.С. Якунина. – М.: Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2013. – 576 с.
9. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 513 с.
10. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. Перспективные методы повышения помехоустойчивости декаметровых радиолиний // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2014. № 1. С. 30-37.
11. Айзенберг Г.З., Грудинская Г.П., Белоцерковский Г.Б. Некоторые рекомендации по работе на длинных волнах // Радиолобитель КВ и УКВ. 1999. № 2. С. 43-54. – URL: <http://qrss.thersgb.net/Receiving-QRSS.html> (дата обращения: 05.05.2020).
12. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 432 с.
13. Нарытник Т.Н. Радиорелейные и тропосферные системы передачи. Киев: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре»», 2003. 336 с.
14. Беккиев А.Ю., Борисов В.И. Базовые принципы создания помехозащищенных систем радиосвязи // Теория и техника радиосвязи. 2014. № 1. С. 3-16.
15. Budko P.A., Vinogradenko A.M. Adaptive System Monitoring of the Technical Condition Technological Objects Based on Wireless Sensor Networks // III International scientific Conference «Communications in computing and information Science» (Convergent'2018). Moscow, 2018. Vol. 1140. Springer, Cham. P. 200-210. doi: 10.1007/978-3-030-37436-5-18.
16. Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Samoylenko V.V., Samoylenko I.V., Sharipov I.K., Anikuev S.V. Mathematical aspects of stable state estimation of the radio equipment in terms of communication channel functioning // Proceedings of 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. P. 547-559. doi: 10.1007/978-3-030-36625-4-44.
17. Budko P.A., Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Samoylenko V.V., Pedan A.V. Approach to the intellectual monitoring of the technical condition of difficult dynamic objects on the basis of the systems of a polling // Proceedings of 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. P. 560-573. doi: 10.1007/978-3-030-36625-4-45.
18. Кизима С.В., Митченков С.Г., Емельяников Б.Б. Когнитивные радиотехнологии. Аспекты практической реализации // Электросвязь. 2014. № 9. С. 43-47.
19. Евин И.А. Синергетика мозга. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. – 108 с.
20. Айзман Р.И., Герасёв А.Д., Дюкарев И.А. Молекулярные основы физиологии человека: Компендиум. – Новосибирск: НГПУ, 2010. – 306 с.
21. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

22. Семенов А.М., Сикарев А.А. Широкополосная связь. – М.: Воениздат, 1970. – 278 с.
23. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И., Урядников Ю.Ф., Дергачев Ю.А., Сулиманов А.А. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г. И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
24. Кордуэлл М. Психология. А-Я. Словарь-справочник. – М.: ФаирПресс, 2000. – 448 с.
25. Будко Н.П., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жолдасова А.Е., Жуков Г.А., Кулешов И.А., Мальцев Д.С., Мирошников В.И., Николашин Ю.Л., Фатюхин И.Н. Способ передачи и приема бинарной информации по каналам радиосвязи в неавтоматическом режиме (варианты) // Патент на изобретение RU 2605045 С1, опубл.: 20.12.2016 Бюл. № 35.
26. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. Повышение эффективности функционирования декаметровых радиолиний // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 2. С. 4-10.
27. Будко П.А., Жуков Г.А., Кулешов И.А., Мирошников В.И., Николашин Ю.Л., Фатюхин И.Н. Способ помехоустойчивой передачи данных до глобально удаленных объектов // Патент на изобретение RU 2774894 С1, опубл.: 24.06.2022 Бюл. № 18.
28. Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Вузовская книга, 2013. – 360 с.
29. Дьяконов В.П. Современные цифровые анализаторы спектра // Компоненты и технологии. 2010. № 5. С. 185-195.
30. Fedorenko V.V., Kononov Y.G., Vinogradenko A.M., Samoylenko V.V., Samoylenko I.V. The time-probability characteristics of a telemetry signal with the variable number of bits // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, (CTS 2017). 2017. Vol. 2. P. 146-149. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109511.

