

Том VIII. № 3-2016

Издается с 2009 года
Издательская лицензия ПИ № ФС 77-60899
Язык публикаций: русский, английский
Периодичность выхода – 6 номеров в год
Сайт в Интернете: www.H-ES.ru
E-mail: HT-ESResearch@yandex.ru

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ООО «Издательский дом Медиа Паблишер»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Константин Легков

ИЗДАТЕЛЬ:

Светлана Дымкова

ПРЕДПЕЧАТНАЯ ПОДГОТОВКА:

ООО «H&ES Research»

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

111024, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514

194044, Россия, Санкт-Петербург,
Лесной Проспект, 34-36, корп. 1,
Тел.: +7(911) 194-12-42

Журнал H&ES Research зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране
культурного наследия.

Мнения авторов не всегда совпадают с
точкой зрения редакции. За содержание
рекламных материалов редакция ответ-
ственности не несет.

Материалы, опубликованные в журнале –
собственность ООО «ИД Медиа
Паблишер». Перепечатка, цитирование,
дублирование на сайтах допускаются
только с разрешения издателя.

ПЛАТА С АСПИРАНТОВ ЗА ПУБЛИКАЦИЮ
РУКОПИСИ НЕ ВЗИМАЕТСЯ

Всем авторам, желающим разместить
научную статью в журнале, необходимо
оформить ее согласно требованиям и на-
править материалы на электронную почту:
HT-ESResearch@yandex.ru.

С требованиями можно ознакомиться
на сайте: www.H-ES.ru.

© ООО «ИД Медиа Паблишер» 2016

H&ES Research – один из ведущих рецензируемых научных журналов, в котором публикуются основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Журнал освещает достижения и проблемы российских инфокоммуникаций, внедрение последних достижений отрасли в автоматизированных системах управления, развитие технологий в информационной безопасности, исследования космоса, развитие спутникового телевидения и навигации, исследование Арктики. Особое место в издании уделено результатам научных исследований молодых ученых в области создания новых средств и технологий космических исследований Земли.

Научно-технический журнал **H&ES Research** предназначен прежде всего для специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств космических исследований Земли и информационной безопасности. В журнале публикуются новости о событиях в вышеуказанных областях, репортажи и интервью ведущих компаний, мнения специалистов, новые технологии, инновационные разработки, оборудование и решения, аналитические статьи, маркетинговые исследования и др.

Журнал H&ES Research входит в Перечень ВАК и в систему российского индекса научного цитирования (РИНЦ), а также включен в Международный классификатор периодических изданий (ISSN 2412-1363 (Online), 2409-5419 (Print)).

Тематика публикуемых статей в соответствии с перечнем групп специальностей научных работников по Номенклатуре специальностей:

- 01.01.00 Математика
- 05.07.00 Авиационная и ракетно-космическая техника
- 05.11.00 Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы
- 05.12.00 Радиотехника и связь
- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

- Вопросы развития автоматизированных систем управления
- Физико-математическое обеспечение разработки новых технологий
- Развитие автоматизированных систем управления технологическим процессом
- Вопросы исследования космоса
- Телекоммуникационные технологии и технические новинки систем подвижной связи
- Перспективы развития единого инфокоммуникационного пространства
- Использование радиочастотного спектра в системах подвижной связи
- Антенно-фидерное оборудование
- Спутниковое телевидение, системы спутниковой навигации, GLONASS, построение навигационных систем GPS
- Вопросы развития геодезии и картографии
- Информационная и кибербезопасность
- Вопросы исследования Арктики
- Волоконно-оптическое оборудование и технологии
- Метрологическое обеспечение
- Программное обеспечение и элементная база для сетей связи
- Производители, поставщики и дистрибьюторы телекоммуникационного оборудования
- Работа отечественных ассоциаций, региональных и координирующих операторов
- Правовое регулирование инфокоммуникаций, законодательство в области связи
- Экономика связи, конвергенция сетей, универсальные коммуникации
- Выставки, форумы, конференции, семинары, интервью (оригинальные и новые проекты, итоги деятельности, проблемы отрасли и пути их решения и т.д.)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- БОБРОВСКИЙ В.И.**, доктор технических наук, доцент
БОРИСОВ В.В., доктор технических наук, профессор, Действительный член академии военных наук РФ
БУДКО П.А., доктор технических наук, профессор
БУДНИКОВ С.А., доктор технических наук, доцент, Действительный член Академии информатизации образования
ВЕРХОВА Г.В., доктор технических наук, профессор
ГОНЧАРОВСКИЙ В.С., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ
КОМАШИНСКИЙ В.И., доктор технических наук, профессор
КИРПАНЕВ А.В., доктор технических наук, доцент
КУРНОСОВ В.И., доктор технических наук, профессор, академик Арктической академии наук, член-корреспондент Международной академии информатизации, академик Международной академии обороны, безопасности и правопорядка, Действительный член Российской академии естественных наук
МАНУЙЛОВ Ю.С., доктор технических наук, профессор
МОРОЗОВ А.В., доктор технических наук, профессор, Действительный член Академии военных наук РФ
МОШАК Н.Н., доктор технических наук, доцент
ПРОРОК В.Я., доктор технических наук, профессор
СЕМЕНОВ С.С., доктор технических наук, доцент
СИНИЦЫН Е.А., доктор технических наук, профессор
ШАТРАКОВ Ю.Г., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ

Компьютерная верстка и дизайн: Оксана Иванова; обложка: Илья Фалитнов;
системный администратор сайта: Вячеслав Косинов;
отдел развития и рекламы: Ольга Дорошкевич.

H&ES Research – one of leading reviewed scientific journal in whom the main scientific results of the dissertation on competition of a scientific degree of the doctor and the candidate of science are published. The journal covers achievements and problems of the Russian infocommunication, introduction of the last achievements of branch in automated control systems, development of technologies in information security, space researches, development of satellite television and navigation, research of the Arctic. The special place in the edition is given to results of scientific researches of young scientists in the field of creation of new means and technologies of space researches of Earth.

H&ES Research – journal for specialists in the field of modern information and communication technologies and automated systems management means for Space Research of the Earth and information security. The journal publishes news about events in the above areas, reports and interviews of the leading companies, the opinions of experts, new technologies, innovations, products and solutions, analytical articles, market research and others.

The journal is included in the list of scientific publications, recommended Higher Attestation Commission Russian Ministry of Education for the publication of scientific works, which reflect the basic scientific content of candidate and doctoral theses. IF of the Russian Science Citation Index.

Subject of published articles according to the list of branches of science and groups of scientific specialties in accordance with the Nomenclature of specialties:

- 01.01.00 Mathematics
- 05.07.00 Aviation, space-rocket hardware
- 05.11.00 Instrument engineering, metrology and information-measuring devices and systems
- 05.12.00 RF technology and communication
- 05.13.00 Informatics, computer engineering and control

TOPICAL COLUMNS

- Automated control systems
- Physical and mathematical software development of new technologies
- Development of automated process control systems
- Questions of space exploration
- Telecommunication technology and technical innovations of mobile systems
- Prospects for unified info communication space
- Use of a radio-frequency range in systems of mobile communication
- Antenna-feeder equipment
- Satellite TV, satellite navigation system, GLONASS, GPS navigation systems construction
- Issues of Geodesy and Cartography
- Information and cyber security
- Questions Arctic research
- Fiber-optic equipment and technology
- Metrological maintenance
- Software and electronic components for communication networks
- Manufacturers, suppliers and distributors of telecommunications equipment
- National associations, regional and coordinating operators
- Legal regulation of Infocomm, legislation in the communication field
- Economy of communications, networks convergence, universal communication
- Exhibitions, forums, conferences, seminars, interview (original and new projects, results of activity, a problem of branch and a way of their decision, etc.)

EDITORIAL BOARD

BOBROWSKY V.I., Ph.D., associate professor
BORISOV V.V., Ph.D., professor
BUDKO P.A., Ph.D., professor
BUDNIKOV S.A., Ph.D., associate professor, Actual Member of the Academy of Education Informatization
VERHOVA G.V., Ph.D., professor
GONCHAREVSKY V.S., Ph.D., professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation,
KOMASHINSKIY V.I., Ph.D., professor
KIRPANEV A.V., Ph.D., associate professor
KURNOSOV V.I., Ph.D., professor, Academician of Academy of Sciences of the Arctic, corresponding member of the International Academy of Informatization, International Academy of defense, security, law and order, Member of the Academy of Natural Sciences
MANUILOV Y.S., Ph.D., professor
MOROZOV A.V., Ph.D., professor, Actual Member of the Academy of Military Sciences
MOSHAK N.N., Ph.D., associate professor
PROROK V.Y., Ph.D., professor
SEMENOV S.S., Ph.D., associate professor
SINICYN E.A., Ph.D., professor
SHATRAKOV Y.G., Ph.D., professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation

Computer imposition and design: Oksana Ivanova; Design of a cover: Ilya Falitnov;
 Site's system administrator: Vyacheslav Kosinov;
 Development and advertizing department: Olga Doroshkevich.

H&ES RESEARCH

Vol. VIII. No. 3-2016

It is published since 2009
 Publishing license ПИ № ФС 77-60899
 Language of publications:
 Russian, English
 Periodicity – 6 issues per year
 Site on the Internet: www.H-ES.ru
 E-mail: HT-ESResearch@yandex.ru

FOUNDER: «Media Publisher», LLC

EDITOR IN CHIEF: Konstantin Legkov

PUBLISHER: Svetlana Dymkova

PREPRESS: «H&ES Research», JSC

ADDRESS OF EDITION:
 111024, Russia, Moscow,
 st. Aviamotornaya, 8, office 512-514

194044, Russia, St. Petersburg,
 Lesnoy avenue, 34-36, housing 1,
 Phone: +7 (911) 194-12-42

Journal H&ES Research has been registered by the Federal service on supervision of legislation observance in sphere of mass communications and cultural heritage protection. The opinions of the authors don't always coincide with the point of view of the publisher. For the content of ads, the editorial Board is not responsible. All articles and illustrations are copyright. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock company




GRADUATE STUDENTS FOR
 PUBLICATION OF THE MANUSCRIPT
 WILL NOT BE CHARGED

All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: HT-ESResearch@yandex.ru. The requirements are available on the website: www.H-ES.ru.

© «Media Publisher», LLC 2016

«H&ES RESEARCH –
 HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH
 SPACE RESEARCH» JOURNAL

WWW.H-ES.RU

 HES_Research  HES-Research
 club55425245



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

Закрытое акционерное общество "Научно-производственный центр информационных региональных систем" является предприятием, разрабатывающим автоматизированные системы специального назначения.

Основными направлениями нашей деятельности являются:

- проектирование, создание и ремонт автоматизированных систем управления и их составных частей, систем обработки данных, программного обеспечения, информационных систем для государственных организаций и коммерческих компаний;
- разработка общесистемного и прикладного ПО, внедрение и сопровождение информационных систем;
- защита информации в системах управления, локальных вычислительных сетях, программно-аппаратных комплексах, телекоммуникационных системах;
- производство и поставка технических средств, в офисном и защищенном исполнении;
- создание, внедрение и сопровождение оперативных и учетных систем любой сложности;
- анализ автоматизированных систем на предмет разработки к ним классификаторов и нормативно-справочной информации;
- разработка проектов и создание глобальных, корпоративных, локальных телекоммуникационных систем и структурированных кабельных сетей.

Создаваемые предприятием средства (комплексы средств автоматизации, программные и программно-информационные комплексы, информационные изделия) эксплуатируются в различных государственных органах: в органах военного управления Министерства обороны РФ, а также на предприятиях, в организациях, в органах местного самоуправления субъектов РФ, занимающихся воинским учетом.

Научные исследования в сфере КНСИ позволяют нам качественно анализировать автоматизированные системы и разрабатывать к ним классификаторы и нормативно-справочную информацию.

На данный момент уже имеющиеся разработки позволяют:

- создавать классификаторы по единым правилам, независимо от их содержимого;
- создавать массивы классификационной, нормативно-справочной информации в виде эталонных и контрольных экземпляров;
- создавать и вести централизованный банк УММ классификаторов (нормативные документы кодирования сведений);
- комплектовать массивы КНСИ для поставки на объекты, в части касающейся;
- проводить учет КНСИ и поставку на объекты автоматизации;
- централизованно вносить изменения в КНСИ;
- синхронизировать взаимодействие объектов, использующих классификаторы (КНСИ) и УФД;
- обеспечить совместимость данных баз данных объектов;
- обеспечить обмен базами данных между различными автоматизированными системами с территориально разнесенными источниками информации.

