



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

Николашин Ю.Л. Генеральный директор ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Курносов В.И. Заместитель генерального директора по научной работе АО «НИИ «Рубин». Д.т.н., профессор. Заслуженный работник высшей школы РФ

Kurnosov V.I. Director General in scientific work of JSC "NII" Rubin". Doctor of Technical Sciences, Professor.

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

Lychagin N.I. Higher School Honored Employee of the Russian Federation General Designer Advisor of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

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

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

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

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

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

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

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

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

Жуков Г.А. К.т.н., старший научный сотрудник Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва). Д.т.н., профессор

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

Куприянов А.И. Профессор Московского авиационного института (национальный исследовательский университет) (Москва). Д.т.н., профессор

Kupriyanov A.I. Professor of the Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow. Doctor of Technical Sciences, Professor.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ

Винограденко А.М.

Интеллектуальное оценивание технического состояния сложных технических объектов.....2

Лебедев Д.В., Васильев Н.В.

Метод выделения семантически согласованных групп пользователей социальных медиа-платформ.....20

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Акулов В.С., Талагаев В.И.

Структура земной волны над ледовыми трассами в Арктических районах.....34

ЭЛЕКТРОННЫЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Закутаев А.А., Емельянов А.В., Ширококов В.В.

Методика оценивания эффективности функционирования квантово-оптических средств в составе распределенной наземной сети.....44

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Ледянкин И.А., Смирнов А.Е., Кошелев И.В.

Анализ направлений развития высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем.....51

КОЛОНКА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Голунов М.В.

Своевременность контроля технического состояния средств радиосвязи.....61

Рыжкова Д.Н., Николашин Д.Ю.

Научно-технические проблемы внедрения разрабатываемых робототехнических комплексов в существующие технологии управления глубоководными морскими объектами.....70

Калякин А.Г.

Повышение эффективности приёма сигналов амплитудной телеграфии в декаметровом канале связи 79

Информация для авторов.....86

Список научных статей, опубликованных в журнале «Техника средств связи» в 2021 году.....93

CONTENTS

ANALYSIS OF NEW TECHNOLOGIES AND PROSPECTS FOR THE COMMUNICATIONS TECHNOLOGY DEVELOPMENT

Vinogradenko A.M.

Intelligent assessment of technical condition of complex technical objects.....2

Lebedev D.V., Vasiliev N.V.

Method for identifying semantically consistent groups of users of social media platforms.....20

COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Akulov V.S., Talagaev V.I.

Earth wave structure over ice tracks in Arctic regions.....34

ELECTRONIC AND RADIO SYSTEMS

Zakutaev A.A., Emelyanov A.V., Shirobokov V.V.

Methodology for evaluating the efficiency of the functioning of quantum-optical devices as part of a distributed terrestrial network.....44

COMPUTING SYSTEMS

Ledyankin I.A., Smirnov A.E., Koshelev I.V.

Analysis of the directions of development of high-performance multiprocessor computing systems.....51

COLUMN OF YOUNG SPECIALISTS

Golyunov M.V.

Timeliness of monitoring the technical condition of radio communications.....61

Ryzhkova D.N., Nikolashin D.Y.

Scientific and technical problems of the implementation of developed robotic complexes in existing technologies for control of deep sea objects.....70

Kalyakin A.G.

Increase of efficiency of amplitude telegraphy signals reception in decameter communication channel.....79

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

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

УДК 621.391

Интеллектуальное оценивание технического состояния сложных технических объектов

Винограденко А.М.

Аннотация. Повышение требований к качеству функционирования сложных автономных технических объектов (робототехнические комплексы, беспилотные летательные аппараты и др.), а также их безопасности и надежности сделали особенно актуальной проблему оценивания их состояния с учетом воздействия различного рода кибератак и дестабилизирующих факторов, старения и технологического разброса параметров. **Целью** работы является повышение точности классификации результатов контроля и диагностики сложных технических объектов, являющаяся следствием относительно низкой устойчивости этой оценки к шуму и помехам. **Новизна** работы заключается в реализации нового и перспективного подхода к интеллектуальному оцениванию классов технического состояния автономных сложных технических объектов и комплексном учете контролируемых дестабилизирующих факторов. Данный подход основан на интервальном оценивании параметров, использовании базы знаний об аварийных и штатных состояниях. Процесс получения признакового пространства с последующей разработкой алгоритмов классификации импульсных сигналов описан с использованием дискретного вейвлет-преобразования, выбор которого среди прочих обусловлен высокой информативностью коэффициентов разложения, так как объем получаемой информации в общем случае значительно превышает объем исходной выборки сигнала. Задача оценивания технического состояния объектов контроля состоит в обработке полученных коэффициентов на основе изначального выбора типа вейвлета и глубины разложения. **Практическая значимость** работы заключается в предложенной архитектуре и реализации интеллектуальной системы оценивания состояния сложных автономных технических объектов. Приведены практические результаты экспериментальной оценки предлагаемого подхода, которые показали, что использование вейвлет-анализа при формировании областей работоспособности объектов позволяет производить четкое разграничение классов их технических состояний, повышающее точность и достоверность результатов идентификации состояний, а также расширяющее возможности применения технических средств контроля и диагностики.

Ключевые слова: интеллектуальное оценивание, вейвлет-анализ, сложный автономный технический объект, техническое состояние, база знаний.

Введение

Практика испытаний и эксплуатации сложных технических объектов (СЛО), в которых даже кратковременное пропадание или существенное искажение данных о протекающих в них процессах, контролируемых с помощью существующих средств измерений, подчеркивает несоответствие требованиям безопасности и надежности этих объектов. К таким объектам относятся, например, имплантированные в человека устройства для поддержания его жизнедеятельности, робототехнические комплексы, системы беспилотных автомобилей и летательных аппаратов, автономные программные агенты защиты информации и др.

Обеспечение этих требований связано с необходимостью решения целого ряда сложных и трудоемких задач [1-6]. К их числу относится задача параметрического синтеза проектируемых СЛО по критериям безопасности и надежности. Основные сложности при решении этой задачи обусловлены вероятностным характером критерия оптимальности и дефицитом информации о закономерностях процессов изменения параметров объектов.

На основе данных по динамике изменяющихся параметров систем возможен подход к решению задачи оценки технического состояния СЛО при воздействии внутренних и

внешних факторов, а также определения запаса работоспособности, под которым понимается степень приближения вектора фактического состояния СЛО к его предельно допустимому.

Обычно предполагается, что кибернетические и физические атаки на СЛО и возникающие неисправности, характеризуемые изменяющимися параметрами СЛО, при диагностировании оцениваются методами параметрической идентификации [7, 8]. В технической диагностике такое направление основано на восстановлении модели диагностируемого объекта [9, 10]. Однако, большинство атак и дефектов приводит к изменению не только параметров модели объекта, но и ее структуры, что обуславливает применение методов непараметрической идентификации для построения математической модели СЛО на основе экспериментальных данных.

Процесс контроля СЛО приводит к необходимости сокращения объема измерительной информации. Сокращение объема порождает, в свою очередь, возникновение неопределенности в оценке состояний таких объектов. Плавное, градиентное изменение значений контролируемых параметров для эффективной работы системы контроля всегда предпочтительнее по сравнению с лавинообразным (нестационарным) и ступенчатым процессом наступления аварийной ситуации.

В связи с этим расширение диапазонов и характеристик средств измерений дает возможность контроля и изучения таких параметров СЛО, которые не могут быть исследованы с использованием традиционных математических методов обработки тестовых сигналов в системах дистанционного контроля, либо применение этих методов ограничивается возможностями средств регистрации [11, 12]. Ключевым вопросом цифровой обработки является нестационарность большинства реальных сигналов, которая, как известно, весьма ограничивает применение базисных функций, имеющих некомпактный носитель.

В модельной диагностике процедура диагностирования выполняется в два этапа. На первом получают исходную (первичную) информацию об объекте в виде сигналов-откликов на пробные воздействия. На втором этапе эта информация обрабатывается для выделения диагностических признаков и решения о принадлежности данного объекта к определенному классу технического состояния. Для построения диагностирующего правила используют методы статистической классификации (распознавания образов) [13-20], нейронные сети [4, 6-8], вейвлет-преобразования [5] и другие.

Существующие методики модельной диагностики, основанные на использовании динамических характеристик, ограничиваются только линейными моделями. Методики, основанные на учете эффектов нелинейности, используют информацию только о свойствах статических характеристик. Реальные же объекты, как правило, одновременно обладают и нелинейными и динамическими свойствами.

В ходе оценки технического состояния СЛО необходимо учитывать широкий диапазон различных условий, возможность реализации кибернетических и физических атак и других внешних воздействий (температура, влажность, запыленность, давление и др.) и внутренних состояний (например, режимы работы). Это существенно усложняет решение задач диагностики (идентификации, распознавания и др.) технического состояния СЛО традиционными методами. В статье предлагается использовать нелинейные динамические модели на основе вейвлет-преобразований. Такой подход позволяет производить оценку технического состояния СЛО на основе небольшого объема измерительной информации в условиях высокой степени неопределенности.

В целом, при использовании метода вейвлет-преобразований, значительно упрощается процесс решения задачи комплексной оценки технического состояния СЛО, отличающей данный метод от других методов, включающих задачи объединения методов отбраковки аномальных измерений, фильтрации и сжатия данных, выявления локальных

особенностей измерительной информации и прогнозирования аварийных и нештатных ситуаций.

При этом отличительными являются следующие преимущества метода вейвлет-преобразований: возможность адекватного учета нелинейных режимов функционирования; работает значительно быстрее традиционных методов и применим в реальном масштабе времени; возможность фильтрации измерительной информации и ее восстановления в случае потери в процессе получения от СЛО.

Применение вейвлет-преобразования в данной работе рассматривается с позиций использования его как инструмента, с помощью которого можно получить признаковое пространство для последующей разработки алгоритмов классификации импульсных сигналов. Выбор инструмента дискретного вейвлет-преобразования для решения задач распознавания и классификации обусловлен универсальностью математического аппарата вейвлет-анализа, его способностью адаптироваться к форме сигнала, сходностью тестовых сигналов с базисными функциями (вейвлетами).

Новизна работы заключается в реализации нового и перспективного подхода к *on-line* анализу технического состояния автономных СЛО, основанного на интеллектуальной технологии оценивания состояния объектов, обеспечивающей комплексный учет контролируемых факторов с использованием базы знаний о типах состояния, полученных в результате дискретных вейвлет-преобразований.

Теоретический и практический вклад заключается в следующем: предложенный подход к оцениванию технического состояния СЛО позволяет повысить точность и достоверность результатов идентификации технического состояния, а также расширить возможности применения технических средств контроля и диагностики.

Анализ методов идентификации классов технического состояния контролируемых объектов

Анализ работ [1, 7, 8, 10] показывает, что для обеспечения эффективного функционирования СЛО при одновременном снижении стоимости их жизненного цикла необходимо внедрение на всех его этапах средств и методов автоматизированного контроля и диагностики технического состояния, применении эффективных способов и средств обеспечения безопасности и надежности их функционирования.

При этом оценка технического состояния СЛО сводится к выбору того или иного метода параметрического синтеза [6, 8]. В [15–19] предлагается использовать не интервал, а область неопределенности, размерность которой определяется количеством выходных параметров. Показана целесообразность эллипсоидальной аппроксимации для области параметрической неопределенности технического состояния динамических систем, в которой с заданной вероятностью находятся значения измеряемых выходных параметров с учетом погрешностей измерения.

Оценивание технического состояния СЛО должно проводиться также с учетом внешних факторов, включая множественность структуры и сложную среду функционирования [9, 20]. Подобный способ основан на использовании аппарата нечетких множеств и анализа иерархий. Проводимые исследования [4] показывают также возможность решения аналогичных задач путем разработки составного индекса риска.

Предопределение оценки технического состояния СЛО в [10] осуществляется за счет сравнения измеренного значения и значений предопределенных весовых коэффициентов, характерных для контролируемого оборудования.

Однако, во многих случаях априорной информации недостаточно для осуществления (принятия) той или иной оценки технического состояния СЛО, а выборка апостериорных данных мала для каких-то статистических выводов. В этих условиях получение достаточно достоверных результатов обеспечивают методы статистической классификации [3], теории

нейронных сетей [4, 7], нечетких вычислений [21, 22], интеллектуальных агентов [23] и другие, которые, как и методы, используемые при решении задач оценки технического состояния, прогнозирования изменений контролируемых параметров СЛО имеют свои достоинства и недостатки. Так, в [24] предлагается для оценивания технического состояния использовать метод гамма-процесса, преимущество которого заключается в учете неопределенности исходных данных. Однако этот метод требует больших вычислительных затрат. В [25] предложен метод оценивания, основанный на использовании функции частотной характеристики. Однако он ориентирован на анализ структуры материала, из которого изготовлен объект контроля. В [26] для управления роботизированной рукой используется нейронная сеть с обратным распространением. В [27] предлагается для оценки состояния элементов роботизированных интернет-вещей использовать онтологию позиционирования, которая моделирует пространственную и временную взаимосвязь между наблюдениями с разных датчиков. Это говорит об эффективности использования интеллектуальных методов для технического оценивания сложных объектов.

Альтернативой перечисленным выше методам являются вейвлет-технологии [5], которые при обработке экспериментальных данных для задач классификации технического состояния СЛО, в сравнении с нейронными сетями, не требуют дополнительных временных и ресурсных затрат (например, обучение нейронной сети). Использование нелинейных непараметрических динамических моделей на основе вейвлет-преобразований позволяет производить оценку технического состояния СЛО, имея небольшой объем измерительной информации при высокой степени неопределенности. Так, [28] демонстрирует, что алгоритм для надежного отслеживания объектов по изменению их внешнего вида, основанный на использовании вейвлет-преобразований, показывает достаточно высокую устойчивость к шуму. В [29] показано, что для бесконтактного оценивания состояния режущих инструментов метод вейвлет преобразований имеет преимущества перед такими методами, как Анализ Фурье, разложение эмпирических мод, спектр Гильберта, спектральный эксцесс и других. В [30] предлагается применять непрерывное вейвлет-преобразование для неинвазивной диагностики состояния двигателей внутреннего сгорания по акустическим сигналам.

Использование метода вейвлет-преобразований значительно упрощает процесс решения задачи комплексной оценки технического состояния СЛО, отличающей данный метод от других в объединении методов отбраковки аномальных измерений, фильтрации и сжатия данных, выявлении локальных особенностей ИИ и прогнозировании аварийных, нештатных ситуаций. По этим причинам метод вейвлет-преобразований находит широкое применение для контроля за автономными сложными объектами в ходе решения задач классификации изображений [31], идентификации объектов [32], прогнозирования состояния оборудования [33] и другие. В целом, проводимые исследования в области оценки технического состояния СЛО, распознавания типов отказов и их прогнозирования характеризуются довольно широким спектром подходов в данной предметной области.

Математический аппарат процесса оценивания технического состояния СЛО на основе вейвлет-преобразования

При проведении оценки технического состояния СЛО, соотнесенной с классом его технического состояния, предлагается использовать область работоспособности, размерность которой определяется количеством выходных параметров. Техническое состояние СЛО определяется нахождением характерных для конкретного типа оборудования параметров в пределах допусков. Для осуществления детального представления информации о техническом состоянии СЛО необходимо рассмотрение классов технического состояния оборудования, представленных в виде финальных вероятностей нахождения системы в одном из возможных состояний.

Предполагается, что классы технического состояния СЛО распознаются на основе бесконтактных методов диагностирования с использованием дискретных вейвлет-преобразований и с учетом внутренних и внешних факторов (воздействий), влияющих на динамику изменения контролируемых параметров.

Для более полного анализа каждого тестового сигнала, характеризующего техническое состояние объекта контроля, и соотнесению его определенному классу технического состояния, необходимо разложение сигнала в базисе вейвлетов.

Выбор анализирующего вейвлета во многом определяется тем, какую информацию необходимо извлечь из сигнала. С учетом характерных особенностей различных вейвлетов во временном и в частотном пространстве, можно выявлять в анализируемых тестовых сигналах те или иные свойства и особенности, которые незаметны при наличии сильных шумов и деструктивных воздействий на объекты контроля. Таким образом, в процессе передачи сигналов измерительной информации необходимо учитывать накладывающиеся на тестовый сигнал помехи, шумы и условия внешней среды (влажность, внешняя температура, давление, запыленность и др.).

Для эффективного использования математического аппарата дискретного вейвлет-преобразования применительно к задачам распознавания состояния и классификации технического состояния (классов технического состояния) СЛО, необходимо рассмотреть его некоторые основные особенности. Известно [5], что исследуемую дискретизированную функцию можно представить в виде двух компонент:

$$f(x_i) = \sum_{k \in Z} a_{m,k} \varphi_{m,k}(x_i) + \sum_{k \in Z} d_{m,k} \psi_{m,k}(x_i), \quad (1)$$

где $\varphi_{m,k}(x)$, $\psi_{m,k}(x)$ – масштабирующая и вейвлет-функция; $a_{m,k}$, $d_{m,k}$ – аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты разложения соответственно.

Сконструируем базис функционального пространства $L_2(R)$ с помощью непрерывных масштабных преобразований и переносов вейвлета $\psi(t)$ с произвольными значениями базисных параметров – масштабного коэффициента a и параметра сдвига b :

$$\psi^{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), a, b \in R, \quad \psi \in L_2(R). \quad (2)$$

Анализ способов интервального оценивания параметров объекта контроля [13, 15–19] показал, что результаты измерений значений параметров представляют собой эллипсоидальную область неопределенности (работоспособности) в пространстве параметров. Кроме того, исследования взаимовлияния наблюдаемых параметров в системах контроля [7, 8] показали возможный подход к их эллипсоидальной адаптивности с учетом минимизации критериев информативности.

Представим класс технического состояния СЛО, характеризуемый набором значений коэффициентов разложения, в виде эллипса. В этом случае, эллипсоидальная аппроксимация значений коэффициентов разложения, отражающая область работоспособности D_p СЛО, будет способствовать решению задач обработки неточных измерений величин контролируемых параметров СЛО как динамической системы с неопределенностями.

Предположим, что результаты измерений контролируемых параметров СЛО, представляют собой эллипсоидальную область признаков пространства. Тогда, область D_p СЛО будет представлять собой начальное множество возможных значений n -мерного оцениваемого вектора выходных параметров \bar{Y} , характеризующего техническое состояние СЛО, принимающего произвольные значения из эллипсоида:

$$\bar{Y} \in E(A_0, Q) = \{(Q^{-1}(Y - A_0), (Y - A_0)) \leq 1\} = D_p, \quad (3)$$

где $E(A_0, Q)$ – условное обозначение эллипсоида с параметрами A_0 , Q ; A_0 – n -мерный вектор центра эллипсоида; Q – симметричная положительно определенная матрица размерности $n \times n$, характеризующая погрешность измерений и средств измерений; скобки $(,)$

обозначают скалярное произведение векторов. Выражение (3) является математической моделью технического состояния СЛО с учетом погрешностей измерений.

Архитектура и функционирование интеллектуальной системы оценивания технического состояния СЛО

Практика эксплуатации СЛО требует разработки и создания системы управления объектами, функционирующими в условиях многофакторного воздействия, в том числе – подсистемы оценивания технического состояния.

Для определения архитектуры системы бесконтактного оценивания технического состояния СЛО определим исходные данные и основные этапы (процедуры) функционирования системы.

Анализ различных подходов к решению задачи распознавания класса технического состояния СЛО на основе вейвлет-преобразования предполагает следующие *исходные данные*:

- телеметрическая информация о штатном поведении СЛО (в пределах диапазона допусков контролируемых параметров);
- телеметрическая информация, характеризующая основные классы технического состояния СЛО (при выходе контролируемых параметров за пределы области работоспособности);
- исследуемая телеметрическая информация, полученная по результатам испытания СЛО;
- частота опроса телеметрических датчиков СЛО;
- максимально возможная частота изменения телеметрируемого параметра;
- набор ортогональных базисных вейвлет функций: добеши, симлеты, койфлеты;
- априорная база знаний Ω о типах состояний, соответствующих классам технического состояния СЛО, и взаимосвязям между этими состояниями; эти знания формируются на основе телеметрической информации о штатной ситуации, а также штатном поведении системы; $\Omega = \{A, B_1, B_2\}$, где A – нормальное состояние, B_1 и B_2 – два возможных типа аварийных состояний, распознаваемых с помощью вейвлет-преобразований в результате анализа поступающих сигналов;
- учет факторов воздействия на объект контроля (описание и набор параметров, характеризующих техническое состояние).

Необходимо по телеметрической информации, полученной при функционировании СЛО, определить принадлежность его состояния к классу технического состояния при сопоставлении с информацией из базы знаний.

Решение задачи распознавания класса технического состояния СЛО представлено в виде последовательности следующих *этапов (процедур)*:

этап 1 – формирование априорной базы знаний об аварийных и штатных состояниях, соответствующая классам технического состояния СЛО;

этап 2 – определение уравнений классификатора для заданной базы знаний состояний;

этап 3 – получение вейвлет-коэффициентов исследуемой измерительной информации (разложение сигналов телеизмерения и сигнализации на вейвлет-коэффициенты);

этап 4 – определение (поиск) информативных признаков, отражающих общность свойств класса технического состояния (аварийного состояния) СЛО;

этап 5 – определение области работоспособности СЛО – эллипсоидная аппроксимация класса технического состояния СЛО;

этап 6 – определение комплексного показателя технического состояния СЛО (корреляция нескольких контролируемых параметров);

этап 7 – корректировка класса технического состояния СЛО в зависимости от типа аварийной ситуации, за счет определения вероятности ошибки классификации и группировки (перегруппировки) областей работоспособности СЛО;

этап 8 – определение класса технического состояния (типа аварийного состояния) СЛО по информативным признакам;

этап 9 – вычисление изменения достоверности и точности определения технического состояния СЛО;

этап 10 – расчет эффективности управления техническим состоянием с учетом динамики изменения классов его технического состояния.

Систему оценивания технического состояния СЛО представим в виде интеллектуальной системы, основными элементами которой будут база знаний и множество модулей, реализующих правила и процедуры выполнения этапов 1-10. Основными элементами в архитектуре системы интеллектуального оценивания (рис. 1) являются: 1) модуль интеллектуализации; 2) элемент опроса приемников измерительной информации (датчиков); 3) элемент сравнения (сопоставления) полученных сигналов с информацией априорной базы знаний; 4) элемент коррекции области работоспособности (прогнозирования, определения запаса работоспособности); 5) вычислитель. Модуль интеллектуализации, включает: 1) базу знаний, содержащую правила решения задачи; 2) интерпретатор, решающий на основе знаний, имеющихся в системе, предъявляемую ему задачу; 3) элемент приобретения знаний, обеспечивающий аргументацию действий и рекомендаций системы на понятном для пользователя языке; 4) базу данных (элемент памяти), через которую сообщается вариант действий системе – в элемент сравнения.

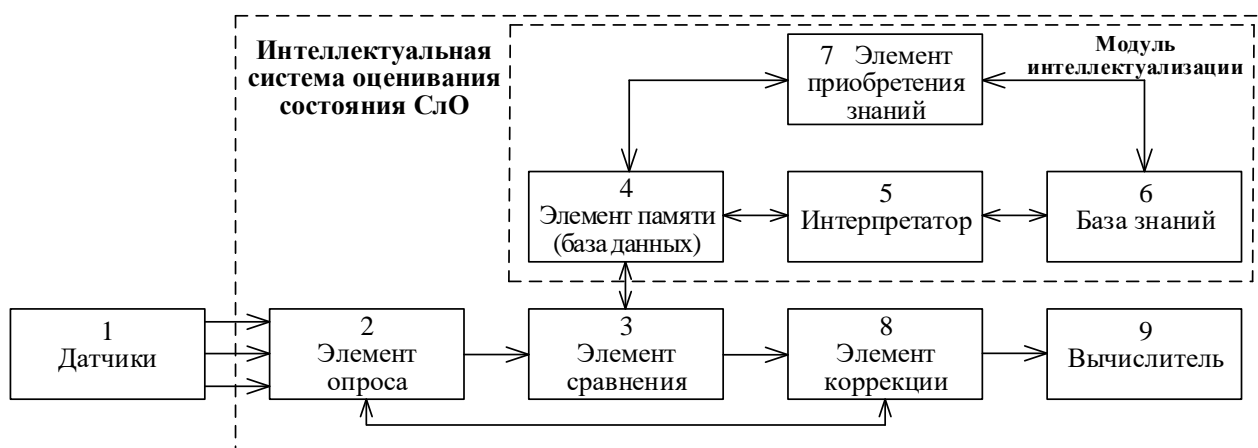


Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной системы оценивания состояния СЛО

Оценивание технического состояния автономных СЛО в ходе испытаний и эксплуатации предполагает широкий диапазон различных условий:

1) внешние естественные воздействия – внешняя температура, влажность, запыленность, давление и др. для различных климатических условий (ось Y_j на рис. 2);

2) сторонние воздействия – влияние других объектов на СЛО (например, в процессе их совместной эксплуатации, атаки различного типа и прочие деструктивные воздействия (ось Y_{i-1} на рис. 2 а);

3) внутренние состояния – режимы работы СЛО (недогруженный, нормальный, нагруженный, перегруженный и др. (ось Y_i на рис. 2 а).

Широкий диапазон различных условий существенно усложняет решение задачи распознавания технического состояния контролируемого объекта.

Взаимосвязанность всех факторов представлена на рис. 2 а в трехмерной системе координат – оси Y_i, Y_{i-1}, Y_j , причем диапазоны изменения областей работоспособности D_p из-за взаимной адаптации будут зафиксированы в определенных пределах:

- 1) для оси Y_{i-1} , – $[Y_{(i-1)_2 var}, Y_{i-1 max}]$ и $[Y_{(i-1)_1 var}, Y_{i-1 min}]$;
- 2) для оси Y_i – $[Y_{i_1 var}, Y_i min]$ и $[Y_{i_2 var}, Y_i max]$;
- 3) для оси Y_j – $[Y_{j_2 var}, Y_j max]$ и $[Y_{j_1 var}, Y_j min]$.

Изменение внешних воздействий влияет на внутренние состояния, вносящие коррективы в текущее техническое состояние СЛО. Таким образом, распознавание классов технического состояния СЛО необходимо проводить с учетом многофакторности воздействий, в том числе при их комплексном характере, например, как показано на рис. 2 а.

При отклонении контролируемых параметров элементов СЛО, на каждом этапе изменения класса технического состояния, производится сравнение параметров с пороговыми значениями в пределах D_p . По результатам сравнения определяется нормальное состояние СЛО с вероятностью p_1 либо его аномальное состояние с вероятностью p_2 . Причем распознавание класса технического состояния (аварийного состояния) СЛО осуществляют с учетом ошибок первого (α) и второго (β) рода, которые соответствуют вероятности «ложной тревоги» и «пропуска нарушения».

Минимизация вероятности α сводится к построению вписанного прямоугольника B_0 максимальной площади (рис. 2 б) и решается с помощью метода диагоналей. В соответствии с данным методом вершины вписанного параллелепипеда (рис. 2 д) находятся в точке пересечения диагоналей описанного параллелепипеда с эллипсоидом (рис. 2 с). Для этого определяются значения сторон вписанного параллелепипеда (рис. 2 д), соответствующие допускам на параметры элементов СЛО при обеспечении нулевой вероятности ошибки β и минимально возможной ошибки α .

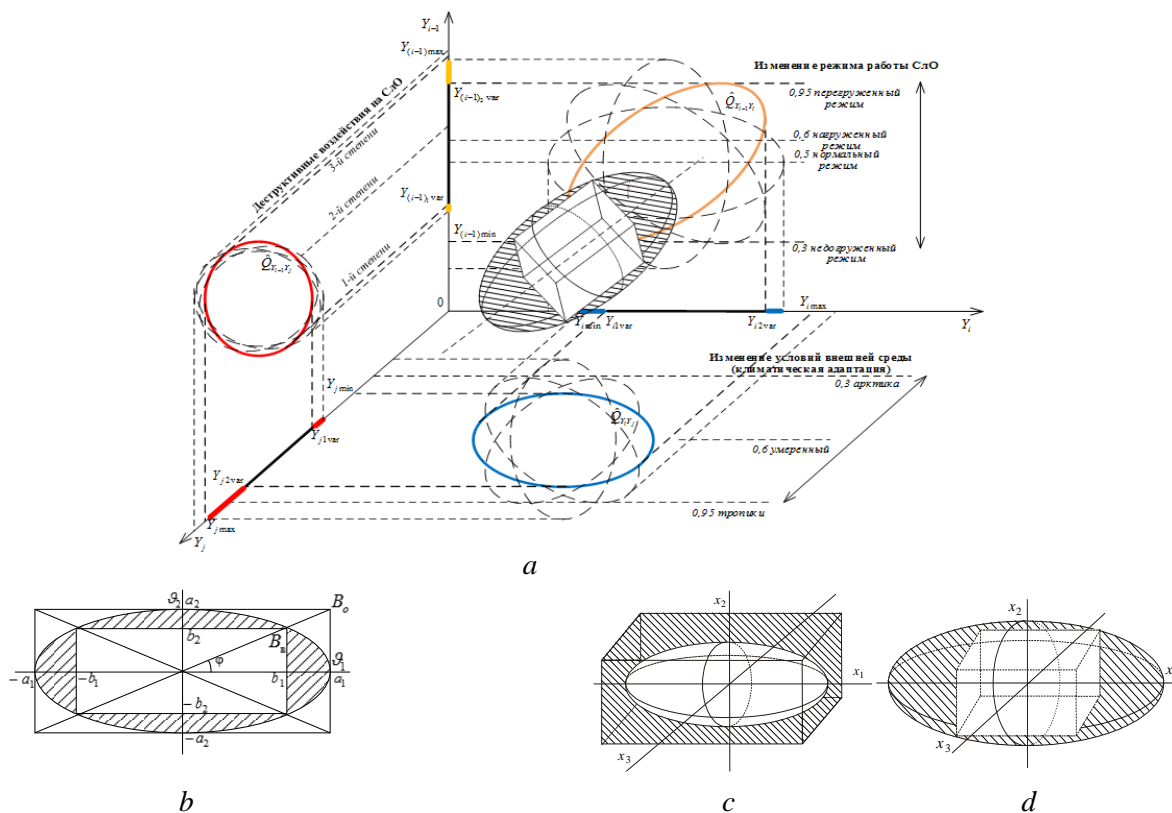


Рис. 2. Адаптация классов технических состояний в трехмерном пространстве с учетом воздействий: а – общее представление; б – эллипс качества; с – вписанный и d – описанный эллипсоид

Обеспечение требуемого соотношения α/β между ошибками первого и второго рода, при аппроксимации области $Q_{\text{доп}}$ допустимых значений параметров (заштрихованный описанный эллипсоид на рис. 2 а), определяет такие допуски на параметры, при которых заранее обуславливается определенная вероятность необнаруженного отказа элементов СЛО или минимизируется стоимость системы контроля при выполнении заданных требований к показателю технического состояния контролируемого объекта (качества функционирования) [20].

Результаты вычислительного эксперимента

Эксперименты проводились для СЛО на примере беспилотного автомобиля, для оценки технического состояния узлов и агрегатов которого был использован предложенный подход. При проведении эксперимента производился учет внутренних факторов (недогруженный, нормальный, нагруженный и перегруженный режимы работы), внешних факторов (лето, зима и межсезонье, резкие порывы ветра) и деструктивные воздействия (1-я, 2-я и 3-я степени сложности дорожной обстановки), оказывающих влияние на контролируемые параметры (давление масла, температура охлаждающей жидкости, частота оборотов двигателя, скоростной режим), указанные на рис. 2 а. Измерительная информация о технических (контролируемых) параметрах автомобиля передавалась посредством сигналов телеизмерения и телесигнализации в режиме *on-line*. Для решения задачи распознавания классов технического состояния беспилотного автомобиля были проведены вычислительные эксперименты в среде *Mathlab* 9.6.

Для выделения критерия различимости по форме, исходные выборки сигналов масштабировались по отношению к максимальному положительному значению в выборке, а также обеспечивалась их временная привязка относительно выбранного начала координат с сохранением заданной предыстории. Для всех классов формировалась обучающая выборка сигналов, при этом вопрос отнесения сигнала к типу аварийной ситуации решался экспертным путем, на основании предварительных данных обследований и визуальному критерию схожести форм. Для каждой выборки производилось дискретное вейвлет-преобразование с сохранением аппроксимирующих коэффициентов разложения. Результаты преобразования формировались в матрицу, для которой производилась оценка статистических характеристик каждого коэффициента разложения.

Практическое нахождение порога по среднему зависит от минимального числа обнаруженных коэффициентов при их обработке для всех классов технического состояния беспилотного автомобиля (типов аварийной ситуации).

Значение доверительного интервала в оценке информативности можно использовать в том случае, когда коэффициенты, прошедшие отбор, не обеспечивают необходимой контрастности классов. В общем случае, это повышает вероятность ошибки классификации, однако позволяет внести коррективы в оценку диапазона изменения D_p , что в конечном итоге увеличивает расстояние между классами технического состояния. Следовательно, использование результирующей области $D_{p\Sigma}$ характерно в случае низкой контрастности классов технического состояния.

Учитывая неопределенность распределения (обнаружения, обработки) коэффициентов разложения, при которых контрастность классов технического состояния минимальна, необходимо математическое моделирование технического состояния с учетом эллипсоидной аппроксимации области работоспособности D_p .

Для решения задачи разработки решающего правила необходимо найти такие коэффициенты в выбранном множестве, которые обеспечивали бы наибольшую контрастность между классами технического состояния СЛО. При этом возможны два подхода к решению: (1) если контрастность классов технического состояния достаточна для

нахождения линейных границ для каждого из классов технического состояния по отношению к остальным; (2) такая граница находится только для двух соседних классов.

Для разработки решающего правила производилась оценка контрастности классов технического состояния путем перебора вариантов комбинаций найденных коэффициентов. В первую очередь производился поиск значений, области изменения которых не перекрывались. Было отмечено отсутствие таких значений. Следовательно, по одному значению (параметру) нельзя четко классифицировать объекты разных типов.

Анализ проводимых исследований показал закономерность, при которой удалось достичь высокой контрастности областей работоспособности, но только для одного-двух классов технического состояния, что в итоге не позволило четко разграничивать классы технического состояния и четко выделять переходы между ними.

На рис. 3 а показана графическая интерпретация варианта построения разделяющих границ. Отмечено, что значения коэффициентов высокой степени сгруппированности и области их значений не перекрываются, что дает возможность построить разделяющие границы отдельно для каждого класса технического состояния.

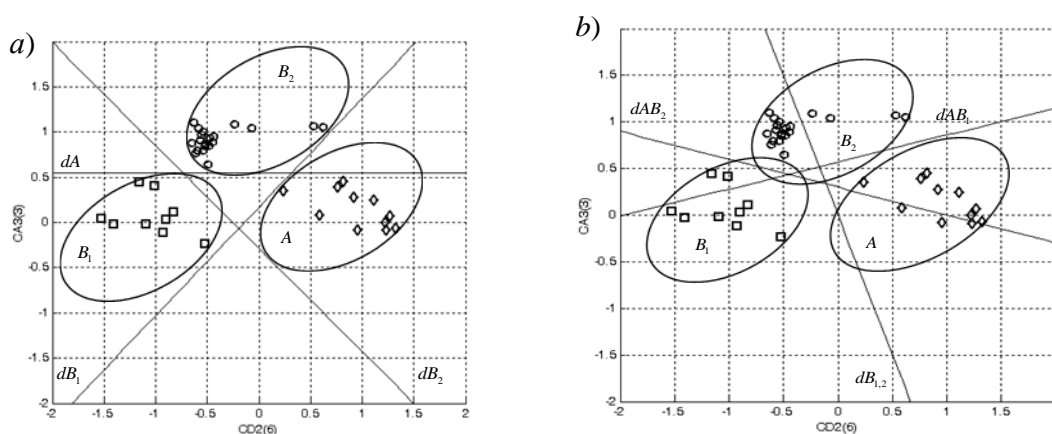


Рис. 3. Разделение классов технического состояния в виде областей работоспособности: а – неперекрывающихся; б – частично перекрывающихся

На рис. 3, б приведена графическая интерпретация второго способа классификации, с использованием попарно разделимых классов технического состояния. Показано, что в этом случае разделяющие границы определены только для смежных классов технического состояния, что может иметь место при меньших значениях межклассового расстояния (рис. 3, б) или их отсутствию (энтропии коэффициентов) (рис. 4, а). В этом случае, зона принятия решения о неизвестном типе аварийной ситуации отсутствует, и однозначное отнесение контролируемого объекта к определенному классу технического состояния невозможно.

Очевидно сходство классов B_1 и B_2 по форме, так как объекты этих классов технического состояния представлены в виде импульсов с явным наличием колебательной компоненты. В связи с этим, представляет интерес нахождения разделяющей границы для классов A и B , при условии, что класс B представлен в виде кластера, содержащего подклассы B_1 и B_2 .

Решение задачи классификации технического состояния на примере второго способа, когда получено несколько групп значений коэффициентов, сводится к необходимости получения более гарантированной интервальной оценки классов технического состояния, получаемой за счет сложения областей D_p (рис. 4 б).