References

1. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Kuznetsov S.V., Goydenko V.K. *Realizatsiya metoda mnogourovnevnogo kompleksnogo kontrolya tehniceskogo sostoyaniya morskogo robototekhnicheskogo kompleksa* [Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot]. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 71-101. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf> (in Russian).
2. Yashin A.I., Budko P.A., Vinogradenko A.M., Pedan A.V. *Imitatsionnoe modelirovanie avtomatizirovannoy sistemy kontrolya tehniceskogo sostoyaniya elementov raspredelennih radiotsentrov* [Simulation simulation of automated system for monitoring of technical condition of distributed radio center elements]. *Sea radio electronics*, 2018, no. 1 (63), pp. 32-37. (in Russian).
3. Zelensky E.G., Kononov Yu.G., Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Samoylenko V.V. *Razrabotka raspredelennoy mul'tiagentnoy sistemi monitoring i upraleniya rezhimami setey 0.4–35 kV* [Development of a distributed multi-agent system monitoring and control networks of 0.4–35 kV]. *II Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya problem upravleniya v tehniceskikh sistemah (PUTS-2017)* [Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, (CTS 2017)], St. Petersburg, 2017, vol. 2, pp. 271-274. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109543. (in Russian).
4. Yashin A.I., Budko P.A., Vinogradenko A.M. *Intellektual'niy kontrol' tehniceskogo sostoyaniya morskogo robototekhnicheskogo kompleksa* [Intelligent monitoring of the technical condition of the marine robotics complex]. *Sea radio electronics*, 2020, no. 1 (71), pp. 48-53. (in Russian).
5. Mihaylov R.L., Makarenko S.I. *Otsenka ustoychivosty sety svyazi v usloviyah vozdeystviya na nee destabiliziruyutshih faktorov* [Evaluation of the stability of the communication network in the context of destabilizing factors]. *Radio and telecommunication systems*, 2013, no. 4, pp. 69-79. (in Russian).
6. Isakov E.E. *Ustoychivost' voennoy svyazi v usloviyah informatsionnogo protivoborstva* [Stability of military communication in conditions of information confrontation]. St. Petersburg, Polytechnical university, 2009. 400 p. (in Russian).
7. Nikolashin Y.L., Kuleshov I.A., Budko P.A., Zholdasov E.S., Zhukov G.A. *SDR radioustroystva i kognitivnaya radiosvyaz' v dekametrovom diapazone chastot* [SDR radio devices and cognitive radio communication in the decameter frequency range]. *H&ES*, 2015, vol. VII, no. 1, pp. 20-31. (in Russian).
8. Yakunin A.S. *Istoriya otechestvennih sredstv svyazi* [History of domestic means of communication]. Moscow, Capital encyclopedia Publ., 2013. 576 p. (in Russian).
9. Gonorovsky I.S. *Radiotekhnicheskie tsepi i signali* [Radio circuits and signals]. Moscow, RIS, 1986. 513 p. (in Russian).