Коллектив ЗАО "НПЦ ИРС" образован на основе коллектива Государственного унитарного предприятия. Унаследовав его опыт научно-производственной деятельности, профессиональные знания коллектива специалистов, который целенаправленно занимается проблематикой автоматизации деятельности должностных лиц органов военного управления Вооруженных Сил РФ и разработкой единого информационного обеспечения автоматизированных систем военного назначения более 15 лет, выполняя как теоретические, так и практические работы в этой области.



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

Телефон: 8(800)100-40-90
E-mail: administrator@npcirs.ru

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА	
Бураков В.В., Зеленцов В.А., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Калинин В.Н. Методологические и методические основы оценивания и выбора эффективных технологий автоматизированного управления активными подвижными объектами на основе комплексного моделирования	6
АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА	
Чернов И.В. Исследование возможности определения азимута с использованием аппаратуры потребителя космических навигационных систем	14
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ	
Соловьев А.В. Метод автоматического набора связующих точек для выполнения взаимного ориентирования аэрокосмических снимков	20
РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ	
Мищенко С.Е., Шацкий В.В., Землянский С.В. Синтез широкополосного излучателя автоматизированной системы обработки информации	24
Мирошникова Н.Е. Анализ эффективности алгоритмов слепой идентификации ионосферных каналов	30
Калюка В.И., Овсянников С.Н., Сапунова Л.П. Оптимизация локального ресурса пропускной способности сетей широкополосного радиодоступа	35
Образцов И.В., Круглеевский В.Н. Анализ возможности применения беспроводных систем сигнализации и контроля пожарной безопасности технических средств кораблей на основе технологии радиочастотной идентификации	41
Самойленко Д.В., Финько О.А. Помехоустойчивая передача данных в радиоканалах робототехнических комплексов на основе полиномиальных классов вычетов	49
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	
Буренин А.Н., Легков К.Е., Емельянов А.В. Элементы системного анализа автоматизированных систем управления современными инфокоммуникационными сетями специального назначения	56
Грудинин И.В., Новиков В.А. Принципы информационного обеспечения управления сложными организационно-техническими системами специального назначения	64
Анисимов О.В., Курчидис В.А., Приветень А.С. Дескриптивная модель радиоэлектронной аппаратуры на основе онтологий для автоматизации информационной поддержки обслуживающего персонала при диагностировании сложных технических комплексов	72
Кухаренко А.С. Методика измерения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериалов	78
ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ	
Минаков Е.П., Тарасов А.Г. Задачи и модели формирования характеристик применения робототехнических комплексов ликвидации экстремальных ситуаций, возникающих в позиционном районе части запуска	88

CONTENTS

6	MATHEMATICS Burakov V.V., Zelentsov V.A., Potryasaev S.A., Sokolov B.V., Kalinin V.N. Evaluation and choice of active moving objects automatic control technology on the basis of integrated modeling
14	AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE Chernov I.V. A study of the ability to determine azimuth by using the user equipment of space navigation systems
20	INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS Soloviev A.V. Method of the automatic set of binding points for performance of mutual orientation of space pictures
24	RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION Mishchenko S.E., Shatsky V.V., Zemlyansky S.V. Synthesis of the broadband radiator of the automated information handling system
30	Miroshnikova N.E. Analysis of blind identification algorithms for HF channel identification
35	Kalyuka V.I., Ovsyannikov S.N., Sapunova L.P. Local resource capability optimization for the broadband radio access networks
41	Obraztsov I.V., Krugleevsky V.N. The analysis of possibility of using wireless alarm and fire control hardware ships of the navy on the basis of radio frequency identification
49	Samoylenko D.V., Finko O.A. Noise immunity of data transmission in a radio channel robotic complexes based on polynomial residue classes
56	INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL Burenin A.N., Legkov K.E., Emelyanov A.V. Elements of the system analysis automated control systems modern information and communication networks special purpose
64	Grudin I.V., Novikov V.A. Principles of information support control complex organizational and technical system of the special purpose management
72	Anisimov O.V., Kurchidis V.A., Priveten A.S. Descriptive model of the radio-electronic equipment on the basis of ontologies for automation of information support of service personnel when diagnosing complicated technical complexes
78	Kukharensko A.S. A methodology of metamaterial effective permittivity and permeability value measurement
88	PUBLICATIONS IN ENGLISH Minakov E.P., Tarasov A.G. Problems and models of measurement the characteristics of robotics system use for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНИВАНИЯ И ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Бураков

Вадим Витальевич

д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник
Санкт-Петербургского института
информатики и автоматизации Российской
академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия,
Burakov@eurusa.ru

Зеленцов

Вячеслав Алексеевич

д.т.н., профессор, главный научный
сотрудник Санкт-Петербургского института
информатики и автоматизации Российской
академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия,
V.a.zelentsov@gmail.com

Потрясаев

Семен Алексеевич

к.т.н., старший научный сотрудник Санкт-
Петербургского института информатики и
автоматизации
Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия,
Spotryasaev@gmail.com

Соколов

Борис Владимирович

д.т.н., профессор, заместитель директора по
научной работе Санкт-Петербургского
института информатики и автоматизации
Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия,
Sokol@iias.spb.su

Калинин

Владимир Николаевич

д.т.н., профессор, профессор Военно-
космической академии им. А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
Kvn112@mail.ru

Ключевые слова:

комплексное моделирование;
технологии автоматизированного управления;
активный подвижный объект, полимодельный
комплекс; программно-математическое
обеспечение.

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются разработанные авторами методологические и методические основы организации и проведения комплексного моделирования процессов формирования и реализации технологий автоматизированного управления активными подвижными объектами для оценивания их эффективности. Полученные результаты базируются на разрабатываемой авторами доклада прикладной теории управления структурной динамикой активных подвижных объектов. Данная прикладная теория имеет междисциплинарный характер и основывается на результатах, полученных в таких областях научных знаний, как классическая теория управления, исследование операций, искусственный интеллект, теория систем и системный анализ. Предлагаемая в работе динамическая интерпретация процессов управления структурной динамикой активных подвижных объектов позволяет строго математически описать и всесторонне исследовать ранее никем не формализованные научно-технические проблемы анализа и синтеза указанных объектов, имеющие большую практическую значимость. При этом разработанный подход к выбору эффективных технологий автоматизированного управления активными подвижными объектами, в отличие от ранее предложенных подходов позволяет, во-первых, непосредственно связать те общие цели, на достижение которых ориентировано функционирование рассматриваемых объектов, с теми целями, которые реализуются в ходе управления структурами активными подвижными объектами, во-вторых, обоснованно определить и выбрать соответствующие последовательности решаемых задач и выполняемых операций (действий), связанных со структурной динамикой (другими словами, синтезировать технологию управления активными подвижными объектами), и, в-третьих, осознанно находить компромиссные решения при распределении ограниченных ресурсов, выделяемых на управление структурной динамикой активных подвижных объектов.

Предложен оригинальный полимодельный комплекс, описывающий процессы автоматизированного мониторинга и управления активными подвижными объектами и включающий в себя динамические аналитико-имитационные модели управления движением, операциями, каналами, потоками, ресурсами, структурами исследуемой информационной системы. Основное достоинство и отличие разработанных методов, моделей и алгоритмов состоит в том, что они базируются на результатах, полученных в современной междисциплинарной отрасли системных знаний. В работе приводятся примеры практической реализации разработанного программно-математического обеспечения.

1. Введение

В рамках данной статьи в качестве первичных объектов управления в исследуемых автоматизированных системах проактивного мониторинга и управления (АСПМУ) выделим подкласс активных подвижных объектов (АПО), которые представляют собой искусственно созданные материальные (либо виртуальные) объекты, перемещающиеся в физическом (либо виртуальном информационном) пространстве и осуществляющие взаимодействие (информационное, вещественное, энергетическое) с объектами обслуживания (ОБО), другими АПО [1–9].

На рис. 1 показана обобщённая структура АПО как объекта управления. Из рис. 1 видно, что АПО состоит из четырёх подсистем, которым поставлены в соответствие четыре процесса (вида функционирования): процесс движения, процессы взаимодействия с ОБО, другими АПО, процессы функционирования целевой и обеспечивающей аппаратуры, процессы расхода и (или) пополнения ресурсов. Предлагаемая структура АПО, как показано в работах [5–14], допускает весьма многообразную интерпретацию. Так, например, в качестве АПО может выступать наземное, воздушное, надводное или подводное средство передвижения с установленной на нём аппаратурой, АПО можно интерпретировать и как космическое средство (КСр), как многоагентную программную систему, элементы которой перемещаются по узлам (серверам) глобальных (локальных) информационно-телекоммуникационных систем [7, 9]. В этом случае ОБО могут представлять собой естественные или искусственно созданные материальные объекты или естественную материальную среду, созданную природой [2–4, 9]. Так, в качестве ОБО может выступать часть наземной или водной поверхности, часть воздушного, подводного, подземного пространства, подвижные объекты. В этом случае природа и формы взаимодействия АПО с ОБО могут носить как активный, так и пассивный характер (т.е. сопровождаться либо не сопровождаться изменением состояния ОБО).

При создании и применении как АПО (группировок АПО), так и соответствующих СПМУ АПО важнейшими задачами были и остаются задачи исследования эф-

фективности технологий автоматизированного управления (ТАУ) АПО, которые можно условно разделить на две большие группы [8,10,12]: 1) задачи оценивания эффективности ТАУ АПО и соответствующих операций (либо по-другому их называют задачами анализа эффективности); 2) задачи выбора рационального способа (стратегии) применения ТАУ АПО в операциях (либо по-другому задачи синтеза).

Содержание задач оценивания эффективности ТАУ АПО заключается в анализе результатов функционирования АПО при фиксированных вариантах воздействия внешней среды и фиксированной ТАУ. При этом возможны постановки следующих частных задач оценивания эффективности ТАУ [1-3,8,11,12]: задача выявления вкладов (эффектов) различных факторов в общую эффективность операций, входящих в состав ТАУ, влияние воздействия факторов на эффективность; задача принятия решения относительно допустимости использования оцениваемого способа действий в той или иной ситуации; задача установления путей повышения эффективности операций ТАУ АПО (выявления резервов эффективности); задача выявления функциональных возможностей аппаратно-программных средств АСУ АПО, используемых в операциях ТАУ АПО; задача сопоставления (сравнения) нескольких альтернативных вариантов действий или технических средств, их ранжирование по уровням эффективности (установление отношения предпочтения на множестве возможных вариантов).

Содержание задач выбора рациональной структуры ТАУ АПО сводится к поиску таких управляющих воздействий для фиксированных классов возмущающих воздействий, при которых результаты функционирования АПО будут совпадать с требуемыми, либо будут оптимальными в смысле выбранного критерия эффективности.

В данном случае возможны постановки следующих задач выбора рациональных ТАУ АПО в технологии [8,12]: задача выбора целесообразной технологии управления элементами и подсистемами АСУ АПО с заданными функциональными характеристиками; задача определения рациональной технологии управления эксплуатацией АСУ АПО; задача выработки оптимальной структуры ТАУ АПО; задача оптимального распределения ресурсов между подсистемами в АСУ АПО; задача выбора рационального варианта структуры проектируемой ТАУ АПО; задача формирования программы развития ТАУ АПО.

Таким образом, основным содержанием задач исследования эффективности ТАУ АПО является изучение закономерностей, устанавливающих зависимость результатов применения АПО от условий ее функционирования, которые определяются, в свою очередь, тактико-техническими характеристиками и свойствами АПО, воздействиями внешней среды, управляющими воздействиями (способами применения), формируемыми лицом, принимающим решения (ЛПР). Для ре-



Рис. 1. Обобщённая структурная схема АПО

шения всех перечисленных задач в настоящее время разрабатывается полимодельный комплекс, создание которого базируется на концепции имитационной системы (ИмС), под которой, в общем случае понимается специальным образом организованный моделирующий комплекс, состоящий из следующих элементов: а) имитационных моделей (иерархии имитационных моделей), отражающих определенную проблемную область; б) аналитических моделей (иерархии аналитических моделей), дающих упрощенное (агрегированное) описание различных сторон моделируемых явлений; в) информационной подсистемы, включающей базу (банк) данных, а в перспективе базу знаний, основанную на идеях искусственного интеллекта; г) системы управления и сопряжения, обеспечивающей взаимодействие всех компонент системы и работу с пользователем (лицом, принимающем решения) в режиме интерактивного диалога [12]. В предлагаемой статье обосновывается состав и структура ИмС применительно к исследуемому классу задач оценивания и выбора эффективных технологий автоматизированного управления АПО.