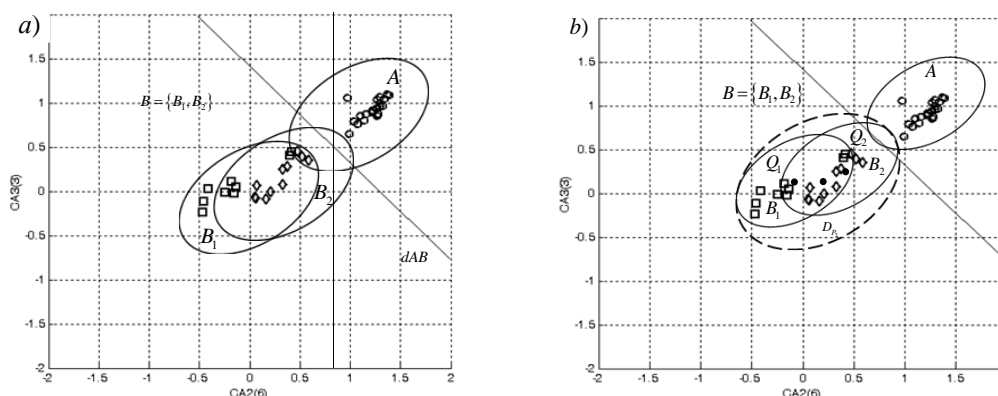


Рис. 4. Разделение классов технического состояния СЛО в виде областей работоспособности:
 а – перекрывающихся; б – объединенных

Для оценки результатов сложения эллипсоидов естественно использовать аппроксимацию классом областей, зависящим от фиксированного числа параметров: эллипсоидами, параллелепипедами и др. При этом требуется аппроксимировать (мажорировать) областями данного класса результаты основных операций над исходными D_p . Тогда возникает возможность построения сравнительно простых операций, не выводящих за пределы выбранного класса областей. Однако подобная аппроксимация, сводящаяся к мажорированию областей, ведет к потере информации, то есть завышению объема результирующей области. Целесообразно уменьшить эту потерю и минимизировать объем результирующих областей.

Таким образом, математическая модель технического состояния при интервальном оценивании классов технического состояния и использовании нескольких групп значений коэффициентов представляет собой множество возможных значений n -мерного оцениваемого вектора выходных параметров \bar{Y} , характеризующего техническое состояние контролируемого объекта, который может принимать произвольные значения из результирующего эллипсоида:

$$\bar{Y} \in E(A, D_{P_\Sigma}) = \left(D_{P_\Sigma}^{-1} (Y - A), (Y - A) \right) \leq 1, \quad (4)$$

$$A = A_1 + A_2, D_{P_\Sigma} = (p^{-1} + 1)Q_1 + (p + 1)Q_2.$$

где A, A_1, A_2 – n -мерные векторы центров эллипсоидов, D_{P_Σ}, Q_1, Q_2 – симметричные положительно определенные матрицы размерности $n \times n$, характеризующие погрешности измерений.

Математическая модель (4) обладает свойством коммутативности: при перестановке эллипсоидов $E(A_1, Q_1)$ и $E(A_2, Q_2)$ результирующий эллипсоид не меняется, т.к. при такой перестановке корни λ_j уравнения $\det(Q_1 - \lambda Q_2) = 0$ заменяются на λ_j^{-1} , корень уравнения p переходит в p^{-1} , а окончательные результаты A, D_{P_Σ} согласно (4) остаются неизменными.

Сравнительный анализ существующих способов оценивания технического состояния контролируемых объектов (при инструментальном и встроенном контроле, рис. 5) и предложенного подхода показывает существенный временной выигрыш процедур контроля на различных этапах жизненного цикла СЛО (испытания, эксплуатация, ремонт, хранение). Поэтому применение предложенной модели может быть вполне оправданно при проектировании системы интеллектуального бесконтактного оценивания технического состояния СЛО в режиме *on-line*.

Таким образом, предложенный подход к распознаванию классов технического состояния СЛО позволит совершенствовать системы автоматизированного (автоматического) контроля технического состояния, повысит оперативность их функционирования (рис. 5), с учетом динамики изменения классов технического состояния контролируемых объектов, а также упростит математическое моделирование изменения технического состояния с учетом внешних и внутренних факторов.

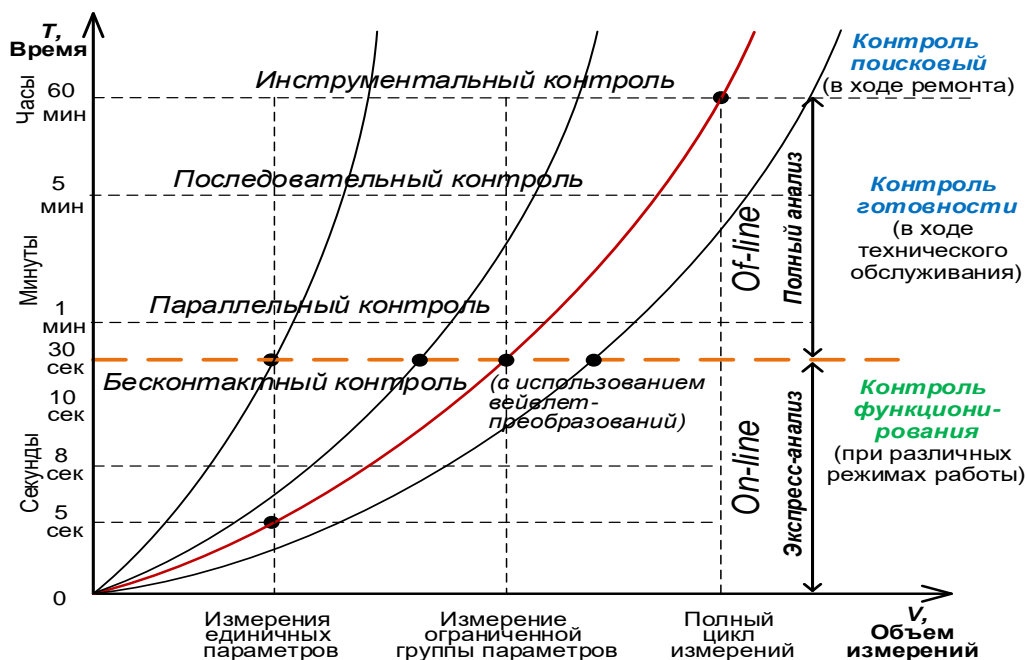


Рис. 5. Пример динамики межклассового перехода технического состояния СЛО при различных источниках измерительной информации

Представленный подход к оцениванию технического состояния СЛО при определении областей работоспособности использует метод эллипсоидов [15]. Это позволяет более точно и гарантированно выделить границы допусков, соответствующие вероятностному состоянию (классу технического состояния) контролируемого объекта, а также производить комплексный учет внешних и внутренних факторов, что качественно отличает предлагаемый подход от существующих [16–18]. Известные подходы [4, 7] также позволяют получать достоверные результаты оценки технического состояния, однако связаны с необходимостью привлечения обучающей выборки, размеры которой существенно влияют на результаты обучения, а, следовательно, на качество распознавания класса технического состояния СЛО. Отличительной особенностью представленного подхода является использование вейвлет-преобразований получаемой измерительной информации, сочетающих объединение методов отбраковки локальных особенностей измерительной информации с прогнозированием аварийных, нештатных ситуаций благодаря комплексному учету внешних и внутренних факторов. Это позволяет на качественно новом уровне проводить бесконтактный контроль технического состояния автономных СЛО, и существенно увеличить область применения автоматизированных (автоматических) систем контроля.

Заключение

В работе представлен подход к определению классов технического состояния сложных автономных технических объектов на основе интервального оценивания их параметров, использовании базы знаний об аварийных и штатных состояниях и применении

вейвлет анализа. Для экспериментальной оценки предлагаемого подхода (на примере беспилотного автомобиля) было использовано нескольких групп измерений, осуществлен учет внешних воздействий, режимов работы объекта контроля и ошибок первого и второго рода.

Применение вейвлет-анализа в процессе оценки технического состояния (благодаря адаптивности базовых функций) позволило значительно увеличить возможности фильтрации сигналов, а именно, привело к удалению помех (ложных отказов) из сигнала локально вблизи окрестности некоторой точки при минимальном изменении полезного сигнала. Предложенная аппроксимация областей работоспособности эллипсоидами позволила повысить контрастность классов технического состояния, и, соответственно, эффективность оценки технического состояния. При низкой контрастности классов, оценки результатов сложения областей работоспособности аппроксимированы результирующим эллипсоидом большего объема, что позволило получить более гарантированную оценку.

Будущие исследования будут направлены на развитие представленного подхода и проведение экспериментов для нескольких тематических исследований, включая робототехнические комплексы, беспилотные автомобили и летательные аппараты.

Литература

1. Гончаренко В.И., Кучерявенко Д.С., Гойденко В.К., Скорик Н.А. Распознавание типа аварийной ситуации при испытании беспилотного космического аппарата на основе использования вейвлет-преобразования // *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2016. № 1. С. 39-48.
2. Vianna E., Abaide A.R., Canha L.N., Miranda V. Substations SF6 circuit breakers: Reliability evaluation based on equipment condition, *Electric Power Systems Research*. 2017. № 142. Pp. 36-46.
3. Singha J., Das K. Hand Gesture Recognition Based on Karhunen-Loeve Transform, In: *Proceedings of Mobile & Embedded Technology International Conference*. 2013. Pp. 365-371.
4. Винограденко А.М. Прогнозирование отказов контролируемых комплексов связи специального назначения // *Системы управления, связи и безопасности*. 2020. № 3. С. 222-237. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10308.
5. Addison P.S. Wavelet transforms and the ECG: a review, *Physiological Measurement*. 2005. № 26(5). Pp. 155-199.
6. Абрамов О.В. Параллельные алгоритмы расчета и оптимизации надежности по постепенным отказам // *Автоматика и телемеханика*. 2010. № 7. С. 126-135.
7. Абрамов О.В. Выбор оптимальных значений параметров настройки технических устройств и систем // *Автоматика и телемеханика*. 2016. № 4. С. 55-66.
8. Абрамов О.В. Функционально-параметрическое направление теории рисков: возможности и перспективы // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2016. № 4. С. 96-101.
9. Li X. J., Bin G.F., Dhillon B. S. Model to evaluate the state of mechanical equipment based on health value, *Mechanism and machine theory*. 2011. № 46(3). Pp. 305-311.
10. Синешук Ю.И., Филиппов А.Г., Терехин С.Н., Николаев Д.В., Саенко И.Б. Структурно-логический метод анализа безопасности потенциально-опасных объектов // *Труды Санкт-Петербургского института информатики РАН*, 2011. № 17. С. 55-69.
11. Jude D., Hemanth Deepak, Gupta V., Balas E., *Intelligent Data Analysis for Biomedical Applications*. 1st Edition. Challenges and Solutions, Academic Press. 2021. 294 p.
12. Md Shafiullah, Abido M. A., Al-Mohammed A. H. *Power System Fault Diagnosis*. 1st Edition. A Wide Area Measurement Based Intelligent Approach, Elsevier. 2021. 320 p.
13. Будко П.А., Жуков Г.А., Винограденко А.М., Гойденко В.Г. Определение аварийного состояния морского робототехнического комплекса по многоэтапной процедуре контроля на основе использования вейвлет-преобразований // *Морская радиоэлектроника*. 2016. № 4 (58). С. 20-23.
14. Будко П.А., Винограденко А.М., Меженев А.В., Мирошников В.И. Комплексный подход в работе автоматизированной системы контроля и телеметрии ТС объектов связи морского базирования // *Морская радиоэлектроника*. 2018. № 4 (66). С. 8-14.

15. Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Babenko M.G. Digital filtering of images in a residue number system using finite-field wavelets, *Automatic Control and Computer Sciences*. № 48. 2014. Pp. 180–189.
16. Filippov A.F. Ellipsoidal estimates for a solution of a system of differential equations, *Interval Computations*. 1992. № 4 (2). Pp. 6-17.
17. Винограденко А.М. Эллипсоидальная аппроксимация областей параметрической неопределенности технического состояния РТК // *Робототехника и техническая кибернетика*. 2018. № 3 (20). С. 53-60.
18. Винограденко А.М., Пасхальный А. В. Эллипсоидальная адаптация области допусков многопараметрических систем // *Известия ЮФУ*. 2019. № 1 (204). С. 118-129.
19. Polyak B., Nazin S., Durieu C., Walter E. Ellipsoidal parameter or state estimation under model uncertainty, *Automatica*. 2004. № 40. Pp. 1171-1179.
20. Budko P.A., Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M. Adaptive System Monitoring of the Technical Condition Technological Objects Based on Wireless Sensor Networks // 2018 III International scientific Conference, (Convergent'2018) – Moscow, Russia, 29 November – 2 December, 2018. *Communications in computing and information Science (CCIS, volume 1140)* Springer, Cham. Pp. 200–210. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-37436-5_18.
21. Kotenko I.V., Saenko I.B., Budko P.A., Vinogradenko A.M. An approach for intelligent evaluation of the state of complex autonomous objects based on the wavelet analysis / The 18th International conference on intelligent software methodologies, tools and techniques (SOMET'2019). Kuching, Sarawak. Malaysia, 23–25 September 2019. Pp. 25-38.
22. Kotenko I.V., Saenko I.B., Ageev S. Monitoring the State of Elements of Multi-service Communication Networks on the Basis of Fuzzy Logical Inference, In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Communications, Computation, Networks and Technologies (INNOV-2017)*, 2017. Pp. 26-32.
23. Kotenko I.V., Saenko I.B., Ageev S. Implementation of Intelligent Agents for Network Traffic and Security Risk Analysis in Cyber-Physical Systems, In: *Proceedings of the 11th International Conference on Security of Information and Networks (SIN'18)*, № 22, 2018. Pp. 1-4.
24. Budko P.A., Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., 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 The 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, Russia, 23-27 September 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. Pp. 560 – 573. DOI.org/10. 1007/978-3-030-36625-4_45.
25. Zoltowski M., Martinod R.M. Technical Condition Assessment of Masonry Structural Components using Frequency Response Function (FRF), *Journal of the International Masonry Society Masonry International*. № 29(1). 2016. Pp. 23-27.
26. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
27. Simoens P., Dragone M., Saffiotti A. The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications, *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Vol. I-II. 2018. Pp. 1-9.
28. Jalal A.S., Singh V. Robust object tracking under appearance change conditions based on Daubechies complex wavelet transform, *Int. J. Multimedia Intelligence and Security*. № 2(3/4). 2011. Pp. 252-268.
29. Kumar S., Lokeshab M., Manjunath L.H. A Review on Automatic Fault Detection and Diagnosis in a Single Point Cutting Tool Using Wavelet Analysis, *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*. № 3(1). 2017. Pp. 230-234.
30. Figlus T., Wilk A. Application of a Continuous Wavelet Transform for the Diagnosing of Excessive Valve Clearance of the Combustion Engine, *Solid State Phenomena*. № 236. 2015. Pp. 153-160.
31. Ghazali K. H., Mansor M. F., Mustafa M., Hussain A. Feature Extraction Technique using Discrete Wavelet Transform for Image Classification, In: *Proceedings of the 5th Student Conference on Research and Development (SCOReD 2007)*. 2007. Pp. 202-211.
32. Rajpoot K., Rajpoot N., Noble J.A. Discrete Wavelet Diffusion for Image Denoising, In: *Proceedings of the 3rd international conference on Image and Signal Processing (ICISP '08)*. 2008. Pp. 20-28.

33. Sh. Liu, Hu Y., Ch. Li, H. Lu, Zhang H. Machinery condition prediction based on wavelet and support vector machine, *J. Intell. Manuf.* № 28(4). 2017. Pp. 1045-1055.
34. Leturiondo U., Salgado O., Ciani L., Galar D. Marcantonio Catelani Architecture for hybrid modelling and its application to diagnosis and prognosis with missing data. *Measurement*, № 108. 2017. Pp. 152-162.
35. Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Kaplun D.I., Butusov D.N., Nagornov N.N. Analysis of the Quantization Noise in Discrete Wavelet Transform Filters for Image Processing, *Electronics*, № 135. 2018. P. 7080135.
36. Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Nagornov N.N., Valueva M.V., Kaplun D.I. High-performance hardware 3D medical imaging using wavelets in the residue number system. The 9th Mediterranean conference on embedded computing (MECO 2020). IEEE. Pp. 913-923.
37. Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Kononov Y.G., Samoilenko V.V., Samoilenko I.V. *The time-probability characteristics of a telemetry signal with the variable number of bits*, In: Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS). 2017. Pp. 146-149.
38. Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Kononov Y.G., Samoilenko V.V., Zelensky E.G. *Development of a distributed multi-agent system monitoring and control networks of 0.4–35 kV*, In: Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS). 2017. Pp. 271-274.
39. Федоренко В.В., Винограденко А.М., Самойленко В.В., Самойленко И.В., Шарипов И.К. Минимизация области параметрической неопределенности для ремонтируемой системы // Труды XXI Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2018. С. 35-38.
40. Будко П.А., Винограденко А.М., Гойденко В.К., Кузнецов С.В. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса // Системы управления, связи и безопасности», № 4, 2017, С.71-101.
41. Будко П.А., Будко Н.П., Литвинов А.И., Винограденко А.М. Реализация кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 8 (162). С. 37-44.
42. Гойденко В.К., Винограденко А.М., Меженков А.В. Алгоритм формирования базы состояний программно-аппаратного комплекса связи на основе тепловых процессов с использованием вейвлет-преобразований // Материалы НПК «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях» ВАС; СПб, Ч. 1, 2019, С. 199-204.
43. Будко П.А., Винограденко А.М., Литвинов А.И. Экспериментальные исследования кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управление. № 9 (162). 2014. С. 53-58.

References

1. Goncharenko V.I., Kucheryavenko D.S., Goydenko V.K., Skorik N.A. Recognition of the type of emergency when testing an unmanned spacecraft based on the use of a wavelet transform. *Neurocomputers*. 2016. No. 1. Pp. 39-48 (in Russian).
2. Vianna E., Abaide A. R., Canha L.N., Miranda V. Substations SF6 circuit breakers: Reliability evaluation based on equipment condition, *Electric Power Systems Research*. 2017. No. 142. Pp. 36-46.
3. Singha J., Das K. Hand Gesture Recognition Based on Karhunen-Loeve Transform, In: Proceedings of Mobile & Embedded Technology International Conference. 2013. Pp. 365-371.
4. Vinogradenko A.M. Prediction of failures of controlled special-purpose communication complexes. *Systems of Control, Communication and Security*. 2020. No 3. Pp. 222-237. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10308 (in Russian).
5. Addison P.S. Wavelet transforms and the ECG: a review, *Physiological Measurement*. 2005. No. 26(5). Pp. 155-199.
6. Abramov O.V. Parallel algorithms for computing and optimizing reliability with respect to gradual failures. *Automation and Remote Control*. 2010. No. 7. Pp. 126-135 (in Russian).
7. Abramov O.V. Choosing Optimal Values of Tuning Parameters for Technical Devices and Systems. *Automation and Remote Control*. 2016. No. 4. Pp. 55-66 (in Russian).

8. Abramov O.V. Functional-parametric direction of risk theory: opportunities and prospects. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016. No. 4. Pp. 96-101 (in Russian).
9. Li X. J., Bin G.F., Dhillon B.S. Model to evaluate the state of mechanical equipment based on health value, *Mechanism and machine theory*. 2011. No. 46(3). Pp. 305-311.
10. Sineshuk Yu.I., Filippov A.G., Tetehin S.N., Nikolayev D.V., Saenko I.B. A structural and logical method for analyzing the safety of potentially dangerous objects. *Proceedings of the St. Petersburg Institute of Informatics of the Russian Academy of Sciences*, 2011. No. 17. Pp. 55-69 (in Russian).
11. Jude D., Hemanth Deepak, Gupta V., Balas E., *Intelligent Data Analysis for Biomedical Applications*. 1st Edition. Challenges and Solutions, Academic Press. 2021. 294 p.
12. Md Shafiullah, Abido M.A., Al-Mohammed A.H. *Power System Fault Diagnosis*. 1st Edition. A Wide Area Measurement Based Intelligent Approach, Elsevier. 2021. 320 p.
13. Budko P.A., Zhukov G.A., Vinogradenko A.M., Goydenko V.G. Determination of the emergency state of the marine robotic complex by a multi-stage control procedure based on the use of wavelet transformations. *Marine Radio Electronics*. 2016. No. 4 (58). Pp. 20-23 (in Russian).
14. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V., Miroshnikov V.I. An integrated approach to the operation of an automated system for monitoring and telemetry of the technical condition of sea-based communication facilities. *Marine Radio Electronics*. 2018. No. 4 (66). Pp. 8-14 (in Russian).
15. Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Babenko M.G. Digital filtering of images in a residue number system using finite-field wavelets, *Automatic Control and Computer Sciences*. No. 48. 2014. Pp. 180-189 (in Russian).
16. Filippov A.F. Ellipsoidal estimates for a solution of a system of differential equations, *Interval Computations*. 1992. No. 4 (2). Pp. 6-17.
17. Vinogradenko A.M. Ellipsoidal approximation of areas parametrical uncertainty of technical conditions of a robotic complex. *Robotics and technical cybernetics*. 2018. Vol. 20. No. 3. Pp. 53-60 (in Russian).
18. Vinogradenko A.M., Pashalnyi A.V. Ellipsoidal adaptation of the tolerance range of multiparameter systems. *Proceedings of the Southern Federal University*. 2019. No. 1 (204). Pp. 118-129 (in Russian).
19. Polyak B., Nazin S., Durieu C., Walter E. Ellipsoidal parameter or state estimation under model uncertainty, *Automatica*. 2004. No. 40. Pp. 1171-1179.
20. Budko P.A., Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M. Adaptive System Monitoring of the Technical Condition Technological Objects Based on Wireless Sensor Networks. 2018 III International scientific Conference, (Convergent'2018) – Moscow, Russia, 29 November – 2 December, 2018. *Communications in computing and information Science (CCIS, volume 1140)* Springer, Cham. Pp. 200-210. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-37436-5_18 (In Russian).
21. Kotenko I.V., Saenko I.B., Budko P.A., Vinogradenko A.M. An approach for intelligent evaluation of the state of complex autonomous objects based on the wavelet analysis / The 18th International conference on intelligent software methodologies, tools and techniques (SOMET'2019). Kuching, Sarawak. Malaysia, 23–25 September 2019. Pp. 25–38.
22. Kotenko I.V., Saenko I.B., Ageev S. Monitoring the State of Elements of Multi-service Communication Networks on the Basis of Fuzzy Logical Inference, In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Communications, Computation, Networks and Technologies (INNOV-2017)*, 2017. Pp. 26-32.
23. Kotenko I.V., Saenko I.B., Ageev S. Implementation of Intelligent Agents for Network Traffic and Security Risk Analysis in Cyber-Physical Systems, In: *Proceedings of the 11th International Conference on Security of Information and Networks (SIN'18)*, No. 22, 2018. Pp. 1-4.
24. Budko P.A., Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., 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 The 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, Russia, 23-27 September 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. Pp. 560-573. DOI.org/10. 1007/978-3-030-36625-4_45 (in Russian).

25. Żółtowski M., Martinod R.M. Technical Condition Assessment of Masonry Structural Components using Frequency Response Function (FRF), *Journal of the International Masonry Society Masonry International*. No. 29(1). 2016. Pp. 23-27.
26. Ohtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Intelligent technologies for monitoring and controlling the structural dynamics of complex technical objects. Moscow: Nauka, 2006. 410 p. (in Russian).
27. Simoens P., Dragone M., Saffiotti A. The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications, *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Vol. I-II. 2018. Pp. 1-9.
28. Jalal A.S., Singh V. Robust object tracking under appearance change conditions based on Daubechies complex wavelet transform, *Int. J. Multimedia Intelligence and Security*. No. 2(3/4). 2011. Pp. 252-268.
29. Kumar S., Lokeshab M., Manjunath L. H. A Review on Automatic Fault Detection and Diagnosis in a Single Point Cutting Tool Using Wavelet Analysis, *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*. No. 3(1). 2017. Pp. 230-234.
30. Figlus T., Wilk A. Application of a Continuous Wavelet Transform for the Diagnosing of Excessive Valve Clearance of the Combustion Engine, *Solid State Phenomena*. No. 236. 2015. Pp. 153-160.
31. Ghazali K.H., Mansor M.F., Mustafa M., Hussain A. Feature Extraction Technique using Discrete Wavelet Transform for Image Classification, In: *Proceedings of the 5th Student Conference on Research and Development (SCORED 2007)*. 2007. Pp. 202-211.
32. Rajpoot K., Rajpoot N., Noble J.A. Discrete Wavelet Diffusion for Image Denoising, In: *Proceedings of the 3rd international conference on Image and Signal Processing (ICISP '08)*. 2008. Pp. 20-28.
33. Sh. Liu, Hu Y., Ch. Li, H. Lu, Zhang H. Machinery condition prediction based on wavelet and support vector machine, *J. Intell. Manuf.* No. 28(4). 2017. Pp. 1045-1055.
34. Leturiondo U., Salgado O., Ciani L., Galar D. Marcantonio Catelani Architecture for hybrid modelling and its application to diagnosis and prognosis with missing data. *Measurement*, No. 108. 2017. Pp. 152-162.
35. Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Kaplun D.I., Butusov D.N., Nagornov N.N. Analysis of the Quantization Noise in Discrete Wavelet Transform Filters for Image Processing, *Electronics*, No. 135. 2018. P. 7080135.
36. Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Nagornov N.N., Valueva M.V., Kaplun D.I. High-performance hardware 3D medical imaging using wavelets in the residue number system. The 9th Mediterranean conference on embedded computing (MECO 2020). IEEE. Pp. 913-923.
37. Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Kononov Y.G., Samoilenko V.V., Samoilenko I.V. *The time-probability characteristics of a telemetry signal with the variable number of bits*, In: *Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*. 2017. Pp. 146-149 (in Russian).
38. Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Kononov Y.G., Samoilenko V.V., Zelensky E.G. *Development of a distributed multi-agent system monitoring and control networks of 0.4–35 kV*, In: *Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*. 2017. Pp. 271-274 (in Russian).
39. Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M., Samoilenko V.V., Samoilenko I.V., Sharipov I.K. Minimization of the parametric uncertainty region for a system under repair. *Proceedings of the 21st International Conference on Soft Measurements and Computing*. 2018. Pp. 35-38 (in Russian).
40. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Kuznetsov S.V., Goydenko V.K. Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot. *Systems of Control, Communication and Security*. No. 4, Pp. 71-101. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf> (in Russian).
41. Budko P.A., Budko N.P., Litvinov A.I., Vinogradenko A.M. Realization of a kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*. 2014. No. 8(162), Pp. 37-44 (in Russian).
42. Mezhenov A.V., Goydenko V.G., Vinogradenko A.M. An algorithm for forming a database of states of a software and hardware communication complex based on thermal processes using wavelet transformations. *Materials of the Scientific and Practical Conference «Problems of technical support of*

troops in modern conditions» Military Academy of Communications; St. Petersburg, Vol. 1. 2019. Pp. 199-204 (in Russian).

43. Budko P.A., Litvinov A.I., Vinogradenko A.M. Experimental studies of the kinetic method of control and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*. No. 9(162). 2014. Pp. 53-58 (in Russian).

Статья поступила 7 октября 2021 г.

Информация об авторе

Винограденко Алексей Михайлович – Докторант Военной академии связи, к.т.н., доцент.
Тел: +7(921)443-90-22. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Intelligent assessment of technical condition of complex technical objects

A.M. Vinogradenko

Annotation. *Increasing the requirements for the quality of functioning of complex autonomous technical facilities (robotic complexes, unmanned vehicles and aircraft, etc.), as well as their safety and reliability have made the problem of assessing their condition especially urgent, taking into account the impact of various kinds of attacks and destabilizing factors, aging and technological variation of parameters. **The aim** of the work is to improve the accuracy of classification of the results of monitoring and diagnostics of complex technical objects, which is a consequence of the relatively low stability of this assessment to noise and interference. **The novelty** of the work lies in the implementation of a new and promising approach to the intellectual assessment of the classes of the technical condition of autonomous complex technical objects and comprehensive accounting of controlled destabilizing factors. This approach is based on interval estimation of parameters, using a knowledge base about emergency and normal conditions. The process of obtaining a feature space with the subsequent development of algorithms for classifying pulse signals is described using a discrete wavelet transform, the choice of which, among others, is due to the high information content of the decomposition coefficients, since the amount of information received in the general case significantly exceeds the volume of the original signal sample. The task of assessing the technical condition of the control objects is to process the obtained coefficients based on the initial choice of the type of wavelet and the depth of decomposition. **The practical** significance of the work lies in the proposed architecture and implementation of an intelligent system for assessing the state of complex autonomous technical objects. The practical results of the experimental evaluation of the proposed approach are presented, which showed that the use of wavelet analysis in the formation of areas of operability of objects allows for a clear delineation of classes of their technical states, increasing the accuracy and reliability of the results of identification of states, as well as expanding the possibilities of using technical means of control and diagnostics.*

Keywords: *intelligent evaluation, wavelet analysis, complex autonomous technical object, technical condition, knowledge base.*

Information about Authors

Alexey Mikhailovich Vinogradenko – Doctoral student of the Military Academy of Communications, Ph.D., associate professor. Tel: +7 (921) 443-90-22. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tikhoretsky Ave., 3.

Для цитирования: Винограденко А.М. Интеллектуальное оценивание технического состояния сложных технических объектов // *Техника средств связи*. 2021. № 4 (156). С. 2-19.

For citation: Vinogradenko A.M. Intelligent assessment of technical condition of complex technical objects. *Means of communication equipment*. 2021. No 4 (156). Pp. 2-19 (in Russian).

УДК 004.896

Метод выделения семантически согласованных групп пользователей социальных медиа-платформ

Лебедев Д.В., Васильев Н.В.

Аннотация. Социальные медиа платформы (социальные сети, мессенджеры) стали одной из важнейших инфокоммуникационных средств современного человека. Наряду с обеспечением оперативного взаимодействия пользователей, социальные медиа-платформы могут быть инструментом ведения гибридной войны. За счет большого охвата аудитории и слабого контроля за содержанием, социальные медиа-платформы удобны для распространения идей, связанных с дестабилизацией социально-политической ситуации. Кроме этого, через социальные медиа-платформы часто осуществляется взаимодействие международных террористических организаций и распространение наркотиков. Не стоит забывать и про такое удручающее явление как детские и подростковые «группы смерти», распространяющие суицидальные идеи. Социальные медиа-платформы могут быть использованы и для организации утечек важной для компании информации, а также для подрыва ее репутации. Такую атаку могут провести внутренние сотрудники компании, которые недовольны руководством, или специально внедренные инсайдеры. **Целью** настоящей статьи является разработка метода выявления семантически-согласованных групп пользователей социальных медиа-платформ на основе анализа публикуемых ими сообщений. Для достижения указанной цели в работе решаются следующие **научные задачи**: формирование схемы обработки данных, выбор метода оценки тональности текстовых сообщений, выбор метода выявления тематики коротких текстовых сообщений, моделирование диалога пользователей по заданной тематике знаковыми графами, выявление семантически согласованной группы пользователей. В работе используется научно-методический аппарат обработки естественного языка, дискретной математики, теории графов, машинного обучения. **Научная новизна** предложенного в работе метода состоит в обеспечении совместной интерпретации данных о взаимодействиях пользователей социальных медиа-платформ и оценкой смысла публикуемых сообщений, что позволяет повысить точность выявления схемы реальных контактов. **Практическая значимость** разработанного метода состоит в возможности его применения в специализированных комплексах мониторинга открытых источников информации, которые стали частью современных автоматизированных систем.

Ключевые слова: социальные сети, мессенджеры, метод выделения семантически-согласованных групп, оценка тональности текстовых сообщений, выявление тематик коротких текстовых сообщений, знаковые графы.

Введение

В настоящее время социальные медиа-платформы (социальные сети, мессенджеры) стали одним из важнейших источников взаимодействия людей. На базе медиа-платформ существует большое количество пользовательских групп по интересам (социальных групп). Подавляющее большинство таких групп существует недолго, поскольку создаются под конкретное мероприятие (например, праздник или иное совместное времяпровождение). Наиболее устойчивыми являются группы, созданные вокруг различных продуктов: форумы игроков, клиентов, последователей звезд интернета. Необходимо отметить, что часто группы служат для координации действий участников в виртуальном и реальном пространстве. Эффективность действий зависит от свойств группы, межличностных отношений между участниками и отстаиваемых точек зрения по ключевым вопросам, имеющим в том числе важное социальное значение. Примером может послужить распространение информации о вреде вакцинации [1] или агитация суицидального поведения детей и подростков [2]. При этом отсутствует механизм эффективной регуляции этих явлений со стороны законодательства РФ. Как следствие единственный метод

противодействия распространения деструктивных идей в социальных медиа – оперативное выявление источников распространения (ядра группы) и его изоляция средствами социальной медиа-платформы с последующим подключением правоохранительных органов. Проблема осложняется тем, что существующий аппарат аналитики социальных сетей (*Social-mining*) достаточно поверхностны и не позволяют эффективно выявить структуру группы за счёт того, что слабо учитывают семантику сообщений пользователя, делая акцент на устойчивые связи в модели социальной сети («друзья» пользователя, списки групп пользователя).

Указанные соображения определяют актуальность разработки методов выделения групп социальных медиа-платформ.

Обзор существующих подходов к анализу социальных медиа (социальных сетей)

Для комплексного анализа работы виртуальной социальной сети используются алгоритмы *Data Mining*. Общая схема обработки данных [3] приведена на рис. 1.

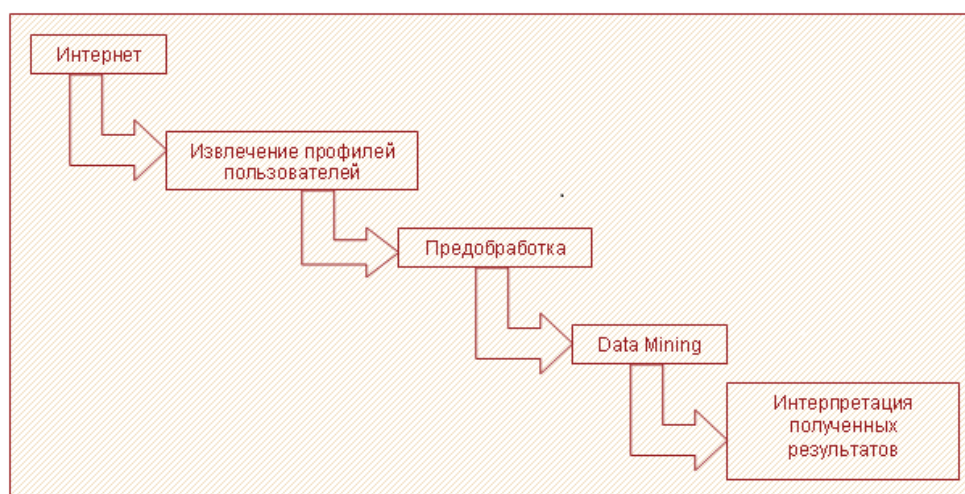


Рис. 1. Схема обработки данных социальных сетей

В настоящее время анализ социальных сетей решает следующие задачи:

- анализ информационных потоков, с помощью которого можно выявить лидеров мнений, найти утечки информации, осуществить управление *PR*-акциями. Применяется в таких сферах, как маркетинг, реклама, безопасность, оптимизация сетей и корпоративная технология;

- персонификация предложений, что позволяет сделать социальную сеть более эффективной и привлекательной для конечного пользователя путём выделения его реальных потребностей;

- поиск аномалий, «ботов» и мошенников, для выявления и применения специальных мер к пользователям, ведущим «вирусную» активность.

Для решения указанных задач применяются методы, основанные на моделировании связей пользователей (друзья, группы) в виде графа с последующим анализом его структуры (клики, компоненты сильной связности, топологический анализ [4]), а также методы обработки естественного языка – главным образом оценка тональности высказываний на специализированных социальных площадках *IMDB*, *Twitter*. Эти два подхода показали свою полезность, хотя совместно используются редко.

В работе предлагается подход, использующий методологический аппарат исследования устойчивости социальных групп (сбалансированные знаковые графы) совместно с методами обработки естественного языка для выявления групп взаимодействующих пользователей по признаку согласованных мнений по ключевым

вопросам обсуждений. В качестве экспериментального исследования проведена апробация на данных группы «Коронавирус-Санкт-Петербург» сети «ВКонтакте».

Метод семантически согласованных групп

Предлагаемый в работе метод можно разбить на 6 основных этапов (рис. 2):

- сбор данных. На данном этапе производится формирование исходного набора данных;
- определение тональности (эмоциональной окраски) текстовых сообщений. Ставится одна из трёх меток – нейтральное, позитивное или негативное сообщение;
- выделение тематик текстовых сообщений;
- построение знаковых графов групп взаимодействующих пользователей. В качестве вершин графа выступают идентификаторы пользователей, а в качестве ребер – отношения взаимодействия в процессе общения. Веса рёбер графа могут принимать в зависимости от тональности общения значения $[-1, 0, 1]$, что означает [антипатия, нейтральное отношение, симпатия];
- выделение максимальных сбалансированных подграфов, соответствующих устойчивой группе пользователей;
- визуализация полученных данных и последующая интерпретация.

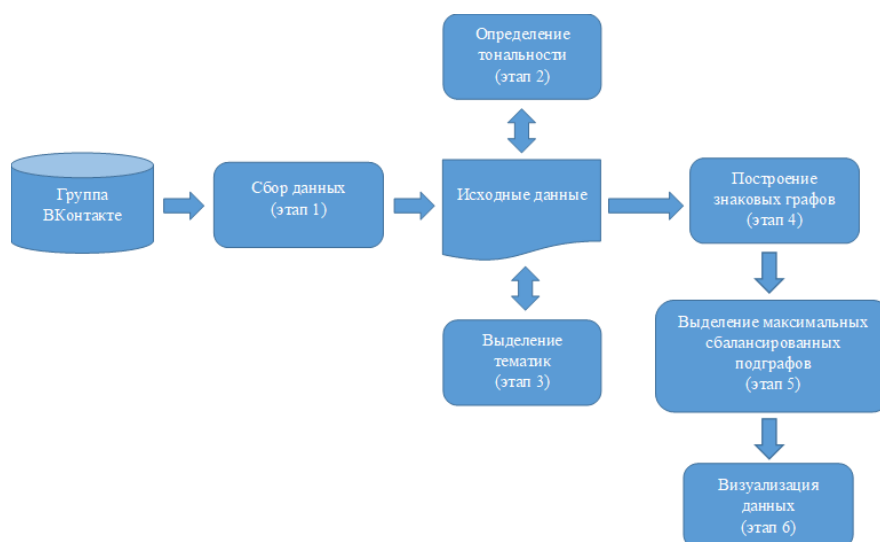


Рис. 2. Схема метода выделения семантически согласованных групп пользователей

Рассматриваемый метод позволяет достоверно получить список поляризованных групп в онлайн-дебатах, что позволит применять его в различных социальных медиа. Рассмотрим каждый этап более детально.