10. Nikolashin Y.L., Budko P.A., Zholdasov E.S., Zhukov G.A. *Perspektivnye metody povisheniya pomehoustoychivosti dekametrovikh radiolinii* [Promising methods of increasing noise immunity of decameter radio links]. *H&ES*, 2014, no. 1, pp. 30-37. (in Russian).
11. Ayzenberg G.Z., Grudinskaya G.P., Belotserkovskiy G.B. Some recommendations for working on long waves. *Radio lover of KV and KVV ranges*, 1999, no. 2. Available at: <http://qrss.thersgb.net/Receiving-QRSS.html>. (accessed 23 November 2016) (in Russian).
12. Galkin V.A. *Tsifrovaya mobil'naya radiosvyaz'* [Digital mobile radio communication]. Moscow, The hotline is the Telecom, 2007, 432 p. (in Russian).
13. Naritnic T.N. *Radioreleynie i troposferne sistemy* [Radio relay and tropospheric transmission systems]. Kiev, Vidavnichiy dim, 2003, 336 p. (in Russian).
14. Bekkiev A.Yu., Borisov V.I. *Bazovye printsipi sozdaniya pomehozashishyonnih system radiosvyazi* [Basic Principles of Creation of Noise-Proof Radio Communication Systems]. *Theory and technique of radio communication*, 2014, no. 1, pp. 3-16. (in Russian).
15. Budko P.A., Vinogradenko A.M. Adaptive System Monitoring of the Technical Condition Technological Objects Based on Wireless Sensor Networks // *III International scientific Conference «Communications in computing and information Science» (Convergent'2018)*. Moscow, 2018. Vol. 1140. Springer, Cham. P. 200-210. doi: 10.1007/978-3-030-37436-5-18.
16. Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Samoylenko V.V., Samoylenko I.V., Sharipov I.K., Anikuev S.V. Mathematical aspects of stable state estimation of the radio equipment in terms of communication channel functioning // *Proceedings of 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019)*. Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. P. 547-559. doi: 10.1007/978-3-030-36625-4-44.
17. Budko P.A., Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Samoylenko V.V., Pedan A.V. Approach to the intellectual monitoring of the technical condition of difficult dynamic objects on the basis of the systems of a polling // *Proceedings of 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019)*. Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. P. 560-573. doi: 10.1007/978-3-030-36625-4-45.
18. Kizima S.V., Mitchenkov S.G., Emel'yannikov B.B. *Kognitivnye radiotehnologii. Aspekti prakticheskoy realizatsii* [Cognitive radio technologies. Aspects of implementation]. Telecommunication, 2014, no. 9, pp. 43-47. (in Russian).
19. Evin I.A. *Synergetika mozga* [Brain synergetics]. Moscow, Regular and chaotic dynamics, 2005, 108 p. (in Russian).
20. Ayzman R.I., Gerasov A.D., Dyukarev I.A. *Molekulyarnie osnovi fiziologii cheloveka* [Molecular foundations of human physiology]. Novosibirsk, NGPU, 2010, 306 p. (in Russian).
21. Sergienko A.B. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. St. Petersburg, Piter, 2002, 608 p. (in Russian).
22. Semyonov A.M., Sikarev A.A. *Shirokopolosnaya svyaz'* [Broadband communication]. Moscow, Voenizdat, 1970, 278 p. (in Russian).
23. Tuzov G.I., Sivov V.A., Pryitkovi V.I. etc. *Pomehozashishyonnost' radiosistem so slozhnimi signalami* [Interference immunity of radio systems with complex signals]. Moscow, Radio i svyaz', 1985, 264 p. (in Russian).
24. Korduel M. *Psihologiya. A-Ya. Slovar'-spravochnik* [Psychology. A-Z. Dictionary reference]. Moscow, Fair-Press, 2000, 448 p. (in Russian).
25. Budko N.P., Budko P.A., Zholdasov E.S., Zholdasova A.E., Zhukov G.A., Kuleshov I.A., Mal'tsev D.S., Miroshnikov V.I., Nikolashin Y.L., Fatyuhin I.N. *Sposob peredachi i priyoma binarnoy informatsii po kanalam radiosvyazi v neavtomaticheskome rezhime (varianti)* [Method of transmitting and receiving binary information via radio communication channels in non-automatic mode (options)]. Patent Russia, no. 2605045. 2016.
26. Nikolashin Y.L., Budko P.A., Zholdasov E.S., Zhukov G.A. *Povishenie effektivnosti funktsionirovaniya dekametrovikh radiolinii* [Improved efficiency of decameter radio links]. T-Comm, 2015, no. 2, pp. 4-10. (in Russian).
27. Budko P.A., Zhukov G.A., Kuleshov I.A., Miroshnikov V.I., Nikolashin Y.L., Fatyukhin I.N. *Sposob pomekhoustojchivoj peredachi dannykh do global'no udalennykh ob"ektov* [Method of noise-resistant

data transmission to globally remote objects]. Patent for invention RU 2774894 C1, publ.: 06/24/2022 Byul. No. 18. (in Russian).

28. Kupriyan A. I. *Radioelektronnaya bor'ba* [Radio-electronic fight]. Moscow, Vuzovskaya kniga, 2013, 360 p. (in Russian).

29. D'yakonov V.P. Sovremennye tsifrovye analizatory spectra [Modern digital spectrum analyzers]. *Components and technologies*, 2010, no. 5, pp. 185-195. (in Russian).

30. Fedorenko V.V., Kononov Y.G., Vinogradenko A.M., Samoylenko V.V., Samoylenko I.V. Veroyatnostno-vremennye karakteristiki telemetricheskogo signala s peremennoy razryadnost'yu [The time-probability characteristics of a telemetry signal with the variable number of bits]. *II Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya problem upravleniya v tehnicheskih sistemah (PUTS-2017)* [Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, (CTS 2017)], St. Petersburg, 2017, vol. 2, pp. 146-149. doi: 10.1109/CTSUS.2017.8109511. (in Russian).