2. Типовые постановки задач исследования эффективности технологий автоматизированного управления активными подвижными объектами

Анализ многочисленных публикаций по теории эффективности систем [2–3,8,10,11] показывает, что обобщенная постановка задач исследования эффективности ТАУ АПО, задаваемая на теоретико-множественном уровне описания, близка по своей структуре и содержанию к общей постановке задач выбора (принятия решений) в условиях неопределенности и многокритериальности, о которых речь шла в [9, 11–13,14].

При этом среди возможных постановок задач полимодельного многокритериального исследования эффективности систем можно выделить, по меньшей мере, четыре варианта, которые являются в настоящее время наиболее перспективными [8,10].

Вариант I. Постановка и решение задачи однокритериальной оптимизации показателя эффективности (ПЭ) на аналитической модели большой размерности как задачи выбора, осуществляемого путем формальной декомпозиции и проведения оптимизации на частных моделях по частным ПЭ с использованием того или иного правила согласования, обеспечивающего сходимость процесса оптимизации к решению исходной задачи. В работах [2–4] описаны методы и алгоритмы решения указанного класса задач.

Вариант II. Постановка задачи однокритериальной оптимизации ПЭ на имитационной модели большой размерности как задачи выбора, осуществляемого путем неформальной декомпозиции задачи, построения совокупности аналитических моделей, отражающих различные стороны функционирования системы и имеющих приемлемую размерность, согласования аналитических моделей по принципу Парето и проведения имитацион-

ных экспериментов с паретовскими альтернативами с целью поиска точки, доставляющей экстремум исходному показателю эффективности системы [6,14].

Вариант III. Постановка задачи многокритериальной оптимизации на комплексе моделей как задачи выбора с многими отношениями предпочтения, осуществляемого путем задания множества Парето с помощью основополагающей многокритериальной модели, сужения этого множества на основе машинного анализа его свойств и введения соответствующей информации в ходе интерактивной процедуры, выполняемой ЛПР, лицом, обосновывающим решения (ЛОР) с ЭВМ, а также на основе привлечения дополнительных математических моделей, обеспечивающих последующее уточнение и сужение множества Парето вплоть до принятия единственного решения [11,12].

Паретовский принцип согласования при условии дополнения его положениями о сужении множества Парето создает наиболее благоприятные возможности для принятия всесторонне обоснованных решений, основывающихся на анализе поведения различных показателей эффективности внутри этого множества. При этом важное значение имеет правильная разработка стратегии сужения с привлечением компетентных специалистов и математических моделей: аналитических и имитационных [11].

В работе [12] предложен еще один вариант решения рассматриваемого класса задач теории эффективности (вариант IV), который базируется на динамической интерпретации процессов многокритериального структурно-функционального анализа и синтеза ТАУ АПО. Каждый из перечисленных вариантов методик исследования эффективности ТАУ АПО имеет свои преимущества и недостатки, а их выбор определяется спецификой конкретной предметной области, где функционирует АПО, ее ограничениями, а также поставленными целями исследований. Важную роль при этом отводится обоснованному выбору соответствующих аппаратно-программных средств, обеспечивающих комплексное моделирование АСПМУ АПО. Рассмотрим состав и структуру ИмС, в рамках которой целесообразно решать задачи анализа и выбора ТАУ АПО для различных условий обстановки.

3. Состав и структура имитационной системы для решения задач анализа и синтеза эффективных технологий автоматизированного управления АПО

В современных ИмС выбор допустимых альтернатив основывается на сужении (сжатии) множества рассматриваемых вариантов экзогенных переменных путем отбраковки доминируемых по заданным отношениям предпочтения альтернатив. Указанные процедуры по своему содержанию близки к идеям, реализованным в многочисленных модификациях метода «ветвей и границ». При отбрасывании доминируемых экзогенных переменных в зависимости от этапа решения за-

дачи выбора, обеспеченности исходными данными ЛПР пользуется каждый раз такими моделями и методами получения релаксированных решений исходной задачи, чтобы оценки затрат на реализацию полученных решений (затрат на расход используемого ресурса) не убывали и становились все более и более точными по мере сужения множества допустимых альтернатив.

Исследование процессов управления структурной динамикой разнородных классов АПО, в том числе и исследование задач анализа и синтеза эффективных ТАУ, показало, что данные процессы имеют многоуровневый, многоэтапный и полифункциональный характер. Данное представление процессов функционирования АСПМУ АПО повлияло на выбор структуры банка моделей разрабатываемого специального программно-математического обеспечения ИмС, в котором необходимо, прежде всего, выделить три основных блока:

- модели функционирования АСПМУ АПО и объектов обслуживания (ОБО) (блок I);
 - модели оценки и анализа состояния АПО, АСПМУ АПО, оценки обстановки (блок II);
 - модели принятия решений в АСПМУ АПО (блок III);
- Блок моделей функционирования АСПМУ АПО, ОБО включает в себя:
- модели функционирования АПО, системы АПО, группировки систем АПО (блоки 1, 2, 3);
 - модели функционирования отдельного командно-измерительного комплекса (ОКИК) (блок 4), подсистем наземного комплекса управления (НКУ) (ОКИК, пункты управления (ПУ), (блок 5), НКУ (блок 6);
 - модели взаимодействия основных элементов и подсистем АСПМУ АПО между собой и ОБО (блок 7);
 - модели функционирования ОБО (блок 8);
 - модели воздействия внешней среды на АСПМУ АПО (блок 9);

– модели имитации результатов целевого применения АСПМУ АПО (блок 10).

Напомним, что в общем случае функционирование АПО предполагает информационный, вещественный, энергетический обмен с ОБО, с другими АПО, внешней средой, функционирование аппаратуры, расход (пополнение) ресурсов АПО, перемещение АПО.

Блок моделей оценки и анализа состояния АПО, АСПМУ АПО, оценки обстановки включает в себя:

- модели и алгоритмы оценки и анализа состояния движения, аппаратуры, ресурсов и обмена АПО (блок 11);
- модели и алгоритмы оценки и анализа состояния ОБО (блок 12);
- модели и алгоритмы оценки и анализа ситуаций и обстановки (блок 13).

В блок 3 входят:

- модели и алгоритмы долгосрочного и оперативного планирования ОВ в АСПМУ АПО (блок 14);
 - модели и алгоритмы управления структурами АСПМУ АПО (блок 15): топологической (блок 16), технической (блок 17), технологической (блок 18), организационной (блок 19); структурой СПМО (блок 20), информационной структурой (блок 21);
 - модели и алгоритмы коррекции долгосрочных и оперативных планов проведения ОВ в АСПМУ АПО (блок 22);
 - модели и алгоритмы решения задач координации в АСПМУ АПО на этапах планирования (блок 24), коррекции (блок 25), оперативного управления (блок 26);
 - модели и алгоритмы оперативного управления элементами и подсистемами АСПМУ АПО (блок 23).
- На рис. 2 приняты следующие условные обозначения: МП₁,..., МП_n, МК₁,..., МК_n, МОУ₁,..., МОУ_n – соответственно модели планирования, коррекции и оперативного управления АПО, входящими в АСПМУ АПО

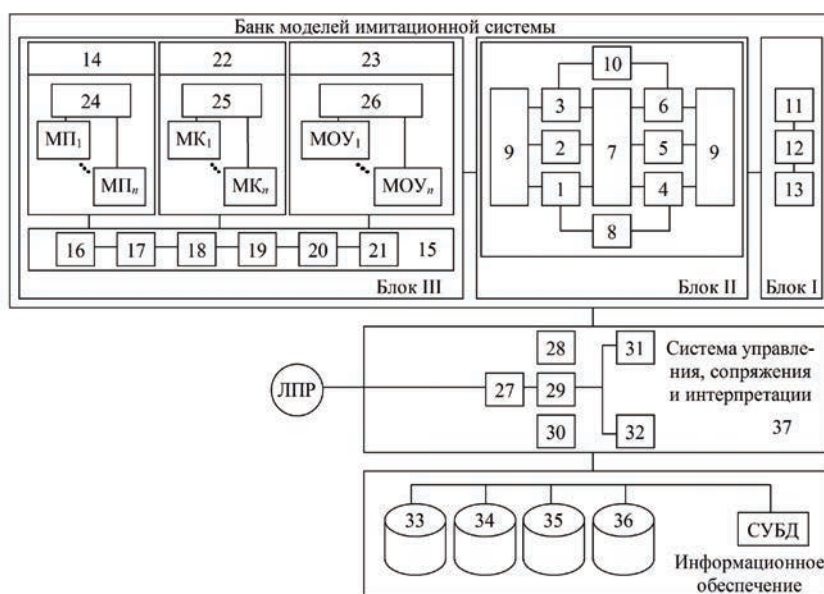


Рис. 2. Обобщенная структура имитационной системы для решения задач анализа и синтеза ТАУ АПО

(1,...,n)-го типов. Кроме того, на структурной схеме изображена система управления, сопряжения и интерпретации, в которую входят: общая диалоговая система управления СПМО (блок 27), локальные системы управления и сопряжения (блок 28), блок обработки, анализа и интерпретации результатов планирования, управления, моделирования (блок 30), блок формализации сценариев моделирования (блок 31), блок параметрической и структурной адаптации СПМО (блок 32), блок выработки рекомендаций по организации процедур моделирования и принятия решений (блок 29).

В работах [1, 5, 12–14] в качестве примеров приведены результаты исследований, выполненные его авторами при проведении ряда НИОКР, в рамках которых получила конкретную реализацию представленная на рис. 2 имитационная система.

Заключение

В статье предложены методические основы комплексного моделирования автоматизированных систем проактивного мониторинга и управления сложными объектами, в качестве которых рассматриваются АПО, получившие широкое применение на практике в таких прикладных областях как космонавтика, логистика, транспорт, промышленное производство [1, 5, 12–14]. Обоснован состав и структура ИмС, в рамках которой к настоящему времени решен широкий спектр важных прикладных задач анализа и синтеза эффективных ТАУ АПО.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПбГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074-U01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг СГ» (проект 1.4.1-1), РФФИ №№13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250, 13-06-00877, 13-07-12120-офи-м, 15-29-01294-офи-м, 15-07-08391, 15-08-08459, 15-07-01230, 15-06-04195, 16-57-00172-Бел_а, 16-07-00779, Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект № 2.11), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI-184/2011/14, проекта ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform».

Литература

1. Алабян А.М., Зеленцов В.А., Крыленко И.Н., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Оперативное прогнозирование наводнений на основе комплексного упреждающего моделирования и интеграции разнородных данных // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 4(41). С. 3–33.
2. Ахметов Р.Н., Макаров В.П., Соллогуб А.В. Особенности обеспечения целевой эффективности космических аппаратов зондирования Земли на основе методов рефакторинга и обратной инженерии // Онтология проектирования. 2012. № 4. С. 7–1.
3. Ахметов Р.Н., Макаров В.П., Соллогуб А.В. Принципы управления космическими аппаратами монито-

ринга Земли в аномальных ситуациях // Информационно-управляющие системы. 2012. № 1. С. 16–22.

4. Ахметов Р.Н., Васильев И.Е., Капитонов В.А., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Концепция создания и применения перспективной АСУ подготовки и пуска ракеты космического назначения «Союз-2»: новые подходы к интеграции, интеллектуализации, управлению // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 4. С. 3–54.

5. Зеленцов В.А., Крыленко И.Н., Пиманов И.Ю., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Ахтман Й. Основы построения системы обработки данных дистанционного зондирования Земли на базе сервис-ориентированной архитектуры // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2015. Т. 58. № 3. С. 241–243

6. Ivanov D., Sokolov B., Pavlov A. Optimal distribution (re)planning in a centralized multi-stage supply network in the presence of the ripple effect // European Journal of Operational Research. 2014. Vol. 237 Issue 2. Pp. 758–770.

7. Калинин В.Н., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Мультиагентная интерпретация концепции активного подвижного объекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2011. № 1. С. 122–126.