Этап 1 – сбор данных. На данном этапе производится формирование исходного набора данных. Данные должны включать в себя автора сообщения, кому автор отвечает либо чьё сообщение комментирует (опционально) и само текстовое сообщение. Набор данных имеет смысл сохранять в виде кортежа для удобства дальнейшей обработки. Как правило, для сбора данных разрабатываются поисковые роботы-пауки (веб-краулеры), что позволяет избежать неопределенности при формировании исходного набора данных. С учетом большого объема данных социальных сетей, роботы-пауки могут иметь распределенный характер.

Этап 2 – определение тональности текстовых сообщений. На данном этапе каждому текстовому сообщению ставится одна из трёх эмоциональных меток: нейтральное, позитивное или негативное.

Существующие методы оценки тональности основаны на представлении текста в числовом (векторизованном) виде. В настоящем исследовании было произведено сравнение следующих методов векторизации для обучения регрессионного классификатора данными *RuSentiment* [5]:

– *BoW* (*Bag of Words* – «мешок слов») – метод, учитывающий частоту слова в документе без учета взаимного расположения слов. Разновидностью данной модели является мера *TF-IDF*, отражающие отношение частоты слова в конкретном документе к частоте слова в известном корпусе документов [6];

– *Word2Vec* (инструментарий от *Google*) – нейросетевой метод, учитывающий частоту совместного использования слов в текстах. В работе исследована разновидность данной модели, обученная на двух алгоритмах: *BoW* и *Skip-gram*. На выходе обученная однослойная сеть позволяет по слову получить числовые векторы, позволяющие использовать косинусное расстояние между словами как меру их близости [6];

– *FastText* – контекстуальный нейросетевой метод, концептуально схожий с *word2vec*, использующий для обучения части слов [6];

– *BERT* (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*) – языковая модель, основанная на глубокой нейросетевой архитектуре типа трансформер [6]. Метод заключается в присваивании каждому слову числа, обозначающего порядковый номер слова в словаре, упорядоченном по критерию смысловой близости терминов. На выходе каждому тексту сопоставляется вектор из 512 символов. При подаче текста на вход сети первоначально выполняется его токенизация. Токенами служат слова, доступные в словаре, или их составные части. В самой нейронной сети токены кодируются своими векторными представлениями, а именно, соединяются представления самого токена, номера его предложения, а также позиции токена внутри своего предложения. Данные поступают на вход и обрабатываются сетью параллельно, а не последовательно, но информация о взаимном расположении слов в исходном предложении сохраняется, будучи включённой в позиционную часть вектора, соответствующего токена [7].

Эксперимент по оценке качества векторизации сводился к оценке точности по критерию *F1*-меры различных классификаторов тональности, использующих указанные методы. Используемый для обучения тестовый корпус, сформированный на основе русскоязычных сообщений из *Twitter*, разбивался на тренировочные и тестовые данные. Тренировочные данные применялись соответственно для обучения моделей, а тестовые для оценки их точности и полноты.

Используемая для оценки *F1*-мера представляет собой гармоническое среднее между точностью и полнотой, как показано в (1). При нулевой полноте или точности она стремится к нулю.

$$F1 = 2 \frac{\text{Точность} \times \text{Полнота}}{\text{Точность} + \text{Полнота}} \quad (1)$$

Исходя из полученных данных, приведенных в табл. 1, следует выбирать предобученную модель *BERT* «*bert-base-multilingual-cased*» [8], так как она имеет наибольшую оценку *F1*-меры при решении задачи анализа тональности русскоязычных коротких текстов.

Таблица 1 – Сравнение моделей по критерию *F1*-меры

	<i>BoW</i>	<i>Word2Vec</i>	<i>FastText</i>	<i>BERT</i>
Оценка <i>F1</i>	0.61	0.53	0.71	0.76

Этап 3 – выделение тематик текстовых сообщений. На данном этапе сообщению присваивается соответствующая набор соответствующих ему тематик.

Для решения указанной задачи целесообразно использовать технологию тематического моделирования, заключающуюся в статистическом анализе корпусов текстов. Тематическая модель определяет, к каким темам относится каждый документ, и какими словами описывается каждая тема. Преимуществом подхода является отсутствие необходимости ручной разметки корпуса текстов. Обучение тематической модели происходит без учителя. В отличие от схожей кластеризации, тематическое моделирование допускает, чтобы документ относился к нескольким кластерам-темам. Тематическое моделирование не претендует на понимание смысла текста, однако оно способно отвечать на вопросы «о чём этот текст» или «какие общие темы есть у этих текстов». Для наглядности отличие задачи классификации текста от тематической классификации приведён рис. 3.

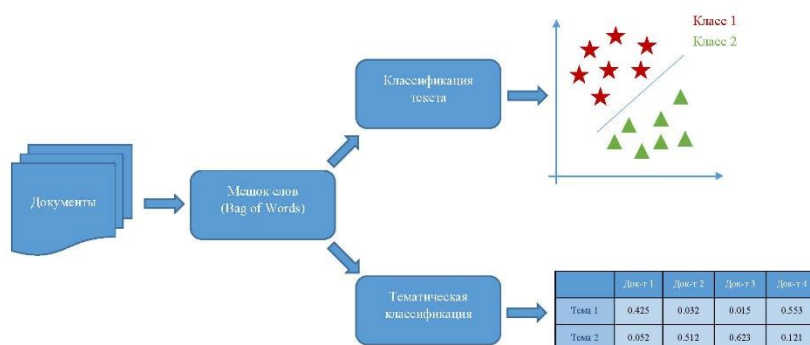


Рис. 3. Отличие задачи классификации текста от тематической классификации

В рамках поставленной задачи были проанализированы следующие методы тематической классификации:

– *PLSA (Probabilistic latent semantic analysis)* [9]. По сравнению с обычным латентно-семантическим анализом (*LSA*), который сводится к *SVD* – разложению матрицы «документ-термин», *PLSA* состоит в нахождении вероятностной модели со скрытыми темами с использованием в качестве целевой функции поиска логарифма правдоподобия;

– *ARTM (Additive regularization for topic modeling)* [9] – это многокритериальный подход, в котором к целевой функции логарифма правдоподобия добавляется взвешенная сумма функций-регуляризаторов, обеспечивая более точное решение задачи. *ARTM* позволяет комбинировать тематические модели, суммируя регуляризаторы. Благодаря свойству аддитивности, оптимизация любых моделей и их комбинаций производится одним и тем же итерационным процессом на основе *EM*-алгоритма. Для добавления регуляризатора в модель достаточно знать его частные производные по параметрам модели. *EM*-алгоритм хорошо масштабируется, поскольку каждая его итерация – это один линейный проход по коллекции, а число итераций, требуемых для сходимости процесса, как правило, невелико.

– *LDA (Latent Dirichlet Allocation)* [9] – это байесовская версия модели *PLSA*. В частности, модель использует априорные значения Дирихле для распределения темы документа и слова. Распределение Дирихле позволяет порождать разреженные векторы на основе параметров, которые позволяют управлять степенью разреженности. В то же время, применение распределений Дирихле не имеет убедительных лингвистических обоснований. Его широкое распространение в тематическом моделировании объясняется скорее популярностью байесовского обучения, чем стремлением к адекватному моделированию значимых особенностей текстовых коллекций или явлений естественного языка.

Был проведён анализ вышеупомянутых методов тематической по критериям разреженности тематических векторов (интерпретируемости) и перплексии. Показатель разреженности позволяет более чётко разграничить тематики, а показатель перплексии

указывает насколько сильно модель преобразуется при появлении новых данных. Результаты анализа представлены в табл. 2. Сравнение моделей показало, что наименьшая перплексия и наибольшая разреженность матриц достигается в модели *ARTM*, соответственно, для тематической классификации коротких текстовых сообщений была выбрана библиотека *BigARTM* [10].

Таблица 2 – Сравнение методов тематической классификации

	<i>LDA</i>	<i>pLSA</i>	<i>ARTM</i>
Разреженность матрицы ϕ	0.0	0.69	0.86
Разреженность матрицы θ	0.0	0.04	0.79
Перплексия	784.44	770.34	719.67

Этап 4 – построение знаковых графов. На данном этапе строятся знаковые графы для каждой из тематик.

Традиционно социальные сети моделируются в виде графов [3], например, вершины могут обозначать пользователей и группы, а их отношение (дружба, принадлежность группе) – ребрами между ними. Такое представление позволяет провести при помощи базовых алгоритмов теории графов группы единомышленников (сильно связанные компоненты графа), оценить динамику связей во времени (на базе расстояния редактирования графа) и пр. Однако существующие в настоящее время методы мало учитывают семантику сообщений между пользователями в процессе взаимодействия. Для моделирования и исследования устойчивости социальных групп в настоящее время используется аппарат знаковых графов. В знаковых графах каждое ребро помечено либо положительным, либо отрицательным знаком. Если граф представляет социальные взаимодействия, то можно использовать знаки, чтобы определить, являются ли эти взаимодействия дружественными или нет. Таким образом, подписанные графы представляют собой хорошее представление для выявления поляризованных групп в онлайн-дебатах.

Знаковым графом $G = (V, E^+, E^-)$ называется граф у которого все ребра имеют вес +1 или -1. Где $V = \{1, \dots, n\}$ – набор вершин графа, а $E^+(E^-)$ набор положительных (отрицательных) ребер [11].

В качестве вершин знакового графа выступают идентификаторы пользователей, а в качестве ребер – отношения взаимодействия в процессе, то есть ответы на сообщения пользователей. Причём ребра графа знаковые и могут принимать значения [-1, 0, 1], что означает [антипатия, нейтральное отношение, симпатия].

Вначале, выявляются вершины графа в качестве которых выступают пользователи, затем формируются ребра отношений между пользователями, на основе тональностей сообщений между ними. Если преобладают положительные тональности сообщений, то ребру ставится положительный знак, иначе отрицательный, в остальных случаях нейтральный. Вес вершины определяется по количеству входящих (исходящих) ребер в эту вершину.

Таким образом, строится матрица отношений между пользователями, и уже на её основе строится знаковый граф.

Знаковые графы строятся на основе матриц отношений между пользователями. Если вершина имеет взаимодействие с другой вершиной, то между ими формируется ребро со значением [-1, 0, 1] и заносится в массив для дальнейшей обработки.

Этап 5 – выделение максимальных сбалансированных подграфов. Задачи, приводящие к знаковым графам, возникли впервые в социологии при изучении проблемы

сбалансированности малых групп, т. е. того, насколько группа, состоящая из нескольких участников, может эффективно работать. Таким образом, при выделении максимальных сбалансированных подграфов можно выявлять наиболее бесконфликтные группы взаимодействующих участников.

Знаковый граф $G = (V, E^+, E^-)$ сбалансирован, если существует такое разбиение множества вершин $V = V_1 \cup V_2$, $V_1 \cap V_2 = \emptyset$, при котором каждое ребро как между вершинами в V_1 , так и между вершинами в V_2 положительно, а ребра между V_1 и V_2 отрицательны [12].

В дополнение к простому переборному алгоритму, следующему из определения сбалансированности, существует связь этого свойства со спектром графа [13].

Теорема. Пусть собственные числа $\lambda_1(L) \leq \dots \leq \lambda_n(L)$ принадлежат спектру L знакового графа $G = (V, E^+, E^-)$. Тогда

$$\lambda_1(L) \leq \min_{G'} \{ \lambda_n(L(G')) : V_{G'} \subseteq V, G \setminus V_{G'} \text{ сбалансирован} \}.$$

Здесь $V_{G'}$ обозначает множество вершин графа G' . Иными словами, наименьшее собственное число спектра знакового графа не больше наименьшего собственного числа спектра любой его сбалансированной компоненты.

Графы, используемые в практических приложениях, обычно не сбалансированы. Таким образом, возникает естественный вопрос, можно ли эффективно найти максимальный сбалансированный подграф данного знакового графа. Применительно к социальным медиа-платформам, такой подграф будет соответствовать группе единомышленников. Соответственно, задача для знакового графа $G = (V, E^+, E^-)$ сводится к нахождению графа G' приведённому к $V' \subseteq V$, так чтобы G' был сбалансирован, а количество вершин V' было максимально.

На рис. 4 представлен псевдокод алгоритма выделения максимального сбалансированного подграфа в знаковом графе, он функционирует в 2 этапа:

- на первом этапе (строки 3-9) последовательно удаляются вершины из графа до момента получения сбалансированного подграфа;
- на втором этапе (строки 10-14) при помощи процедуры *Timbal (Trimming Iteratively to Maximize Balance* – итеративная обрезка для максимизации баланса) последовательно ищутся вершины из удалённых, которые не будут нарушать этот баланс.

```

Вход: знаковый граф G
1:  R ← ∅
2:  Опционально: R ← Подвыборка(G), G ← G/R
3:  while G не сбалансирован do
4:      Вычисление L, спектра G.
5:      Вычисление вектора r.
6:      Вычисление набора вершин для удаления S, основанных на r.
7:      G ← G/S; R ← R ∪ S.
8:      G ← подграф с наибольшим количеством связей в G
9:  end while
10: for v ∈ R do
11:     if G ∪ {v} сбалансирован then
12:         G ← G ∪ {v}
13:     end if
14: end for
15: Вывод G

```

Рис. 4. Псевдокод алгоритма выделения максимального сбалансированного подграфа

Таким образом, применив данный алгоритм можно найти набор максимально сбалансированных подграфов для каждой из тематик.

Этап 6 – визуализация полученных данных. В рассматриваемой методике нет каких-либо ограничений в представлении полученных данных. В качестве рекомендации

можно сказать, что набор обработанных данных можно хранить в виде текстового *CSV* (*Comma-Separated Values*) файла, который легко можно визуализировать в виде таблицы, а визуализацию знаковых графов, а также максимально сбалансированных подграфов можно реализовать при помощи библиотеки *IGraph* [14] для лучшей интерпретации результатов.

Апробация предложенного метода

В данном разделе приводится пример реализации предложенного метода на основе данных существующей группы социальной сети. Методика реализована на языке программирования *Python*, с использованием библиотек *Pandas*, *PyTorch*, *Transformers*, *Artn*, *Numpy*, *Nltk*, *PyMorphy2*, *IGraph*.

Этап 1 – сбор данных. В качестве исходных данных будет выступать группа ВКонтакте «Санкт-Петербург | Коронавирус | COVID-19» [15]. Для сбора данных был разработан сборщик сообщений (краулер) на основе *API* ВКонтакте версии 5.131 [16]. Краулером собираются данные постов, комментариев, времени размещения сообщений и авторов. Каждый пост представляется в виде сущности, содержащей следующие поля: *datetime* – время размещения сообщения, *author* – идентификатор пользователя кем размещено сообщение, *reply_to* – идентификатор пользователя на чьё сообщение было отвечено и *text* – непосредственно само сообщение. Полученная информация записывается в файл *CSV*. На рис. 5 показан срез итогового файла.

1	2	3	4
<i>datetime</i>	<i>author</i>	<i>reply_to</i>	<i>text</i>
28.05.2020 19:52	-174628792		Коронавирус. Оперштаб Петербург С 1 июня в Петербурге ослабят ограничения, связанные с коронавирусом
28.05.2020 19:56	12590355	-174628792	Что с непродуктивными магазинами??? Открывайте как вся Россия до 400 кв. м.
29.05.2020 13:53	598302534	12590355	Названы способы не заразиться коронавирусом в общественных местах
08.08.2020 13:39	440034498	598302534	Названы противопоказания к вакцине от коронавируса Источник:
28.08.2020 14:57	599097287	440034498	4 829 новых случаев COVID-19 выявлено в России Источник:
28.05.2020 20:05	731112	-174628792	Что с фитнес клубами?
10.11.2020 07:14	236051417	731112	Статистика коронавируса в Санкт-Петербурге на 10 ноября 2020 года
11.11.2020 07:00	609971731	731112	Обновлена статистика коронавируса в России на 11 ноября
28.05.2020 20:46	939852	-174628792	что с поликлиниками?

Рис. 5. Срез данных файла *CSV*, полученных краулером ВКонтакте

Этап 2 – определение тональности текстовых сообщений. В качестве нейронной сети для машинного обучения была использована предобученная модель *BERT* «*bert-base-multilingual-cased*» [8], а для её дообучения использовались заранее размеченные текстовые данные из корпуса русскоязычных постов *RuSentiment dataset for sentiment analysis of Russian social media* [5].

На выходе получается тональный словарь, который представляет из себя набор слов или биграмм, которым задаётся определённый вес принадлежности к позитивному, негативному или нейтральному классу. После векторизации сообщений, каждое слово сообщения ищется в тональном словаре, и его вес записывается. Затем, после получения всех весов, высчитывается принадлежность данного текстового сообщения к определённому классу тональности. Таким образом каждому сообщению из набора присваивается тональность. Исходный набор данных дополняется двумя столбцами: *predicted_label* – тональность в виде метки и *predicted_name* – интерпретированная метка тональности.

Этап 3 – выделение тематик текстовых сообщений. Прежде чем применялась библиотека *BigARTM* проводилась предобработка каждого сообщения – токенизация, удаление знаков препинания, приведение к нижнему регистру, лемматизация, удаление стоп слов и преобразование в *Vowpal Wabbit* формат с которым работает рассматриваемая библиотека. Исходный набор данных дополняется столбцом *vowpal_wabbit* с результатами преобразований, а также формируется основной словарь.

После всех необходимых преобразований *BigARTM* выделяет основные значимые слова по тематикам, и присваивает каждому сообщению подходящую тематику. В векторах тематик сообщений тематика включается в результирующий вектор при наибольшей значимости. Исходный набор данных дополняется двумя столбцами: *bigartm* – идентификационный номер тематики и *bigartm_topics* – интерпретация идентификационного номера тематики.

На рис. 6 выведен результат обработки библиотекой *BigARTM* набора текстовых сообщений и распределения основных значимых слов по тематикам.

```
0: ['случай', 'выздороветь', 'начало', 'умереть', 'обследовать', 'коронавирусный', 'зарегистрировать', 'вызов', 'экстренный', 'зафиксировать']
1: ['память', 'светлый', 'работодатель', 'час', 'царствие', 'ноябрь', 'небесный', 'пусть', 'опасность', 'ноль']
2: ['поликлиника', 'приехать', 'кашель', 'коронавирус', 'вакцинация', 'звонить', 'регистратура', 'вызвать', 'сходить', 'омс']
3: ['головоломка', 'стена', 'выход', 'снять', 'показать', 'отопление', 'репостите', 'the', 'обнаружить', 'video']
4: ['беглов', 'действительно', 'тотальный', 'реальный', 'опасаться', 'дополнение', 'нефть', 'привлекаться', 'запрет', 'госдума']
5: ['фильм', 'подборка', 'держаться', 'карантинец', 'ти', 'храм', 'варсонофий', 'ладожский', 'страх', 'обеспечивать']
6: ['гарри', 'днк', 'мозг', 'содержать', 'правильно', 'гепатит', 'рнк', 'мировой', 'пятёрочка', 'вич']
7: ['согласный', 'бессимптомный', 'карта', 'инвалид', 'мвф', 'отменить', 'удалить', 'льгота', 'ресурс', 'таки']
8: ['умирать', 'рецепт', 'сосна', 'капля', 'дышать', 'сода', 'паром', 'пищевой', 'лечить', 'антиковидный']
9: ['здравствуйте', 'объявить', 'подробный', 'дело', 'получение', 'заявка', 'спрогнозировать', 'dm', 'frfr', 'грант']
```

Рис. 6. Распределение основных значимых слов по тематикам

На рис. 7 показан срез CSV файла после всех необходимых шагов подготовки данных, применённых к исходному корпусу текстовых сообщений.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
datetime	author	reply_to	text	predicted_label	predicted_name	vowpal_wabbit	bigartm	bigartm_topics
28.05.2020 19:52	-174620792		Коронавир ус. Оперштаб Петербург	1	neutral	text коронавирус	9	['здравствуйте', 'объявить', 'подробный', 'дело', 'получение', 'заявка', 'спрогнозировать', 'dm', '']
28.05.2020 19:56	12590355	-174620792	Что с непродовольственны	1	neutral	text непродовольственный	0	['случай', 'выздороветь', 'начало', 'умереть', 'обследовать', 'коронавирусный', 'зарегистрировать', '']
29.05.2020 13:53	598302534	12590355	Названы способы не	1	neutral	text назвать способ	9	['здравствуйте', 'объявить', 'подробный', 'дело', 'получение', 'заявка', 'спрогнозировать', 'dm', '']
08.08.2020 13:39	440034490	598302534	Названы противопоказания	1	neutral	text назвать противопопок	7	['согласный', 'бессимптомный', 'карта', 'инвалид', 'мвф', 'отменить', 'удалить', 'льгота', 'ресурс', 'таки']
28.08.2020 14:57	599097287	440034490	4 829 новых случаев	1	neutral	text новый случай	9	['здравствуйте', 'объявить', 'подробный', 'дело', 'получение', 'заявка', 'спрогнозировать', 'dm', '']
28.05.2020 20:05	731112	-174620792	Что с фитнес клубами?	1	neutral	text фитнес клуб	5	['фильм', 'подборка', 'держаться', 'карантинец', 'дистанционный', 'храм', 'варсонофий', 'ладожский', 'страх', '']
10.11.2020 07:14	236051417	731112	Статистика коронавир	1	neutral	text статистика	2	['поликлиника', 'приехать', 'кашель', 'коронавирус', 'звонить', 'вакцинация', 'регистратура', 'вызвать', 'сходить', '']
11.11.2020 07:00	609971731	731112	Обновлена статистик	1	neutral	text обновить статистик	2	['поликлиника', 'приехать', 'кашель', 'коронавирус', 'звонить', 'вакцинация', 'регистратура', 'вызвать', 'сходить', '']
28.05.2020 20:46	939852	-174620792	что с поликлиника ми?	1	neutral	text поликлиника	9	['здравствуйте', 'объявить', 'подробный', 'дело', 'получение', 'заявка', 'спрогнозировать', 'dm', '']
29.05.2020 04:04	29575530	939852	пока ничего в тау	1	neutral	text пока	0	['случай', 'выздороветь', 'начало', 'умереть', 'обследовать', '']

Рис. 7. Срез обработанных данных

Этап 4 – построение знаковых графов. Из полученных данных для каждой тематики строится матрица связей между пользователями. Названия колонок и строк соответствуют идентификационным номерам пользователей ВКонтакте. Отрицательный идентификационный номер обозначает группу от имени которой размещались сообщения.

На рис. 8 приведена визуализация построенного знакового графа для конкретной тематической группы, где красным обозначены ребра антипатии, синим симпатии и серым нейтральные. Вершины графа обозначены и соответствуют идентификационным номерам пользователей. Внизу изображения выведены основные данные по графу – это количество вершин, рёбер, а также мощность 4-х вершин. Под мощностью вершины здесь понимается количество связей с другими пользователями.

Этап 5 – выделение максимальных сбалансированных подграфов. На этом этапе выделяются максимально сбалансированные подграфы при помощи алгоритма *Timbal*, который был рассмотрен в предыдущем разделе.

На рис. 9 показаны интерпретируемые результаты выделения максимальных сбалансированных подграфов из исходного графа, изображённого на рис. 9 а, для первого топика. На рис. 9 б показан первый подграф и очевидно, что максимально активным участником беседы является пользователь с идентификатором 3657242, но с ним, в основном другие участники беседы не согласны (ребро красного цвета). Далее первый подграф удаляется из основного графа, см. рис. 9 в, и выделяется следующий максимально сбалансированный подграф – второй, см. рис. 9 г. На втором подграфе сильно выделяется пользователь с идентификатором 174620792 – это группа, от имени которой размещаются сообщения на стене. У него соответственно больше всего связей с остальными пользователями, что логично.

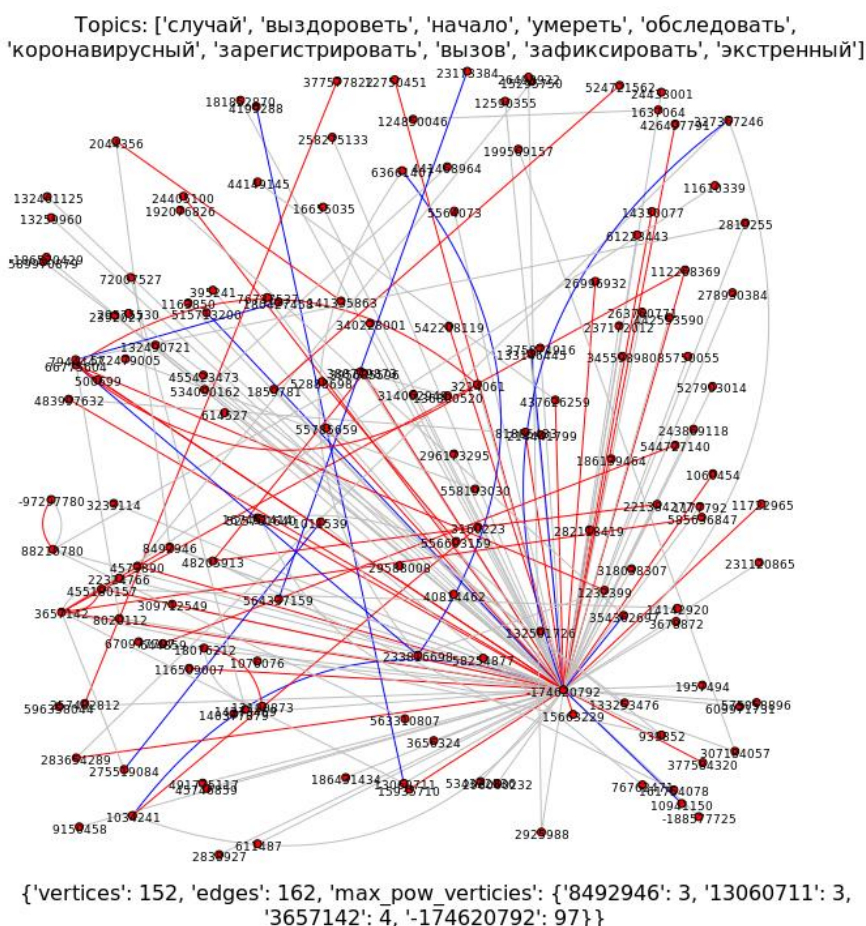


Рис. 8. Визуализация построенного знакового графа

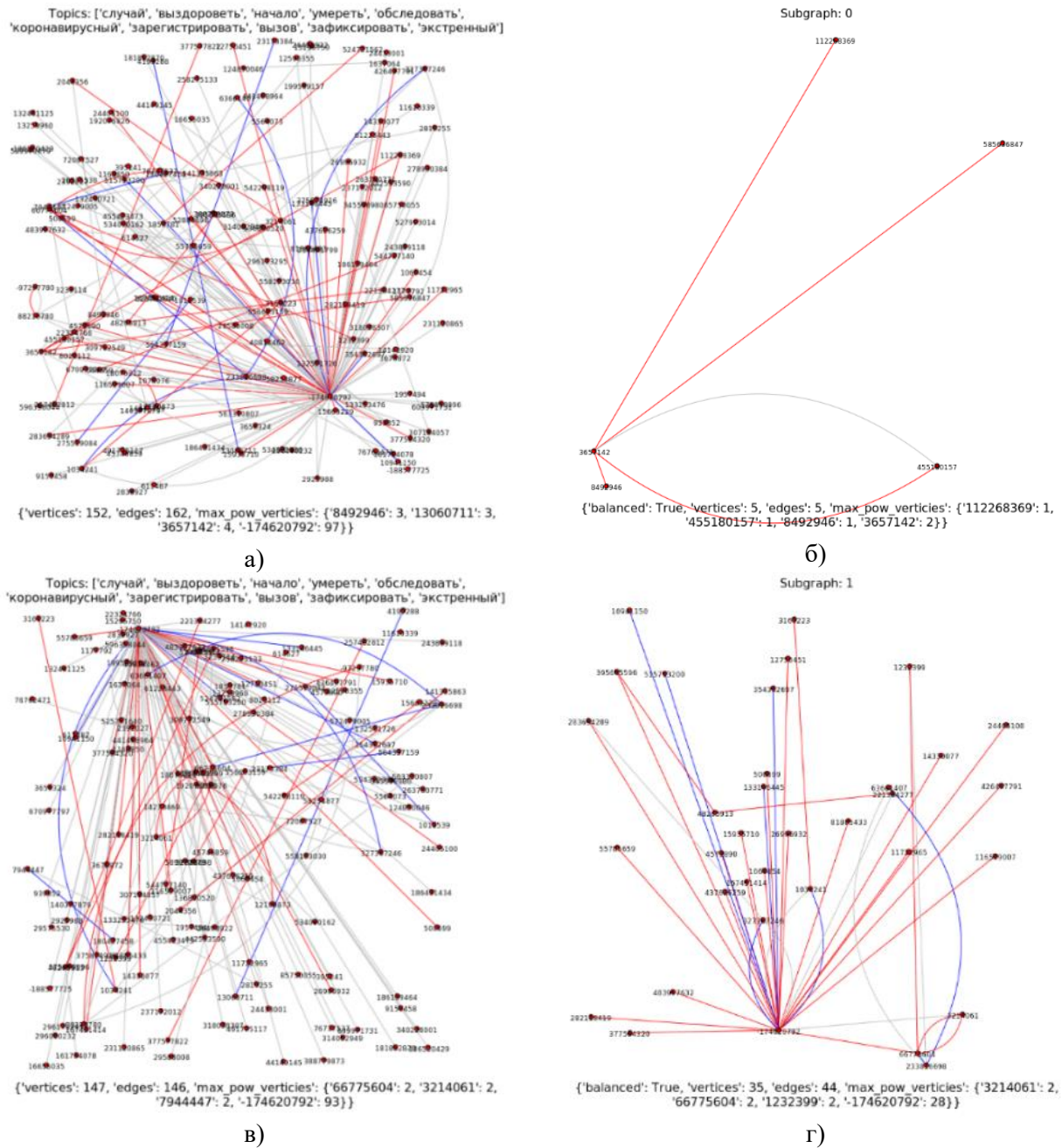


Рис. 9. Выделение максимальных сбалансированных подграфов: а) исходный знаковый граф; б) выделенный максимальный сбалансированный подграф на первой итерации; в) знаковый граф после удаления первого выделенного подграфа; г) выделенный максимальный сбалансированный подграф на второй итерации

Этап 6 – визуализация полученных данных. Примеры визуализации полученных данных были уже приведены на рис. 7 и рис. 9. Для полноты картины можно ещё выводить данные в виде текстового результата для дальнейшего использования, пример текстового результата при первом проходе цикла алгоритма показан на рис. 10, где в колонке *source_graph* выводятся основные параметры обрабатываемого графа, а в колонке *max_balanced_graph* выводятся основные параметры выделенного максимального сбалансированного подграфа.

1	2	3
topics	source_graph	max_balanced_graph
1		
2	{'vertices': 152, 'edges': 162, 'max_pow_vertices': {'84929248': 3, '13808711': 3, '3657142': 4, '174620792': 97}}	{'balanced': True, 'vertices': 5, 'edges': 5, 'max_pow_vertices': {'112268369': 1, '453180137': 1, '84929248': 1, '3657142': 2}}
3	{'vertices': 72, 'edges': 65, 'max_pow_vertices': {'4573898': 1, '437626259': 1, '14273469': 1, '174620792': 52}}	{'balanced': True, 'vertices': 15, 'edges': 14, 'max_pow_vertices': {'8588129': 8, '88218788': 8, '98763641': 8, '174620792': 14}}
4	{'vertices': 90, 'edges': 84, 'max_pow_vertices': {'88218788': 2, '4573898': 2, '141335863': 3, '174620792': 54}}	{'balanced': True, 'vertices': 12, 'edges': 11, 'max_pow_vertices': {'97663538': 8, '66775684': 8, '7386185': 8, '174620792': 11}}
5	{'vertices': 67, 'edges': 67, 'max_pow_vertices': {'283654289': 1, '455188157': 1, '3657142': 2, '174620792': 38}}	{'balanced': True, 'vertices': 13, 'edges': 12, 'max_pow_vertices': {'97663538': 8, '275519884': 1, '298449422': 1, '174620792': 18}}
6	{'vertices': 48, 'edges': 43, 'max_pow_vertices': {'3657142': 1, '387184057': 1, '1435235': 1, '174620792': 28}}	{'balanced': True, 'vertices': 18, 'edges': 9, 'max_pow_vertices': {'3657142': 8, '437626259': 8, '556683159': 8, '174620792': 9}}
7	{'vertices': 77, 'edges': 70, 'max_pow_vertices': {'437626259': 2, '193883391': 3, '66775684': 4, '174620792': 39}}	{'balanced': True, 'vertices': 10, 'edges': 9, 'max_pow_vertices': {'594882774': 8, '69277531': 8, '8588129': 8, '174620792': 9}}
8	{'vertices': 66, 'edges': 52, 'max_pow_vertices': {'453180137': 1, '899978879': 1, '2925988': 2, '174620792': 31}}	{'balanced': True, 'vertices': 11, 'edges': 10, 'max_pow_vertices': {'58783689': 8, '8588129': 8, '39585590': 1, '174620792': 9}}
9	{'vertices': 81, 'edges': 73, 'max_pow_vertices': {'7944447': 2, '275519884': 2, '8492946': 2, '174620792': 47}}	{'balanced': True, 'vertices': 15, 'edges': 14, 'max_pow_vertices': {'482364': 8, '58678584': 8, '354362697': 1, '174620792': 13}}
10	{'vertices': 67, 'edges': 55, 'max_pow_vertices': {'140377879': 1, '141335863': 2, '556683159': 2, '174620792': 31}}	{'balanced': True, 'vertices': 18, 'edges': 9, 'max_pow_vertices': {'586865689': 8, '66775684': 8, '8849761': 8, '174620792': 9}}
11	{'vertices': 73, 'edges': 64, 'max_pow_vertices': {'1859781': 2, '437626259': 2, '1811539': 2, '174620792': 47}}	{'balanced': True, 'vertices': 7, 'edges': 6, 'max_pow_vertices': {'188427458': 8, '48814662': 8, '174620792': 9}}

Рис. 10. Итоговые данные первого цикла в текстовом формате

Выводы

В работе был предложен метод выделения семантически согласованных групп пользователей социальных медиа-платформ, состоящий из шести этапов.

При этом на втором этапе проведена экспериментальная оценка эффективности библиотек оценки тональностей *BoW*, *Word2Vec*, *FastText*, *BERT* по критерию *F1* – меры. Результаты представлены в табл. 1.

При формировании третьего этапа проведена экспериментальная оценка эффективности библиотек тематической классификации *LDA*, *PLSA*, *ARTM* по критериям перплексии и разреженности матриц. Результаты представлены в табл. 2.

Рассмотрен принцип работы алгоритма выделения максимальных сбалансированных подграфов применительно к анализу знаковых графов социальных сетей.

Предложенный метод был апробирован на группе ВКонтакте «Санкт-Петербург | Коронавирус | COVID-19».

Экспериментальная оценка показала возможность выявления поляризованных групп в онлайн-дебатах, что позволит применять его в разных социальных медиа-платформах для дальнейшего анализа структуры и взаимодействия в группе.

Литература

1. 70% сведений о вреде прививок в мире распространяют 12 человек // Коммерсантъ [Электронный ресурс]. URL: <https://news.mail.ru/society/49718901/> (дата обращения: 15.12.2021).
2. "Синий кит": почему ужесточение закона не останавливает "группы смерти" // РИА-Новости [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20200620/1573186152.html> (дата обращения: 15.12.2021).
3. Введение в Social Mining / Технологии анализа данных [Электронный ресурс]. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/introduction-social-mining> (дата обращения: 11.12.2021).
4. Almgren K., Kim M. and Lee J. Mining Social Media Data Using Topological Data Analysis. 2017 *IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI)*, 2017, pp. 144-153, doi: 10.1109/IRI.2017.41.
5. Rogers A., Romanov A., Rumshisky A., Volkova S., Gronas M., Gribov A. RuSentiment: An Enriched Sentiment Analysis Dataset for Social Media in Russian [Электронный ресурс]. URL: <https://text-machine.cs.uml.edu/projects/rusentiment/> (дата обращения: 15.12.2021).
6. Двойникова А.А., Карпов А.А. Аналитический обзор подходов к распознаванию тональности русскоязычных текстовых данных // Информационно-управляющие системы, 2020, № 4, с. 20–30. doi:10.31799/1684-8853-2020-4-20-30.
7. BERT (языковая модель) / Университет ИТМО [Электронный ресурс]. URL: [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=BERT_\(языковая_модель\)](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=BERT_(языковая_модель)) (дата обращения: 09.12.2021).
8. bert-base-multilingual-cased. Hugging Face [Электронный ресурс]. URL: <https://huggingface.co/bert-base-multilingual-cased> (дата обращения: 15.12.2021).

9. Воронцов К.В. Вероятностное тематическое моделирование: теория, модели, алгоритмы и проект BigARTM / Воронцов К.В. – 2021 – URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/d/d5/Voron17survey-artm.pdf> (дата обращения: 06.04.2021).
10. BigARTM's documentation. BigARTM [Электронный ресурс]. URL: <https://bigartm.readthedocs.io/en/stable/> (дата обращения: 06.04.2021).
11. Алексеров Ф.Т. Бинарные отношения, графы и коллективные решения / Алексеров Ф.Т., Хабина Э.Л., Шварц Д.А. – Москва: Издательский дом ГУ ВШЭ, 2005. 300 с.
12. Finding large balanced subgraphs in signed networks / Bruno Ordozgoiti [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/2002.00775.pdf> (дата обращения: 27.09.2021).
13. Лебедев Д. В. Исследование и выбор алгоритма выделения максимального сбалансированного подграфа в знаковом графе / Университет ИТМО [Электронный ресурс]. URL: https://isu.ifmo.ru/pls/apex/f?p=2147:0:100291208052263:DWNLD_F:NO::FILE:16F0E9B563C62BFE586A84A1C5C1F4F6 (дата обращения: 10.12.2021).
14. IGraph in Python Documentation. IGraph [Электронный ресурс]. URL: <https://igraph.org/python/#docs> (дата обращения: 13.12.2021).
15. Группа ВКонтакте «Санкт-Петербург | Коронавирус | COVID-19» / ВКонтакте [Электронный ресурс]. URL: <https://vk.com/public174620792> (дата обращения: 09.10.2021).
16. API ВКонтакте версия 5.131 / ВКонтакте [Электронный ресурс]. URL: <https://dev.vk.com/reference/version/5.131> (дата обращения: 10.12.2021).