Статья поступила 30 июня 2022 года

Информация об авторе

Будко Никита Павлович – Независимый специалист. E-mail: budko62@mail.ru. Адрес: 194064, г. Санкт-Петербург, ул. Бутлерова, 9, корп. 3, кв. 252.

Methods of bringing measurement information from remote and globally moving objects to the monitoring server of the distributed information and telecommunications network of Rosmorrechflot

N.P. Budko

Annotation. *Methods of noise-resistant transmission of measuring information about the technical condition of elements of a distributed information and telecommunication network of public use using decimeter radio lines based on the use of linear-frequency-modulated and discrete linear-frequency-modulated signals are presented. Relevance: development of a method for noise-resistant transmission of emergency signals based on the results of monitoring the technical condition of a geographically distributed information and telecommunications network. Improving the efficiency of the remote monitoring subsystem in real time, or close to it. The purpose of the work is to increase the noise immunity of the alarm signals of the monitoring subsystem of the distributed network infrastructure, considered as a telemetry system operating under conditions of destabilizing factors of natural and artificial nature. Methods used: the use of a new signal-code design in the radio channel for bringing measurement information; using the mode of the so-called "fast" adjustment of operating frequencies according to a pseudo-random law. Novelty: expanding the capabilities of remote monitoring systems for the technical condition of a geographically distributed public information and telecommunications network using decimeter radio lines based on the use of SDR technologies and the mode of adjustment of operating frequencies according to a pseudo-random law. Result: a graphical representation of binary parcels of measuring information was used when receiving them in the form of a spectrogram, when instead of Morse code in the form of "dots" and "dashes" linear or discrete frequency-modulated signals with an increasing (decreasing) slope gradient are presented. Practical significance: the use of noise-resistant transmission of measurement information to the remote monitoring server of network infrastructure elements.*

Keywords: *technical condition, measurement information, remote monitoring subsystem, telecommunication level, noise immunity.*

Information about the author

Nikita P. Budko – Independent specialist. E-mail: budko62@mail.ru. Address: 194064, St. Petersburg, Butlerova str., 9, bldg. 3, sq. 252.

Для цитирования: Будко Н.П. Методы доведения измерительной информации от удаленных и глобально перемещающихся объектов до сервера мониторинга распределенной информационно-телекоммуникационной сети Росморречфлота // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С. 77-100. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-77-100.

For citation: Budko N.P. Methods of bringing measurement information from remote and globally moving objects to the monitoring server of the distributed information and telecommunications network of Rosmorrechflot. Means of communication equipment. 2022. No 2 (158). Pp. 77-100. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-77-100 (in Russian).

Колонка главного редактора



Уважаемые авторы и читатели!

Очередной номер научно-технического журнала «Техника средств связи» выходит накануне юбилея ПАО «Интелтех», учредителя и издателя журнала. 4 ноября 2022 года предприятию исполняется 70 лет с момента создания (НИИ электротехнических устройств – НИИЭТУ). Сегодня ПАО «Интелтех» является одним из ведущих российских предприятий в области научных исследований и производства автоматизированных систем управления и связи, включая аппаратно-программные комплексы, специализированное телекоммуникационное оборудование и программное обеспечение.

Издательская деятельность предприятия началась в далеком 1956 году. Первый научно-технический сборник имел название «Телеграфия и фототелеграфия». С 1959 года на предприятии издавались всесоюзные журналы: «Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи» и «Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи». С 1975 года журнал издается под название «Техника средств связи».

В 2020 году журнал был зарегистрирован как сетевое и печатное издания в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Сегодня он является официальным научным изданием предприятия и предназначен для информирования научной общественности о новых научных положениях и системно-технических решениях, полученных учеными и специалистами ПАО «Интелтех», а также другими профильными организациями в ходе исполнения НИОКР. Особое место в издании уделяется результатам научных исследований молодых ученых и соискателей, их научных руководителей (консультантов) и сторонних авторов, являющихся ведущими специалистами в областях науки и техники, соответствующих тематике журнала.

От имени редакции журнала «Техника средств связи» поздравляю ветеранов и всех сотрудников предприятия, инженеров и специалистов отрасли, а также всех авторов и читателей с 70-летием ПАО «Интелтех»! Желаю новых успехов в научной и производственной деятельности и жду встречи на страницах нашего издания!

С уважением,
председатель редакционного совета –
главный редактор



Ю.Л. Николашин