8. Калинин В.Н. Четыре фундаментальные проблемы системных исследований // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2012. Вып. 633. С. 62–73.

9. Калинин В.Н. Математическая модель информационного взаимодействия космического аппарата с поверхностью Земли // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 3(34). С. 33–56.

10. Мануйлов Ю.С., Павлов А.Н., Павлов Д.А. Методика прогнозирования структурной устойчивости функционирования АСУ КА // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2013. Вып. 640. С. 123–128.

11. Микони С.В. Системный анализ методов многокритериальной оптимизации на конечном множестве альтернатив // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 4(41). С. 180–199.

12. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Теоретические и технологические основы концепции проактивного мониторинга и управления сложными объектами // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 1. С. 162–174.

13. Павлов А.Н., Павлов Д.А., Москвин Б.В., Григорьев К.Л. Модифицированная модель гибкого перераспределения технологических операций информационного взаимодействия // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 11. С. 25–30.

14. Sokolov B.V., Yusupov R.M., Ivanov D.A. Conceptual description of integrated risk modelling problems for managerial decisions in complex organisational and technical systems // International Journal of Risk Assessment and Management. 2015. Vol. 18. Issue 3–4. Pp. 288–306.

Для цитирования:

Бураков В.В., Зеленцов В.А., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Калинин В.Н. Методологические и методические основы оценивания и выбора эффективных технологий автоматизированного управления активными подвижными объектами на основе комплексного моделирования // Научное издание: Технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 6–12.

EVALUATION AND CHOICE OF ACTIVE MOVING OBJECTS AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY ON THE BASIS OF INTEGRATED MODELING

Burakov Vadim Vitaljevich,

St. Petersburg, Russia, Burakov@eureca.ru

Zelentsov Vyacheslav Alekseevich,

St. Petersburg, Russia, V.a.zelentsov@gmail.com

Potryasaev Semen Alekseevich,

St. Petersburg, Russia, Spotryasaev@gmail.com

Sokolov Boris Vladimirovich,

St. Petersburg, Russia, Sokol@iias.spb.su

Kalinin Vladimir Nikolaevich,

St. Petersburg, Russia, Kvn112@mail.ru

Abstract

Methodological and methodical basis of the theory of active moving objects structure-dynamics control is developed by now. This theory can be widely used in practice (including the integrated modeling and simulation for structure dynamic control and monitoring of active moving objects). It has interdisciplinary basis provided by classic control theory, operations research, artificial intelligence, systems theory and systems analysis. The dynamic interpretation of active moving objects reconfiguration process provides strict mathematical base for complex technical-organizational problems that were never formalized before and have high practical importance. The proposed approach to the problem of active moving objects structure reconfiguration control in the terms of general context of active moving objects structural dynamics control enables: common goals of active moving objects functioning to be directly linked with those implemented (realized) in active moving objects control process; a reasonable decision and selection (choice) of adequate consequence of problems solved and operations fulfilled related to structural dynamics to be made (in other words to synthesize and develop the active moving objects control method) active moving objects; a compromise distribution (trade-off) of a restricted resources appropriated for a structural dynamics control to be found voluntary.

As a result, of investigations the following models, methods and algorithm were developed. They were the dynamic models of active moving objects motion control, the dynamic models of operations control, these models reflect functioning and interaction of active moving objects elements and take into account the environmental impacts; the dynamic models of communication resources control, flows (material,

energy, information) control, and operations parameters control. The methods and algorithms of active moving objects structural dynamics control were developed too.

Keywords: integrated modeling; proactive automatic monitoring and control technology; active moving objects; poly-modelling complex; hardware-software.

References

1. Alabjan A.M., Zelentsov V.A., Krylenko I.N., Potryasaev S.A., Sokolov B.V., Jusupov R.M. Operativnoe prognozirovanie navodnenij na osnove kompleksnogo uprezhdajushhego modelirovaniya i integracii raznorodnyh dannyh. SPIIRAS Proceedings. 2015. Vol. 41. Issue 4. Pp. 3–33. (In Russian).
2. Ahmetov R.N., Makarov V.P., Sollogub A.V. Features of ensuring target of spacecrafts purposeful efficiency of remote control of Earth on the basis of refactoring and the return engineering methods. *Ontology of Designing*. 2012. Issue 4. Pp. 7–1.
3. Ahmetov R.N., Makarov V.P., Sollogub A.V. The monitoring spacecrafts control principles of Earth in abnormal situations. *Information and Control Systems*. 2012. No. 1. Pp. 16–22.
4. Ahmetov R.N., Vasil'ev I.E., Kapitonov V.A., Okhtilev M. Ju., Sokolov B.V. Concept of creation and application of perspective ACS of preparation and missile launch of space appointment "Union-2": new approaches to integration, intellectualization, management. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*. 2015. Issue 4. Pp. 3–54. (In Russian).
5. Zelentsov V.A., Krylenko I.N., Pimanov I.Ju., Potryasaev S.A., Sokolov B.V., Ahtman J. Creation system bases of data processing of remote sensing of Earth on base service-oriented architecture]. *Izv. vuzov. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58. Issue 3. Pp. 241–243. (In Russian).
6. Ivanov D., Sokolov B., Pavlov A. Optimal distribution (re) planning in a centralized multi-stage supply network in the presence of the ripple effect. *European Journal of Operational Research*. 2014. Vol. 237. Issue 2. Pp. 758–770.
7. Kalinin V.N., Okhtilev M.Ju., Sokolov B.V. Multiagentny interpretation of the active mobile object concept. *Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN*. 2011. No. 1. Pp. 122–126. (In Russian).
8. Kalinin V.N. Chetyre fundamental'nye problemy sistemnyh issledovanij [Four fundamental problems of system researches] // *Trudy Voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhajskogo*. 2012. Issue 633. Pp. 62–73. (In Russian).
9. Kalinin V.N. Matematicheskaja model' informacionnogo vzaimodejstviya kosmicheskogo apparata s poverhnost'ju Zemli. *SPIIRAS Proceedings*. 2014. Vol. 34. Issue 3. Pp. 33–56. (In Russian).

10. Manujlov Ju.S., Pavlov A.N., Pavlov D.A. Metodika prognozirovaniya strukturnoj ustojchivosti funkcionirovaniya ASU KA [Forecasting technique of functioning structural stability of ASC of SC]. Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F.Mozhajsckogo. 2013. Issue 640. Pp. 123–128. (In Russian).

11. Mikoni S.V. Sistemnyj analiz metodov mnogokriterial'noj optimizacii na konechnom mnozhestve al'ternativ [The system analysis of multicriteria optimization methods on a final set of alternatives]. SPIIRAS Proceedings. 2015. Vol. 41. Issue 4. Pp. 180–199. (In Russian).

12. Okhtilev M.Ju., Sokolov B.V., Jusupov R.M. Theoretical and technological bases of the concept of proactive monitoring and management of difficult objects. Izvestiya SFedU. Engineering sciences. 2015. No. 1. Pp. 162–174. (In Russian).

13. Pavlov A.N., Pavlov D.A., Moskvina B.V., Grigor'ev K.L. The modified model of flexible redistribution of technological operations of information influence. Izvestiya SFedU. Instrument. 2014. Vol. 57. No. 11. Pp. 25–30. (In Russian).

14. Sokolov B.V., Yusupov R.M., Ivanov D.A. Conceptual description of integrated risk modelling problems for managerial decisions in complex organisational and technical

systems. International Journal of Risk Assessment and Management. 2015. Vol. 18. Issue 3–4. Pp. 288–306.

Information about authors:

Burakov V.V., Ph.D., associate professor, Leading researcher, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS);

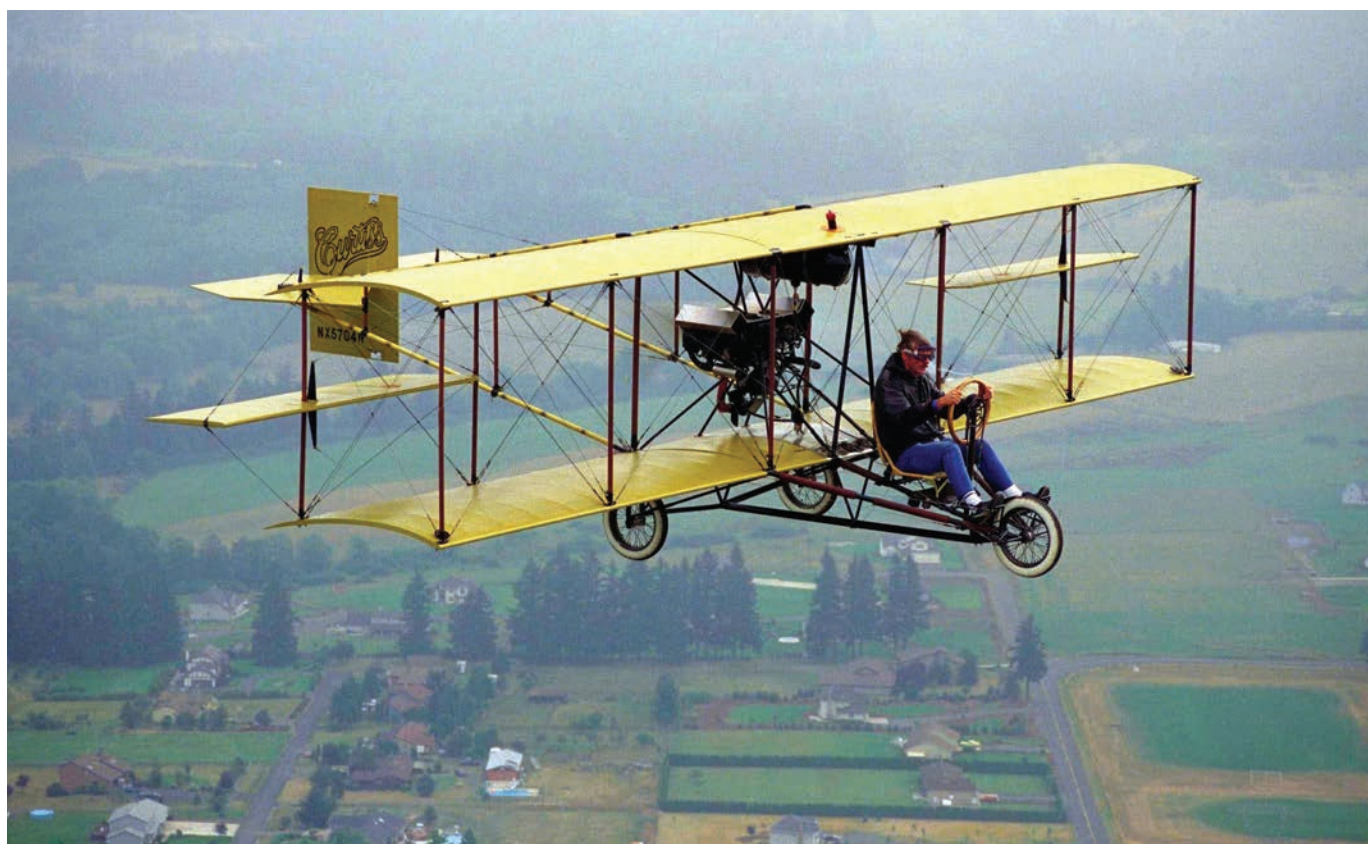
Zelentsov V.A., Ph.D., professor, Leading researcher, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS); Potryasaev S.A., Ph.D., Leading Researcher, St. Petersburg Institute for informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS);

Sokolov B.V., Ph.D., professor, Honored scientist of Russian Federation; Deputy-Director for Research, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS);

Kalinin V.N., Ph.D., professor, Honored Scientists of the Russian Federation; The full member of the Russian academy of astronautics of a name K.E. Tsiolkovsky, professor of Military Space Academy.

For citation:

Burakov V.V., Zelentsov V.A., Potryasaev S.A., Sokolov B.V., Kalinin V.N. Evaluation and choice of active moving objects automatic control technology on the basis of integrated modeling. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 6–12. (In Russian).