References

1. 70% svedenii o vrede prvivok v mire rasprostranyaut 12 chelovek. Kommersant [Electronic resource]. URL: <https://news.mail.ru/society/49718901/> (access date: 15.12.2021) (in Russian).
2. "Siniy kit": pochemu ujestochebie zakona ne ostanavlivaet "gruppy smerti". RIA-Novosti [Electronic resource]. URL: <https://ria.ru/20200620/1573186152.html> (access date: 15.12.2021) (in Russian).
3. Vvedenie v Social Mining. Tehnologii analiza dannyh [Electronic resource]. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/introduction-social-mining> (access date: 11.12.2021) (in Russian).
4. Almgren K., Kim M. and Lee J. Mining Social Media Data Using Topological Data Analysis. 2017 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), 2017, pp. 144-153, doi: 10.1109/IRI.2017.41.
5. Rogers A., Romanov A., Rumshisky A., Volkova S., Gronas M., Gribov A. RuSentiment: An Enriched Sentiment Analysis Dataset for Social Media in Russian [Electronic resource]. URL: <https://text-machine.cs.uml.edu/projects/rusentiment/> (access date: 15.12.2021).
6. Dvoynikova A.A., Karpov A.A. Analiticheskiy obzor podhodov k raspoznavaniu tonalnosti russkoyazychnyh tekstovyh dannyh. Inforacionno-upravlaushie sistemy, 2020, № 4, с. 20–30. doi:10.31799/1684-8853-2020-4-20-30 (in Russian).
7. BERT (language model). ITMO University [Electronic resource]. URL: [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=BERT_\(языковая_модель\)](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=BERT_(языковая_модель)) (access date: 09.12.2021) (in Russian).
8. bert-base-multilingual-cased. Hugging Face [Electronic resource]. URL: <https://huggingface.co/bert-base-multilingual-cased> (access date: 15.12.2021).
9. Voroncov K.V. Veroyatnostnoe tematicheskoe modelirovanie: teoriya, modeli, algoritmy i project BigARTM. Voroncov K.V. 2021. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/d/d5/Voron17survey-artm.pdf> (access date: 06.04.2021) (in Russian).
10. BigARTM's documentation. BigARTM [Electronic resource]. URL: <https://bigartm.readthedocs.io/en/stable/> (access date: 06.04.2021).
11. Alexerov F.T. Binarnye otnosheniya, grafy i kollektivnye resheniya. Alexerov F.T., Habina E.L., Schwartz D.A. – Moscow: Ph GU VSE, 2005. – 300 с. (in Russian).
12. Finding large balanced subgraphs in signed networks. Bruno Ordozgoiti [Electronic resource]. URL: <https://arxiv.org/pdf/2002.00775.pdf> (access date: 27.09.2021).
13. Lebedev D.V. Issledovanie i vybor algoritma vydeleniya maximalnogo sbalansirovannogo podgrafa v zakovom grafe. ITMO University [Electronic resource]. URL: https://isu.ifmo.ru/pls/apex/f?p=2147:0:100291208052263:DWNLD_F:NO::FILE:16F0E9B563C62BFE586A84A1C5C1F4F6 (access date: 10.12.2021) (in Russian).

14. IGraph in Python Documentation. IGraph [Electronic resource]. URL: <https://igraph.org/python/#docs> (access date: 13.12.2021).

15. Group VK «Sankt-Peterburg | Coronavirus | COVID-19» / VKontakte [Electronic resource]. URL: <https://vk.com/public174620792> (access date: 09.10.2021) (in Russian).

16. API VK version 5.131. VKontakte [Electronic resource]. URL: <https://dev.vk.com/reference/version/5.131> (access date: 10.12.2021) (in Russian).

Статья поступила 12 октября 2021 г.

Информация об авторах

Лебедев Дмитрий Владимирович – Инженер 1 категории ПАО «Интелтех». Тел.: +7 (812) 295-50-69. E-mail: lebedevdv@inteltech.ru.

Васильев Николай Владимирович – Кандидат технических наук. Начальник сектора ПАО «Интелтех». Тел.: +7 (812) 295-50-69. E-mail: vasilievnv@inteltech.ru.

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

Method for identifying semantically consistent groups of users of social media platforms

D.V. Lebedev, N.V. Vasiliev

Annotation. *Social media platforms (social networks, instant messengers) have become one of the most important infocommunication means of modern man. Along with providing instant user interaction, social media platforms can be a tool for hybrid warfare. Due to the large audience coverage and weak content control, social media platforms are convenient for disseminating ideas related to the destabilization of the socio-political situation. In addition, interaction between international terrorist organizations and the spread of drugs is often carried out through social media platforms. Do not forget about such a depressing phenomenon as children's and adolescent "death groups" that spread suicidal ideas. Social media platforms can also be used to organize leaks of information important to the company, as well as to undermine its reputation. Such an attack can be carried out by internal employees of the company who are dissatisfied with the management, or specially embedded insiders. The purpose of this study is to develop a method for identifying semantically consistent groups of users of social media platforms based on the analysis of the messages they publish. To achieve this goal, the following scientific tasks are solved in the work: the formation of a data processing scheme, the choice of a method for assessing the sentiment of text messages, the choice of a method for identifying the subject of short text messages, modeling the user dialogue on a given subject with sign graphs, and identifying a semantically consistent group of users. The work uses the scientific and methodological apparatus of natural language processing, discrete mathematics, graph theory, machine learning. The scientific novelty of the method proposed in the work is to provide a joint interpretation of data on the interactions of users of social media platforms and an assessment of the meaning of the published messages, which makes it possible to increase the accuracy of identifying the scheme of real contacts. The practical significance of the developed method lies in the possibility of its application in specialized complexes for monitoring open sources of information, which have become part of modern automated systems.*

Keywords: *social networks, instant messengers, semantically consistent groups selection method, assessment of the sentiment of text messages, identification of topics for short text messages, sign graphs.*

Information about Authors

Dmitriy Vladimirovich Lebedev – Engineer of PJSC «Inteltech». Tel: +7 (812) 295-50-69. E-mail: lebedevdv@inteltech.ru.

Nikolay Vladimirovich Vasiliev – PhD. Sector leader of PJSC «Inteltech». Tel: +7 (812) 295-50-69. E-mail: vasilievnv@inteltech.ru.

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

Для цитирования: Лебедев Д.В., Васильев Н.В. Метод выделения семантически согласованных групп пользователей социальных медиа-платформ // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 20-33.

For citation: Lebedev D.V., Vasiliev N.V. Method for identifying semantically consistent groups of users of social media platforms. Means of communication equipment. 2021. No 4 (156). Pp. 20-33 (in Russian).

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.396

Структура земной волны над ледовыми трассами в Арктических районах

Акулов В.С., Талагаев В.И.

Аннотация. В последние десятилетия освоение и развитие арктических районов страны в экономических и оборонных интересах вызывает усиленное внимание к Арктике и в научных целях. В частности, планы развития инфраструктуры Северного морского пути предусматривают разработку и создание современных систем радиосвязи и региональных мультисервисных сетей управления и мониторинга. В свою очередь, разработка эффективных региональных телекоммуникаций гражданского и военного назначения вызывает необходимость расширения научных исследований в области особенностей распространения радиоволн в полярном регионе над ледовыми трассами, что необходимо для выбора энергетических и частотных параметров разрабатываемых систем радиосвязи. Перспективным инновационным решением, повышающим эффективность систем радиосвязи в Арктике, может служить использование для связи так называемой поверхностной волны. Этой волне, которая является частью земной волны, часто приписываются неожиданные свойства, позволяющие ей стать альтернативой ионосферной волне, которая повсеместно используется для радиосвязи. В статье на основе разработанной программной реализации современных математических методов проведен количественный анализ структуры и свойств земной волны в полярных районах.

Ключевые слова: распространение радиоволн, земная волна, поверхностная волна, подстилающая поверхность, ледовый покров, граница раздела, приведенный поверхностный импеданс, удельная проводимость, комплексная диэлектрическая проницаемость, функция ослабления.

Введение

Основоположником теоретических методов исследования распространения радиоволн надо считать Зоммерфельда [1]. В данной работе было построено точное формальное решение, описывающее поле вертикального электрического диполя над бесконечной плоской границей раздела. Дальнейшее развитие теоретических методов связано с учетом сферичности Земли – решением задачи дифракции на открытой сфере. Здесь следует указать работу Ватсона [2], где был построен ряд нормальных волн, хорошо сходящийся в зоне тени. Существенный вклад был внесен академиком В.А. Фоком [3]. В цикле данных работ выполнено смыкание решений, полученных в плоской и сферической моделях в области полутени, и исправлена ошибка Зоммерфельда, связанная с возможностью существования волны с аномально низким затуханием для однородной по глубине трассы. Возможность существования таких волн анализируется ниже.

В целом, среди многочисленных исследований поля земной волны в настоящее время следует, прежде всего, отметить упомянутый цикл работ академика В.А. Фока и монографию [4] кафедры радиофизики Санкт-Петербургского (Ленинградского) государственного университета, где современные представления изложены с исчерпывающей полнотой. Из публикаций последнего десятилетия заслуживают внимания работы группы проф. Башкуева Ю.Б., которые посвящены анализу поля земной волны в Арктических районах с учетом сезонных вариаций распределения ледового покрова [5, 6].

Метод учета параметров среды

Наибольшее развитие при анализе распространения радиоволн над земной поверхностью получили решения для источника типа вертикальный электрический диполь в приближенной импедансной постановке. Согласно этим представлениям, свойства

подстилающей поверхности описываются одним комплексным параметром – приведенным поверхностным импедансом $\delta = E_{\tau} / (120\pi H_{\tau})$, являющимся отношением касательных компонент электрического и магнитного полей на границе раздела сред. При этом указанное отношение вычисляется по законам плоской волны.

Импедансное приближение не учитывает, так называемую, боковую волну, распространяющуюся в смежной среде (почве) и применимо при $|\delta|^2 \ll 1$. Оценки, однако, показывают, что полученные решения, пригодны для достаточно широкого диапазона параметров задачи [4].

Для однородной по глубине Земли $\delta = 1 / \sqrt{\epsilon_r}$, где ее комплексная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = \epsilon'_r + i\sigma / (\omega\epsilon_0)$. Здесь σ – удельная проводимость среды, а $\epsilon_0 = (1/36\pi)10^{-9}$ Ф/м – диэлектрическая проницаемость вакуума. Нетрудно убедиться, что в этом случае $-45^\circ \leq \arg\delta \leq 0$. Такие трассы называются слабоиндуктивными. Все остальные значения $\arg\delta$ реализуются уже при двухслойной структуре, например лед – морская вода.

В общем случае импеданс двухслойной среды определяется выражением

$$\delta^{(p)} = \delta_{01}^{(p)} \frac{1 - r_{12}^{(p)} \exp\left(2ik_0 d \sqrt{\epsilon_{r1} - \cos^2 \psi}\right)}{1 + r_{12}^{(p)} \exp\left(2ik_0 d \sqrt{\epsilon_{r1} - \cos^2 \psi}\right)}, \quad (1)$$

где:

$$r_{12}^{(p)} = \left[\delta_{01}^{(p)} - \delta_{02}^{(p)} \right] / \left[\delta_{01}^{(p)} + \delta_{02}^{(p)} \right];$$

$$\delta_{0k}^{(e)} = \sqrt{\epsilon_{rk} - \cos^2 \psi} / \epsilon_{rk}; \quad \delta_{0k}^{(m)} = 1 / \sqrt{\epsilon_{rk} - \cos^2 \psi};$$

$p = e, m$; ψ – угол скольжения;

k_0 – волновое число в воздухе; d – толщина льда;

ϵ_{rk} – относительная комплексная диэлектрическая проницаемость соответствующего слоя ($k = 1$ – верхний слой, $k = 2$ – нижний слой).

Индекс e соответствует вертикально поляризованной плоской волне, индекс m – горизонтально поляризованной волне. При исследовании процессов распространения над земной поверхностью основную роль играет ТМ-поле ($p = e$) [4], а для земной волны и корреспондентов, расположенных на границе раздела следует задавать угол скольжения $\psi = 0$ [6].

Анализ возможных параметров ледового покрова в Северном ледовитом океане выполнен в работе [6]. Удельная проводимость полярного льда σ_1 варьируется в пределах $(0,1-1,0) \cdot 10^{-4}$ См/м, его относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon'_{r1} = 3-9$. Толщина льда d зависит от сезона и его возраста, она может достигать 5 м. Электропроводность морской воды σ_2 изменяется от 0,2 См/м в районах смешения морских и речных вод до 3,8 См/м вдали от таких районов. Для количественного анализа выберем следующие группы параметров

$$\epsilon'_{r1} = 5; \sigma_1 = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ См/м}; \epsilon'_{r2} = 80; \sigma_2 = 3,0 \text{ См/м}; \quad (2)$$

$$\epsilon'_{r1} = 3; \sigma_1 = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ См/м}; \epsilon'_{r2} = 80; \sigma_2 = 3,0 \text{ См/м}. \quad (3)$$

Результаты расчетов по формуле (1) для этих групп данных представлены на рис. 1.

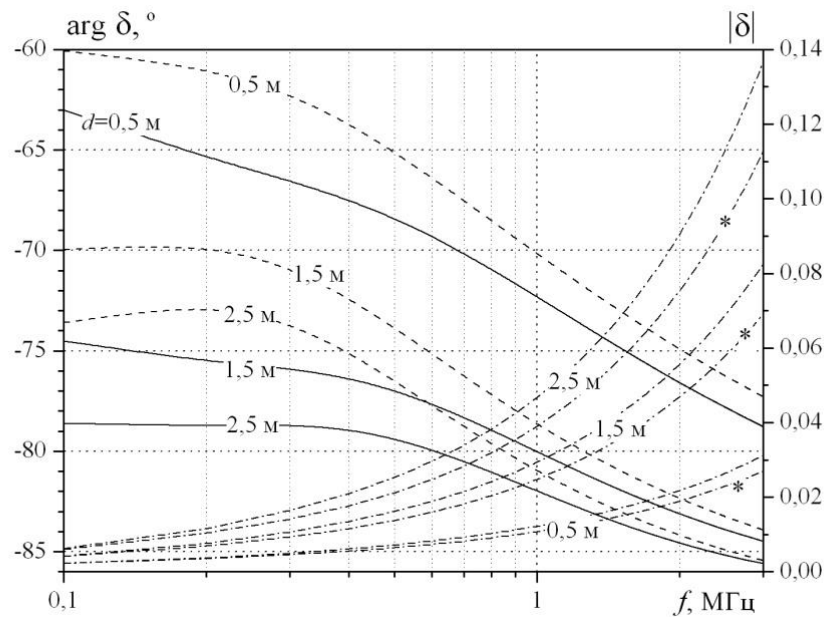


Рис. 1. Частотные зависимости приведенного поверхностного импеданса при разной толщине льда и различных электрических параметрах подстилающей среды

Сплошными линиями показаны значения $\arg \delta$ для группы (2), пунктиром – для группы (3).

Штрих-пунктиром приведены значения $|\delta|$. Символом * помечены кривые, рассчитанные для группы данных (3). Уже при небольшой толщине льда $\arg \delta$ переходит в сильноиндуктивную область $-90^\circ < \arg \delta < 45^\circ$, где возможно аномально низкое затухание поля.

Модель плоской Земли

При исследовании распространения радиоволн обычно вводят понятие функции ослабления $W(R)$, которая определяет отличие вертикальной компоненты электрического поля E_z над реальной поверхностью от поля над бесконечно проводящей средой, а именно (предполагается волновая зона $k_0 R \gg 1$)

$$E_{z[\text{мВ/м}]} = \frac{300 P_{\Sigma[\text{кВт}]}}{R_{[\text{км}]}} W(R), \tag{4}$$

где P_Σ – излученная мощность источника поля.

Для плоской бесконечной Земли функция ослабления выражается через абсолютно сходящийся ряд [4]

$$W(z) = W_0(z) = 1 + i\sqrt{\pi z} \exp(-z) - 2 \exp(-z) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{k+1}}{k!(2k+1)}, \tag{5}$$

где $z = sR$ – численное расстояние, которое характеризует влияние подстилающей среды на поле в точке наблюдения, а параметр $s = ik_0 \delta^2 / 2$. Разложением (5) целесообразно пользоваться при малых значениях $|z|$. Здесь и далее предполагаем, что оба корреспондента находятся на границе раздела.

При больших значениях численного расстояния более удобным является представление

$$W(z) = W_1(z) = W_{1v}(z) + W_{1s}(z), \tag{6}$$

где:

$$W_{1v}(z) = -\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(2k-1)!}{(2z)^k}, \tag{7}$$

$$W_{1s}(z) = \begin{cases} 0, & \text{Im}\sqrt{s} > 0 \\ 2i\sqrt{\pi z} \exp(-z), & \text{Im}\sqrt{s} < 0 \end{cases}. \tag{8}$$

Здесь поле земной волны наряду с обычной пространственной волной $W_{1v}(z)$, которая выражается асимптотическим рядом (7), содержит дополнительную компоненту, называемую поверхностной волной $W_{1s}(z)$, которая выделяется аналитически выражением (8). Волна $W_{1s}(z)$ имеет место только для сильноиндуктивных трасс.

На рис. 2 представлены результаты расчетов модуля функции ослабления $|W(R)|$ для средней частоты коротковолнового КВ диапазона $f = 10$ МГц от расстояния.

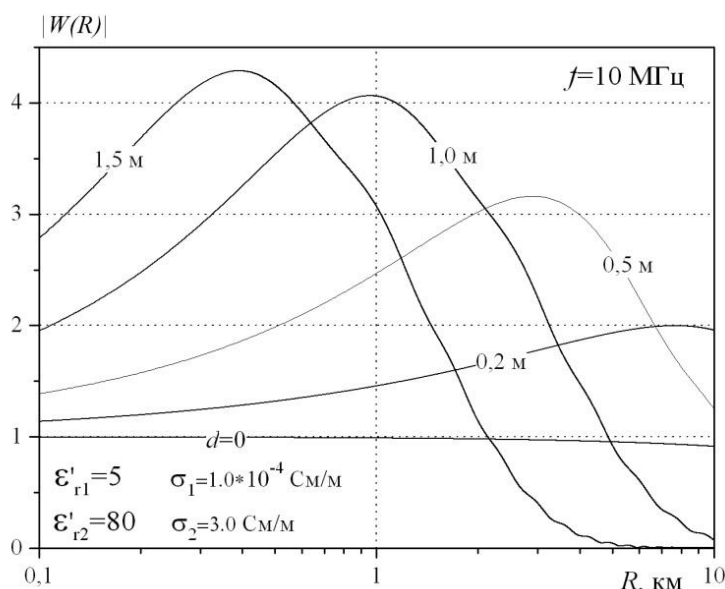


Рис. 2. Зависимость модуля функции ослабления земной волны от расстояния в модели плоской Земли

При $|z| \leq 10$ использовался абсолютно сходящийся ряд (5), при значениях $|z| > 10$ применялось асимптотическое представление (7) совместно с формулами (8) и (6).

Для чистого моря ($d = 0$) функция ослабления близка к единице, что и должно быть для хорошо проводящей подстилающей среды. Для моря, покрытого льдом, эта функция может заметно превышать единицу. Максимумы $|W(R)|$ выражены существенно для более высоких частот и больших размеров верхнего слоя d . Как следует из рис. 1, в таких случаях $\arg \delta$ ближе к значению -90° .

Такое явление объясняется перераспределением энергии волны по вертикали к земной поверхности. В этом случае энергия волны через границу раздела в нижнюю среду не поступает. Она «скапливается» над поверхностью, что приводит к увеличению амплитуды

поля. На небольших расстояниях, в соответствии с формулой (8), $|W_{1s}(R)| \sim \sqrt{R}$, и поле (4) имеет цилиндрическую расходимость, а именно $|E_z(R)| \sim 1/\sqrt{R}$. Далее начинает играть роль экспоненциальный множитель в формуле (8), и поверхностная волна становится исчезающе мала [4, 7]. Поверхностную волну $W_{1s}(z)$ часто называют волной Ценнека. Ценнек, рассматривая однородные (без сторонних источников) уравнения Максвелла, из чисто физических представлений предположил, что волна над однородной по глубине структурой имеет упомянутую выше цилиндрическую расходимость [4, 8]. В действительности, над однородной Землей этой волны не возникает. Описанные закономерности имеют и экспериментальное подтверждение. Из последних работ следует упомянуть публикацию [5], где приводятся результаты измерений на покрытом льдом соленом озере.

Более детально расчеты структуры земной волны показана на рис. 3.

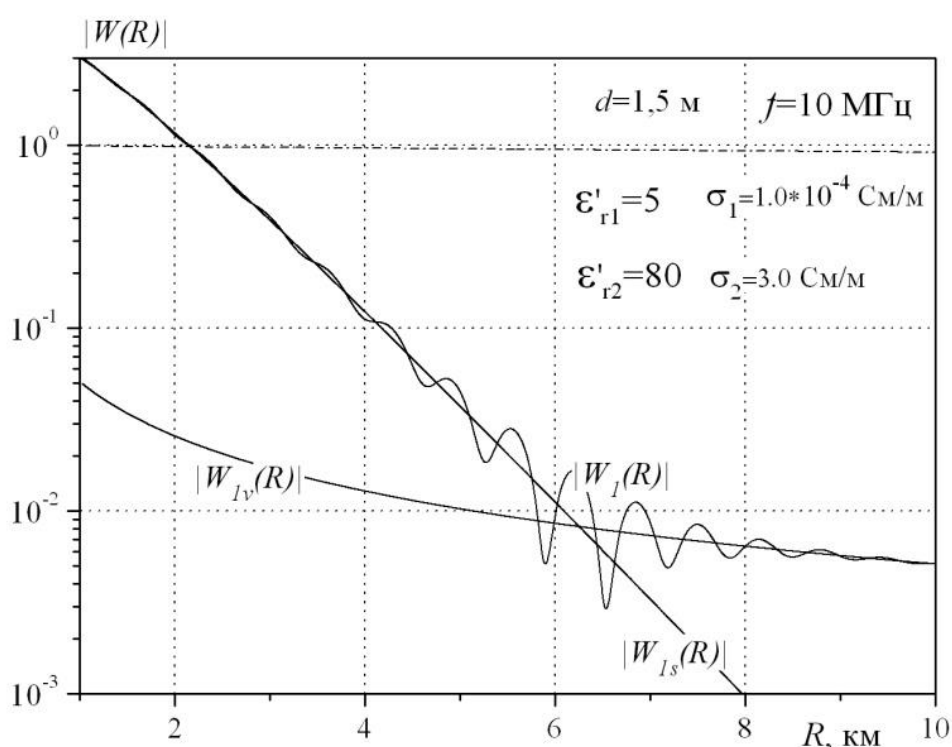


Рис. 3. Структура модуля функции ослабления земной волны в модели плоской Земли

Эти расчеты выполнены с помощью асимптотического представления (6)-(8), где аналитически выделяются поверхностная и пространственная волны. Поверхностная волна $W_{1s}(R)$ с увеличением расстояния сначала превышает пространственную волну $W_1(R)$, а затем становится существенно меньше. Полное поле $W_1(R)$ осциллирует, поскольку образующие его компоненты имеют разные фазовые скорости. Штрих-пунктиром показана функция ослабления для чистого моря.

Для анализа возможности существования поверхностной волны на более низких частотах и больших расстояниях необходимо рассмотреть модель сферической Земли, учитывающую дифракцию.

Модель сферической Земли

Для сферической Земли функция ослабления выражается рядом нормальных волн (разложением решения по собственным функциям радиального оператора задачи)

$$W(x) = \sqrt{i\pi x} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\exp(ixt_s)}{t_s - q^2}, \tag{9}$$

где: $\theta = R/a$ – угловое расстояние (a – радиус Земли);

$x = (k_0 a / 2)^{1/3} \theta$ – безразмерное приведенное расстояние;

$q = i(k_0 a / 2)^{1/3} \delta$;

t_s – нули уравнения $w'(t) - q w(t) = 0$ ($w(t)$ – функция Эйри).

Для вычисления нулей t_s при больших или малых значениях параметра $|q|$ существуют разложения в ряды. При любых значениях q применяют численное интегрирование в пределах от нуля до единицы дифференциального уравнения [3]

$$\frac{d\tau_s}{d\alpha} = \frac{q}{\tau_s - \alpha^2 q^2} \tag{10}$$

с начальным условием $\tau_s(\alpha = 0) = t_{0s}$. Искомое значение $t_s(q) = \tau_s(\alpha = 1)$.

Нули t_{0s} , отвечающие значению $q = 0$, расположены на луче $\arg t = \pi/3$, т.е. $t_{0s} = |t_{0s}| \exp(i\pi/3)$. Для первых четырех модулей имеются табличные значения: $|t_{01}| = 1,019$, $|t_{02}| = 3,248$, $|t_{03}| = 4,820$, $|t_{04}| = 8,163$, для больших значений s справедлива асимптотическая формула $|t_{0s}| = [(3\pi/2)(s - 3/4)]^{2/3}$.

В монографии [4] выполнен анализ применимости приближений плоской и сферической Земли. Данный анализ показал, что при значении безразмерного приведенного расстояния $x \leq 0,2$ с относительной погрешностью, не превышающей 3 %, можно использовать модель плоской земной поверхности. Отсюда следует, что граничное расстояние применимости плоской модели составляет

$$R_{b[км]} \approx 25/\sqrt[3]{f_{[МГц]}} \approx 3,75 \sqrt[3]{\lambda_{[м]}}. \tag{11}$$

На рис. 4 представлены результаты расчетов зависимости $W(R)$ для широкого диапазона частот с электрическими параметрами (2).

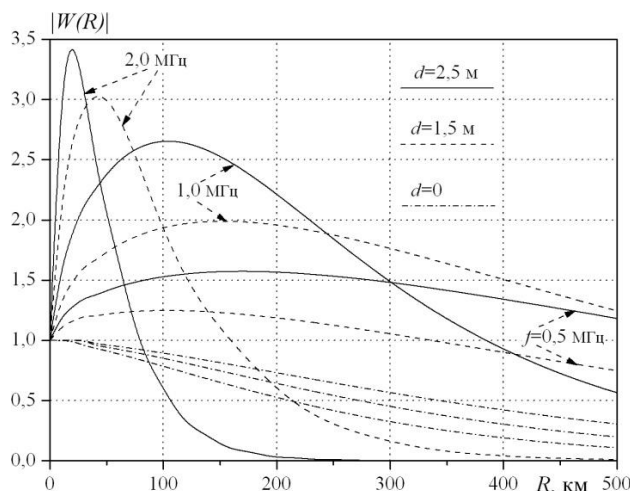


Рис. 4. Зависимость модуля функции ослабления от расстояния в модели сферической Земли

В зависимости от расстояния с учетом оценок (11) расчеты выполнялись либо по формулам (5)-(8), либо суммированием ряда (9). При вычислении нулей t_s для любых значениях $|q|$ применялось численное решение уравнения (10) методом Рунге-Кутты. При расчете по модели сферической Земли в окрестности расстояний (11) приходится учитывать несколько десятков членов ряда (9). При этом не происходит потери точности вычислений, и результаты с указанной погрешностью сшиваются с расчетами по плоской модели.

Для чистого моря ($d=0$, штрих-пунктир) верхняя кривая соответствует частоте $f=0,5$ МГц, нижняя кривая – частоте $f=2,0$ МГц. Для моря, покрытого льдом, функция ослабления так же может заметно превышать единицу (сравнение с рис. 2). Поверхностная волна, во многом компенсирует характерное для сферы дифракционное высвечивание.

Такие результаты известны. Аналогичные кривые приводятся, например, в публикации [6]. Однако, учитывая практический интерес, представляется целесообразным провести более детальный анализ свойств земной волны над сильноиндуктивными трассами.

Наглядным представлением результатов вычисления функции ослабления являются кривые, показанные на рис. 5.

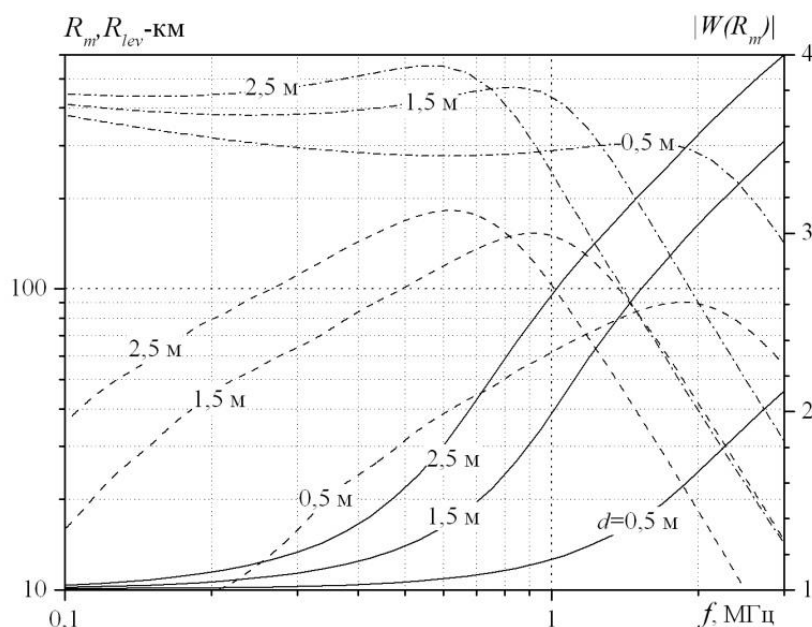


Рис. 5. Частотные зависимости максимальных значений функции ослабления поля земной волны

Здесь приведены частотные зависимости расстояний R_m , на которых функция ослабления имеет максимум (пунктир) и значения модуля функции ослабления $|W(R_m)|$ на этом расстоянии (сплошные линии). Эти результаты получены численными методами. Параметры среды здесь также задавались значениями (2). Эффект поверхностной волны ярче всего проявляется в диапазоне 0,3–1,0 МГц (средние волны). Здесь $\arg \delta$ достаточно близок к значению -90° (см. рис. 1). Для меньших частот слой льда является слишком тонким, чтобы он заметно повлиял на значение функции ослабления. На больших частотах (короткие волны) ее максимумы локализованы вблизи источника излучения. Штрих-пунктиром на рис. 5 показаны расстояния $R_{lev} > R_m$, на которых функция ослабления составляет $1/\sqrt{2}$ от значения $|W(R_m)|$. Разность $R_{lev} - R_m$ характеризует остроту максимума модуля функции ослабления.

В диапазоне средних волн обычно применяют вертикальные передающие антенны, что оправдывает принятый в данном анализе излучатель в виде вертикального диполя Герца.

Для электрических параметров льда (2)-(3) и анализируемого диапазона частот размер скин-слоя в нем δ_{s1} составляет не менее 100 м. Поэтому отношение $d/\delta_{s1} \ll 1$, и слой льда возможных размеров (до 5 м) является электрически тонким. При анализе обычно предполагают, что $|\epsilon_{rk}| \gg 1$ ($k=1,2$). Это обычно справедливо и является также условием применимости импедансного приближения. Далее пренебрегают зависимостью $\delta_{01}(\psi)$, что соответствует нормальному падению волны ($\psi = 90^\circ$). Тогда в случае тонкого слоя из формулы (1) следует [4, 6]

$$\delta \approx \delta_{02} - ik_0 d. \quad (12)$$

Этот результат привлекает к себе внимание тем, что для тонкого верхнего слоя импеданс не зависит от его электрических параметров, а определяется лишь толщиной этого слоя d . Это обстоятельство существенно облегчило бы процедуру прогнозирования условий функционирования радиотехнических систем в реальных условиях. На практике же возможность применения приближения (12) не всегда имеет достаточное обоснование. Это проиллюстрировано кривыми на рис. 1, где и модуль, и аргумент импеданса, рассчитанные по точной формуле (1), заметно зависят от электрических параметров льда.

На рис. 6 приведены результаты расчетов функции ослабления для параметров (2) (сплошные линии) и параметров (3) (пунктир).

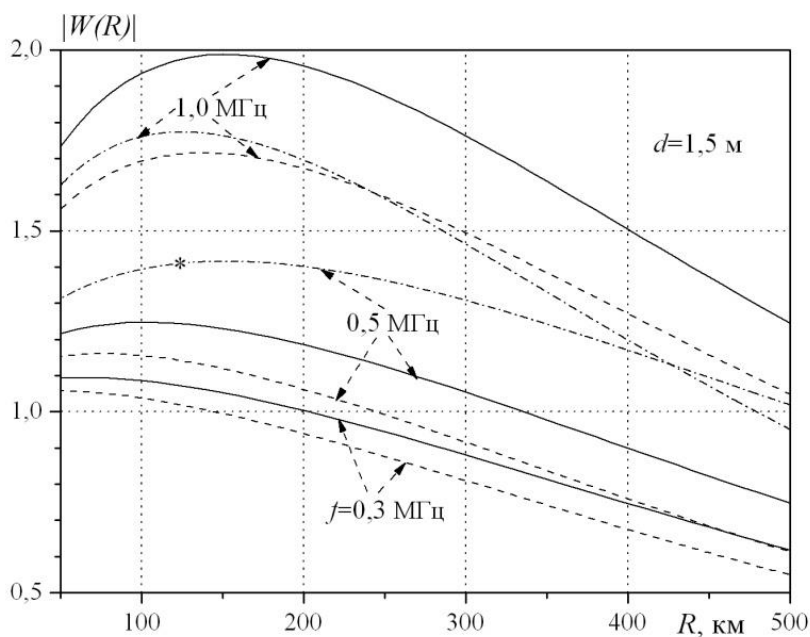


Рис. 6. Зависимости функции ослабления поля земной волны от расстояния для различных параметров подстилающей среды

Для данных параметров, казалось бы, разница незначительная. Однако могут быть и другие ситуации. Штрих-пунктиром приведена кривая, рассчитанная при параметрах (2) для частоты $f = 1,0$ МГц, но принято, что $\epsilon_{r1} = 4$ вместо $\epsilon_{r1} = 5$. Помеченная символом * штрих-пунктирная кривая для частоты $f = 0,5$ МГц получена при вычислении импеданса δ по приближенной формуле (12). Имеется заметное отличие от сплошной кривой, рассчитанной для точных значений δ . Такая чувствительность функции ослабления к исходным данным может поставить под сомнение возможность надежного прогноза условий работы

радиотехнических систем, поскольку определение электрических параметров льда в реальных условиях затруднительно.

Выводы

При распространении над морем, покрытым льдом, поле земной волны может превышать значения для свободной ото льда трассы, что улучшает условия работы радиотехнических систем. Этот известный эффект связан с существованием в данных условиях поверхностной волны, и он имеет теоретическое и экспериментальное обоснование.

Количественный анализ показал, что выигрыш в уровне поля ярче всего проявляется в диапазоне 0,3–1,0 МГц (средние волны). Модуль функции ослабления может составлять несколько единиц на расстояниях до нескольких сотен километров. Для меньших частот слой льда является слишком тонким, чтобы он существенно повлиял на значение функции ослабления. На больших частотах (короткие волны) ее максимумы расположены на расстояниях первых десятков километров.

Бытующее в литературе утверждение о незначительном влиянии параметров льда на функцию ослабления является слишком категоричным. Необходимо учитывать не только толщину льда, но и его электрические свойства. Это усложняет прогнозирование условий работы радиотехнических систем, поскольку определение электрических параметров льда в реальных условиях затруднительно.

Литература

1. Sommerfeld A. *Über die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in der drathlosen Telegraphie*. Ann. Phys. 1909. Bd. 28. Pp. 665-736.
2. Watson G.N. *The diffraction of electric waves by the Earth*. Proc. Roy. Soc. A. 1918. Vol. 95. Pp. 83-99.
3. Фок В.А. *Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн*. М.: Сов. радио, 1970. 517 с.
4. Макаров Г.И., Новиков В.В., Рыбачек С.Т. *Распространение электромагнитных волн над земной поверхностью*. М.: Наука, 1991. 198 с.
5. Башкуев Ю.Б., Хаптанов В.Б., Дембелов М.Г., Нагуслаева И.Б. *Поверхностные электромагнитные волны над двухслойной средой «Лед–соленая вода»* // Журнал радиоэлектроники, 2010, № 1, с. 382-393.
6. Башкуев Ю.Б., Хаптанов В.Б., Дембелов М.Г., Буянова Д.Г., Нагуслаева И.Б., Аюров Д.Б. *Поверхностные электромагнитные волны на трассах северного морского пути* // Техника радиосвязи (Распространение радиоволн), вып.1(40), 2019, с. 7-18.
7. Гюннинен Э.М., Макаров Г.И. *Поле точечного диполя над импедансной поверхностью* // Проблемы дифракции и распространения волн. Вып. V. Изд. ЛГУ, 1966, с. 97-126.
8. Макаров Г.И. *Работы В.А. Фока в области распространения радиоволн и их дальнейшее развитие* // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер.4, 2009, вып. 4, с. 154-161.

References

1. Sommerfeld A. *Über die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in der drathlosen Telegraphie*. Ann. Phys. 1909. Bd. 28. Pp. 665-736.
2. Watson G.N. *The diffraction of electric waves by the Earth*. Proc. Roy. Soc. A. 1918. Vol. 95. Pp. 83-99.
3. Fok V.A. *Problems of diffraction and propagation of electromagnetic waves*. Owl. radio. Moscow, 1970. Pp. c. 517 (in Russian).
4. Makarov G.I., Novikov V.V., Rybachek S.T. *Propagation of electromagnetic waves over the earth's surface*. Moscow. Science, 1991. 198 s. (in Russian).

5. Bashkuev Yu.B., Khaptanov V.B., Dembelov M.G., Naguslaeva I.B. Surface electromagnetic waves over a two-layer medium "ice - salt water". Journal of radio electronics, 2010, No. 1. Pp. 382-393 (in Russian).

6. Bashkuev Yu.B., Khaptanov V.B., Dembelov M.G., Buyanova D.G., Naguslaeva I.B., Ayurov D.B. Surface electromagnetic waves on the tracks of the northern sea route. Radio communication technology (Radio wave distribution), ex.1 (40), 2019. Pp. 7-18 (in Russian).

7. Gunninen E.M., Makarov G.I. Field of point dipole above impedance surface. Problems of diffraction and propagation of waves. Out. V. Ed. Leningrad state university, 1966. Pp. 97-126 (in Russian).

8. Makarov G.I. The work of V.A. Fok in the field of radio wave distribution and their further development. Bulletin of St. Petersburg University. G. 4, 2009, issue 4. Pp. 154-161 (in Russian).

Статья поступила 19 октября 2021 г.

Информация об авторах

Акулов Валерий Семёнович – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Талагаев Владимир Иванович – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник, профессор Академии военных наук. Ведущий научный сотрудник ПАО «Интелтех». Тел. +7(812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Earth wave structure over ice tracks in Arctic regions

V.S. Akulov, V.I. Talagaev

Annotation. *In recent decades, the development and development of the Arctic regions of the country in the economic and military interests has attracted increased attention to the Arctic and for scientific purposes. In particular, the Northern Sea Route infrastructure plans include the development and development of modern radio communication systems and regional multiservice management and monitoring networks. In turn, the development of effective regional civil and military telecommunications calls for the expansion of scientific research into the features of the propagation of radio waves in the polar region over ice tracks, which is necessary to select the energy and frequency parameters of radio communication systems being developed. An innovative solution that improves the effectiveness of radio communication systems in the Arctic can be the use of the so-called surface wave for communication. This wave, which is part of the earth wave, is often attributed to unexpected properties that allow it to become an alternative to the ionospheric wave, which is universally used for radio communications. The paper developed a method, a mathematical apparatus and carried out a quantitative analysis of the structure of the earth's wave in polar regions based on modern ideas about the physical interface of mediums.*

Keywords: *radio wave propagation, earth wave, surface wave, underlying surface, ice cover, interface, given surface impedance, specific conductivity, complex dielectric constant, attenuation function.*

Information about Authors

Valery Semenovich Akulov – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher at the Research Center TT Navy KK and SOI and R. Tel.: +7 (812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Vladimir Ivanovich Talagaev – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Academy of Military Sciences. Leading researcher at PJSC «Inteltech». Tel. +7 (812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Для цитирования: Акулов В.С., Талагаев В.И. Структура земной волны над ледовыми трассами в Арктических районах // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 34-43.

For citation: Akulov V.S., Talagaev V.I. Earth wave structure over ice tracks in Arctic regions. Means of communication equipment. 2021. No 4 (156). Pp. 34-43 (in Russian).

ЭЛЕКТРОННЫЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 519.248, 621.384.3

Методика оценивания эффективности функционирования квантово-оптических средств в составе распределенной наземной сети

Закутаев А.А., Емельянов А.В., Широбоков В.В.

Аннотация. *Постановка задачи:* в статье на основе анализа особенностей функционирования наземных квантово-оптических средств и выбранного показателя предложена методика оценивания эффективности функционирования распределенной наземной сети квантово-оптических средств в условиях облачности. **Целью работы** является разработка методики оценивания эффективности функционирования квантово-оптических средств в составе распределенной наземной сети. **Используемые методы:** в статье применены известные общенаучные методы системного анализа, теории эффективности целенаправленных процессов и линейной оптимизации. **Новизна:** совершенствование научно-методического аппарата оценивания эффективности процессов функционирования наземных квантово-оптических средств с учетом распределения облачных образований в районе их расположения. **Результат** заключается в разработке новой методики, позволяющей оценить результативность передачи данных на борт космического аппарата в зависимости от временных интервалов его видимости. **Практическая значимость** состоит в возможности программной реализации предлагаемой методики и её использования при формировании требований к существующим и перспективным наземным квантово-оптическим средствам.

Ключевые слова: квантово-оптическая система, эффективность, передача энергии, распределенная сеть.

Актуальность

Одним из важных направлений исследований в области освоения и использования околоземного космического пространства является повышение эффективности космических систем связи и передачи данных [1]. Возрастающие требования к пропускной способности привели к значительному усложнению их организационной структуры. В связи с этим все более острым становится вопрос выбора оптимальной конфигурации каналов связи за счет перераспределения потоков данных между различными наземными и орбитальными элементами системы [2, 3].

Неблагоприятным фактором, влияющим на эффективность передачи информации наземными квантово-оптическими средствами (КОС) на борт космического аппарата (КА), является атмосфера Земли. В настоящее время известно большое количество способов повышения помехоустойчивости оптических линий связи [4]. Вместе с тем, возможность передачи данных при наличии на трассе распространения излучения таких атмосферных образований, как облака, практически отсутствует. Одним из решений данной проблемы является планирование применения КОС на основе оценивания распределения облачности в районах их расположения. Достижения в области разработки и создания метеорологических комплексов в настоящее время позволяют получать указанные оценки и осуществлять прогнозирование метеообстановки в локальных областях [5-7]. Таким образом, поиск способов оценивания эффективности КОС в составе рассредоточенных наземных сетей передачи данных с учетом оценок состояния атмосферы и прогноза ее развития, является актуальной задачей.

Постановка задачи

Возможность передачи данных с борта КА прежде всего определяется наличием условий его прямой видимости для наземного пункта. Поскольку даже при отсутствии облачных, аэрозольных и других видов образований атмосфера обладает свойством

ослабления оптического излучения, то в общем случае для наземного КОС область, в которой возможна передача данных, будет меньше области прямой видимости и может быть представлена полусферой, ограниченной определенным углом места α [8]. Тогда участок траектории КА, на котором возможна передача данных, в двумерной плоскости будет определяться углом между оптической осью КОС, направленной в зенит, и линией, направленной на ближайшую к КОС точку траектории КА.

Очевидно, что высота орбиты КА значительно превосходит высоту слоя атмосферы, в пределах которого располагаются облачные образования. Исходя из этого при равномерной дискретизации по времени, их проекции на трассу полета КА будут отличаться по размерам на различных участках траектории, поскольку его угловая скорость относительно точки стояния КОС будет различной (рис. 1).

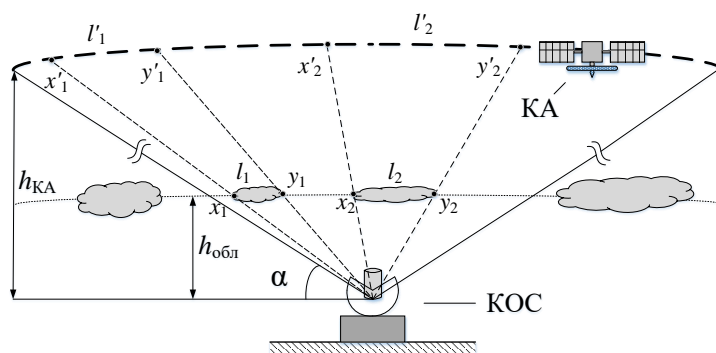


Рис. 1. Схема формирования участков траектории КА, перекрываемых облачными образованиями

Для малых интервалов времени может быть введено допущение о линейности как участка траектории полета КА, так и плоскости расположения облачного образования. Исходя из этого их плоскости могут считаться параллельными. С учетом указанного допущения, размер проекции облачных образований на трассу полета КА в соответствии с теоремой о подобии треугольников Ox_nY_n и $Ox'_nY'_n$ может быть рассчитан как:

$$\frac{x'_n y'_n}{x_n y_n} = \frac{Ox'_n}{Ox_n} = \frac{Oy'_n}{Oy_n},$$

где O – точка стояния КОС.

Поскольку значение объема передаваемой информации не зависит от длины участка траектории КА, а определяется только временным интервалом сеанса, то показатель эффективности КОС $Q_{КОС}$ может быть определен как отношение интервала времени $T_{пот}$, на котором потенциально была возможна передача данных, к суммарному интервалу времени $T_{факт}$, в течение которого на трассе оптического излучения отсутствовали облачные образования:

$$Q_{КОС} = \frac{T_{факт}}{T_{пот}} = \frac{\sum_{i=n} t_{факт\ i}}{T_{пот}}, \tag{1}$$

где $t_{факт\ i}$ – длительность i -го интервала времени, в течение которого на трассе распространения оптического излучения отсутствовали облачные образования.

Разработка методики оценивания эффективности функционирования распределенной наземной сети квантово-оптических средств

Для расчета указанных в выражении (1) временных интервалов на первом этапе методики формируются следующие исходные данные:

- параметры траектории КА ($\Omega, i, \omega, a, e, u$);

- координаты точки стояния КОС, например, в геоцентрической системе координат $O_{КОС} = (X_{КОС}, Y_{КОС}, Z_{КОС})$;
- минимальное значение угла места α , при котором возможна передача данных;
- координаты начал и концов сечений облачных образований относительно траектории КА $\{(x_{i1}, y_{i1}, x_{i2}, y_{i2}), (x_{(i+1)1}, y_{(i+1)1}, x_{(i+1)2}, y_{(i+1)2}), \dots, (x_{n1}, y_{n1}, x_{n2}, y_{n2})\}$.

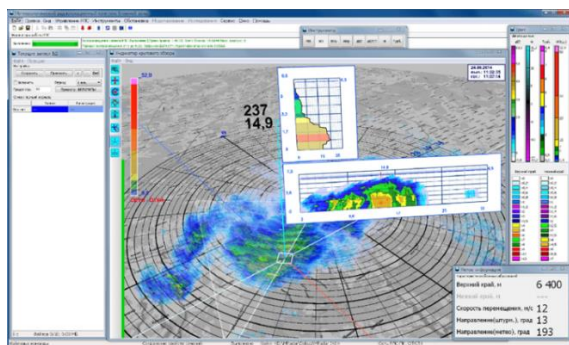
Для применения предложенной методики также следует учесть допущение, заключающееся в том, что эффективность передачи данных не зависит от длины атмосферной трассы распространения оптического излучения в пределах заданных значений угла места. Правомерность введения данного допущения обоснована возможностью обеспечения компенсации потерь сигнала при его прохождении через атмосферу за счет повышения мощности выходного излучения КОС.

Анализ характеристик современных КОС показал, что минимальное значение угла места α , при котором целесообразно осуществление сеанса работы, составляет порядка 30° [9]. При указанном значении угла проекция границ зоны на поверхность Земли, в пределах которой возможна передача данных на низкоорбитальный КА, представляет собой окружность с радиусом порядка 150...200 км.

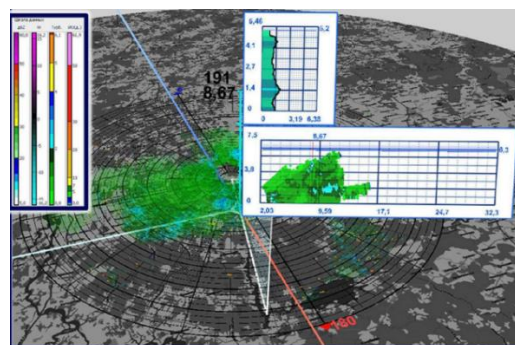
Проведенный обзор в области создания метеорологических комплексов позволяет сделать вывод, что современные отечественные образцы могут обеспечивать получение данных о состоянии облачности и прогнозировать ее развитие на необходимых дальностях с требуемыми точностными характеристиками [5-7]. Так, например, метеорологический радиолокационный комплекс ближней зоны (МРЛК БЗ) «Монокль» (табл. 1) позволяет получать координатную информацию об облачных образованиях на дальности порядка 150 км, а на основе данных о скорости и направлении ветра прогнозировать их перемещение на несколько часов (рис. 2) [10]. Наличие 2...3 метеокомплексов представленного класса позволит полностью покрыть район расположения распределенной группировки наземных КОС.

Таблица 1 – Основные технические характеристики МРЛК БЗ «Монокль»

№ п/п	Наименование характеристики	Значение
1	Дальность обнаружения опасных метеоявлений, км	150
2	Зона обзора, град: по азимуту по углу места	0-360 1-90
3	Точность измерения дальности высоты, м	не хуже 100
4	Точность измерения углов, град	не хуже 1
5	Точность измерения скорости, м/с	не хуже 1
6	Оперативность обновления информации о характеристиках облачности, мин	10



а)



б)

Рис. 2. Графическое представление возможностей по получению и визуализации метеорологической информацией в районе расположения МРЛК БЗ «Монокль»: а) облачность; б) скорость ветра

Таким образом, можно сделать вывод, что вопрос обеспечения необходимыми исходными данными наземного КОС о состоянии облачных образований и прогнозе их развития принципиально может быть решен за счет использования современных метеорологических комплексов.

На втором этапе методики на основе исходных данных осуществляется формирование множества возможных вариантов передачи данных по линиям «Космос-Космос» и «Космос-Земля».

На третьем этапе методики производится расчет выбранных ранее показателей эффективности функционирования КОС в составе распределенной сети. С точки зрения особенностей предлагаемого подхода порядок расчета временных интервалов $t_{\text{факт } i}$ не изменится даже при наличии нескольких КОС в области, в которой возможна передача данных, а расчет показателя $Q_{\text{КОС}}$ должен быть проведен для каждого КОС и каждого КА.

Особый интерес здесь представляет задача, когда через зону возможной передачи данных распределенной сети КОС предполагается пролет нескольких КА. Схематично данный случай может быть представлен в виде двумерной проекции трасс пролета КА и зон передачи данных КА на плоскость, расположенную по касательной к центру района расположения КОС (рис. 3).

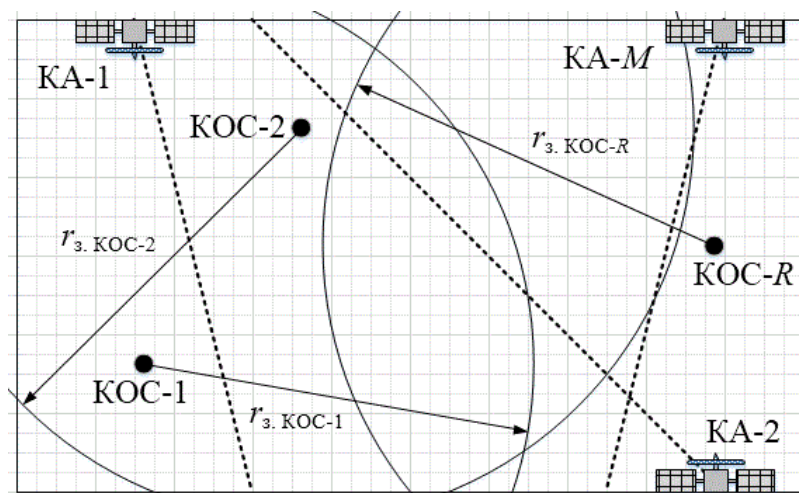


Рис. 3. Схематичное представление пересечения проекций трасс пролета КА и зон возможной передачи данных распределенной сети КОС произвольного состава

Исходя из того, что данные могут быть перераспределены как до передачи на Землю между КА по линиям «Космос-Космос», так и после между наземными пунктами приема [10], расчет показателей $Q_{\text{КОС}}$ должен быть осуществлен методом полного перебора возможных вариантов передачи данных: для каждого КОС в отношении каждого КА.

Результаты, полученные по итогам расчета, могут быть представлены в виде табл. 2.

Таблица 2 – Пример результатов расчета показателей эффективности КОС при произвольном составе их распределенной наземной сети и КА

Номер КОС	Номер КА			
	КА-1	КА-2	...	КА-М
КОС-1	$Q_{\text{КОС } 11}$	$Q_{\text{КОС } 12}$...	$Q_{\text{КОС } 1M}$
КОС-2	$Q_{\text{КОС } 21}$	$Q_{\text{КОС } 22}$...	$Q_{\text{КОС } 2M}$
...
КОС-R	$Q_{\text{КОС } R1}$	$Q_{\text{КОС } R2}$...	$Q_{\text{КОС } RM}$

На четвертом этапе методики формируется оптимальная конфигурация каналов передачи данных «Космос-Космос» и «Космос-Земля» по выбранному на этапе 3 критерию. При этом выбор наилучшего варианта в самом простом случае осуществлен путем перебора и поиска его максимального значения $Q_{\text{КОС max}}$.

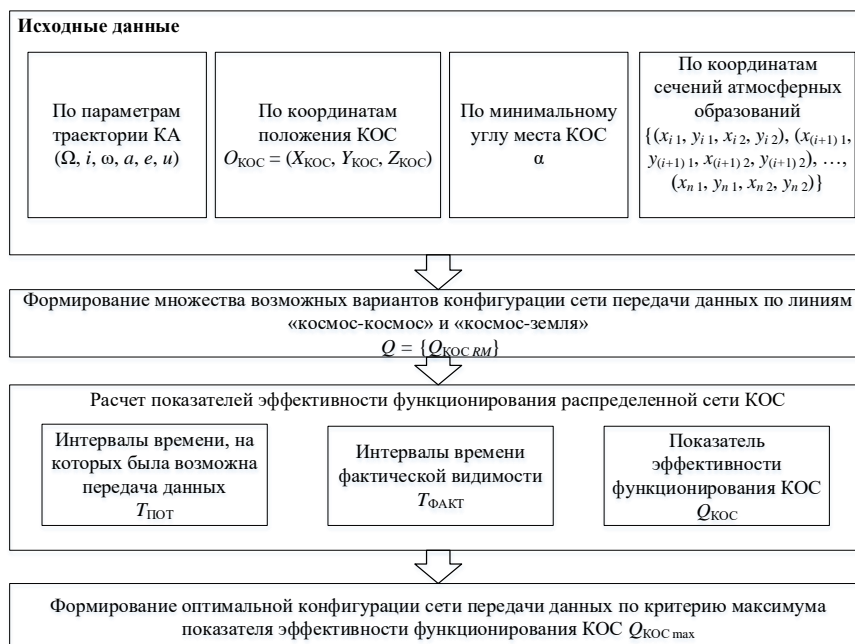


Рис. 4. Общая схема методики оценивания эффективности функционирования

В зависимости от целевой задачи и перечня имеющихся ограничений, критерии выбора наилучшей «стратегии» передачи данных могут отличаться.

Выводы

В статье на основе анализа особенностей функционирования и выбранного показателя предложена методика оценивания эффективности наземных КОС в составе распределенной наземной группировки, осуществляющих передачу данных на борт КА с учетом распределения облачных образований в районе их расположения. Определен перечень допущений и исходных данных необходимых для применения методики. Степень её унификации позволяет осуществлять оценку эффективности для произвольного количества КОС и КА.

При необходимости разработанный подход может быть применен для решения обратной задачи – поиска оптимального расположения наземных КОС для организации наиболее эффективной системы передачи данных.

Полученные результаты также могут быть использованы для ряда других систем, функционирование которых связано решением задачи по передаче данных на борт космического аппарата по средствам оптического излучения сквозь атмосферу Земли. Например, системы топогеодезического назначения, а также перспективные систем «подзарядки» аккумуляторных батарей КА.

Литература

1. Дмитриев А.Л. Оптические системы передачи информации. Учеб. пособ. – СПб.: СПбГУИТМО, 2007. 96 с.
2. Михайлов Р.Л. Модели и алгоритмы маршрутизации в транспортной наземно-космической сети связи военного назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 3. С. 52-82.
3. Закутаев А.А., Емельянов А.В., Лесив А.Б. Способ оценивания эффективности квантово-оптических средств в составе распределенной наземной сети // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 6. С. 108-113.

4. Алишев Я.В. Предельная пропускная способность и потенциальная помехоустойчивость оптических сетей и систем телекоммуникаций // Доклады БГУИР. Минск: Белорусский ГУИР. 2004. № 2. С. 44-56.

5. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции: в 2 т. / Ч. 1. Тактико-технические характеристики: уч. пособ. СПб.: РГГМУ, 2016. 170 с.

6. Ref. B211184RU-A©Vaisala Метеорологические станции для метеорологического применения. 2013. 8 с.

7. Модернизация метеорологической и актинометрической сетей Росгидромета: итоги и перспективы [Электронный ресурс] URL: http://irkugms.ucoz.ru/news/modernizacija_meteorologicheskoy_i_aktinometrcheskoj_setej_rosgidrometa_itogi_i_perspektivy/2013-09-18-869 (дата обращения: 03.04.2017).

8. Живицкий И.В. Адаптивное слежение за воздушно-космическими объектами в наземных лазерных локаторах с управлением излучаемым полем // Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. СПб.: ГУАП. 2007. 176 с.

9. Оружие и технологии России: энциклопедия. XXI век / под ред. С.Б. Иванова. М.: Издат. дом «Оружие и технологии», 2005. Т. XI: Оптико-электронные системы и лазерная техника. 719 с.

10. Безуглов А.А., Галаева К.И., Детков А.Н. Метеорологический радиолокационный комплекс обеспечения безопасности полётов авиации в различных климатических зонах // Общеросс. науч.-техн. журнал «Полёт». М.: Машиностроение-Полет. 2017. № 3-4. С. 46 – 50.

References

1. Dmitriev A.L. Optical information transmission systems. Textbook. help. St. Petersburg: SPbGUITMO, 2007. 96 s. (in Russian).

2. Mikhailov R.L. Models and routing algorithms in the transport ground-space communications network for military purposes. Control, communication and security systems. 2015. No. 3. Pp. 52-82 (in Russian).

3. Zakutaev A.A., Emelyanov A.V., Lesiv A.B. A method for evaluating the effectiveness of quantum optical means as part of a distributed terrestrial network. Proceedings of the Tula State University. Technical sciences. 2021. No. 6. Pp. 108-113 (in Russian).

4. Alishev Ya.V. Limiting bandwidth and potential interference resistance of optical networks and telecommunication systems. Reports of the BSUIR. Minsk: Belorussian GUIR. 2004. No. 2. Pp. 44-56 (in Russian).

5. Voskanyan K.L., Kuznetsov A.D., Seroukhova O.S. Automatic meteorological stations: in 2 t. h. 1. Tactical and technical characteristics: uch. posob. SPb.: RGGMU, 2016. 170 s. (in Russian).

6. Ref. B211184RU-A©Vaisala Meteorological stations for meteorological applications. 2013. 8 s. (in Russian).

7. Modernization of meteorological and actinometric networks of Roshydromet: results and prospects [Electronic resource] URL: http://irkugms.ucoz.ru/news/modernizacija_meteorologicheskoy_i_aktinometrcheskoj_setej_rosgidrometa_itogi_i_perspektivy/2013-09-18-869 (accessed 03.04.2017) (in Russian).

8. Zhivitsky I.V. Adaptive tracking of aerospace objects in ground-based laser locators with radiated field control. Diss. for the degree. step. Candidate of Technical Sciences St. Petersburg.: GUAP. 2007. 176 s. (in Russian).

9. Weapons and technologies of Russia: encyclopedia. XXI century. Edited by S.B. Ivanov. Moscow. Izdat. house "Weapons and Technologies", 2005. Vol. XI: Optoelectronic systems and laser technology. 719 s. (in Russian).

10. Bezuglov A.A., Galaeva K.I., Detkov A.N. Meteorological radar complex for aviation flight safety in various climatic zones. Obscheross. nauch.-tehn. magazine "Flight". М.: Mechanical engineering-Flight. 2017. No. 3-4. Pp. 46-50 (in Russian).

Статья поступила 15 ноября 2021 г.

Информация об авторах

Закутаев Александр Александрович – Начальник лаборатории военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: методы оценивания эффективности функционирования и совершенствования программно-алгоритмического обеспечения оптико-электронных и квантово-оптических средств. Тел. +7 952 355 22 92. E-mail: zakutaev.a@gmail.com.

Емельянов Александр Владимирович – Кандидат технических наук, начальник лаборатории военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: методы оценивания эффективности функционирования и совершенствования программно-алгоритмического обеспечения оптико-электронных и квантово-оптических средств. Тел. +7 911 283 65 95. E-mail: slash1@inbox.ru.

Широбоков Владислав Владимирович – Кандидат технических наук. Заведующий лаборатории военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Научные интересы: методы оценки эффективности функционирования и совершенствования программного и алгоритмического обеспечения оптоэлектронных и квантовых оптических средств. Тел. +7 981 761 28 41. E-mail: 17126vlad@gmail.com.

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13.

Methodology for evaluating the efficiency of the functioning of quantum-optical devices as part of a distributed terrestrial network

A.A. Zakutaev, A.V. Emelyanov, V.V. Shirobokov

Annotation. Purpose is to develop a methodology for evaluating the effectiveness of the functioning of the ground-based quantum-optical means (QOM) as part of a distributed terrestrial network.

Methods: the article uses well-known general scientific methods of system analysis, the theory of the effectiveness of targeted processes and linear optimization. **Novelty:** improvement of the scientific and methodological apparatus for evaluating the effectiveness of the processes of functioning of the ground-based QOM, taking into account the distribution of cloud formations in the area of their location. **The result is** the development of a new methodology that allows evaluating the effectiveness of data transmission to the spacecraft depending on the time intervals of its visibility. **Practical relevance** lies in the possibility of program implementation of the proposed methodology and its use in the formation of requirements for existing and promising land-based scythes.

Keywords: quantum optical system, efficiency, energy transfer, distributed network.

Information about Authors

Alexandr Alexandrovich Zakutaev – Head of the Laboratory of the Military Institute (Research) of Military Space Academy of Mozhaisky. Research interests: methods for evaluating the efficiency of functioning and improving software and algorithmic support of optoelectronic and quantum optical means. Phone: +7 952 355 22 92. E-mail: zakutaev.a@gmail.com.

Alexandr Vladimirovich Emelyanov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Military Institute (Research) of Military Space Academy of Mozhaisky. Research interests: methods for evaluating the efficiency of functioning and improving software and algorithmic support of optoelectronic and quantum optical means. Phone: +7 911 283 65 95. E-mail: slash1@inbox.ru.

Vladislav Vladimirovich Shirobokov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Military Institute (Research) of Military Space Academy of Mozhaisky. Research interests: methods for evaluating the efficiency of functioning and improving software and algorithmic support of optoelectronic and quantum optical means. Phone: +7 981 761 28 41. E-mail: 17126vlad@gmail.com.

Address: 197198, Russia, Saint-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Для цитирования: Закутаев А.А., Емельянов А.В., Широбоков В.В. Методика оценивания эффективности функционирования квантово-оптических средств в составе распределенной наземной сети // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 44-50.

For citation: Zakutaev A.A., Emelyanov A.V., Shirobokov V.V. Methodology for evaluating the efficiency of the functioning of quantum-optical devices as part of a distributed terrestrial network. Means of communication equipment. 2021. No 4 (156). Pp. 44-50 (in Russian).

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.31

Анализ направлений развития высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем

Ледянкин И.А., Смирнов А.Е., Кошелев И.В.

Аннотация. *Постановка задачи:* в статье проведен анализ направлений развития многопроцессорных вычислительных систем. *Целью работы* является обоснование целесообразности применения кластеров вычислительных систем в целях повышения производительности многопроцессорных вычислительных систем. *Используемые методы:* в статье использованы методы системного анализа и общей теории вычислительных систем. *Новизна:* заключается в актуализации сведений о существующих и перспективных кластерных технологиях построения вычислительных систем нового поколения. *Практическая значимость* состоит в том, что проведенный анализ может быть использован в совершенствовании научно-методического аппарата проектирования перспективных вычислительных систем, функционирующих в режиме реального времени.

Ключевые слова: вычислительная система, параллельная вычислительная архитектура, масштабирование, кластеризация.

Актуальность

В реалиях современного развития средств вычислительной техники, задача повышения оперативности выполнения вычислительных задач, за счет наращивания производительности существующих вычислительных систем в процессе их эксплуатации, представляется актуальной. Проведя анализ состояния развития и совершенствования современных средств вычислительной техники, наибольший интерес заслуживают вопросы применения кластеров и многопроцессорных вычислительных систем.

В данной статье проведен анализ направлений развития масштабируемых архитектур вычислительных систем, раскрыты достоинства и недостатки кластерной организации вычислительных систем.

Постановка задачи

Одним из перспективных направлений создания высокопроизводительных вычислительных систем является направление проектирования перспективных высокопроизводительных вычислительных систем с использованием кластерных технологий. Анализ кластерных технологий выявил, что самой сложной и наиболее востребованной в процессе проектирования высокопроизводительных вычислительных систем является архитектура *ccNUMA*. Для эффективного применения вычислительных систем, использующих достоинства архитектуры *ccNUMA*, необходимо совершенствовать существующие алгоритмы распараллеливания и распределения вычислительных задач с учетом имеющихся ресурсных ограничений вычислительных систем.

Таким образом, возникает противоречие, заключающееся в необходимости повышения оперативности выполнения вычислительных задач современными вычислительными системами и не совершенством существующего научно-методического аппарата для достижения этой цели.

Проанализировав существующую структуру и задачи, решаемые многопроцессорными вычислительными системами, функционирующими в режиме реального времени, пришли к выводу, что основными направлениями совершенствования таких систем являются [1]:

- изменение методологии проектирования структур перспективных кластерных вычислительных систем реального времени;
- проектирование вычислительных система *ccNUMA* архитектуры на основе кластеров с общей оперативной памятью;
- разработка информационных моделей функционирования кластерных вычислительных систем реального времени;
- выработка практических рекомендаций по применению кластерных вычислительных систем реального времени, в целях расширения функциональных возможностей перспективных вычислительных систем.

Одним из путей достижения этих целей является применение технологий распределено-параллельной обработки информации, разработка которых обуславливает наличие специальных задач, например, задачи разработки научно-методического аппарата выделения фрагментов программы, параллельное исполнение которых возможно. В рамках решения подобной задачи необходимо более внимательно изучить методы анализа вычислительных сценариев, выявления связности вычислительных операций, построения вычислительных кластеров и способов формирования множества их параллельных структур.

Существующие масштабируемые архитектуры вычислительных систем и направления их совершенствования

В настоящее время эффективное решение вычислительных задач в реальном времени осуществляется на основе реализации достижений в области современной элементной базы в совокупности с достижениями, полученными в процессе совершенствования архитектур построения вычислительных систем и эффективно функционирующим программным обеспечением (ПО).

Согласно классификации вычислительных систем (ВС), по Флину можно выделить следующие основные классы параллельных вычислительных архитектур: *MIMD* – множественный поток команд и множественный поток данных; *MSIMD* – один поток команд и множественный поток данных.

Наибольший интерес представляют вычислительные системы на основе *MIMD* архитектуры. В системах такой архитектуры, независимо выполняется несколько программных ветвей, обменивающихся данными. Такие системы являются многопроцессорными [2].

Классифицируя современные параллельные вычислительные системы, принадлежащие классу *MIMD* по Флину, чаще всего основываются на анализе используемых в них способах организации оперативной памяти (рис. 1).

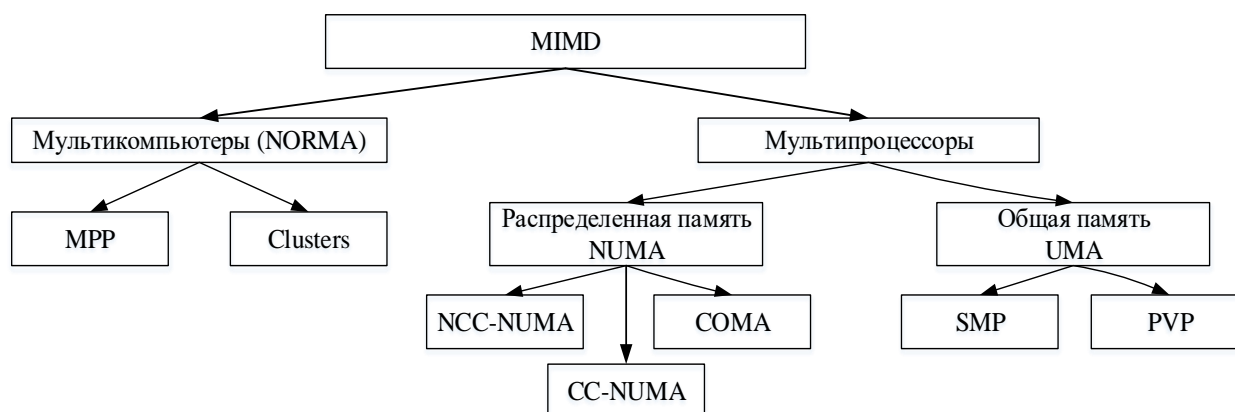


Рис. 1. Классификация современных параллельных вычислительных систем класса *MIMD* с точки зрения организации оперативной памяти

Типы систем на рис. 1 – масштабируемые, т. е. имеющие возможность повышения производительности пропорционально увеличению вычислительных ресурсов.

Масштабируемость можно оценить через отношение прироста производительности системы к приросту используемых ресурсов [3]. В системе с плохой масштабируемостью добавление ресурсов приводит лишь к незначительному повышению производительности, а с некоторого «порогового» момента добавление ресурсов не даёт никакого полезного эффекта.

Различают два способа масштабирования: вертикальное и горизонтальное. Вертикальное масштабирование – увеличение производительности каждого компонента системы с целью повышения общей производительности. Данный способ является самым простым, так как не требует изменений в прикладных программах, однако вычислительная система быстро достигает своего предела при наращивании мощности узлов. Горизонтальное масштабирование – подразумевает рост производительности приложения за счет увеличения числа узлов. Данный способ масштабирования требует внесения изменений в программы, разбиения служб на сегменты и модули, чтобы программы смогли воспользоваться дополнительным количеством ресурсов.

Построение масштабируемой архитектуры вычислительной системы реального времени целесообразно организовывать согласно структуре, приведенной на рис. 2.

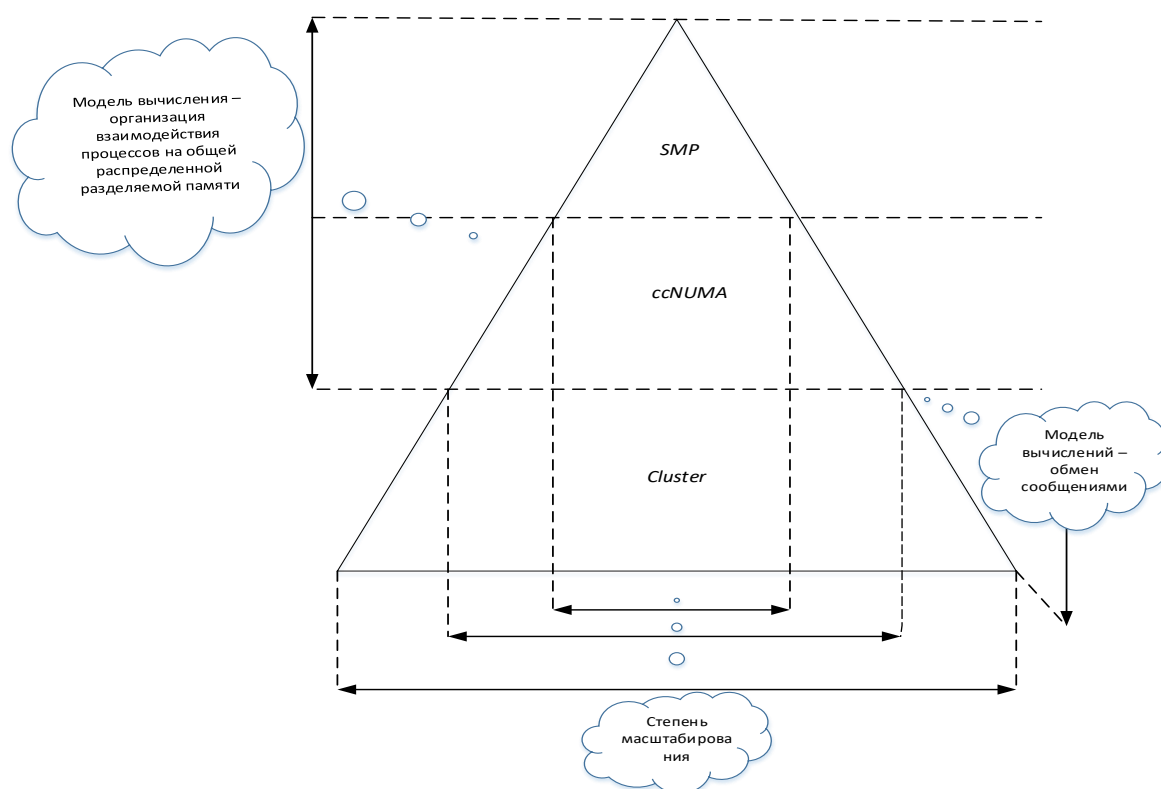


Рис. 2. Структура масштабированной вычислительной системы

Из приведенной структуры видно, что масштабирование вычислительной системы удовлетворяющей вышеуказанным условиям, достигается путем сочетания, определенным образом, архитектур специализированных многопроцессорных вычислительных комплексов (СМВК), входящих в рассматриваемую вычислительную систему.

При этом масштабирование архитектур ВС возможно несколькими способами [4]:

– увеличение количества процессоров на одном узле с общей памятью (SMP-архитектура);

– укрупнение узлов за счет объединения процессорных модулей *SMP*-архитектуры в систему с распределенной разделяемой памятью с высокоскоростным доступом к ней (*ccNUMA*);

– создание кластера на базе *ccNUMA*, *SMP* архитектур СМВК, представляющего собой масштабируемую вычислительную систему, реализующую распределено-параллельные вычисления.

Типовая *SMP* система содержит от 2 до 32 процессоров (рис. 3). Каждый процессор снабжен локальной кэш-памятью, состоящей из кэш-памяти 1-го (L_1) и второго (L_2) уровней. Проблема когерентности решается путем использования общей кэш-памяти, что эффективно при количестве процессоров не более четырех. Применение общей кэш-памяти (рис. 4) ведет к увеличению стоимости и снижением быстродействия [5].



Рис. 3. Симметричные мультипроцессоры *SMP*

Наиболее важной особенностью архитектуры симметричных мультипроцессоров является способ взаимодействия процессоров с общими ресурсами (памятью и системой ввода/вывода).