ВУС

Военно-учетный стол

Программный комплекс

- Информационное сопряжение с БД военных комиссариатов и проведение сверки в электронном виде
- Совместимость с Комплексом программно-информационных средств мобилизационной подготовки экономики (КПИС МПЭ), построен на той же платформе и расширяет возможности данного комплекса
- Возможность загрузки картотек из других программ, организация работы в сети
- Авторский надзор за эксплуатацией ПК ВУС для наращивания рабочих функций и совершенствования программного комплекса, гарантийное обслуживание

Воинский учет в организациях:

- Ведение электронных Картотек организаций, филиалов и граждан (по Т-2 и Т-2 ГС);
- Документы необходимые для ведения ВУ в организации (приказ, план работы, журнал проверок, расписки о приеме документов ВУ и др.);
- Создание и печать отчетных документов по установленным формам в соответствии с Инструкцией ГШ ВС РФ по ведению ВУ в организациях;
- Генерация документов по бронированию.

Первичный воинский учет в органах местного самоуправления:

- Ведение Картотеки организаций зарегистрированных на территории ОМСУ;
- Построение и управление картотекой граждан пребывающих в запасе и призывников в ОМСУ;
- Создание отчетных форм документов и других данных в соответствии с Методическими рекомендациями ГШ ВС РФ по ведению первичного ВУ в ОМСУ;
- Распределение организаций ведущих учет ГПЗ по видам экономической деятельности, формам собственности и численности работающих в ней граждан.

Учет и Бронирование в Межведомственных комиссиях:

- Организация картотеки различных органов РФ от правительства до организации включительно с различными формами учета и отчетности, ведение структуры подчиненности;
- Автоматический расчет форм №6, формы №18 расчет и обобщение суммарной формы №6 за все подотчетные объекты;
- Анализ обеспеченности трудовыми ресурсами;
- Ведение перечня должностей и профессий по бронированию граждан;
- Определение сотрудников подлежащих бронированию, бронирование сотрудников в соответствии с ПДП;
- Заполнение, передача, сбор и обобщение форм ГД.



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЗИМУТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ КОСМИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Чернов

Иван Владимирович,

адъюнкт Военно-космической

академии имени А.Ф.Можайского,

г. Санкт-Петербург, Россия,

4ern86@bk.ru

Ключевые слова:

азимут; автономное ориентирование; высокоточное ориентирование; оперативное ориентирование; спутниковый метод; метод ориентирования; космические навигационные системы.

АННОТАЦИЯ

Азимуты направлений определяются в интересах гражданских и военных потребителей. Для каждой сложной технической системы, нуждающейся в определении азимутов направлений, выдвигаются индивидуальные требования к точности и оперативности ориентирования, диктуемые правилами эксплуатации. Помимо указанных требований выдвигаются ряд специфических, индивидуальных требований, обусловленных особенностями условий применения технической системы, наиболее важным требованием является «автономность».

Под «автономностью» будет пониматься такое свойство метода определения геодезических данных, которое позволяет получать их не зависимо от метеорологических условий, без исходной геодезической основы, в любое время суток.

Требование автономности метода ориентирования возникает при обеспечении геодезическими данными мобильных технических систем, особенно при применении их в неподготовленных заблаговременно в геодезическом отношении районах. Также требование автономности метода ориентирования возникает при инженерно-геодезических изысканиях при строительстве и геодезическом сопровождении объектов расположенных в районах со значительной разреженностью геодезической сети или в суровых климатических условиях (прокладка трубопроводов, линий связи и электропередач).

Определение азимута с применением метода космической геодезии (равно как относительным так и абсолютным методом) не описано в руководствах и технических указаниях. Принципиально описано без получения оценки точности получение азимута лишь относительным методом космической геодезии в «Технических указаниях по развитию специальных геодезических сетей относительным методом космической геодезии». Предлагаемые в научно-технической литературе определения азимута с применением относительного метода космической геодезии с использованием исходной геодезической сети позволяют производить ориентирование с средней квадратической ошибкой до 0,5".

В связи с возможностями по высокоточному определению приращений и равным влиянием в один и тот же момент времени различных источников ошибок на результаты измерений для любого приемника в локальном районе (10–30 км), проведены исследования возможности оперативного автономного ориентирования с применением спутникового метода высшей геодезии. Результатом исследования явилось обоснование возможности автономного оперативного ориентирования с высокой точностью с применением спутникового метода высшей геодезии без использования исходной геодезической основы.

Спутниковые методы высшей геодезии (СМВГ) представлены абсолютным, относительным и дифференциальными методами. В абсолютном методе координаты получаются одним приемником в системе координат, носителями которой являются станции подсистемы контроля и управления и, следовательно, сами спутники навигационной системы. При этом реализуется метод засечки положения приемника от известных положений космических аппаратов (КА). Часто этот метод называют также точечным позиционированием.

В дифференциальном и относительном методе наблюдения производят не менее чем двумя приемниками, один из которых располагается на опорном пункте с известными координатами, а второй совмещен с определяемым объектом. В дифференциальном методе по результатам наблюдений на опорном пункте отыскиваются поправки к соответствующим параметрам наблюдений для неизвестного пункта или к его координатам. В нём достигается более высокая точность, чем в абсолютном методе, но только по отношению к опорной станции.

В относительном методе наблюдения, сделанные одновременно на опорном и определяемом пункте, обрабатываются совместно. Это основное различие между относительным и дифференциальным методом, которое приводит к повышению точности решений в относительном методе, но исключает мгновенные решения. В относительном методе определяется вектор, соединяющий опорный и определяемый пункты, называемый вектором базовой линии.

Точность абсолютного метода позиционирования при выключенном режиме селективного доступа SA гражданским пользователям стандартное GPS позиционирование обеспечивает определение координат со средней квадратической ошибкой (СКО) 15 м [1–2]. Возможности абсолютного метода по измерениям фазы ограничиваются точностью эфемерид и параметров часов спутников. Использовать бортовые данные спутников при их метровом уровне точности нецелесообразно, а точные апостериорные эфемериды появляются с большой задержкой. Поэтому абсолютное позиционирование по фазе несущей пока применяется редко.

Точность дифференциального и относительного метода значительно выше, чем в соответствующих вариантах абсолютного метода, и может достигать сантиметрового и даже более высокого уровня. Однако относительный и дифференциальный методы для реализации требуют наличие геодезической основы.

В дифференциальном методе позиционирования используется не менее двух приемников. Один из приемников интегрирован с контрольно-корректирующей станцией (ККС) и постоянно установлен в пункте с известным положением в общеземной системе координат WGS-84 или ПЗ-90. Второй приемник (мобильная станция (МС)) находится в точке, координаты которой необходимо определить. Суть дифференциального метода сводится к тому, что ККС, используя точные координаты фазового центра своей антенны, определяет из наблюдений спутников по-

правки для координат или псевдодалностей, которыми приемник МС исправляет свои соответствующие параметры и в результате получает уточнённые координаты. В основе этого приема лежит положение о том, что влияние различных источников ошибок на результаты измерений одинаково как для ККС, так и для МС, то есть используются свойства коррелированных ошибок.

В локальном дифференциальном методе (Local Differential LDGPS) работает одна ККС, обслуживающая все ближайшие мобильные приемники на расстояниях до 300–500 км (при кодовых определениях). Падение точности из-за уменьшения корреляции между ошибками по мере удаления мобильных приемников от базовой станции привело к идее использования сети ККС. Что касается дифференциального метода по наблюдениям фазы несущей, то расстояния от единственной базовой станции обычно находятся в пределах 10 км и редко доходят до 30 км [2].

СМВГ также могут применяться для определения азимутов направлений. На сегодняшний день принципиально описано без получения оценки точности получение азимута относительным методом космической геодезии в «Технических указаниях по развитию специальных геодезических сетей относительным методом космической геодезии – М.: РИО, 2002. – 46 с.». Как отмечалось ранее, обязательным условием для реализации относительного метода является наличие геодезической основы.

Сущность метода состоит в вычислении азимута из решения обратной геодезической задачи по координатам пунктов, полученных относительным методом космической геодезии.

Чтобы вычислить геодезические азимуты, по координатам и высоте пункта В, L, Н', определенных относительным методом спутниковой геодезии, с измеренными разностями координат ΔX , ΔY , ΔZ вычисляются координаты В, L пунктов, закрепляющих определяемые направления. Из полученных таким образом координат пунктов, вычисляются геодезические азимуты направлений и расстояния (длины геодезических линий на эллипсоиде) из решения обратной геодезической задачи.

Вместо геодезических азимутов могут вычисляться дирекционные углы. В этом случае геодезические координаты В, L пунктов, закрепляющих направления, пересчитываются в координаты x, y в проекции Гаусса-Крюгера, по которым вычисляются дирекционные углы и расстояния на плоскости проекции.

В данной работе обосновывается методика использования относительного метода космической геодезии для определения высокоточного геодезического азимута без использования исходной геодезической основы. Исходя из того что в локальном районе (10–30 км) влияние различных источников ошибок на результаты измерений одинаково для любого приемника, получим:

$$\begin{cases} X_M = X_{Mi}' + \partial X_i, \\ Y_M = Y_{Mi}' + \partial Y_i, \\ Z_M = Z_{Mi}' + \partial Z_i; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} X_N = X_{Ni} + \partial X_i, \\ Y_N = Y_{Ni} + \partial Y_i, \\ Z_N = Z_{Ni} + \partial Z_i; \end{cases} \quad (2)$$

где $\partial X_i, \partial Y_i, \partial Z_i$ – поправки для локального района в момент времени t_i ; $X'_{Mi}, Y'_{Mi}, Z'_{Mi}, X'_{Ni}, Y'_{Ni}, Z'_{Ni}$ – координаты точек M и N, закрепляющих ориентируемое направление, в момент времени t_i , полученные абсолютным методом; $X_M, Y_M, Z_M, X_N, Y_N, Z_N$ – координаты точек M и N в общеземной системе координат WGS-84 или ПЗ-90. В момент времени t_i будет получен вектор $M'N'$, искажённый ошибками $\partial X_i, \partial Y_i, \partial Z_i$.

Запишем координаты вектора MN и $M'N'$:

$$\begin{aligned} MN &\{X_M - X_N, Y_M - Y_N, Z_M - Z_N\}, \\ M'N' &\{X'_M - X'_N, Y'_M - Y'_N, Z'_M - Z'_N\}. \end{aligned}$$

Запишем координаты $M'N'$, используя (1) и (2):

$$M'N' \{ (X_M - \partial X_i) - (X_N - \partial X_i), (Y_M - \partial Y_i) - (Y_N - \partial Y_i), (Z_M - \partial Z_i) - (Z_N - \partial Z_i) \}.$$

Раскроем скобки:

$$M'N' \{ X_M - X_N, Y_M - Y_N, Z_M - Z_N \},$$

Одним из достаточных условий коллинеарности векторов является – равенство нулю их векторного произведения. Так как соответствующие координаты векторов $M'N'$ и MN равны, то приведённое выше, условие коллинеарности векторов выполняется. Вектор $M'N'$ будет коллинеарен и сонаправлен вектору MN.

Так как точность определения координат абсолютным методом космической геодезии составляет 15 м, а точность определения приращения координат находится в миллиметровом диапазоне, то за промежуток времени $\Delta t = t_0 + t_i$ получим множество сонаправленных векторов, которые в 95% случаях будут иметь ошибку координат до 15 м.

На рис. 1 mn – проекция ориентируемого направления MN (нормальное сечение) на поверхность относимости, $m'p'$ – линия параллельная истинному геодезическому меридиану mp . Пусть поверхность относимости является сферической. Допустим имеются погрешности ΔB и ΔL геодезических координат для направления MN. Погрешности ΔB и ΔL геодезических координат приведут к тому, что за проекцию направления MN на поверхности относимости вместо mn будет принята $m'n'$.

Через p на рис. 1 обозначено положение полюса. Геодезический азимут в смещённом положении точки m будет равен $A + \Delta A$, где ΔA – ошибка азимута, вызванная погрешностями геодезических координат. Она согласно уравнению Лапласа в случае, когда зенитное расстояние направления равно 90 градусов, будет равна $\Delta A = \Delta L \sin B$. Угол γ при m' есть сближение меридианов на эллипсоиде, которое в сферическом приближении равно $\gamma = \Delta L \sin B$ то есть совпадает с ΔA . Это означает что

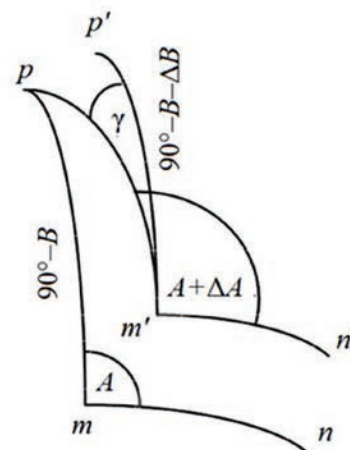


Рис. 1. Смещение проекции ориентируемого направления

угол $p'm'n'$ равен A [3].

В общем случае, когда зенитное расстояние направления MN не будет равно 90 градусов дуги, будет иметься зависимость ошибки ориентировки (δA) mn от погрешности ΔB и ΔL геодезических координат [3]:

$$\delta A = (\Delta B \sin A - \Delta L \cos A \cos B) \operatorname{ctg} z \quad (3)$$

Из (3) видно что δA зависит от азимута и от угла наклона ориентируемого направления. При величинах ошибок $\Delta L, \Delta B$ не превышающих 15 м на широте г. Москвы, значение выражения в скобках не превысит 0,7 секунды дуги. Результаты расчёта величины δA при условиях описанных выше для углов наклона ориентируемого направления равных 2, 5, 6, 7, 10, 20 градусов дуги приведены на рис. 2.

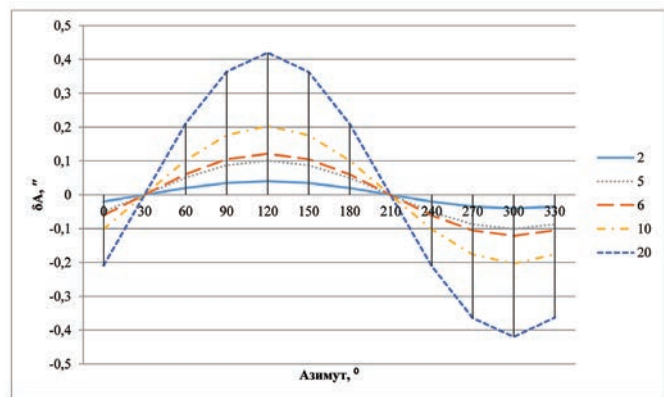


Рис. 2. Результаты расчёта величины δA для углов наклона ориентируемого направления равных 2, 5, 6, 7, 10, 20 градусов дуги

Из рис. 2 и формулы (3) видно, что в этом случае даже при погрешностях, в линейной мере достигающих 15 м, разница (δA) между любыми азимутами, из множества полученных векторов, не превысит 0,1 угловой секунды при углах наклона ориентируемого направле-

ния менее 5 градусов. Также при ориентировке направления близкой к $\pi/3 + \pi$ величина $\delta A \approx 0$.

В случае высокоточного ориентирования и превышения угла наклона ориентируемого направления величины 5 градусов дуги (ориентирование в горной местности), необходимо учитывать величину δA . При использовании предлагаемого метода ориентирования учёт величины δA не возможен, так как не используется геодезическая основа, необходимая для расчёта величин ΔB и ΔL геодезических координат. Но появляется возможность компенсировать величину δA выбором направления близкого к $\pi/3 + \pi$. В данном случае ориентируемое направление (близкое к $\pi/3 + \pi$) будет практически полностью избавленное от влияния систематических ошибок ориентирования, зависящих от азимута направления. В дальнейшем от этого направления методом измерения углов «во всех комбинациях» или «круговых приёмов» геодезический азимут может передаваться на любое направление с начального пункта ориентируемого направления.

Такой подход даст возможность контроля стабильности ориентируемых направлений, с помощью контрольного угла, образованного направлением близким к $\pi/3 + \pi$ и направлением, требуемым для ориентирования. Это позволит контролировать стабильность направлений, азимуты которых определяются.

Таким образом из-за погрешностей геодезических координат, полученных одновременно абсолютным методом, происходит параллельное смещение проекции направления на поверхность относимости, для которого определяется азимут. Это даёт основание утверждать, что относительный метод космической геодезии позволяет определять геодезические азимуты направлений до 30 км без использования исходной геодезической основы с прецизионной точностью.

Относительный метод СВ ВГ предполагает одновременные наблюдения на определяемых и исходных пунктах и совместную пост обработку результатов этих наблюдений. Для реализации этого метода достаточно установить аппаратуру потребителя космических навигационных систем (АП КНС) на пунктах закрепляющих ориентируемое направление и произвести одновременные наблюдения. Азимут, полученный данным способом, будет являться геодезическим.

Геодезическим азимутом направления является угол между северным направлением геодезического меридиана и геодезической линией соединяющей начальный и конечный пункты ориентируемого направления. Топоцентрическим азимутом является угол в плоскости горизонта между направлением на север и направлением на объект. Геодезическая линия ориентируемого направления и геодезический меридиан пункта, с которого определяется азимут, являются пересекающимися пространственными кривыми. Угол между пересекающимися пространственными кривыми есть угол между касательными, проведёнными к этим кривым в точке их пересечения. Плоскость горизонта в начальной точ-

ке ориентируемого направления является касательной плоскостью в этой точке к поверхности эллипсоида. Касательная плоскость к поверхности перпендикулярна нормали поверхности в точке касания. Нормаль к плоскости перпендикулярна всем прямым принадлежащим этой плоскости. Плоскость возможно задать двумя пересекающимися прямыми. Из изложенного следует, что значение геодезического азимута будет равно значению топоцентрического азимута, при условии, что северное направление топоцентрического азимута будет являться касательной северного направления геодезического меридиана. Это даёт возможность заменить вычисление геодезического азимута вычислением топоцентрического с целью упрощения вычислений.

Пусть по результатам обработки спутниковых измерений получены координаты пунктов в геодезической системе координат. Для определения геодезического азимута перейдём из пространственной геоцентрической системы координат (СК) к топоцентрической горизонтной СК Y', X', Z' по формуле [3]:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = A^T \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где

$$A^T = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin L & \cos B \cos L \\ -\sin B \sin L & \cos L & \cos B \sin L \\ \cos B & 0 & \sin B \end{bmatrix}; \quad (5)$$

B, L – геодезические широта и долгота пункта.

Тогда геодезический азимут направления MN можно найти из уравнения [1]:

$$A_{MN} = \arctg \left(\frac{\Delta Y'}{\Delta X'} \right) + \delta_{HN}, \quad (6)$$

где $\Delta X', \Delta Y'$ – приращения в топоцентрической горизонтной СК, $\delta_{(H_N)}$ – поправка за высоту наблюдаемого пункта N (согласно Руководства по астрономо-геодезическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Часть 2. Астрономические и гравиметрические работы. М.: РИО ВТС, 1982. 427 с.). При $B=45^\circ, A=45^\circ, H_N=1000$ м (H_N – высота точки N над поверхностью эллипсоида) имеем $\delta_{HN}=0,5''$ [3].

Пренебрегая методическими погрешностями перевычисления координат, СКО определения геодезического азимута вычисим из формулы [1]:

$$m_{A_{MN}} = \frac{\rho'' m_p}{D}, \quad (7)$$

где ρ'' – постоянная ($\rho'' = 206\,265''$); m_p – СКО измерения приращений координат между точками; D – расстояние между точками установки антенн АП КНС, приведенное на плоскость горизонта $D = (X'^2 + Y'^2)^{1/2}$.

Ожидаемые СКО определения геодезических азимутов ориентирных направлений m_{AMN} АП КНС при точности определения приращений координат $m_p = 5$ мм + 1 мм на 1 км линии представлены на рис. 3.

Таблица 1

Продолжительность сеанса синхронных наблюдений

Длина стороны, км	Продолжительность наблюдений, не менее
До 15	30 мин
15-30	40 мин

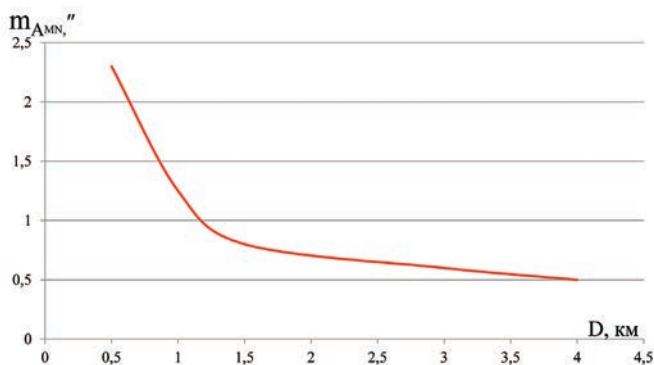


Рис. 3. Ожидаемые СКО определения геодезических азимутов m_{AMN} в зависимости от расстояния D между точками установки антенн АП КНС, приведенного на плоскость горизонта

Определение геодезических азимутов с использованием АП КНС возможно на достаточно открытой местности при обеспечении взаимной видимости между точками установки антенн.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что приёмники навигационных систем ГЛОНАСС и NAVSTAR, как на основном, так и на контрольном направлениях должны быть удалены друг от друга на расстояние примерно от 1200 м и более для точности ориентирования с СКО 1 угловая секунда и лучше.

Исходя из вышеизложенного, предлагается следующая последовательность определения геодезического азимута без геодезической основы с использованием АП КНС:

- выбор, закладка пунктов опорных, ориентируемых и контрольных направлений (расстояния между пунктами не более 30 км и не менее предельного расстояния рассчитанного из формуле (7));
- одновременные спутниковые наблюдения на пунктах закрепляющих ориентируемые направления;
- вычисление координат пунктов, закрепляющих ориентируемое направление, по абсолютному СМ ВГ;
- пересчёт из пространственной геоцентрической СК в топоцентрическую горизонтную СК координат пунктов, закрепляющих ориентируемое направление;
- вычисление геодезического азимута по формуле (6);
- для перехода к астрономическому азимуту необходимо ввести поправку за отклонение отвесной линии.

Требования к выполнению наблюдений должны соответствовать «Техническим указаниям по развитию специальных геодезических сетей относительным методом космической геодезии»:

Суммарная продолжительность сеанса синхронных наблюдений при геометрическом факторе PDOP не более 6 единиц должна быть не менее величин, указанных в табл. 1.

Если приёмником нельзя выполнить наблюдения с центра пункта, например, из-за помех, вызванных металлическим сигналом, то приёмник устанавливает-

ся вблизи пункта над точкой наблюдения. Расстояние от приёмника до центра пункта не должно превышать 100 м. В точке наблюдения закладывается временный центр, над которым центрируется антенна.

Углы возвышения препятствий над горизонтом не должны превышать 10° , а при наличии таковых, сектор обзора небесной сферы должен составлять не менее 270° .

Нежелателен выбор пунктов вблизи мощных линий электропередач, радиолокационных станций и других возможных источников радиопомех. Запрещается проводить наблюдения во время грозы.

Описанный метод обладает следующими характеристиками:

- высокой точностью ориентирования;
- слабой зависимостью от метеорологических условий;
- независимостью от наличия исходной геодезической основы;
- высокой оперативностью.

Перечисленные характеристики дают основание к причислению предлагаемого метода к автономным, оперативным и высокоточным методам статического ориентирования, что определяет его универсальность при определении азимута. Так относительный метод без использования исходной геодезической основы может быть применён для оперативного создания полигонов эталонирования гиротеодолитов (гироскопов), разбивке территорий, геодезическом обеспечении аэродромов, подготовке маршрутов, в том числе в сложных погодных условиях. На пример в арктических широтах, использование гироскопического метода ориентирования не возможно (из-за высоких широт), оперативное ориентирование с применением астрономического метода нереализуемо из-за неблагоприятных метеорологических условий, ориентирование с использованием геодезического метода не возможно из-за отсутствия геодезической основы в требуемом районе. При необходимости оперативного высокоточного ориентирования в условиях высоких широт описанный метод является наиболее подходящим. В условиях значительного роста внимания к освоению Арктики актуальность применения описанного метода определения азимута очевидна.

Литература

1. Яковлев А. И., Бойцов А. А., Прокофьев А. В. Определение эталонных направлений с использованием аппаратуры потребителей космических навигационных

систем // Вопросы оборонной техники. Серия 9. Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. 2012. № 4 (256). С. 73–79.

2. Антонович К.М. Использование спутниковых

радионавигационных систем в геодезии: монография. В 2 т. Т. 2. М.: ФГУП Картгеоцентр, 2006. 360 с.

3. Пеллинен Л.П., Высшая геодезия. М.: Недра, 1978. 264 с.