В отличие от слабо связанных мультипроцессорных систем (кластеров), где в качестве физической единицы обмена информацией выступает сообщение или полный файл, в *SMP* допустимо взаимодействие на уровне отдельного элемента данных. Благодаря этому достигается высокий уровень связности между процессами. Хотя технически *SMP*-системы симметричны, в их работе присутствует небольшой фактор перекося, который вносит программное обеспечение. На время загрузки системы один из процессоров получает статус ведущего. Это не означает, что позже во время работы какие-то процессоры будут ведомыми, – все они в *SMP*-системе равноправны. Термин «ведущий» относится к тому процессору, который по умолчанию будет руководить первоначальной загрузкой вычислительной системы.

Операционная система планирует процессы или нити процессов сразу по всем процессорам, скрывая при этом от пользователя многопроцессорный характер *SMP* архитектуры.

По сравнению с однопроцессорными схемами *SMP*-системы имеют преимущество по показателям производительности, готовности и масштабируемости.

Одно из самых современных направлений в области создания вычислительных систем – кластеризация. По производительности и коэффициенту готовности кластеризация представляет собой альтернативу симметричным мультипроцессорным системам.

Кластерная организация вычислительных систем представлена на рис. 4.

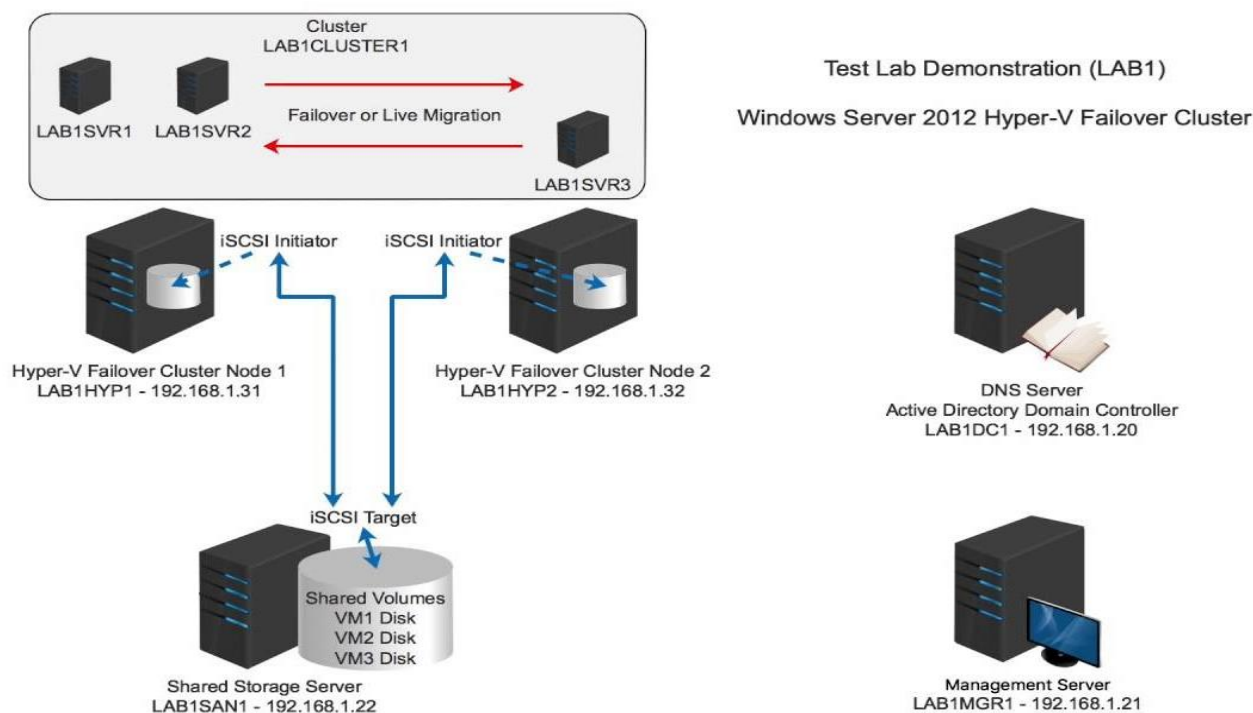


Рис. 4. Кластерная организация вычислительных систем

Вычислительный кластер – это *MIMP*-система (мультикомпьютер), состоящая из множества отдельных компьютеров (узлов вычислительного кластера), объединенных единой коммуникационной средой.

В качестве узла кластера может выступать как однопроцессорная ВМ, так и ВС типа *SMP* или *MPP*. Каждый узел в состоянии функционировать самостоятельно и отдельно от кластера.

Архитектура кластерных вычислений сводится к объединению нескольких узлов высокоскоростной сетью. Наряду с термином «кластерные вычисления», часто применяются такие названия, как кластер рабочих станций (*workstation cluster*), гипервычисления (*hypercomputing*), параллельные вычисления на базе сети (*network-based concurrent computing*).

Перед кластерами ставятся две задачи:

- достижение высокой вычислительной мощности;
- обеспечение повышенной надежности ВС.

Преимущества, достигаемые с помощью кластеризации:

- абсолютная масштабируемость. Возможно создание больших кластеров, превосходящих по вычислительной мощности даже самые производительные одиночные ВМ;
- наращиваемая масштабируемость. Кластер изначально проектируется с потенциальной возможностью наращивания узлов;
- высокий коэффициент готовности. Так как отдельные узлы кластера являются ВМ или ВС, то отказ одного из узлов не приведет к потере работоспособности кластера;
- соотношение производительность/стоимость. За счет объединения нескольких ВМ есть возможность создать кластер любой производительности. При этом его стоимость будет ниже, чем у одиночной ВМ с эквивалентной вычислительной мощностью.

Влияние производительности коммуникационной среды на общую производительность кластерной системы зависит от характера выполняемой задачи. Если задача требует частого обмена данными между подзадачами, которые решаются на разных

узлах вычислительного кластера, то быстродействию коммуникационной среды следует уделить максимум внимания. Соответственно, чем меньше взаимодействуют части задачи между собою, тем меньше внимания можно уделить быстродействию коммуникационной среды.

CC-NUMA (cache coherent NUMA) – система с кэш-когерентным доступом к неоднородной памяти. В отличие от классической архитектуры *NUMA*, при использовании кэш-когерентного доступа к неоднородной памяти все процессоры объединены в один узел, причем первый уровень иерархии памяти образует кэш-память процессоров. Архитектура *ccNUMA* поддерживает когерентность кэш памяти внутри узла аппаратно. Аппаратная когерентность кэш-памяти означает, что не требуется никакого программного обеспечения для поддержки актуальности множества копий данных.

В системе *cc-NUMA* физически распределенная память объединяется, как в любой другой *SMP*-архитектуре, в единый массив. Не происходит никакого копирования страниц или данных между ячейками памяти. Нет никакой программно-реализованной передачи сообщений. Существует просто одна карта памяти, с частями, физически связанными медным кабелем, и очень умные (в большей степени, чем объединительная плата) аппаратные средства. Аппаратно-реализованная кэш-когерентность означает, что не требуется какого-либо программного обеспечения для сохранения множества копий, обновленных данных или для передачи их между множеством экземпляров операционной системы и приложений. Со всем этим справляется аппаратный уровень точно так же, как в любом *SMP*-узле, с одной копией операционной системы и несколькими процессорами.

При использовании большого числа кэшей возникает та же проблема что и в архитектуре *UMA*: необходимо поддерживать актуальность кэшированных данных. Практически это означает, что изменение любой ячейки памяти, копия которой находится в некотором кэше, должно быть повторено для всех её копий. Учитывая, что число копий может быть велико, это становится сложной технической задачей.

Технология *ccNUMA* основана на кэш-когерентном доступе к неоднородной памяти (рис. 5).

В сущности, когерентность поддерживается в большей части программным обеспечением, что ведет к снижению производительности, как и в кластерах. *NUMA*-архитектура – это множество отдельных узлов, каждый из которых может представлять собой *SMP*-систему.

В узле есть и основная память, общая для всех процессоров этого узла, но рассматриваемая как часть глобальной основной памяти системы. В архитектуре *ccNUMA* узел выступает основным строительным блоком. Согласно технологии *NUMA*, каждый узел в системе владеет собственной основной памятью, но с точки зрения процессоров имеет место глобальная адресуемая память, где каждая ячейка любой локальной основной памяти имеет уникальный системный адрес.

Основным недостатком подобной конфигурации является когерентность кэш. Как показано выше наиболее сложной архитектурой является *ccNUMA*, в которой каждый узел представляет собой отдельный элемент (в том числе и с *SMP*-архитектурой).

Для наиболее результативного использования подобных вычислительных систем необходимо использование специальных алгоритмов, направленных на решение задач распараллеливания и распределения вычислительных задач и ресурсов для их решения.

Исходя из предположения о том, что на обработку одной единицы информации используется n циклов некоторой программы обработки X , можно сделать вывод о том, что количество обработанных заявок в единицу времени C зависит от длительности выполнения T_g программы, реализующей алгоритм обработки и количества циклов его выполнения, т. е. [6]:

$$C = f(n, X(T_g)). \tag{1}$$

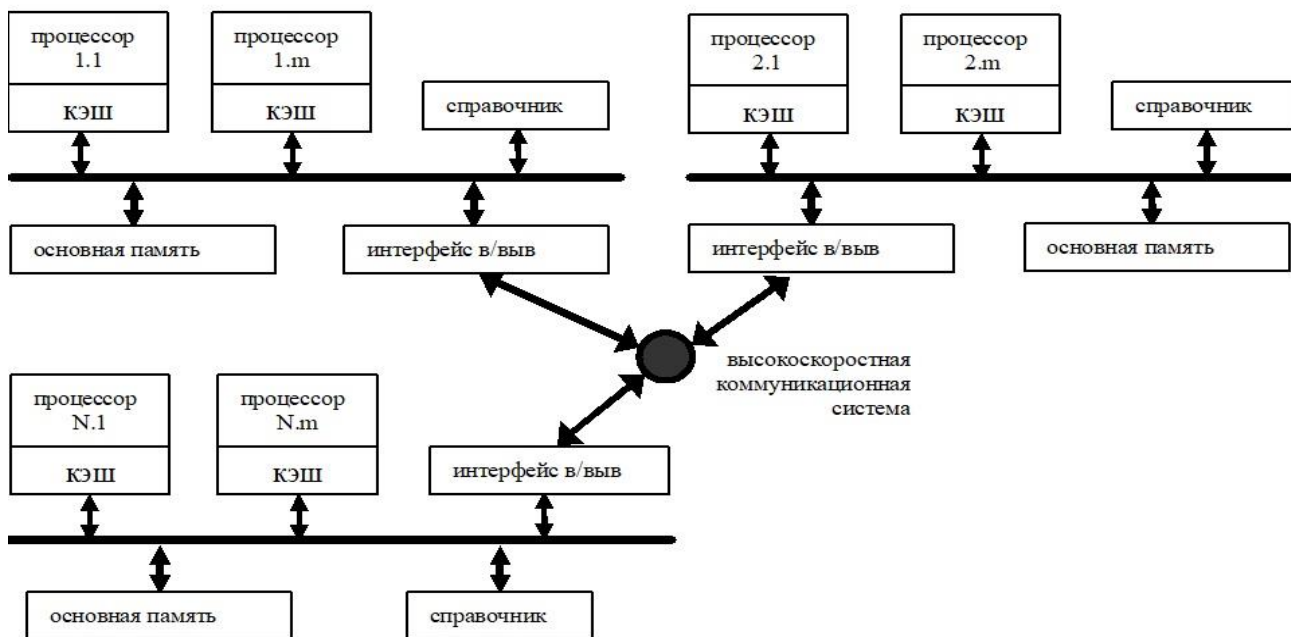


Рис. 5. Организация вычислительных систем по технологии ccNUMA

Таким образом, задача определения длительности выполнения программы, реализующей алгоритм вычислительной задачи обработки информации, имеет особую актуальность, так как позволяет уже на этапе разработки программного обеспечения определить возможный выигрыш в количестве обработанных заявок в единицу времени.

Показателем, определяющим выполнение данного требования, является вероятность P_g превышения времени обработки поступающей информации [7].

Определим абстрактную вычислительную систему S :

$$S(n, m, K(q, c), t_{fetch}, t_{rec}, a), \tag{2}$$

где n – количество вычислительных узлов, объединённых коммуникационной средой K (первый уровень);

m – количество вычислительных модулей, входящих в состав вычислительного узла, объединённых общей шиной (второй уровень);

q – объём буфера коммутатора сети;

c – пропускная способность коммутатора;

t_{fetch} – длительность выборки значений из оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) вычислительного модуля;

t_{req} – длительность формирования запроса на получение значений переменных из общей памяти вычислительного модуля (ВМ);

a – длительность цикла сравнения значений переменных.

Информационная структура программы, реализующей алгоритм обработки, задан в форме параллельно-ярусной форме, как ациклический, направленный мультиграф [8]:

$$G(V(t, h), U(k), r, g), \tag{3}$$

где $V = \{v_0, v_1, \dots, v_i\}, i \in \mathbb{Z}$ – множество характеристик выполняемых операций выполняемых в алгоритме, причём каждой операции v_i ставится в соответствие длительность её выполнения t_i и номер яруса h_i , на котором она находится, т.е.:

$$v_i = v(t_i, h_i), \quad (4)$$

$U = \{u_0, u_1, \dots, u_j\}, j \in \mathbb{Z}$ – множество информационных обменов между операциями, причём каждому информационному обмену u_j ставится в соответствие объём передаваемых данных k_j , т. е.:

$$u_j = u(k_j), \quad (5)$$

где r – количество значений переменных в справочнике переменных, используемых программой;

g – размер запроса на получение значения переменной из общей памяти ВМ;

Λ – интенсивность потока входящей для обработки информации.

Необходимо определить длительность выполнения T_g программы G на вычислительной системе S с учётом длительности информационного обмена между вычислительными узлами, а также вероятность P_g потери информации при её обслуживании [9].

При заданной рабочей нагрузке, чем больше коэффициенты загрузки процессоров, тем выше эффективность использования вычислительной системы в целом. С равномерным увеличением интенсивности нагрузки по всем задачам всех типов, при достижении коэффициента загрузки значения единицы, хотя бы для одного из процессоров, производительность всей системы становится максимально возможной для задач тех типов, которые используют данный процессор. Наиболее загруженное устройство является «узким» местом в вычислительной системе, из-за которого не в полной мере используются возможности других процессоров. Близость коэффициентов загрузки используемых процессоров свидетельствует о сбалансированности системы с рабочей нагрузкой [10].

Основные подходы к обоснованию требований к вычислительным средствам и создания на их базе объектов масштабируемых вычислительных комплексов с самого начала и до сегодняшнего дня определялись дефицитом вычислительной мощности существующих образцов вычислительной техники.

Таким образом, одним из важнейших направлений повышения производительности многопроцессорных, кластерных вычислительных систем в целом является применение эффективных моделей распараллеливания и распределения вычислительной нагрузки в вычислительной системе.

Выводы

Проанализировав текущее состояние в сфере развития и совершенствования средств вычислительной техники, наибольший интерес и актуальность в данной предметной области заслуживают вопросы применения кластеров и многопроцессорных вычислительных систем реального времени.

В данной статье проведен анализ направлений развития масштабируемых архитектур высокопроизводительных вычислительных систем реального времени в целях повышения производительности многопроцессорных, кластерных вычислительных систем.

Таким образом, исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод, что добиться сокращения времени выполнения параллельной вычислительной задачи возможно путём рационального распределения операций между вычислительными модулями, с целью предотвращения излишних обращений вычислительных модулей к коммуникационной среде

для информационного обмена. Однако существующие методы распараллеливания не всегда позволяют учесть особенности построения вычислительных средств, что приводит к рассогласованию между информационной структурой вычислительной задачи и архитектурой построения вычислительного комплекса.

Литература

1. Карпов В.Е. Введение в распараллеливание алгоритмов и программ // Компьютерные исследования и моделирование. 2010. Т. 2. № 3. С. 231–272.
2. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: «БХВ-Петербург». 2004. 400 с.
3. Гергель В.П., Стронгин Р.Г. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем. Нижний Новгород.: Изд-во НГУ. 2003. 154 с.
4. Топорков В.В. Модели распределенных вычислений. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2004. 320 с.
5. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. 520 с.
6. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
7. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 318 с.
8. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
9. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука. 1978. 353 с.
10. Феррари Д. Оценка производительности вычислительных систем. М.: Машиностроение. 1989. 248 с.

References

1. Karpov V.E. Introduction to paralleling algorithms and programs. Computer-based research and modeling. 2010. V. 2. No. 3. Pp. 231-272 (in Russian).
2. Voevodin V.V., Voevodin V.V. Parallel computing. St. Petersburg: "BHV-Petersburg". 2004. 400 s. (in Russian).
3. Gergel V.P., Strongin R.G. Fundamentals of parallel computing for multiprocessor computing systems. Nizhny Novgorod.: Publishing house of NSU. 2003. 154 s. (in Russian).
4. Toporkov V. In the Model of distributed computing. Moscow. Fizmatlit. 2004. 320 s. (in Russian).
5. Khoroshevsky V.G. Architecture of computing systems. Moscow. Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. 2008. 520 s. (in Russian).
6. Aliyev T.I. Basics of modeling discrete systems. St. Petersburg. State University of ITMO, 2009. 363 s. (in Russian).
7. Shannon R. Simulation modeling of systems - art and science. Moscow. Mir, 1978. 318 s. (in Russian).
8. Kleinrock L. Mass service theory. Moscow. Engineering, 1979. 432 s. (in Russian).
9. Buslenko N.P. Modeling of complex systems. Moscow. Nauka. 1978. 353 s. (in Russian).
10. Ferrari D. Evaluation of the performance of computer systems. Moscow. Mechanical Engineering. 1989. 248 s. (in Russian).

Статья поступила 30 ноября 2021 г.

Информация об авторах

Ледянкин Иван Александрович – Кандидат технических наук. Старший преподаватель кафедры технологий и средств технического обеспечения и эксплуатации автоматизированных систем управления (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: методы и алгоритмы обработки информации в высокопроизводительных

вычислительных системах специального назначения. Тел. +7 904 330-25-51.
E-mail: lion16_8@mail.ru.

Смирнов Алексей Евгеньевич – Курсант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: алгоритмы обработки информации в высокопроизводительных вычислительных системах специального назначения. Тел. +7 904-330-25-51. E-mail: lion16_8@mail.ru.

Кошелев Илья Витальевич – Курсант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: алгоритмы обработки информации в высокопроизводительных вычислительных системах специального назначения. Тел. +7 904-330-25-51. E-mail: lion16_8@mail.ru.

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13.

Analysis of the directions of development of high-performance multiprocessor computing systems

I.A. Ledyankin, A.E. Smirnov, I.V. Koshelev

Annotation. *Setting the task: the article analyses the development directions of multiprocessor computing systems. The purpose of the work is to justify the feasibility of using clusters of computing systems in order to increase the performance of multiprocessor computing systems. Methods used: the article uses methods of system analysis and general theory of computing systems. Novelty: It consists in updating information about existing and promising cluster technologies for building new generation computing systems. The practical significance is that the analysis can be used to improve the scientific and methodological apparatus for designing promising computing systems operating in real time.*

Keywords: *computing system, parallel computing architecture, scaling, clustering.*

Information about Authors

Ivan Aleksandrovich Ledyankin – Candidate of Technical Sciences, senior teacher of chair of technologies and means of technical providing and operation of automated control systems (armies) of the Military Space Academy of Mozhaisky. Phone: +7 904 330 25 51. E-mail: lion16_8@mail.ru.

Alexey Evgen'evich Smirnov – Cadet of the Military Space Academy of Mozhaisky. Research interests: algorithms of information processing in high-performance computing systems for special purposes. Phone: +7 904 330 25 51. E-mail: lion16_8@mail.ru.

Ilya Vital'evich Koshelev – Cadet of the Military Space Academy of Mozhaisky. Research interests: algorithms of information processing in high-performance computing systems for special purposes. Phone: +7 904 330 25 51. E-mail: lion16_8@mail.ru.

Address: 197198, Russia, г. Saint-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Для цитирования: Ледянкин И.А., Смирнов А.Е., Кошелев И.В. Анализ направлений развития высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 51-60.

For citation: Ledyankin I.A., Smirnov A.E., Koshelev I.V. Analysis of the directions of development of high-performance multiprocessor computing systems. Means of communication equipment. 2021. No 4 (156). Pp. 51-60 (in Russian).

КОЛОНКА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

УДК 621.317

Своевременность контроля технического состояния средств радиосвязи

Голунов М.В.

Аннотация. В статье под своевременностью контроля технического состояния средств радиосвязи будем понимать некий оптимальный интервал времени между процедурами параметрического контроля технического состояния радиосредств при экспоненциальном законе распределения его вероятности безотказной работы. Определение этого интервала является логическим продолжением модели процесса мониторинга технического состояния, в которой предварительно произведена оценка достоверности, точности и полноты контроля технического состояния средств радиосвязи. **Цель работы** заключается в нахождении математического выражения, определяющего оптимальный интервал времени между процедурами параметрического контроля технического состояния радиосредств. **Новизна:** используемые в настоящее время методы повышения надежности объектов (систем) в своих математических выражениях не учитывают интервал времени неправильного функционирования, который возникает из-за нераспознанного параметрического отказа, т. е. они определены для случая идеального диагностического обеспечения, что не соответствует действительности. В работе произведена попытка учета этого интервала при различных вариантах определения технического состояния радиосредств. **Результат:** в статье показано, что оптимизационная задача по определению интервала контроля технического состояния радиосредства возникает только при наличии противоречий в образованной системе (объект контроля плюс средство контроля), заключающаяся с одной стороны в максимизации нижней границы расчетного значения коэффициента готовности объекта контроля, а с другой в учете надежностных характеристик средства контроля. **Практическая значимость** заключается в возможности использования полученного оптимального интервала времени между процедурами параметрического контроля технического состояния радиосредств для определения режима работы автоматизированного измерительного комплекса в рамках стратегии технического обслуживания по фактическому техническому состоянию.

Ключевые слова: контроль технического состояния, техническое обслуживание, параметрический отказ, радиосредства, надежность.

Введение

В настоящее время в Вооруженных Силах Российской Федерации руководящими документами определена планово–предупредительная стратегия технического обслуживания (ТО) средств связи [1], базирующаяся на априорной информации о работоспособности систем и не учитывающая фактического технического состояния (ТС) средств связи [2].

Привлекательность такой стратегии эксплуатации определяется, прежде всего, простотой планирования мероприятий по техническому обслуживанию, а также тем, что в процессе функционирования системы не надо контролировать и измерять какие-то ее параметры [3].

Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 27.002-2015 отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния. Отказ может быть внезапным, постепенным, явным, скрытым и т. д. При этом особое внимание необходимо обратить на постепенные скрытые (параметрические) отказы, для выявления которых требуется разработка средств технического диагностирования, осуществляющих дискретный контроль ТС аппаратуры в процессе ее функционирования.

На основных этапах жизненного цикла, т. е. в процессе эксплуатации средств связи, отклонения (дрейфа) параметров за пределы допусков как раз и приводят к наступлению параметрического отказа. Процессы дрейфа параметров и вызываемые ими параметрические

отказы заставляют производить специальные мероприятия в виде ТО, направленные на поддержание требуемого уровня качества функционирования средств связи. В настоящее время на технике связи проводятся годовые технические обслуживания (ТО–2) (с периодичностью один раз в год [1]) с привлечением инженерно-технического состава, а также средств измерений.

В тоже время к основным проблемам планово–предупредительной стратегии ТО средств связи можно отнести:

1) низкая оперативность и трудоемкость процедуры ТО, требующая разработки планирующих документов и дополнительного контроля со стороны должностных лиц;

2) существование продолжительных периодов функционирования средств связи, скрытых от служб эксплуатации, когда могут быть занижены их технологические показатели. При этом такие периоды могут носить многодневный и даже многомесячный характер [4];

3) эпизодическое применение (при проведении ТО-2) дорогостоящих средств измерений. Кроме того, определяющее значение при проведении ТО имеет накопленный опыт и профессионализм обслуживающего персонала.

Одним из основных направлений совершенствования методов ТО радиотехнических систем является внедрение гибких стратегий ТО, степень гибкости которых определяется полнотой учета данных о фактическом состоянии обслуживаемых средств [2], что невозможно обеспечить без автоматических систем контроля ТС, особенно при внедрении «безлюдных технологий» [3].

Необходимость полноты учета данных о фактическом ТС обслуживаемых средств следует из определения надежности [5]. Общая надежность радиотехнической системы определяется двумя вероятностями:

1) вероятностью нахождения выходного параметра системы (одного или нескольких) в зоне допуска во время нормального функционирования;

2) вероятностью безотказной работы элементов системы.

Теория надежности оперирует статистикой отказов элементов системы (восстанавливаемых, невосстанавливаемых) не делая различий в типах отказов. В этом случае для подтверждения численных значений показателей, полученных в рамках теории надежности, при эксплуатации средств связи необходимо идеальное всестороннее диагностическое обеспечение, которое в режиме реального времени способно определять ТС средств (систем) связи. В настоящее время при эксплуатации средств радиосвязи в режиме реального времени диагностические системы способны выявлять только отказы функционирования, которые могут возникать при скачкообразном изменении выходных параметров или быть следствием давно возникшего параметрического (постепенного) отказа, своевременно не распознанного средствами контроля ТС. При параметрическом отказе радиотехническая система способна функционировать до момента проведения инструментального технического обслуживания, либо до момента наступления функционального отказа.

В процессе эксплуатации радиотехнические системы используют различные ресурсы для осуществления целевой функции – передачи информации с требуемой достоверностью. При этом параметры выходного сигнала являются системными [6], а их отклонение от заданных значений и есть предмет контроля. Если система формирует качественный сигнал (параметры которого в поле допусков), то совпадает два вышеуказанных события по отношению к ее общей надежности и в обслуживании такой системы нет необходимости. Если же параметры радиосигнала не в норме (имеются отклонения выше допустимых), то из-за возникшего нераспознанного параметрического отказа радиотехническая система будет использовать различные имеющиеся ресурсы: энергетические, информационные, частотные для обеспечения целевой функции.

Для обеспечения общей надежности радиосредств необходимо совмещение по времени и месту систем функционального и параметрического контроля. Но если средства функционального контроля обычно являются неотъемлемой частью средств радиосвязи и осуществляют мониторинг их работоспособности в режиме реального времени, то средства параметрического контроля (СК) – аппаратно-программные измерительные средства достаточно сложны и их сложность сопоставима со сложностью объекта контроля (ОК), т. е. радиосредств, а может и превосходить их. Из этого следует необходимость перехода от непрерывного к дискретному контролю параметров целевой функции радиотехнической системы для обеспечения вероятности безотказной работы (СК) не ниже заданной, в течение установленного срока службы. В данном случае возникает противоречие между необходимостью непрерывного параметрического контроля (ОК) и ограниченным ресурсом СК. Непрерывный контроль порождает «цепную реакцию контроля», когда для контроля СК необходимо другое СК и разрешается это противоречие только заменой непрерывного контроля ТС средств радиосвязи дискретным.

Постановка задачи

Рассмотрим различные варианты определения интервала контроля ТС радиосредства при экспоненциальном законе распределения его вероятности безотказной работы:

- 1) в процессе контроля параметров радиосредство не функционирует и продолжает выполнять свои функции после проведения процедуры контроля значений параметров или восстанавливается. Надежностные характеристики средства контроля не учитываются;
- 2) контроль параметров осуществляется в процессе функционирования. Надежностные характеристики СК не учитываются;
- 3) контроль параметров осуществляется в процессе функционирования. СК обладает надежностными характеристиками (средняя наработка до отказа, срок службы).

Для вышеуказанных вариантов функционирования средств радиосвязи необходимо определить, если это возможно, оптимальный интервал времени между процедурами их параметрического контроля, максимизирующий значение целевой функции – коэффициента готовности K_r .

Решение задачи по условию первого варианта

В первом варианте применяется стратегия технического обслуживания по состоянию (ТОС) с контролем параметров и периодичностью Δt_k в течение времени $\Delta t_k^* < t_{TO}$, где t_{TO} – периодичность проведения технического обслуживания. При обнаружении отказа изделие восстанавливают в течение времени T_b . В этом случае коэффициент готовности K_r имеет следующий вид [7]:

$$K_r = \frac{T[1 - \exp(-\Delta t_k / T)]}{T_b[1 - \exp(-\Delta t_k / T)] + \Delta t_k + \Delta t_k^*}. \quad (1)$$

Время, в течение которого осуществляется контроль параметров Δt_k^* , является расчетной постоянной величиной, и определяется на стадии моделирования процесса контроля ТС исходя из требований к полноте и достоверности результатов контроля. Выражение (1) не учитывает возможность выхода параметров средства связи за пределы своих допусков между процедурами параметрического контроля. С учетом интервала неправильного функционирования выражение (1) примет вид:

$$K_r = \frac{T[1 - \exp(-\Delta t_k / T)]}{T_b[1 - \exp(-\Delta t_k / T)] + \Delta t_k + (\Delta t_k + \Delta t_k^*)[1 - \exp(-(\Delta t_k + \Delta t_k^*) / T)] + \Delta t_k^*}. \quad (2)$$

Для определения максимального значения K_r найдем производную $\partial K_r(\Delta t_k) / \partial \Delta t_k$ от выражения (2) и приравняем ее к нулю.

В результате получаем уравнение, которое может быть приближенно решено при соблюдении условия $\Delta t_k / T \ll 1$. Разложив $\exp(-\Delta t_k / T)$ в ряд и ограничившись тремя первыми членами, получим выражение:

$$\Delta t_k \approx \sqrt{T \Delta t_k^*} \tag{3}$$

Пример расчета:

при $T = 6000$ ч., $\Delta t_k^* = 1/12$ ч., $\Delta t_k = \sqrt{6000/12} \approx 22,4$ ч., $\Delta t_k^* = 1/6$ ч., $\Delta t_k = \sqrt{6000/6} \approx 31,6$ ч.

Уравнение (3) определяет оптимальный временной интервал между процедурами контроля параметров радиосредства по условию первого варианта.

Решение задачи по условию второго варианта

Если же контроль параметров радиосредства осуществляется в процессе функционирования, то выражение (2) примет вид:

$$K_r = \frac{T[1 - \exp(-\tau/T)]}{T_b[1 - \exp(-\tau/T)] + \tau[1 - \exp(-\tau/T)] + \tau} \tag{4}$$

где $\tau = \Delta t_k + \Delta t_k^*$.

Формулу (4) исходя из условия $\tau/T \ll 1$ преобразуем к следующему виду:

$$K_r = \frac{T}{T + T_b + \tau} \tag{5}$$

В случае нераспознанного отказа, при котором не нарушается функционирование радиосредств, минимальный коэффициент готовности определяется выражением (5) и он обратно пропорционален интервалу параметрического контроля $\tau = \Delta t_k + \Delta t_k^*$.

На рис. 1 представлены графики зависимости коэффициента готовности от интервала параметрического контроля Δt_k согласно выражениям (2) и (5), при $\Delta t_k^* = 1/12$ ч.; $1/6$ ч. (синий и красный цвет графиков соответственно), $T_b = 100$ ч., $T = 6000$ ч.

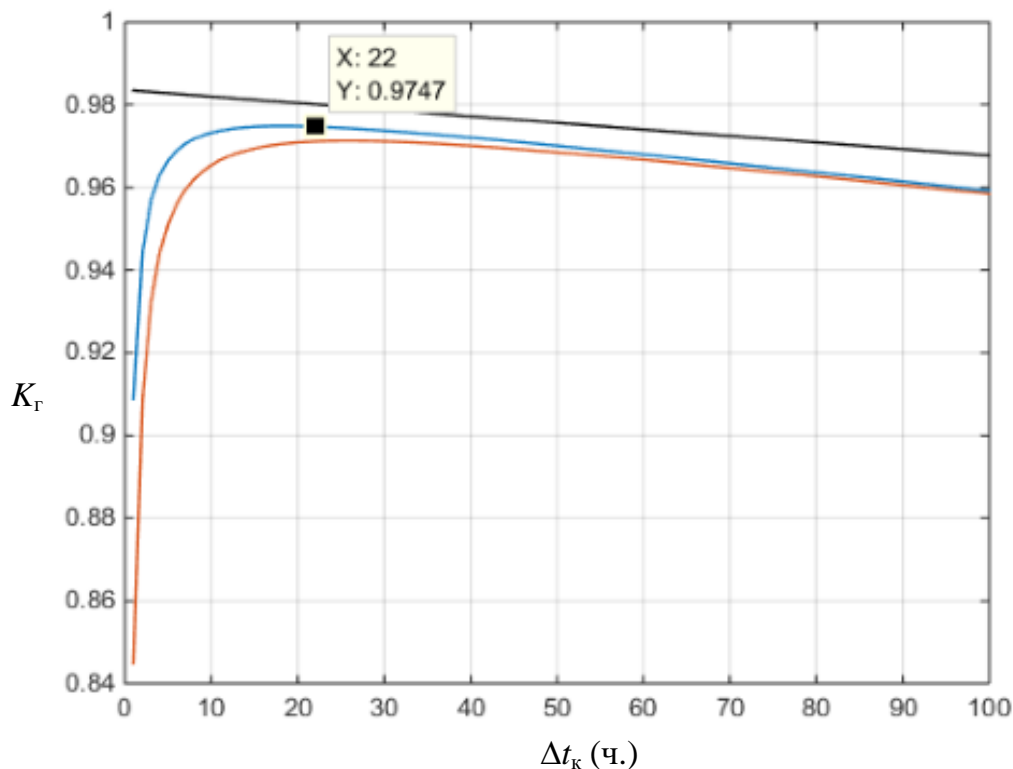


Рис. 1. Графики зависимости $K_r(\Delta t_k)$

На графиках рис. 1 виден экстремум функции $K_r(\Delta t_k)$, но только если в процессе контроля параметров радиосредство не обеспечивает связь. Оптимальный интервал между процедурами контроля определяется выражением (3). Если параметрический контроль осуществляется в процессе функционирования радиосредства, то график $K_r(\Delta t_k)$ (на рис. 1 выделен черным цветом) представляет собой линейную зависимость, и максимальное значение K_r достигнет при интервале контроля равным нулю. В этом случае дискретный контроль переходит в непрерывный контроль и выражение (5) преобразуется к известному виду $K_r = T / (T + T_b)$.

Выше было отмечено, что при длительной эксплуатации средств связи возникает противоречие между необходимостью непрерывного параметрического контроля ОК и ограниченным ресурсом СК.

Решение задачи по условию третьего варианта

Рассмотрим третий вариант определения интервала контроля ТС радиосредств, при котором контроль параметров осуществляется в процессе функционирования. Средство контроля обладает надежностными характеристиками: $T_{ск}$ – средняя наработка до отказа; $t = nT_{ск}$ – срок службы средства контроля, где n – натуральное число.

Параметрический контроль радиосредств предполагает наличие средств измерений, степень точности которых должна быть на порядок выше точности контролируемых параметров. Согласно руководству по эксплуатации на изделие «Тишина – ПВР» уровень сигнала с выхода возбуждителя РПДУ Р-176-У не должен отклоняться на величину более $1 \text{ В} \pm 0,1 \text{ В}$, краевые искажения радиотракта не более 2 %, долгосрочное отклонение частоты опорного генератора не более $\pm 5 \times 10^{-8}$ Гц, в течение года. Повышение требований к качеству формируемых радиосредствами сигналов за счет применения методов цифровой обработки сигналов вызывает необходимость создания средств измерений со значительно большей точностью измерения, т. е. должен действовать принцип опережающего повышения точности средств измерения по сравнению с точностью контролируемых параметров. Точность и сокращение времени измерения (3), необходимость длительного автономного функционирования в автоматическом режиме способствует росту сложности СК, при этом СК должны оставаться надежными в течение всего срока службы.

Представим вероятность безотказной работы СК в виде [5]:

$$P(t) = \exp\left(-\frac{\Delta t_k^* N}{T_{ск}}\right), \quad (6)$$

где N – количество процедур параметрического контроля в течение срока службы $t = nT_{ск}$ средства контроля, при этом вероятность безотказной работы СК не должна быть меньше некоторой минимальной наперед заданной величины, $N = nT_{ск} / \Delta t_k$, тогда выражение (6) запишем в виде:

$$\begin{cases} P(t) = \exp\left(-\frac{n\Delta t_k^*}{\Delta t_k}\right); \\ P_{ск}(t) \geq P_{ск \min}. \end{cases} \quad (7)$$

Система уравнений (7) позволяет просто определить минимальный интервал контроля Δt_k при известной минимальной величине вероятности безотказной работы СК $P_{ск \min}$, значение которой необходимо оценить.

СК должно оставаться высоконадежным, в течение всего срока службы, поскольку его значения измерений являются определяющими при управлении аппаратурным ресурсом.

Критерий высокой надежности СК сформулируем в следующем виде: вероятность безотказной работы СК в течение срока службы должна быть больше или равна вероятности

безотказной работы контролируемой системы в виде (ОК плюс резерв). В работе будем использовать резервирование методом замещения [5].

Коэффициент готовности восстанавливаемой резервированной методом замещения системы определяется выражением [5]:

$$K_r = \frac{\sum_{i=0}^m \rho^i}{\sum_{i=0}^{m+1} \rho^i}, \quad (8)$$

где m – кратность резервирования, $\rho = T_b / T$. Уравнение (8) с учетом выражения (5) представим в следующем виде:

$$K_r = \frac{\sum_{i=0}^m \rho^i}{\sum_{i=0}^{m+1} \rho^i + \rho^*}, \quad (9)$$

где $\rho^* = \Delta t_k / T$. Коэффициент готовности согласно уравнениям (5), (9) при фиксированном значении ρ^* представляет собой нижнюю границу оценки расчетного значения K_r , т. е. $K_{r \min}(\tau)$.