Для цитирования:

Чернов И.В. Исследование возможности определения азимута с использованием аппаратуры потребителя космических навигационных систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 14–19.

A STUDY OF THE ABILITY TO DETERMINE AZIMUTH BY USING THE USER EQUIPMENT OF SPACE NAVIGATION SYSTEMS

Chernov Ivan Vladimirovich,

St. Petersburg, Russia, 4ern86@bk.ru

Abstract

The azimuths determined in the interests of civil and military users. For each complex technical system the individual requirements for the accuracy and timeliness of the determination of azimuths demands. These standards are due to operation rules. In addition to the requirements there are a number of specific, individual standards due to the special conditions of application of the technical system, the most important requirement is an "autonomy".

By "autonomy" we mean such characteristic method of definition of geodetic data, which allows you to get them independently of weather conditions, without a source of a geodetic basis, at any time of the day.

The requirement of the autonomy orientation method arises in providing geodetic data mobile technical systems, especially when applying them unprepared in advance in respect of geodesic districts. Also, the requirement of autonomy orientation method occurs when geodetic surveys for construction and geodetic support facilities located in areas with large sparse geodetic network or in extreme climatic conditions (laying of pipelines, communication and powerlines). Determination of the azimuth using method of space geodesy is not described in the manuals and technical guidance. Principally there are describing without obtaining estimates of the precision of the azimuth receive only a relative method of space geodesy in the "Technical guidance on development of special geodetic networks relative method of space

geodesy". Offered in the scientific literature azimuth definition with the usage of relative method of space geodesy using the original geodetic network allows us to make an orientation root mean square error up to 0.5 arcsecond. In connection with the possibilities for high-precision definition of the increments and equal influence in the same moment of time different sources of errors on measurement results for any receiver in the local area (10-30 km), the research capabilities were conducted with operational Autonomous orientation with the application of higher geodesy. The result of this research was to study the possibility of Autonomous operational orientation with high accuracy with the usage of satellite geodesy method without using the original geodetic framework.

Keywords: azimuth; autonomous orientation; high-precision orientation; fast orientation; satellite method; method of guidance; space navigation system.

References

1. Yakovlev A. I., Bojcov A. A., Prokofev A. V. The definition of the reference areas using the user equipment of space navigation systems. *Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 9. Specialnye sistemy upravleniya, sledyashhie privody i ix elementy*. 2012. No. 4 (256). Pp. 73–79. (In Russian).
2. Antonovich K.M. *Ispolzovanie sputnikovyx radionavigacionnyx sistem v geodezii* [The use of satellite navigation systems in geodesy. Monografiya.]. In 2 vol. Vol. 2. Moscow, Kartgeocentr, 2006. 360 p. (In Russian).
3. Pellinen L.P., *Vysshaya geodeziya* [Higher geodesy]. Moscow, Nedra, 1978. 264 p. (In Russian).

Information about authors:

Chernov I.V., postgraduate student, Military Space Academy.

For citation:

Chernov I.V. *A study of the ability to determine azimuth by using the user equipment of space navigation systems*. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 14–19.

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО НАБОРА СВЯЗУЮЩИХ ТОЧЕК ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВЗАИМНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Соловьев

Алексей Владимирович

адъюнкт Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
solov19882008@mail.ru

Ключевые слова:

взаимное ориентирование; связующие точки; отождествление; стереопара; отбраковка.

АННОТАЦИЯ

Повышение оперативности создания геопрограммной информации по материалам аэрокосмических снимков возможно, прежде всего, через автоматизацию основных технологических процессов фотограмметрической обработки. Для автоматизации этапа взаимного ориентирования цифровых аэрокосмических снимков, а именно для набора связующих точек, в современных цифровых фотограмметрических системах применяются корреляционно-экстремальные методы поиска измеряемых точек. Недостатками таких методов является высокая вероятность возможных ошибок, влияние яркостно-геометрических искажений изображений и другие факторы, зависящие от условий формирования изображений. Кроме того, эти методы показывают низкое качество работы на снимках с однородным изображением. А самое главное, что этот подход не позволяет добиться полной автоматизации набора связующих точек, как бы не совершенствовались экстремально-корреляционные алгоритмы все равно остается необходимость выполнения накладки монтажа. Показано, что повышение уровня автоматизации этапа взаимного ориентирования аэрокосмических снимков требует создания принципиально новых подходов к решению задач выбора и отождествления одноименных точек стереопары аэрокосмических снимков. Предлагаемый метод базируется на алгоритмах заимствованных в дисциплине компьютерного зрения и состоит из двух этапов. На первом этапе, с использованием алгоритмов поиска и выделения особых точек – детекторов, получают набор особых точек. На втором этапе решается задача сравнения (сопоставления) особых точек. Степень соответствия (похожести) одноименных точек определяют по «вектору признаков» – дескриптору. Дескриптор (от лат. descriptor – описывающий) это идентификатор точки, выделяющей ее из остальной массы похожих точек, он содержит компактное представление характерных особенностей. Строится дескриптор на основании информации об интенсивности, цвете и текстуре особой точки и ее окрестности. Данные алгоритмы допускают значительный процент неверных отождествлений и для их нейтрализации, применяется оригинальная методика фильтрации (отбраковки) ошибочно сопоставленных точек, разработанная на основе алгоритма RANSAC. Полученные результаты исследования позволяют утверждать, что процесс набора связующих точек возможно полностью автоматизировать и оператора в этом процессе заменить новыми алгоритмами. Это позволит ускорить процесс фотограмметрической обработки аэрокосмических снимков и оперативность создания геопрограммной информации.

Совершенствование технологий и методов фотограмметрической обработки аэрокосмических снимков привело к идее автоматизации всего технологического цикла. Так, например, уже давно не вызывает затруднений этап внутреннего ориентирования снимков – эта задача решается автоматически практически во всех цифровых фотограмметрических системах (ЦФС). А вот задача взаимного ориентирования, другими словами – определение элементов взаимного ориентирования (ЭВЗО) снимков стереопары, связана с массой трудностей. Как известно, для определения ЭВЗО требуется измерить на снимках стереопары плоские координаты не менее шести пар соответственных (одноименных) точек, составить систему уравнений взаимного ориентирования и решить ее. Однако ключевой проблемой этого процесса является поиск (набор) в автоматическом режиме надежно сопоставленных (одноименных) точек. Предлагаемый метод осуществляет набор связующих точек алгоритмами анализа структуры изображения, а затем применяется оригинальная методика фильтрации (отбраковки) ошибочно сопоставленных точек на основе так называемого восьмиточечного алгоритма и алгоритма RANSAC. Так получают набор надежно сопоставленных связующих (одноименных) точек по которым составляют и решают системы уравнений взаимного ориентирования.

Для автоматизации поиска одноименных точек на стереопарах в современных ЦФС применяются корреляционно-экстремальные методы поиска измеряемых точек.

Недостатками таких методов является высокая вероятность возможных ошибок, влияние яркостно-геометрических искажений изображений и другие факторы, зависящие от условий формирования изображений. Кроме того, эти методы показывают низкое качество работы на снимках с однородным изображением. А самое главное, что этот подход не позволяет добиться полной автоматизации набора связующих точек, как бы не совершенствовались экстремально-корреляционные алгоритмы все равно остается необходимость выполнения наглядного монтажа. Поэтому в последнее время все больше применяются алгоритмы отождествления особенных точек на базе анализа структуры изображения.

Предлагаемый метод базируется на алгоритмах заимствованных в дисциплине компьютерного зрения и состоит из двух этапов. На первом этапе, с использованием алгоритмов поиска и выделения особых точек – детекторов, получают набор особых точек. Существует несколько типов особых точек: углы, точки соединения линий, точки высокой кривизны градиента яркости, центры тяжести областей, концы линий, точки экстремальных значений признаков. Особое значение для фотограмметрической обработки имеют углы, так как угол больше всего подходит под формализованное представление точек на четких контурах. Поэтому, в данном методе, используются алгоритмы поиска углов, которых в настоящее время известно довольно много, самые известные из них детектор Харриса и FAST детектор.

На втором этапе решается задача сравнения (сопоставления) особых точек. Степень соответствия (похожести) одноименных точек определяют по «вектору признаков» – дескриптору. Дескриптор (от лат. descriptor – описывающий) это идентификатор точки, выделяющей ее из остальной массы похожих точек, он содержит компактное представление характерных особенностей. Строится дескриптор на основании информации об интенсивности, цвете и текстуре особой точки и ее окрестности. К наиболее известным алгоритмам построения дескрипторов относятся: алгоритм SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [1] и алгоритм SURF (Speeded Up Robust Features) [2].

Совершенно естественно, что среди пар особых точек, совпадающих по дескриптору (вектору признаков), неизбежно будут встречаться ошибочно опознанные и, это будет сказываться на дальнейшем решении уравнений взаимного ориентирования, поэтому необходимо предусмотреть надежный способ отбора (фильтрации) соответственных точек. Эта задача усложнена тем фактом, что количество ошибочных сопоставлений при автоматическом наборе связующих точек заранее неизвестно и может быть более половины от общего числа найденных соответствий.

Неприменимость метода наименьших квадратов в условиях наличия ошибочно сопоставленных точек показана в работах Р.Е. Калмана и Х. Соренсена [3]. Они указывали, что для условий машинной идентификации никакое вычисление соответствия не может быть проведено без решения задачи количественного описания неточности данных и исключения ошибочных.

Суть проблемы заключается в невозможности априорно определить, где исходные данные (измерения) точные, а где данные с грубыми ошибками (грубые измерения).

Для повышения надежности сопоставления одноименных точек на стереопаре т.е. для отбраковки ошибочно сопоставленных точек применяются различные методики, например, метрическая, топологическая, М-оценки, но самыми эффективными признаются методики на основе алгоритма RANSAC. Суть которого заключается в выборе лучшего решения которое получено на основе не всей выборки, а минимально необходимого количества точек.

Этапы метода автоматического набора связующих точек для выполнения взаимного ориентирования схематично изображены на рис. 1.

Стереопара цифровых аэрофотоснимков преобразуется в два черно-белых изображения, это необходимо для сокращения объема занимаемой оперативной памяти и к тому же цвет изображения не является необходимым для процесса согласования содержания изображений.

На следующем этапе используются алгоритмы поиска локальных особенностей – детекторы. В целях фотограмметрической обработки аэрофотоснимков рекомендуется использование в качестве локальных особенностей (особенных точек) углы [4]. Самым распространенным алгоритмов поиска таких особенно-

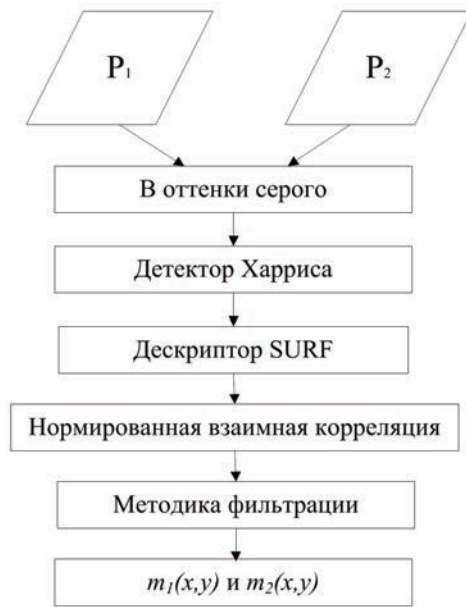


Рис. 1. Схема метода

стей является детектор углов Харриса. Его и используют в данном методе, хотя возможны вариации.

Сопоставление точечных особенностей выполняется с применением дескрипторов, в данном случае применяется дескриптор SURF (Speeded Up Robust Features). Далее, для повышения качества (процента верно сопоставленных точек) извлекается блок 9×9 пикселей изображения вокруг каждой точки и для этих регионов применяется функция нормированной взаимной корреляции. При этом каждая точка в первом изображении согласуется с точками в другом изображении без ограничения уникальности, поэтому точки с обоих изображений могут участвовать в установлении нескольких соответствий.