Цель диагностической системы заключается в своевременном определении ТС ОК с требуемой достоверностью и полнотой. Время необходимое для осуществления контроля Δt_k^* , достоверность и полнота контроля определяются на этапе моделирования процесса контроля. Определение своевременности контроля сводится к нахождению временного интервала τ между процедурами контроля с целью максимального приближения нижней границы $K_{r \min}(\tau)$ к расчетному значению K_r согласно уравнению (8) при сохранении вероятности безотказной работы средства контроля не ниже нижней границы расчетного значения $K_{r \min}(\tau)$.

$$\begin{cases} [K_r - \max K_{r \min}(\tau)] \leq \varepsilon; \\ P_{\text{ск}}(t) \geq \max K_{r \min}(\tau); \\ \tau = \Delta t_k + \Delta t_k^*; \\ \Delta t_k^* = \text{const.} \end{cases} \quad (10)$$

где ε – допустимая величина отклонения K_r от расчетного значения. Значение ε также можно рассматривать как доверительный интервал со 100 % вероятностью попадания в него K_r . Будем считать достоверность каждой процедуры контроля ТС высокой. Запишем второе неравенство системы уравнений (10) в следующем виде:

$$\exp\left(-\frac{n\Delta t_k^*}{\Delta t_k}\right) \geq \frac{T}{T + \Delta t_k}. \quad (11)$$

Правая часть неравенства (11) получена из уравнения (9) при $T_b = 0$ ч. Это может показаться грубым допущением, однако уже при однократном резервировании методом замещения (дублирование) значения времени восстановления до 5 суток практически не оказывают влияние на результат решения неравенства (11), но решение значительно упрощается.

Неравенство (11) преобразуем к виду:

$$\exp(-n\Delta t_k^* / \Delta t_k) \geq \exp(-\Delta t_k / T). \quad (12)$$

Прологарифмируем левую и правую часть неравенства (12), и в результате получаем неравенство:

$$\Delta t_k \geq \sqrt{nT\Delta t_k^*} \tag{13}$$

Полученное неравенство при $n=1$ совпадает с выражением (3) и представляет собой решение неравенства (11) а, в случае равенства, определяет минимальный интервал времени между процедурами контроля ТС средств связи согласно третьему варианту. Поскольку $\Delta t_k \gg \Delta t_k^*$, то $\tau \approx \Delta t_k$ и можно записать $\tau \geq \sqrt{nT\Delta t_k^*}$.

На рис. 2 представлены графики зависимости $K_r, K_{r\min}(\tau)$ при резервировании методом замещения (дублировании) согласно уравнений (8), (9) (пунктирные линии черного и красного цвета соответственно), а также графики зависимости вероятности безотказной работы средства контроля $P_{ck}(\tau)$ при изменении n от 1 до 10. Исходные данные для построения графиков: $T = 6000$ ч., $T_b = 120$ ч., $\Delta t_k^* = 1/12$ ч.

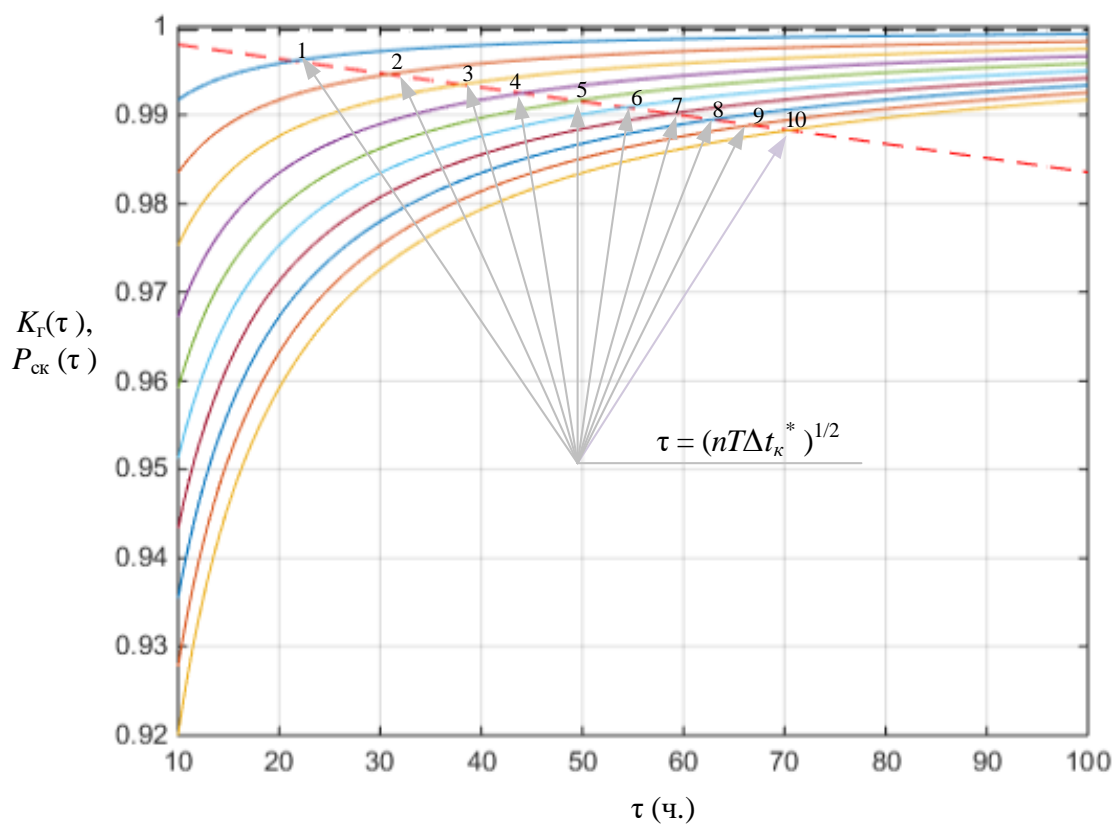


Рис. 2. Графики зависимости $K_r, K_{r\min}(\tau), P_{ck}(\tau)$

На рис. 2 разность между красной и черной пунктирными линиями представляет собой ε (10), а точки пересечения $K_{r\min}(\tau)$, с $P_{ck}(\tau)$ определяются выражением $\tau = \sqrt{nT\Delta t_k^*}$. Значение n определяется количеством линий графика $P_{ck}(\tau)$ над красной пунктирной линией графика $K_{r\min}(\tau)$ при различных τ и соответствует количеству интервалов nT_{ck} , в течение которых будет выполняться второе условие выражения (10).

Из графиков на рис. 2 видно, что сокращение интервала времени между процедурами параметрического контроля приближает нижнюю границу $K_{r\min}(\tau)$ к расчетному значению K_r , и будет ему соответствовать при непрерывном контроле ТС ($\tau = 0$ ч.). Необходимо учитывать надежность СК, в этом случае уравнение (13) является решением

оптимизационной задачи и определяет минимальный интервал времени между процедурами контроля ТС радиосредств.

Заключение

В статье проведен анализ различных вариантов определения оптимального интервала времени между процедурами параметрического контроля ТС радиосредства при экспоненциальном законе распределения его вероятности безотказной работы. СК и ОК образуют взаимообуславливающую систему с ограниченным ресурсом входящих в нее подсистем. В статье показано, что оптимизационная задача по определению интервала контроля ТС радиосредства возникает только при наличии противоречий в образованной системе, заключающаяся, с одной стороны, в максимизации $K_{r\min}$ ОК, а с другой, в учете надежностных характеристик СК. За счет контроля ТС нельзя повысить K_r ОК (расчетное значение), но можно сократить доверительный интервал ε и максимизировать нижнюю границу $K_{r\min}$ при требуемом значении вероятности безотказной работы СК.

Литература

1. Чихачев А.В., Семенов С.С., Мегера Ю.А. Организация проведения технического обслуживания, военной и специальной техники. Ч. 1. Комплекс «Редут–2УС». СПб.: ВАС, 2019. 292 с.
2. Федоренко В.В. Модель оптимизационных задач технического обслуживания систем передачи сигналов по фактическому состоянию // Электронное моделирование. 1994. Т. 16. №1. С. 47–51.
3. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Управление эксплуатацией систем ответственного назначения. Владивосток: Дальнаука, 2000. 200 с.
4. Исаков Е.Е. Основные принципы построения устойчивой военной связи и возможные способы их реализации. СПб.: ВАС, 2015. 447 с.
5. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ–Петербург, 2006. 704 с.
6. Дворников С.В., Ланских С.Н., Линник Б.С. Методология системного подхода и методы моделирования сложных систем и комплексов. СПб: ВАС, 2008. 380 с.
7. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. Москва: Радио и связь, 1988. 256 с.

References

1. Chikhachev A.V., Semenov S.S., Megera Yu.A. Organization of maintenance, military and special equipment. Part 1. «Redut–2US» complex. St. Petersburg: VAS, 2019. 292 s. (in Russian).
2. Fedorenko V.V. Model of optimization problems of maintenance of signal transmission systems according to the actual state. Electronic Modeling. 1994. T. 16. № 1. Pp. 47–51 (in Russian).
3. Abramov O.V., Rosenbaum A.N. Management of the operation of responsible systems. Vladivostok: Dalnauka, 2000. 200 s. (in Russian).
4. Isakov E.E. Basic principles of building sustainable military communications and possible ways to implement them. St. Petersburg: VAS, 2015. 447 s. (in Russian).
5. A.M. Polovko and S.V. Gurov, Fundamentals of Reliability Theory. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2006. 704 s. (in Russian).
6. Dvornikov S.V., Lanskich S.N., Linnik B.S. Methodology of the system approach and modeling methods for complex systems and complexes. St. Petersburg: VAS, 2008. 380 s. (in Russian).
7. Davydov P.S. Technical diagnostics of radio electronic devices and systems. Moscow: Radio and communication, 1988. 256 s. (in Russian).

Статья поступила 1 декабря 2021 г.

Информация об авторе

Голюнов Михаил Валерьевич – Адъюнкт кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Тел.: +7(812)247-98-42. E-mail: belka1213@mail.ru.

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

Timeliness of monitoring the technical condition of radio communications

M.V. Golyunov

Annotation. *In the article, by the timeliness of monitoring the technical condition of radio communication facilities, we will understand a certain optimal time interval between the procedures for parametric monitoring of the technical condition of radio facilities with an exponential law of distribution of its probability of trouble-free operation. The definition of this interval is a logical continuation of the model of the process of monitoring the technical condition, in which the reliability, accuracy and completeness of monitoring the technical condition of radio communication facilities were previously assessed. **The purpose of the work** is to find a mathematical expression that determines the optimal time interval between procedures for parametric control of the technical condition of radio equipment. **Novelty:** currently used methods for improving the reliability of objects (systems) in their mathematical expressions they do not take into account the time interval of improper functioning that occurs due to an unrecognized parametric failure, i.e. they are defined for the case of ideal diagnostic support, which does not correspond to reality. The paper attempts to account for this interval with various options for determining the technical condition of radio equipment. **Result:** the article shows that the optimization task of determining the interval for monitoring the technical condition of the radio equipment arises only in the presence of contradictions in the formed system (the object of control plus the means of control), consisting on the one hand in maximizing the lower limit of the calculated value of the readiness coefficient of the object of control, and on the other in taking into account the reliability characteristics of the means of control. **The practical significance** lies in the possibility of using the obtained optimal time interval between the procedures of parametric control of the technical condition of radio equipment to determine the operating mode of the automated measuring complex within the framework of the maintenance strategy for the actual technical condition means of monitoring the technical condition, operating both in continuous and discrete modes.*

Keywords: *technical condition monitoring, maintenance, parametric failure, radio facilities, reliability.*

Information about Autors

Golyunov Mikhail Valeryevich – Adjunct of the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny. Tel.: +7 (812) 247-98-42. E-mail: belka1213@mail.ru.

Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tikhoretsky Ave., 3.

Для цитирования: Голюнов М.В. Своевременность контроля технического состояния средств радиосвязи // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 61-69.

For citation: Golyunov M.V. Timeliness of monitoring the technical condition of radio communications. Means of communication equipment. 2021. No 4 (156). Pp. 61-69 (in Russian).

УДК: 004.896; 007.52

Проблемы встраиваемости робототехнических комплексов в существующие технологии управления глубоководными морскими объектами

Рыжкова Д.Н., Николашин Д.Ю.

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы проектирования, внедрения и функционирования робототехнических комплексов. На примере робототехнических комплексов морского базирования установлено, что автономность функционирования является основным показателем эффективности его работы при выполнении задач предназначения. В связи с этим, главной целью при его проектировании представляется реализация максимально эффективных и ориентированных под прикладную задачу алгоритмов функционирования, поиск надежного канала связи, а также подбор оптимальных вычислительных устройств и разработка схемных решений.*

***Ключевые слова:** робототехнический комплекс, алгоритмы функционирования, управление, Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат, робототехника.*

Введение

К настоящему времени в вопросах роботизации сформировались несколько крупных научно-технологических направлений прикладных работ, которые, по объектной области, можно разделить на четыре следующие группы:

1) Воздушная робототехника. В данном направлении рассматривается робототехника аэростатики (системы навигации, наведения и др.), робототехника аэродинамики (системы технического зрения, алгоритмы обработки, детекторы), а также комбинированные направления (каналы радиосвязи и др.).

2) Морская робототехника. В данном направлении рассматриваются надводные робототехнические комплексы (беспилотники на воздушной подушке гражданского и специального назначения), подводные комплексы (робототехнические комплексы морского базирования гражданского и специального назначения), комбинированные робототехнические комплексы (систем энергетики, систем гидроакустической и радиосвязи и др.).

3) Наземная робототехника. В данном направлении рассматриваются гусеничные и колесные робототехнические комплексы, в особенности, их системы управления (автоматические и автоматизированные), бионические и комбинированные робототехнические комплексы (датчики положения, давления, уровня, температуры и другие датчики состояния).

4) Космическая робототехника. В данном направлении рассматриваются манипуляционные робототехнические комплексы (их бортовые вычислительные средства) и планетоходы (электрические, пневматические, гидравлические и другие приводы).

На рис. 1 приведены примеры существующих реализованных проектов по разработке и внедрению робототехнических комплексов различного применения: начиная от роботов-доставщиков (дронов и колесных роботов) и заканчивая планетоходами для космических исследований. Примеры проектов морской робототехники рассмотрим далее в статье.

Исходя из общеизвестных предпосылок разработки робототехнических комплексов (автоматизация процессов, повышение оперативности и работоспособности узлов и др.) представляется очевидным тот факт, что снижение доли участия оператора в функционировании любого робототехнического комплекса является одним из основных желаемых результатов разработок робототехники, поскольку при этом уменьшается влияние человеческого фактора и снижается необходимость наличия жесткого канала взаимосвязи с оператором, предоставляя возможности для создания более технически продвинутых решений.

В данной статье на примере морской подводной робототехники рассмотрим основные проблемы встраиваемости разрабатываемых робототехнических комплексов морского базирования в существующие технологии управления глубоководными морскими объектами.



Рис. 1. Роботы воздушного, наземного и космического базирования различного назначения

Морская подводная робототехника

По устройству и характеристикам морские подводные роботы (аппараты) классифицируются следующим образом:

Автономные (не имеют кабельных связей с другими объектами):

- большие (более 1500 кг);
- тяжелые (250-1500 кг);
- легкие (50-250 кг);
- малогабаритные (11-45 кг);
- глейдеры (морские планеры, которые, как правило, движутся только за счет изменения собственной плавучести).

Неавтономные (привязные, то есть управляемые по кабельным линиям, например, с судна):

- глубоководные научно-исследовательские телеуправляемые;
- противоминные телеуправляемые;
- одноразовые телеуправляемые;
- многократные телеуправляемые.



Рис. 2. Глейдер, фото ЗАО «НПП подводных технологий Океанос»



Рис. 3. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат *Seaeye Falcon*, SAAB

Одним из наиболее ярких примеров морской робототехники по ширине спектра выполняемых задач и областей применений являются автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). На рис. 4-6 представлен внешний вид некоторых АНПА.

Применение АНПА:

- обзорно-поисковые работы: инспекция подводных сооружений и коммуникаций, поиск и обследование затонувших объектов;
- геологоразведочные работы: топографическая, фото- и видеосъемка морского дна, акустическое профилирование, картографирование рельефа;
- подледные работы: обслуживание систем освещения, прокладка кабеля и трубопроводов;
- океанографические исследования;
- экологический мониторинг;
- работы специального назначения: патрулирование, противоминная оборона, разведка.



Рис. 4. АНПА GAVIA



Рис. 5. АНПА ГК Тетрис

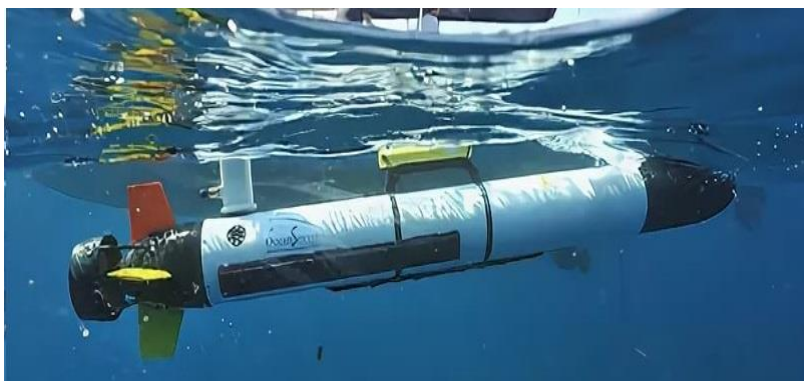


Рис. 6. АНПА IVER2 (Oceanos)

Доведение команд управления до морских роботов

В ходе выполнения задач своего предназначения предполагается, что АНПА могут быть глобально удалены от пункта управления, поэтому целесообразным представляется рассмотрение беспроводных каналов доведения и обмена информацией с АНПА.

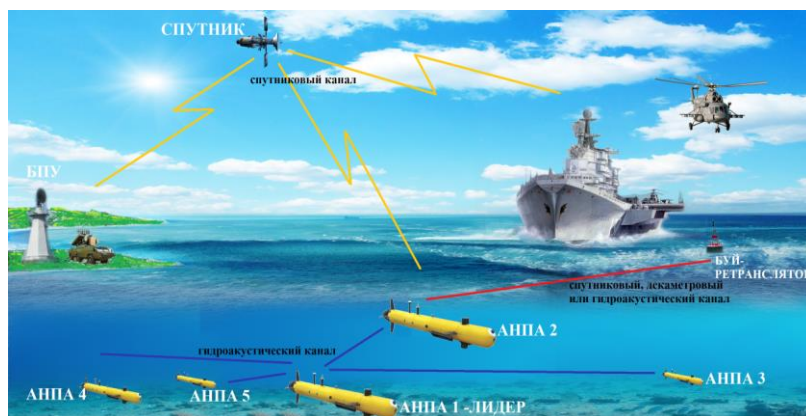


Рис. 7. Вариант взаимодействия АНПА с другими объектами

При нахождении АНПА в подводном положении, наиболее подходящим для организации канала связи (управления) является гидроакустический канал взаимосвязи с пунктами управления (напрямую или через буи-ретрансляторы), как показано ранее в [1].

Дополнительно АНПА оснащаются модулями спутниковой связи, в том числе для уточнения координат нахождения при всплытиях из подводного положения.

Необходимо упомянуть, что при нахождении АНПА в подводном положении (на глубине более 15 метров) радиосвязь в СДВ-диапазоне с ним без выпускного антенного устройства или буя-ретранслятора, не обеспечивается, а также установка аппаратуры СДВ радиосвязи на АНПА проблематична.

В случае организации групповой работы из нескольких АНПА наличие же гидроакустической системы позволяет организовать перспективную систему взаимодействия (рис. 7). Технологии цифровой обработки, уже реализованные в современных модемах гидроакустической связи, обеспечивают функционирование гидроакустического канала в условиях многолучевого распространения и воздействия помех.

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики некоторых модемов гидроакустической связи [2].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики модемов гидроакустической связи

Параметры модема	S2C R 8/16 Германия	S2C R 40/80 Германия	Acoustic Modem Германия	UWM 2000H США	ВСГС Россия («НИИ Гидросвязи «Штиль»)	ГАСС Россия (ДВО РАН)
Дальность действия (км)	10,0	2,5	30	6,0	10,5	8,0
Максимальная скорость передачи данных (кбит/с)	6,9	35,7	0,145	17,8	57,6	4
Частота излучения (кГц)	8 ÷ 16	40 ÷ 80	-	26,77 ÷ ÷44,62	18,75 ÷ 42,75	16 ÷ 20
Вероятность ошибки	-	-	-	10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	-
Вес модема, (кг)	4,2	2,1	-	-	-	-

Ранее в [1] показано, что между АНПА группы, находящимися под водой на значительных расстояниях между собой, информационный обмен принципиально может быть организован гидроакустическими модемами связи путем снижения скорости передачи информации при условии подавления помех от сторонних излучателей и автоматического учета эффекта Доплера. В то же время, предложенное в [1] научно-техническое схемное решение потенциально позволяет увеличить скорость передачи данных, благодаря наличию нескольких каналов. Дополнительным преимуществом данного решения также является возможность унификации средств связи морских подводных роботов, что проявляется особенно актуальным вопросом в стремлении снижения массогабаритных показателей роботов.

Интеллектуальное управление

В общем виде любая система управления робототехническим комплексом основывается на трех ступенях:

- 1) планирование работ и хранение данных;
- 2) управление механизмами (приведение в действие);
- 3) исполнение и контроль сенсоров (с обратной связью в адрес системы управления комплекса).

В связи с этим, пункты данных ступеней составляют минимально необходимый спектр задач, которые необходимо решать системе управления или робототехническому комплексу самостоятельно (имея интеллектуальное управление) для выполнения миссий. Приводимые в работах [1-6] и ранее в данной статье научно-технические решения в части организации подводного канала связи, обеспечения алгоритмов функционирования и обработки внешних данных показывают, что организация системы управления робототехническим комплексом является сложной нетривиальной проблемой. Решение данной проблемы диктует наличие высоких показателей характеристик применяемой вычислительной техники и наличие надежного канала связи «пункт управления – робот» с высокой пропускной способностью. Однако, обращаясь к частному случаю морских роботов, как было рассмотрено [1], гидроакустический канал связи является достаточно сложной структурой с большим набором существующих в нём помех и энергетических ограничений, особенно проявляющейся при больших протяженностях трасс (более 30 км). По этой причине переход к современному интеллектуальному управлению роботом представляется наиболее перспективным подходом.

Вариант интеллектуального управления роботом (рис. 8) подразумевает одну головную задачу взаимодействия оператора с роботом – это оценка ситуации. При должной степени

проработки этот обмен существенно сокращает циркулирующий трафик и, следовательно, выставляет более низкие требования к каналу связи.

Со стороны робота предоставление данных оператору управления для этой оценки ситуации включает в себя самостоятельное решение трех основных задач:

- планирование порядка и способов исполнения текущих заданий техническим оснащением робота;
- обработка данных сенсоров от внешней среды, в том числе выявление внештатных ситуаций;
- хранение данных о ходе выполнения работ (данных от сенсоров, датчиков), а также сохранение априорной информации, вводимой до начала работ.

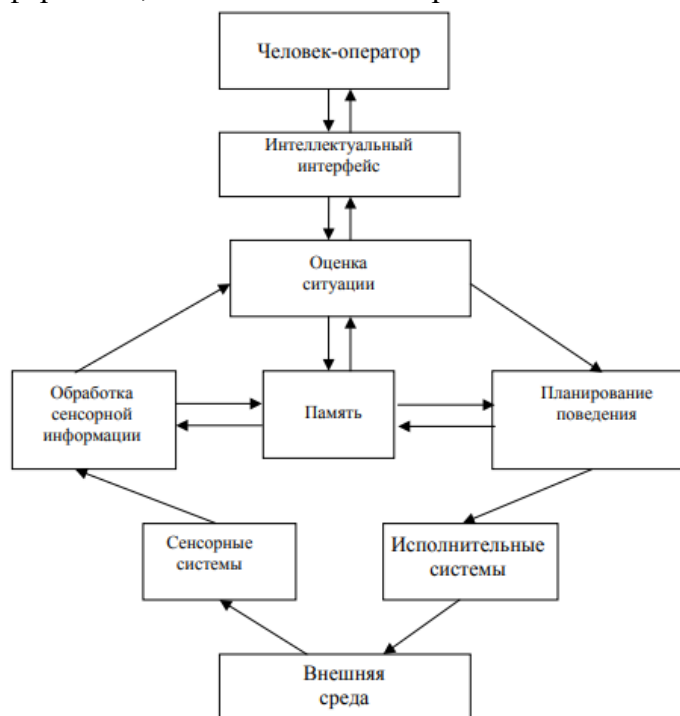


Рис. 8. Интеллектуальное управление робототехническим комплексом [3]

Дополнительно, как упоминалось в работе [1] и ранее в этой статье, возможна реализация распределенной вычислительной сети из нескольких подводных роботов, которая, при должном уровне составления групповых алгоритмов функционирования, может:

- решать и учитывать больше данных внешней среды, чем один робот;
- повышать скорость и точность выполнения миссий;
- увеличивать дальность глобального удаления роботов от базового пункта (человека-оператора) за счет построения цепочек из нескольких морских роботов, имеющих между собой каналы взаимосвязи (рис. 9).

Также, в соответствии с новыми тенденциями прикладных решений с помощью современной вычислительной техники, на основе интеллектуального управления возможно построение высокоэффективных групп робототехнических комплексов, функционирующих на основе нейросетевых подходов [7-10].

Выводы

Ключевой проблемой в успешном функционировании любого робототехнического комплекса является обеспечение высоких показателей автономности его работы при выполнении задач предназначения. Под автономностью, в общем случае, подразумеваем способность робототехнического комплекса выполнять функциональные задачи с полным отсутствием или минимальным участием оператора. Причины необходимости частого

вмешательства (участия) оператора при функционировании робототехнических комплексов различного предназначения в каждом конкретном случае частные.

В части морской робототехники для повышения автономности управления роботами необходимо решать следующие научно-технические задачи:

- 1) внедрение составных и разнородных каналов связи для эффективности управления робототехническими комплексами, глобально удаленных от оператора;
- 2) организация гидроакустического канала связи между глубоководными робототехническими комплексами морского базирования;
- 3) реализация элементов искусственного интеллекта для обеспечения управления.

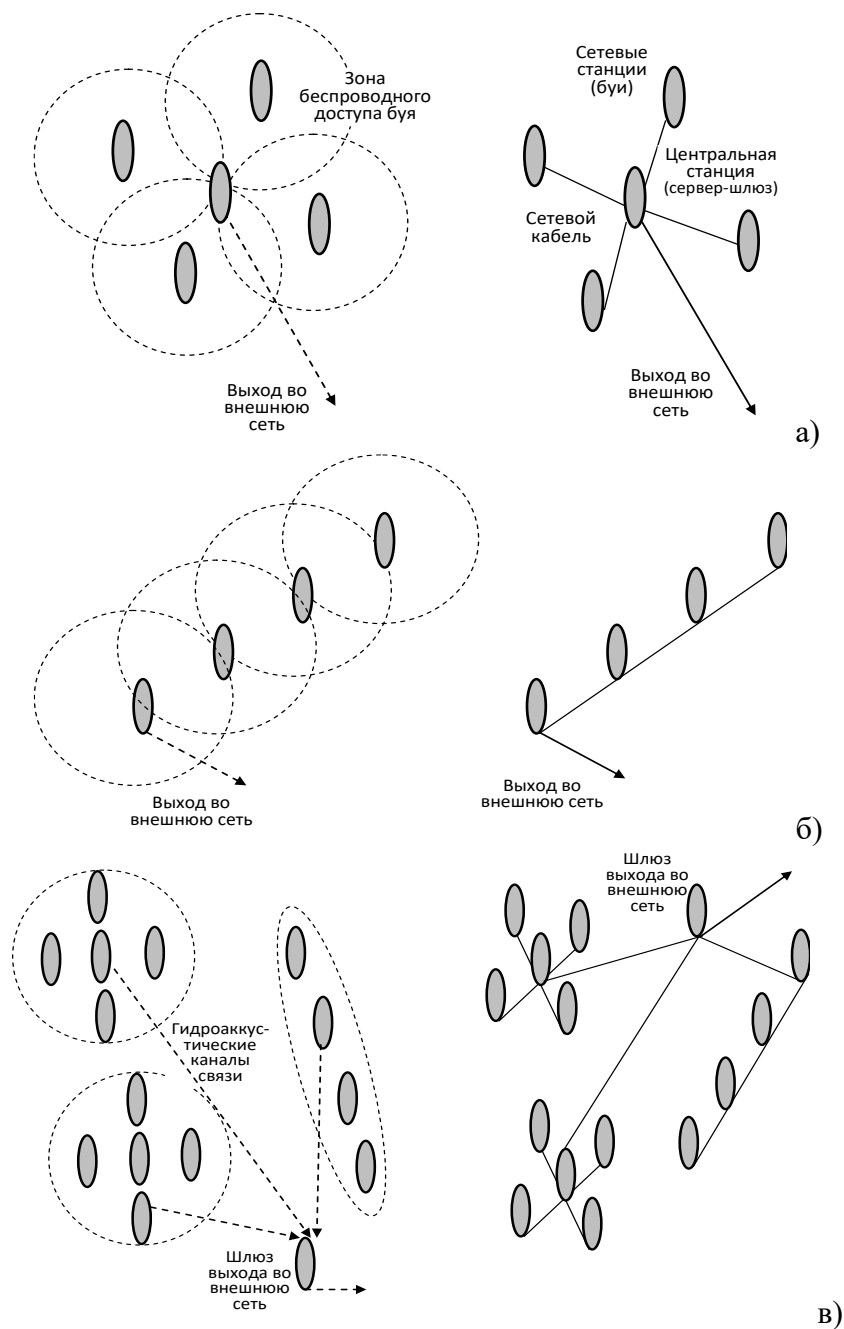


Рис. 9. Различные варианты топологий размещения морских роботов: а) централизованная топология сети; б) многопролетная топология сети; в) распределенная топология сети

При общем рассмотрении можно выделить следующие важные вопросы, которые обязательны к проработке для проектов разработки робототехнических комплексов:

- 1) наличие надежного канала связи между роботом и оператором (контроль хода миссии, оперативное оповещение оператора);
- 2) наличие эффективных алгоритмов функционирования роботов (неэффективные алгоритмы с большей вероятностью могут привести робота к нештатной ситуации);
- 3) наличие вычислительных устройств подходящих габаритов и характеристик для обработки данных в процессе функционирования роботов.

Литература

1. Рызжкова Д.Н. Обеспечение информационного обмена между глубоководными автономными необитаемыми подводными аппаратами в группе: выпускная квалификационная работа магистра. // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2018. 67 с.
2. Будко П.А., Жуков Г.А., Кулешов И.А., Николашин Ю.Л. // Робототехника и техническая кибернетика. 2017. № 4 (17). С. 28-40.
3. Юревич Е.И. Основы робототехники. 4-е издание. СПб: БХВ-Петербург, 2018. 304 с.
4. Автономные подводные роботы. Системы и технологии // Под ред. Агеева М.Д. Наука, 2005. 398 с.
5. Шибков А.Н. Подводная связь и навигация с использованием электромагнитного поля. Дисс. д.т.н. Владивосток: ДВГУ. 2006. 284 с.
6. Стопцов Н.А., Бойцов В.И., Шелемин В.Н. Связь под водой. – Л.: Судостроение, 1990. 248 с.
7. Радченко А.Н. Ассоциативная память. Нейронные сети. Оптимизация нейропроцессоров. Санкт-Петербург. Наука, 1998.
8. Инзарцев А.В., Павин А.М., Багницкий А.В. Планирование и осуществление действий обследовательского подводного робота на базе поведенческих методов // Подводные исследования и робототехника. 2013. №1 (15). С. 4-16.
9. Пшиханов В.Х., Чернухин Ю.В., Федотов А.А. и др. Разработка интеллектуальной системы управления автономного подводного аппарата // Известия южного федерального университета. Технические науки. 2014. Вып. 3 (152). С. 87-101.
10. Белоусов И. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США // Зарубежное военное обозрение. 2013. №5. С. 79-88.

References

1. Ryzhkova D.N. Provision of information exchange between deep-submerged autonomous uninhabited underwater vehicles in the group: Master's final qualifying work. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2018. 67 s. (in Russian).
2. Budko P.A., Zhukov G.A., Kuleshov I.A., Nikolashin Y.L. Methods and control channels of marine-based robotic complexes in a heterogeneous environment. Robotics and technical cybernetics. No. 4 (17). St. Petersburg: Central Research Institute of RTK. 2017. Pp. 28-40 (in Russian).
3. Yurevich E.I. Fundamentals of robotics. 4th edition. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2018. 304 s. (in Russian).
4. Autonomous underwater robots. Systems and technologies. Edited by Ageev M.D. Nauka, 2005. 398 s. (in Russian).
5. Shibkov A.N. Underwater communication and navigation using an electromagnetic field. Diss. Doctor of Technical Sciences. Vladivostok: DVSU. 2006. 284 s. (in Russian).
6. Stoptsov N.A., Boytsov V.I., Shelemin V.N. Communication under water. L.: Shipbuilding, 1990. 248 s. (in Russian).
7. Radchenko A.N. Associative memory. Neural networks. Optimization of neuroprocessors. Saint-Petersburg. Science, 1998 (in Russian).
8. Inzartsev A.V., Pavin A.M., Bagnitsky A.V. Planning and implementation of actions of a survey underwater robot based on behavioral methods. Underwater research and robotics. 2013. No.1 (15). Pp. 4-16 (in Russian).

9. Pshikhanov V.Kh., Chernukhin Yu.V., Fedotov A.A., etc. Development of an intelligent control system for an autonomous underwater vehicle. Proceedings of the Southern Federal University. Technical sciences. 2014. Issue 3 (152). Pp. 87-101 (in Russian).

10. Belousov I. Modern and promising uninhabited underwater vehicles of the US Navy. Foreign Military Review. 2013. No. 5. Pp. 79-88 (in Russian).

Статья поступила 14 декабря 2021 г.

Информация об авторах

Рыжкова Дарья Николаевна – Инженер ПАО «Интелтех». Тлф.: +7(812)313-10-34.
E-mail: d.n.ryzhkova@inbox.ru.

Николашин Денис Юрьевич – Независимый специалист. Тлф. +7(812)295-50-69.
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Scientific and technical problems of the implementation of developed robotic complexes in existing technologies for control of deep sea objects

D.N. Ryzhkova, D.Y. Nikolashin

Annotation. *The article deals with the design, implementation and operation of robotic systems. On the example of sea-based robotic systems (autonomous uninhabited underwater vehicles), it has been established that the autonomy of operation is the main indicator of the effectiveness of its operation in fulfilling its intended tasks. In this regard, the main goal in its design is the implementation of the most efficient and application-oriented operation algorithms, the search for a reliable communication channel, as well as the selection of optimal computing devices and the development of circuit solutions.*

Keywords: *robotic complex, functioning algorithms, control, robotics.*

Information about Authors

Ryzhkova Daria Nikolaevna – Engineer of PJSC "Inteltech". Tel.: +7(812)313-10-34.
E-mail: d.n.ryzhkova@inbox.ru.

Nicolashin Denis Yurievich – Independent specialist. Tel. +7(812)295-50-69.
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Для цитирования: Рыжкова Д.Н., Николашин Д.Ю. Научно-технические проблемы внедрения разрабатываемых робототехнических комплексов в существующие технологии управления глубоководными морскими объектами // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 70-78

For citation: Ryzhkova D.N., Nicolashin D.Y. Scientific and technical problems of the implementation of developed robotic complexes in existing technologies for control of deep sea objects // Means of communication equipment. 2021. No 4 (156). Pp. 70-78 (in Russian).

УДК 621.61; 623.61

Повышение эффективности приёма сигналов амплитудной телеграфии в декаметровом канале связи

Калякин А.Г.

Аннотация: в статье рассматривается один из технологических моментов будущей модели автоматического приёма сигнала амплитудной телеграфии в декаметровом радиоканале – фильтрацию в электронной вычислительной машине сигнала, полученного в виде квадратур из цифрового двухканального радиоприёмного устройства. Приведена схема для получения экспериментальных данных для обработки. Рассмотрен основной подход к вопросу фильтрации с выбором её инструмента и расчётом его параметров при известных параметрах сигнала. Представлен результат моделирования в пакете Matlab, подтверждающий успешное проведение фильтрации.

Ключевые слова: декаметровая радиосвязь, амплитудная телеграфия, квадратуры сигнала, дискретное преобразование Фурье, цифровое радиоприёмное устройство, фильтрация, отношение сигнал-шум.

Введение

В настоящее время отечественной промышленностью разработаны радиоприёмные устройства (РПУ) на SDR-технологии, предназначенные для работы в составе стационарных и подвижных автоматизированных комплексов связи морской подвижной службы, а также для автономного использования. На сегодня достаточно широко применяется двухканальное РПУ технологии программно-управляемого радио (SDR) ЦРПУ-2ДСК с диапазоном рабочих частот каждого из каналов 0.1-80 МГц. Имеются основания полагать, что данное РПУ станет в дальнейшем основным при построении автоматизированных комплексов связи [1].

Радиоканалы декаметрового (ДКМ) 3...30 МГц диапазона можно считать основными для организации дальней связи береговых пунктов управления с надводными кораблями (НК) и подводными лодками (ПЛ) в море, а также между НК и ПЛ, расстояние между которыми превышает дальность прямой УКВ-радиосвязи [2]. Сообщение, передаваемое в этом диапазоне, подвержено искажениям в виде помех, вследствие собственного шума приёмного оборудования, многочисленных радиостанций со всего мира и промышленных установок, особенностей прохождения и отражения радиоволн в слоях ионосферы в разное время суток, года и при разной геомагнитной обстановке, а также преднамеренных заградительных и прицельных радиопомех. Изделие ЦРПУ-2ДСК в достаточной мере обеспечивает фильтрацию помех вне полосы пропускания, однако это, разумеется, не может помешать воздействию помех в самой полосе пропускания.

Описание механизма получения отсчётов сигнала в квадратурном виде

В ходе эксперимента была проведена имитация приёма-передающего тракта ДКМ диапазона, рис. 1.

Источником сигнала в коде Морзе выступает ЭВМ на базе шины ISA, через преобразователь уровня сигнала на базе субблока УМ-767 производства ПАО «Интелтех» сигнал передаётся в радиопередающее устройство (РПДУ) «Волна-С» со штырьевой антенной. Далее сигнал в режиме А1А-50 с символьной скоростью 60 зн/мин (10 бит/с) и полосой передачи 50 Гц излучается в эфир на частоте в 12,011 кГц. Принимается сигнал на штырьевую антенну и ослабляется аттенюатором на значение от 0 до 40Дб. Затем сигнал по экранированному кабелю передаётся на панорамное РПУ и приёмник ЦРПУ-2ДСК. Для приёма сигнала в коде Морзе в режиме амплитудной телеграфии в ЦРПУ-2ДСК

используется режим А1А – режим амплитудной телеграфии без модуляции периодическими колебаниями с полосами 300 и 1200 Гц.

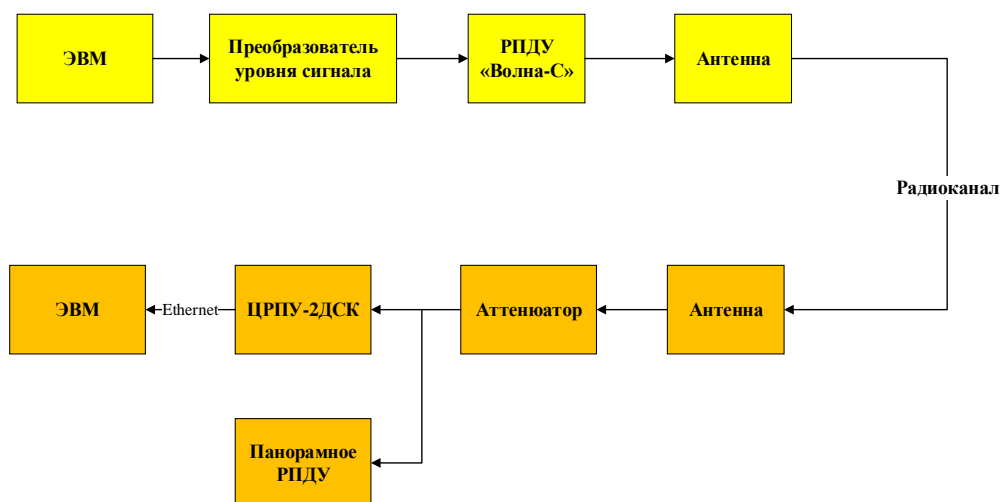


Рис. 1. Схема лабораторной установки для получения записи сигнала в квадратурном виде

Приёмник включен в режиме А1А-300 и производит квадратурную демодуляцию, в квадратурном виде с частотой дискретизации 3,125 кГц сигнал до проведения детектирования в самом РПУ передаётся в ЭВМ, где для дальнейшей обработки сигнала установлен пакет прикладных программ *Matlab* (студенческая версия).

Таким образом, за счёт ослабления принимаемого сигнала и постоянного собственного теплового шума РПУ имитируется влияние белого шума на передачу сообщения в декаметровом диапазоне. Следует заметить, что ЦРПУ-2ДСК имеет и собственный детектор, однако в ходе эксплуатации изделия было принято решение для вторичной обработки сообщения получать сигнал до детектора и его дополнительного цифрового фильтра. Представляется оправданным отойти от привычного подхода «ЦОС и детектирование в РПУ – вторичная обработка в ЭВМ» и проводить дополнительную фильтрацию и детектирование сигнала самостоятельно средствами ЭВМ.

Анализ полученных данных

Принятый сигнал представлен на рис. 2 в виде трёхмерной фигуры, полученной средствами *Matlab*. Частота сигнала приведена в виде N частотных составляющих спектра.

У принятого сигнала приблизительное соотношение амплитуд сигнала и шума определено как 3,3:1, соответственно, соотношение мощностей SNR

$$\frac{P_s}{P_n} = 10.9 : 1 \text{ или } 10 * \lg\left(\frac{P_s}{P_n}\right) = 10 \text{ Дб.} \tag{1}$$

Пропускная способность канала или предел Шеннона определяется выражением [3]

$$C = \Delta f \times \log_2\left(1 + \frac{P_s}{P_n}\right) \text{ натур. ед./сек,} \tag{2}$$

где Δf – ширина полосы пропускания канала, в режиме А1А-300 равняется 300 Гц.

Подставив исходные данные, получим, что максимальная пропускная способность такого канала составляет 1106 бит/с, следовательно, такого качества сигнала должно быть достаточно для передачи информации с заданной скоростью. Однако из осциллограммы

сигнала на рис. 3 видно, что прямое использование детектора с большой долей вероятности даст практически полный отказ от приёма исходного сообщения.

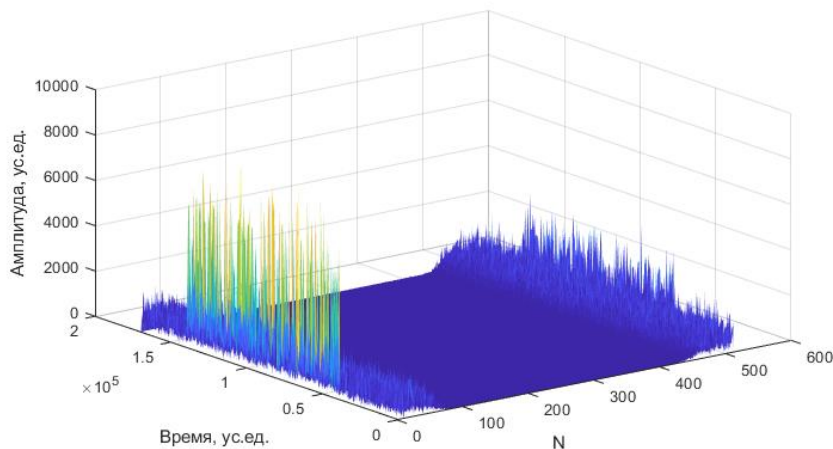


Рис. 2. Принятый сигнал в виде трёхмерной фигуры с осями «частота-время-амплитуда»

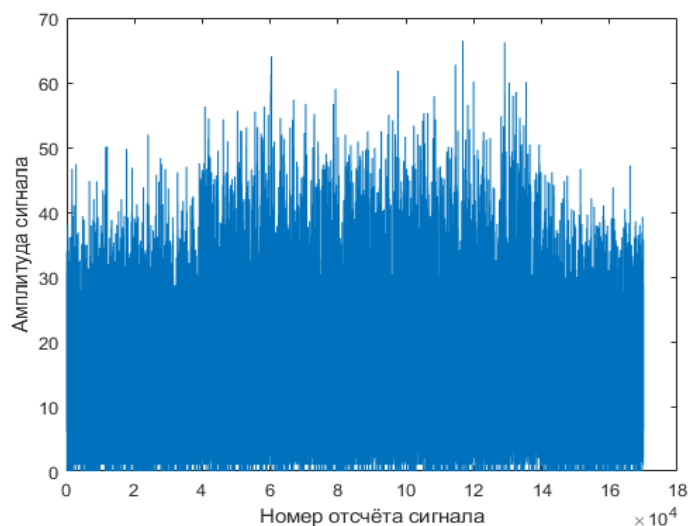


Рис. 3. Сигнал во временной области до проведения фильтрации

В ЦРПУ-2ДСК после формирования квадратур сигнал последовательно проходит три этапа предварительной фильтрации с полосами 3090, 700 и 300 соответственно, из этих данных и данных из графика 2 делается вывод, что шум, наблюдаемый на осциллограмме сигнала, находится в полосе пропускания последнего по порядку фильтра. Для дополнительной фильтрации используем такой универсальный инструмент цифровой обработки сигналов, как дискретное преобразование Фурье (ДПФ): [4]

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n * e^{-j*2\pi kn/N}, \tag{3}$$

где x_n – отсчёт входного сигнала во временной области, x_k – отсчёт выходного сигнала в частотной области, N – количество частотных компонент разложения сигнала.

Для применения преобразования следует выбрать оптимальное значение N . Здесь его выбор можно сделать, исходя из предполагаемого алгоритма использования преобразования. Смысл использования ДПФ состоит в том, чтобы в исследуемом сигнале избавиться от частотных компонент, лежащих вне полосы передаваемого сигнала. В этом случае логичным решением выглядит приравнивание этих компонент к нулю и проведение обратного ДПФ для перехода во временное представление сигнала. Однако существует возможность

перехода во временное представление без обратного преобразования, что позволяет уменьшить требуемые для вычисления мощности и упростить алгоритм. В общем смысле разложение в ряд Фурье

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (4)$$

представляет собой выражение периодического интегрируемого на сегменте $[-\pi, \pi]$ сигнала в виде суммы сигналов синусоидальной формы [5]. Математическая модель сигнала в ДКМ канале имеет вид:

$$u_c(t) = U_c \cos(\omega_c t - \theta_c) + \sum_{k=1}^n U_k \cos(\omega_k t - \theta_k), \quad (5)$$

где U_c , ω_c , θ_c – амплитуда, частота и фаза составляющей сигнала с постоянными параметрами (искомый сигнал, содержащий в себе передаваемое сообщение); U_k , ω_k , θ_k – составляющих сигнала со случайными параметрами [6].

Искомый сигнал представляет собой синусоидальное колебание, которое в случае разложения в ряд Фурье представляется в виде одной или нескольких частотных составляющих $a_n \cos nx$ в сумме с другими сигналами. Разложив в ряд Фурье или, если точнее, применив ДПФ к некоему отрезку исходного сигнала и выбрав из него исключительно коэффициент a_n искомой частотной составляющей, мы получим отношение амплитуды информационного сигнала к коэффициенту k

$$U_c = \frac{a_n}{k}, \quad (6)$$

где k постоянна при каждом новом ДПФ и зависит от N . В данной статье не производится вычисление k , однако оно, без сомнения, важно для дальнейшего определения порога и недопущения переполнения области памяти в вычислительном устройстве и заслуживает рассмотрения в отдельной статье.

Исходя из вышеизложенного, количество частотных компонент N определяется при помощи предела Шеннона. Согласно его теореме, если производительность источника сообщений $H'(x) < C$, то сообщение дискретного источника может быть закодировано и затем восстановлено с вероятностью ошибки, сколь угодно близкой к нулю [4]. $H'(x)$ в нашем случае фиксированная и составляет 10 бит/с. Мы можем уменьшать полосу сигнала вышеописанным способом до достижения предела:

$$H'(x) < \Delta f * \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right) . \quad (7)$$

Подставив в выражение исходные данные, мы получим

$$\Delta f > 2.8 \text{ Гц.}$$

Частота дискретизации сигнала составляет $F_c = 3.125$ кГц, поэтому номинальное число частотных компонент

$$\frac{F_c}{\Delta f} = 1116 .$$

Ближайшей целой степенью двойки, не превышающей данное число, является 1024. Однако было выбрано окончательное значение $N = 512$ ввиду того, что среднеквадратичное значение паразитного отклонения частоты (ПОЧ) выходного колебания РПДУ может доходить до 3 Гц. В дальнейшем, в отдельной статье целесообразно рассмотреть способы борьбы с частотной отстройкой, вызванной ПОЧ РПДУ и РПУ и свойствами радиоканала.

Также необходимо выбрать число входных отсчётов сигнала n , к которым применяется преобразование. В обычном варианте $n = N$, однако, в этом случае потребуется

взять 512 отсчётов, что при текущем значении F_c несут информацию о 0.16 сек. сигнала. В предложенном алгоритме этот отрезок времени, который превышает длину одного бита информации при известной скорости, вырождается в один отсчёт частотной составляющей, что, в дальнейшем, не оставляет возможности для восстановления исходного сообщения. В таких случаях допустимо приводить в массиве входных данных отрезок сигнала с меньшим количеством отсчётов, а оставшееся место заполнить нулевыми значениями. С другой стороны, уменьшение числа отсчётов входного сигнала при неизменном N уменьшает отношение SNR , т.к. согласно выражению (3), каждая частотная составляющая спектра представляет собой сумму произведений отсчётов входного сигнала x_n на экспоненциальное выражение $e^{-j*2\pi kn/N}$, и увеличение в массиве входного сигнала нулевых значений приводит к тому, что результат выражения (3) стремится к нулю. Следовательно, уменьшается разница между амплитудами сигнала и шума, $\frac{U_s}{U_n}$ стремится к 1.

Также необходимо учесть, что для предотвращения нелинейных искажений БПФ следует использовать со смещением, когда в каждом новом входном массиве должны присутствовать отсчёты предыдущего массива.

Результат применения преобразования Фурье к отсчётам сигнала

Исходя из вышеперечисленных соображений, в итоговом варианте количество входных отсчётов было выбрано равным 150 при $N = 512$, БПФ применялось со сдвигом на 10% - 15 отсчётов. После каждого вычисления из полученного массива выбиралось значение частотной компоненты, соответствующей передаваемому сигналу, и помещалось во вновь создаваемый временной массив как амплитуда искомого синусоидального колебания. После данной процедуры сигнал был смещён на постоянное значение для упрощения дальнейшего детектирования. Результат приведён на рис. 4.

Очевидно, что из записи принятого сигнала были удалены шумы, лежащие в полосе РПУ, но не в полосе передаваемого сигнала. Если применить пороговый детектор со значением порога в $TR_S = 839$ ус. ед., то фрагмент сигнала примет вид, показанный на рис. 5. (выходное значение было увеличено в 10 раз для масштабирования).

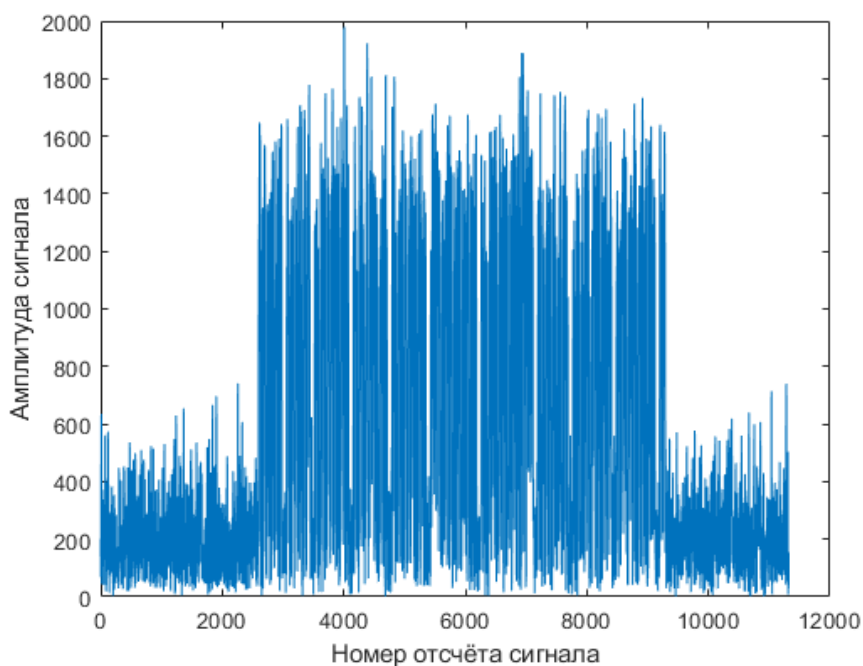


Рис. 4. Результат фильтрации после перехода во временную область

Можно без труда различить на данной записи отрывок сообщения в коде Морзе: «СИГНАЛ 4321». Этот текст полностью соответствует отрывку исходного сообщения.

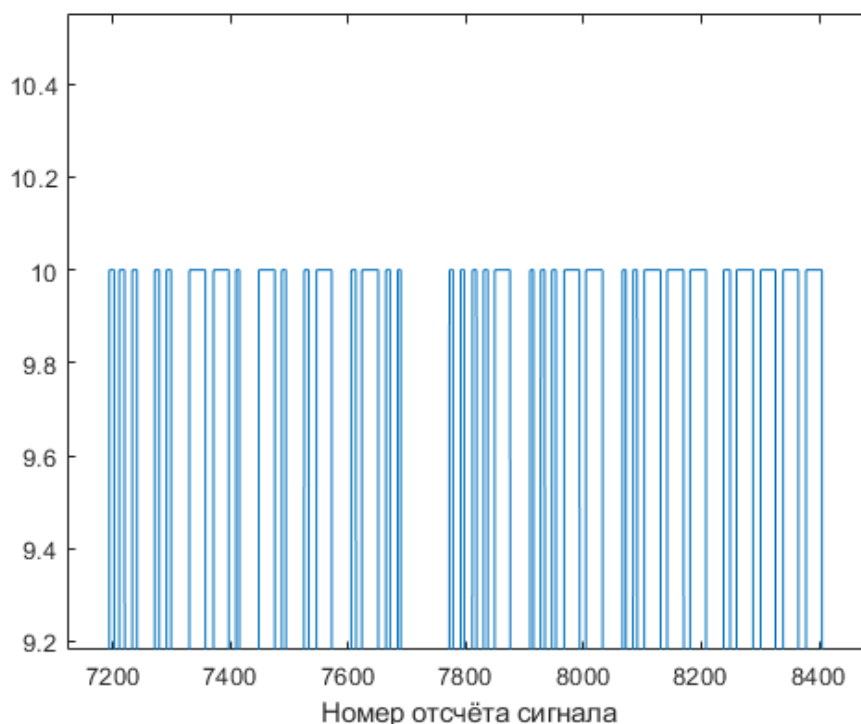


Рис. 5. Результат детектирования сигнала с применением порога

Вывод

Переход от вторичной обработки сигнала, прошедшего через пороговое устройство производителя РПУ, к самостоятельной обработке квадратур позволяет гибко настраивать приёмный комплекс, исходя из известных параметров сигнала, которые производителю РПУ известны быть не могут. Разумеется, в автоматизированном приёмном комплексе пороговое значение и точная скорость передачи должны вычисляться без участия оператора, и алгоритмы их вычисления заслуживают рассмотрения в отдельной статье. Также важным направлением исследований следует полагать поиск сигнала в частотной области для борьбы с частотной отстройкой и вычисление коэффициента k . После успешного решения этих задач будет возможно смоделировать автоматический приём сигнала в коде Морзе и сравнить с вариантом приёма с использованием порогового детектора РПУ.

Литература

1. Кулешов И.А., Солозобов С.А., Шевченко В.В. Проблемы радиосвязи в Арктике // Техника средств связи. 2018. № 3. С. 21-30.
2. Автоматизация управления и связь в ВМФ. Под общ. ред. Ю.М. Кононова. – СПб.: «Элмор», 2001. – 512 с.
3. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Сов. радио. 1970. 728 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов – СПб.: Питер, 2003. 604 с.
5. Романовский П.И. Ряды Фурье. Теория поля. Аналитические и специальные функции. Преобразование Лапласа. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. 336 с.
6. Головин О.В. Декаметровая радиосвязь. – М.: Радио и связь, 1990. 240 с.

References

1. Kuleshov I.A., Solozobov S.A., Shevchenko V.V. Problems of radio communication in the Arctic. Communication equipment. 2018. No 3. Pp. 21-30.
2. Automation of control and communication in the Navy. Under the general. Ed. Yu.M. Kononov. St. Petersburg: Elmore, 2001. 512 p.
3. Fink L.M. Discrete Message Transfer Theory. Moscow: "Soviet Radio." 1970. 728 p.
4. Sergienko A.B. Digital signal processing. St. Petersburg: Peter. 2003. 604 p.
5. Romanovsky P.I. Rows of Fourier. Field theory. Analytical and special functions. Laplace Transform. Moscow. Main edition of the physical and mathematical literature of the publication "Science". 1973. 336 p.
6. Golovin O.V. Decameter radio communication. Moscow. Radio and communications. 1990. 240 p.

Статья поступила 24 декабря 2021 г.

Информация об авторах

Калякин Артем Геннадьевич – Инженер ПАО «Интелтех». Тел. +7 (812) 448-96-23.
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Increase of efficiency of amplitude telegraphy signals reception in decameter communication channel

A.G. Kalyakin

Annotation: *the article considers one of the technological aspects of the future model of automatic reception of the AT signal in a decameter radio channel – filtering in an electronic computer of a signal obtained in the form of quadratures from a digital two-channel radio receiving device. A scheme is given for obtaining experimental data for processing, the main approach to the issue of filtration, the choice of its tool and the calculation of its parameters with known signal parameters. The simulation result is presented in the Matlab package, confirming the successful filtering.*

Keywords: *decameter radio communication, amplitude telegraphy, signal quadratures, discrete Fourier transform, digital radio receiver, filtering, signal-to-noise ratio.*

Information about Authors

Artem Gennadievich Kalyakin – Engineer of PJSC «Inteltech». Tel. +7 (812) 448-96-23.
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Для цитирования: Калякин А.Г. Повышение эффективности приёма сигналов амплитудной телеграфии в декаметровом канале связи // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 79-85.

For citation: Kalyakin A.G. Increase of efficiency of amplitude telegraphy signals reception in decameter communication channel. Means of communication equipment. 2021. No 4 (156). Pp. 79-85 (in Russian).

По материалам конференции молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех», посв. 60-летию первого полета человека в Космос (г. Санкт – Петербург, 24 ноября 2021 года)

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Требования к предоставляемым материалам

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

1. Файл со статьей.
2. Файлы с рисунками (по отдельному запросу редакции). Предпочтительными вариантами являются векторные рисунки, выполненные в формате Visio (**vsd**) или в форматах метафайлов Windows (**wmf** или **emf**). В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки представляются в растровых форматах **png** или **jpg**.
3. Сканированную копию экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию (в файле формата jpg, 300 dpi, в цвете).
4. Файл, содержащий сведения об авторском коллективе с указанием автора, который будет взаимодействовать с редакцией, с указанием его контактов.
5. 2 рецензии на статью.

Требования к оформлению статей, представляемых в редакцию:

1. Статья представляется в формате Word с расширением **doc** или **docx**.
2. Рекомендуемый объем статьи – **до 10 страниц**. Публикацию статей большего объема необходимо согласовать с редакцией в отдельном порядке, с пояснением причины, по которым увеличен рекомендуемый объем.
3. Размер страницы – А4. Все поля (верхнее, нижнее, правое и левое) по 2 см.
4. Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman, размер 12 pt, межстрочный интервал – 1.0, абзацный отступ 1,25 см, без отступов между абзацами. В основном тексте допускается курсив. Латинские буквы для обозначений набираются курсивом, греческие, русские буквы и цифровые индексы – прямым шрифтом.
5. В начале статьи индекс УДК, выровнен по левому краю. После УДК – пропуск строки.
6. Все аббревиатуры по тексту должны быть расшифрованы при первом использовании. Не использовать принудительный перенос строки (Shift+Enter), расстановку автоматических и ручных переносов.
7. Название статьи выполняется полужирным шрифтом и выравнивается по центру страницы без абзацного отступа. Название должно быть кратким (не более 10 слов) и точно отражать суть научной статьи. Не рекомендуется использовать в названии сокращения, кроме общепринятых в предметной области, аббревиатуру и формулы. Название предоставляется в редакцию на русском и английском языках. Точка после заглавия не ставится. После названия статьи следует пропуск строки.
8. Инициалы и Фамилии авторов указываются через запятую в соответствии с личным вкладом при написании статьи, выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. После фамилий авторов следует пропуск строки.
9. Аннотация выполняется на русском и английском языках, размер шрифта 11 pt, курсив, абзацный отступ 1,25 см. Заголовки элементов аннотации выделяются жирным шрифтом. За аннотацией следует пропуск строки.
10. Ключевые слова оформляются так же, как и аннотация, и должны содержать основные понятия и термины, употребляемые в статье. Ключевые слова формулируются так, чтобы при семантическом поиске по ним можно было найти данную статью заинтересованным ученым. После абзаца с ключевыми словами – пропуск строки.

11. Для структуризации статьи рекомендуется основной текст разделить по частям с условными подзаголовками «Введение», «Постановка задачи», «Результаты моделирования» и пр., «Выводы», выполняемые полужирным шрифтом с выравниванием по центру без абзацного отступа. Перед подзаголовками пропуск строки.

12. Таблицы должны занимать всю ширину текстового поля. В случае малого размера таблиц, допускаются таблицы шириной меньшей, чем ширина текстового поля. Таблицы выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Текст внутри таблиц выполняется шрифтом от 10pt до 12pt, в зависимости от степени информационной загрузки. Таблицы нумеруются по порядку упоминания, а их названия оформляются в виде «Таблица 1 – Название таблицы» и выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Если таблица выполняется на нескольких страницах, необходимо выставлять признак заголовка для первой строки с наименованиями столбцов, либо дублировать первую строку с наименованиями на следующей странице. По тексту статьи таблица обозначается, например, как табл. 1.

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

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

15. Список используемых источников оформляется следующим образом – «Литература», который выполняется полужирным шрифтом, по центру страницы без абзацного отступа. Нумерация ссылок определяется порядком их упоминания в статье. **Список литературы:** от 15 до 40 наименований, из них самоцитирований должно быть не более 20%. В числе источников **желательно** не менее 50% иностранных (для статей на английском языке – 15% российских). Состав источников должен быть актуальным (**не старше 5 лет**). Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. **В списках литературы не размещать:** ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты, справочники, энциклопедии, электронные ресурсы без указания автора, законы, и другую нормативную и непериодическую документацию. Эти данные можно

указывать в теле статьи в скобках или как постраничные сноски. Список литературы оформляется по ГОСТ 7.05-2008. Если описываемая публикация имеет цифровой идентификатор объекта DOI, его обязательно надо указывать в конце описания ссылки единой записью без пробелов, например: doi:10.1134/S1023193508080077. Допустимы ссылки только на публикации из **открытых источников**: Elibrary, CyberLeninka, сайты издательств.

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

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

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

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

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

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

Рекомендации по написанию аннотации:

Аннотация должна быть: информативной (не иметь общих слов); содержательной (отражать основное содержание статьи); структурированной (следовать логике изложения материала); компактной (**объемом 200-300 слов**).

В аннотации следует избегать сложных грамматических конструкций и лишних фраз (например, «автор рассматривает...», «автор полагает...» и т. д.). Следует применять конструкции констатирующего и обезличенного характера (доказано, проанализировано, изложено...) и оценочные стандартные словосочетания (уделено основное внимание, актуальный вопрос, важная проблема...). Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи.

Аннотация должна включать в себя:

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

В аннотации следует использовать конструкции констатирующего характера, имеющие обезличенный характер (проанализировано, доказано, изложено и т.д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделено основное внимание, актуальный вопрос, важная проблема, и т.п.).

В аннотацию не следует включать иллюстрации, а также следует избегать формул, аббревиатур, специальных знаков, сокращений, условных обозначений и ссылок на номер публикации в списке литературы к статье и т.п.

Рекомендуется в тексте аннотации выделять Введение (Цели исследования, Постановка проблемы и т. п.), Результаты, Заключение (Новизна, Выводы, Практическая значимость). Большую часть аннотации должен составлять подраздел Результаты, в котором не следует использовать общие слова: «Проведены исследования...», «Разработана методика...», «Разработан модифицированный алгоритм...» и т. д., нужно описать суть исследования, методики, алгоритма.

Текст аннотации должен быть лаконичным и четким, свободным от второстепенной информации, лишних вводных слов (например, «автор статьи рассматривает...», «в этой статье...»), общих и незначащих формулировок. Не использовать будущее и настоящее время, в аннотации описывается уже сделанная научная работа.

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

Пример:

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

Проверка на плагиат:

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

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

Образец оформления литературы на русском и английском языках

Книга:

Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н., Колесников Ал. А., Топчиев Б.В., Мушенко А.С., Кобзев В.А. Синергетические методы управления сложными системами: механические и электромеханические системы. М.: ЛИБРОКОМ, 2019. 300 с.

Kolesnikov A.A., Veselov G.E., Popov A.N., Kolesnikov Al. A., Topchiev B.V., Mushenko A.S., Kobzev V.A. *Siner-geticheskie metody upravlenija slozhnymi sistemami: mehanicheskie i jelektromehaniicheskie sistemy* [Syner-getic methods of control of complex systems: mechanical and Electromechanical systems]. Moscow: LIBRO-KOM, 2019. 300 p. (in Rus).

Статья:

Межуев А.М., Савельев М.А. Алгоритм двухпараметрического адаптивного управления структурой ра-диосети декаметровой радиосвязи // Радиотехника. 2014. № 1. С. 9-14.

Mezhuev A.M., Saveliev M.A. Algorithm of a two-parameter adap-tive technique by structure of a radio network of a decameter radio communication. *Radiotechnika* [Radio engineering]. 2014. No. 1. Pp. 9-14 (in Rus).

Конференция:

Вершенник А.В., Федоров В. Г., Попова А.В. Способ защиты информационных потоков в многоопера-торных информационно-телекоммуникационных сетях // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Современные информационные технологии. Теория и практика» (Чере-повец, 04 декабря 2017 г.). Череповец, 2018. С. 154-158.

Varsenik A.V., Fedorov V.G., Popova A.V. Sposob zaschity informacionnyh potokov v mnogooperatornyh in-formacionno-telekommunikacionnyh setyah [Method of protection of information flows in multi-statement information and telecommunication networks]. *Materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Sovremennye informacionnye tehnologii. Teoriya i praktika"* [Proceedings of the IV all-Russian scientific-practical conference "Modern information technologies. Theory and practice", Cherepovets, on December 04, 2017]. Cherepovets, 2018. Pp. 154-158 (in Rus).

Электронный ресурс:

Энеев Т.М., Ахметшин Р.З., Егоров В.А., Ефимов Г.Б. Межпланетные полеты космических аппаратов с электроракетными двигателями // Публичная Электронная Библиотека. URL: <http://www.plib.ru/li-brary/book/20466.html> (дата обращения 10.12.2018).

Jeneev T.M., Ahmetshin R.Z., Egorov V.A., Efimov G.B. Mezhpplanetnye polety kosmicheskikh apparatov s jel-ektroraketnymi dvigateljami [Interplanetary flights of spacecraft with

electric rocket engines]. *Publichnaja Jelektronnaja Biblioteka* [Public Electronic Library]. URL: <http://www.plib.ru/library/book/20466.html> (date of access 10.12.2018) (in Rus).

Переводная книга:

Уоррен Г. Алгоритмические трюки для программистов: пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 288 с.

Warren H.S. *Hacker's Delight*. Boston: Addison Wesley Publ. Company, 2002. 320 p.

Патент:

Патент РФ 2326500. Когерентная система передачи информации хаотическими сигналами / Баркетов С.В., Жук А.П., Сазонов В.В., Авдеенко С.И., Жук Е.П., Лохов В.И., Голубь Ю.С. Заявл. 16.08.2006. Оpubл. 10.06.2008. Бюл. № 16. 6 с.

Patent RF 2326500. *Kogerentnaja sistema peredachi informacii haoticheskim signalami* [Coherent data trans-mission system using random signals]. Barketov S.V., Zhuk A.P., Sazonov V.V., Avdeenko S.I., Zhuk E.P., Lokhov V.I., Golub' J.S. Declared 16.08.2006. Published 10.06.2008. Bulletin No. 16. 6 p. (in Rus).

Таблица перевода уч. званий, уч. степеней, должностей, заголовков

д.т.н.; к.т.н.	PhD
Ученое звание	Academic title
профессор	Full Professor
доцент	Docent
Должность	Position
профессор	Professor
профессор кафедры (конкретной)	Professor at the Department of
доцент	Assistant professor
доцент кафедры (конкретной)	Associate Professor at the Department of
старший преподаватель	Senior lecturer
преподаватель	Lecturer
преподаватель кафедры (конкретной)	Lecturer at the Department of
адъюнкт / аспирант	postgraduate student
адъюнкт / аспирант кафедры	Postgraduate at the Department of
докторант	Doctoral Candidate
научный сотрудник	Research Officer
младший научный сотрудник	Research Assistant
старший научный сотрудник	Senior Research Officer
соискатель кафедры	Applicant at the Department of
декан	Dean
директор	Director
начальник кафедры	Head of Department (BrE) Department Chair (AmE)
начальник кафедры (конкретной)	Head of the Department of Chair of the Department of
зав. отделением (конкретного)	Head of the Division of Department Head Department Chair

Место работы	Place of work
факультет	Faculty
кафедра	Department / Sub-Department
отдел	Department
отделение	Division / Department
Введение	Intoduction
Цель исследования	Purpose
Методы	Methods
Результаты	Results
Практическая значимость	Practical relevance
Обсуждение	Discussion

СПИСОК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ» В 2021 ГОДУ

	№№:
<u>СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ</u>	
Путилин А.Н., Шапала В.С. - Помехоустойчивость трехмерной симплекс решетки	1 (153)
Хвостунов Ю.С. - Децентрализованная система управления работой декаметровой радиосетью	1 (153)
Щукин А.Н., Солозобов С.А. - Квадратурный модулятор с модулем выделения фазы	1 (153)
Комашинский В.И., Кулешов И.А., Солозобов С.А., Щукин А.Н. - Пространственные параметры линии метеорной радиосвязи	2 (154)
Кулешов И.А., Мержеевский А.А. - Алгоритм сопряжения гетерогенных сетей передачи данных	2 (154)
Талагаев В.И. - Аппаратно-программные комплексы обеспечения устойчивости автоматизированной системы связи ВМФ	2 (154)
Акулов В.С., Талагаев В.И., Угрик Л.Н. - Методология оценки влияния преднамеренных помех на радиотехнические системы военно-морского флота	3 (155)
Калинин А.Л. - Новое поколение коротковолновых радиопередающих устройств большой мощности	3 (155)
Егоров В.В., Мингалев А.Н., Щеглова Е.Ф. - Многопараметрическая адаптация в коротковолновых системах передачи данных сигналами OFDM	3 (155)
Баранов В.А., Иванцов О.В. - Методологические основы мягкой обработки рекуррентных последовательностей и их применение в корректирующих кодах	3 (155)
Спивак А.И., Львов А.Е. - Модель системы управления телекоммуникационной сетью военного назначения	3 (155)
Баранов В.А., Крюков О.В. - Аппроксимация значений параметров трафика мультисервисной сети связи смесью многомерных нормальных распределений с разным числом компонент	3 (155)
Молокович И.А. - Реализация гибридного протокола маршрутизации беспроводной сети в NS2	3 (155)
Крюков О.В., Баранов В.А. - Метод оценивания значений класса трафика, формируемого источником мультисервисной сети связи на ограниченном интервале наблюдения	3 (155)
Акулов В.С., Талагаев В.И. - Структура земной волны над ледовыми трассами в Арктических районах	4 (156)
<u>АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ</u>	
Николашин Ю.Л., Будко Н.П., Жуков Г.А., Угрик Л.Н. - Новое направление создания помехоустойчивых радиолиний декаметрового диапазона волн	1 (153)
Будко Н.П. - Общие принципы функционирования и требования к построению структур перспективных систем мониторинга распределенных информационно-телекоммуникационных сетей	2 (154)
Аллакин В.В. - Анализ методов оценки временных рядов сервером мониторинга информационно-телекоммуникационной сети общего пользования	2 (154)
Винограденко А.М. - Интеллектуальное оценивание технического состояния сложных технических объектов	4 (156)
Лебедев Д.В., Васильев Н.В. - Метод выделения семантически согласованных групп пользователей социальных медиа-платформ	4 (156)
<u>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ</u>	
Моисеев А.А., Киселев А.А. - Оценка основных свойств применения мобильных аппаратных связи	1 (153)
Давыдчик В.В., Можаяева А.Э. - Подход к разработке показателей для оценки устойчивости функционирования систем управления морскими объектами при деструктивном воздействии	1 (153)
<u>ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ</u>	
Куприянов А.И. - Скрытность сверхзюкполосных сигналов	2 (154)
Шапала В.С. - Использование FVBC/OQAM в пакетном радиомодеме коротковолнового диапазона	3 (155)
<u>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ</u>	
Аллакин В.В. - Формирование сервера мониторинга функциональной безопасности информационно-телекоммуникационной сети общего пользования на основе оценки SRE-метрик	1 (153)
Будко Н.П. - Сокращение объема измерительной информации на основе интеллектуального подхода к построению подсистемы мониторинга информационно-телекоммуникационной системы	1 (153)
<u>МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</u>	
Мержеевский А.А., Спивак А.И., Львов А.Е. - Модель построения телекоммуникационной сети специального назначения	2 (154)
<u>ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ</u>	
Фортинский А.Г., Билятдинов К.З., Спивак А.И. - Об основах методологии повышения качества программных систем	2 (154)
Фортинский А. Г., Билятдинов К. З., Петров А.Н. - Обоснование выбора отечественной программной платформы управления ресурсами: инновации и оценка эффективности	2 (154)
Васильев Н.В., Яшин А.И., Довжиков С.Н. - Интегрированная платформа анализа и исполнения блочно-структурированных бизнес-процессов	3 (155)
Ледянкин И.А., Смирнов А.Е., Кошелев И.В. - Анализ направлений развития высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем	4 (156)
<u>ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</u>	
Кулешов И.А., Спивак А.И., Львов А.Е. - Анализ способов некриптографической защиты информации от побочных электромагнитных излучений и наводок на объектах связи	3 (155)
Мамончикова А.С. - Постановка задачи на разработку методики достижения выигрыша телекоммуникационной системы в трехстороннем динамическом информационном конфликте	3 (155)
<u>ЭЛЕКТРОННЫЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</u>	
Закутаев А.А., Емельянов А.В., Ширококов В.В. - Методика оценивания эффективности функционирования квантово-оптических средств в составе распределенной наземной сети	4 (156)
<u>ПОСВЯЩАЕТСЯ ЮБИЛЯРУ</u>	
Мирошников В.И. - Академик И.Д. Спасский и его вклад в создание и развитие средств автоматизированного управления и связи с морскими стратегическими силами сдерживания	3 (155)
<u>ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ</u>	
Крымская С.А. - Разработка интерактивного электронного руководства	2 (154)
<u>КОЛОНКА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ</u>	
Голоунов М.В. - Своевременность контроля технического состояния средств радиосвязи	4 (156)
Рыжкова Д.Н., Николашин Д.Ю. - Научно-технические проблемы внедрения разрабатываемых робототехнических комплексов в существующие технологии управления глубоководными морскими объектами	4 (156)
Калякин А.Г. - Повышение эффективности приёма сигналов амплитудной телеграфии в декаметровом канале связи	4 (156)