Полученные на этом этапе наборы связующих точек, все еще могут содержать ошибочно сопоставленные точки и для их отбраковки (фильтрации) применяется оригинальная методика фильтрации на основе алгоритма RANSAC, но значительно модифицированная под задачи фотограмметрической обработки, она приведена в работе [5]. Основными этапами этой методики являются преобразование плоских координат связующих точек в однородные координаты

$$\begin{matrix} m_1(x_{1b}, y_{1b}) \\ m_2(x_{2b}, y_{2b}) \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} m_1(x_{1b}/f, y_{1b}/f, 1) \\ m_2(x_{2b}/f, y_{2b}/f, 1) \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} m_1(u_{1b}, v_{1b}, 1) \\ m_2(u_{2b}, v_{2b}, 1) \end{matrix} \quad (1)$$

Затем, случайным образом формируют набор μ по восемь сопоставленных точек из наборов m_1 и m_2 . При этом в одном наборе μ не должно встречаться одинаковых (повторяющихся) точек и каждый такой набор μ должен отличаться от другого хотя бы одной точкой. Таких наборов набирается заданное число.

Далее, для каждого μ составляем систему линейных уравнений и решают ее используя 8-ми точечный алгоритм. Решением каждой из этих систем уравне-

ний будет фундаментальна матрица F_i , которую «примеряют» ко всему набору связующих точек на условие

$$m_1 \times F_i \times m_2' = \gamma \quad (2)$$

где γ отклик близкий к нулю, на величину этого отклика устанавливают допуск и по нему отбраковывают неточно сопоставленные точки, а затем, подсчитывают количество точек, удовлетворяющих этому допуску для каждой F_i .

Конечным результатом работы данного метода является матрица F при которой количество точек удовлетворяющих критерию (2) максимально и координаты этих точек.

На этом задача поиска (набора) надежно сопоставленных одноименных точек в автоматическом режиме решена. Остается выполнить оценку качества полученных результатов. Для этого составляются и решаются традиционные уравнения взаимного ориентирования и на каждой из точек вычисляется остаточный поперечный параллакс.

Экспериментальные исследования, проведенные на снимках с БПЛА фирмы «Птеро», камерой с фокусным расстоянием 50 мм, показали работоспособность предлагаемого метода. Суть эксперимента заключалась в сравнении качества автоматического набора связующих точек в ЦФС PHOTOMOD и предлагаемого метода. Были выбраны стереопары снимков на различные районы местности (населенный пункт, сплошной лес и луг). При обработке каждой стереопары в ЦФС выполнялось внутреннее ориентирование, накидной монтаж и уже после этого запускалась процедура автоматического набора связующих точек. Предлагаемый метод был реализован в среде программирования МАТЛАБ и не требовал вмешательства оператора. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Местность	Количество точек							
	ЦФС «PHOTOMOD»				Предлагаемый метод			
	Задано найти	$\Delta q > 1$ пик.	ср.кв. Δq	t, c	Найдено	$\Delta q > 1,5$ пик.	ср.кв. Δq	t, c
НП	30	5	0,45	450	68	18	0,60	162
Луг	30	5	0,37	470	38	1	0,54	167
Лес	30	3	0,60	460	36	26	0,84	163

Допуск на остаточный поперечный параллакс, к предлагаемому методу, был занижен в 1,5 раза. В этих условиях процент отбракованных точек в обоих методах сопоставим. Однако по времени работы и степени автоматизации предлагаемый метод значительно превосходит ЦФС PHOTOMOD.

Предметом дальнейших исследований в направлении совершенствования предложенного метода будут оптимизация допусков и подбор оптимальных сочетаний различных алгоритмов поиска, сопоставления и фильтрации одноименных точек.

Полученные результаты позволяют утверждать, что процесс набора связующих точек будет полностью автоматизирован и роль оператора в этом процессе за-

меняют новые алгоритмы. Кроме того метод значительно упрощает работу оператора.

Литература

1. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features // *Computer Vision and Image Understanding*. 1999. Vol. 7. Pp. 1150–1157.
2. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded up robust features // *Computer Vision and Image Understanding*. 2008. Vol. 110. Pp. 346–359.
3. Sorensen H.W. Least-squares estimation: from Gauss

to Kalman // *IEEE Spectrum*. 1970. Vol. 3. Pp.63–68.

4. Райченко Б.В., Некрасов В.В. Практическое применение методов ключевых точек на примере сопоставления снимков со спутника «Канопус-В» // *Геоматика*. 2013. № 2. С. 52–58.

5. Соловьев А. В. Методика отбраковки ошибочно сопоставленных точек на стереопаре // *Инновационная деятельность в Вооруженных Силах Российской Федерации: тр. всероссийской науч.-практической конф., Санкт-Петербург, 17-18 сентября 2014 г. СПб.: Военная академия связи, 2014. С. 235–239.*

Для цитирования:

Соловьев А.В. Метод автоматического набора связующих точек для выполнения взаимного ориентирования аэрокосмических снимков // *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли*. 2016. Т. 8. № 3. С. 20–23.

METHOD OF THE AUTOMATIC SET OF BINDING POINTS FOR PERFORMANCE OF MUTUAL ORIENTATION OF SPACE PICTURES

Soloviev Alexey Vladimirovich,

St. Petersburg, Russia, solov19882008@mail.ru

Abstract

First of all the operation increase of geospatial information creation based on the aerospace pictures is possible through the automation of general technological processes of photoplotting. For automation of relative orientation digital aerospace pictures' phase namely the set of change points the correlation extreme methods of invert points searching are used in modern digital photoplotting systems. The disadvantages of these methods are the high probability of possible mistakes, the influence of bright –geometrical picture distortion and other factors depended on the conditions of picture forming. Moreover these methods show the low quality of work on the pictures with homogeneous image. And the main thing is that this way doesn't allow getting the whole automation of the change points set lest the extreme-correlation algorithm would be perfected there is the necessity of preliminary compilation fulfillment anyway. It is showed the increasing of relative orientation aerospace pictures' phase demands the creation of fundamentally new ways to solve the tasks of choosing and identification of the same name points of aerospace picture stereo pair. The proposed method is based on the algorithms taken from the computer vision discipline and consists of two phases. At the first stage the set of special points is got with help of searching and special points separation algorithms. At the second stage the comparison (confrontation) of special points task is being solved. The degree of conformity (similarity) of the same name points is defined by «attribute vector» - by descriptor. The descriptor (lat. Descriptor – describing) is the point identifier defining it from the rest similar points. It contains the compact conception

of typical features. It is formed by the information about the intense, color and texture of the special point and its surrounding. These algorithms permit the huge percent of wrong identifications and the original method of falsely compared points filtration based on RANSAC algorithm is used for its neutralization. The obtained results allow saying that the process of change points collection can be fully automated and the operator can be changed to new algorithms at this process. It will speed the process of aerospace picture photogrammetric handling and the efficiency of geospatial information creation.

Keywords: mutual orientation; binding points; identification; stereo pair; rejection.

References

1. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features. *Computer Vision and Image Understanding*. 1999. Vol. 7. Pp. 1150–1157.
2. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded up robust features. *Computer Vision and Image Understanding*. 2008. Vol. 110. Pp. 346–359.
3. Sorensen H.W. Least-squares estimation: from Gauss to Kalman. *IEEE Spectrum*. 1970. Vol. 3. Pp.63–68.
4. Raichenko B.V., Nekrasov V.V. The practical application of the key points in the example of comparing satellite images «Canopus-V». *Geomatics*. 2013. No. 2. Pp. 52–58. (In Russian).
5. Solovyov A.V. Innovatsionnaya deyatel'nost' v Vooruzhennykh Silakh Rossiyskoy Federatsii. *Trudy vsearmey-skoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Works of Vsearmey-sky scientific-practical conference "Innovative activity in Armed Forces of the Russian Federation"]*, St. Peterburg, 17–18 September 2014. St. Peterburg, Military academy of communication Publ., 2014. Pp. 235–239. (In Russian).

Information about authors:

Soloviev A.V., postgraduate student of Military Space Academy.

For citation:

Soloviev A.V. Method of the automatic set of binding points for performance of mutual orientation of space pictures. *H&ES Research*. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 20–23.

СИНТЕЗ ШИРОКОПОЛОСНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Мищенко

Сергей Евгеньевич

д.т.н., профессор, ведущий научный
сотрудник Ростовского-на-Дону
научно-исследовательского
института радиосвязи,
г. Ростов-на-Дону, Россия,
mihome@yandex.ru

Шацкий

Виталий Валентинович

к.т.н., с.н.с., старший научный
сотрудник Ростовского-на-Дону
научно-исследовательского
института радиосвязи,
г. Ростов-на-Дону, Россия,
VshatsV@yandex.ru

Землянский

Сергей Владимирович

к.т.н., преподаватель
Краснодарского высшего военного
училища имени генерала
армии С.М. Штеменко
г. Краснодар, Россия,
zems1980@rambler.ru

Ключевые слова:

входное сопротивление; коэффициент
отражения; симметричный вибратор;
широкополосная антенна;
генетический алгоритм.

АННОТАЦИЯ

Основным способом решения проблемы широкополосности является создание излучателей с медленно меняющимся входным импедансом в полосе частот. Одним из приемов является усложнение распределения тока в излучателе за счет перехода от линейной антенны к плоскому излучателю. Рассмотрен синтез широкополосной вибраторной антенны на основе скрещенных вибраторов, в которых ортогональные компоненты токов являются независимыми. Данная антенна состоит из трех взаимно ортогональных симметричных вибраторов с совмещенными фазовыми центрами с заданной длиной плеча и радиусом проводника. Фидерный тракт состоит из сумматора (делителя) мощности «на три», четвертьволновых трансформаторов сопротивлений и отрезков линий передачи, параметрами которых являются волновое сопротивление и длина фидера. Задача синтеза сводится к решению задачи о минимизации модуля коэффициента отражения антенны в полосе частот, зависящего от девяти параметров: длин плеч, радиусов и длин фидеров каждого из трех вибраторов с помощью генетического алгоритма. Использование генетического алгоритма для решения задачи синтеза широкополосного излучателя позволило установить, что с точки зрения выбранного критерия качества могут быть получены различные решения, обладающие близким качеством. Входной импеданс отдельного вибратора в задаче синтеза рассчитывался на основе «метода эквивалентных схем». Полученные результаты позволили сформировать частотную зависимость входного сопротивления антенны, у которого реальная часть в заданном интервале частот от 196 до 396 МГц (центральная частота 296 МГц) практически неизменна и колеблется вблизи 50 Ом, а мнимая часть колеблется вблизи нулевого уровня. Численные результаты подтверждают возможность применения процедуры узкополосного согласования для отдельных антенных элементов системы излучателей с целью расширения рабочей полосы всей системы (для приведенного примера это расширение составило 87 %). Предлагаемый метод относится к классу методов конструктивного синтеза антенн и позволяет при определенных модификациях и ограничениях стать основой для решения целого ряда практически важных задач создания широкополосных антенн.

Основным элементом системы радиотехнической разведки (СРР) является приемник, с помощью которого определяется частота перехватываемого излучения. В процессе сбора и обработки информации в информационном поле приемник СРР должен быть согласован с антенной в заданном диапазоне частот, существенно определяемом ее свойствами. Поэтому при проектировании антенн СРР необходимо уметь синтезировать их требуемые свойства.

В работах [1–4] был предложен сложный широкополосный излучатель, состоящий из трех взаимно ортогональных симметричных вибраторов. Рабочая полоса излучателя, равная 85%, обеспечивалась за счет решения задачи узкополосного согласования каждого вибратора с фидерным трактом. Это потребовало решать задачу оптимизации излучателя по критерию минимума квадрата модуля коэффициента отражения на входе фидера в выбранной полосе частот. Искомыми параметрами являлись длины и радиусы вибраторов, а также длины питающих вибраторы линий передачи. Для решения данной задачи был предложен градиентный метод оптимизации, который показал свою работоспособность. В то же время применение градиентного подхода оставляет ряд вопросов. Главным из них является вопрос о соответствии полученного в работах [1–4] решения глобальному экстремуму выбранного критерия. Наличие локальных экстремумов при различных начальных параметрах итерационного процесса может приводить к различным по качеству решениям. В связи с этим представляет интерес проверка полученного в [1–4] решения с помощью подхода, основанного на принципе направленного перебора. К числу методов, реализующих этот принцип, относятся, например, генетические алгоритмы [5–8] и алгоритм PSO [9–11].

Цель работы состоит в решении задачи выбора параметров широкополосного излучателя из трех взаимно ортогональных симметричных вибраторов на основе генетического алгоритма.

Рассмотрим задачу определения оптимальных параметров системы вибраторов и фидерного тракта с делителем, представленную на рис. 1. Искомыми параметрами задачи являются: длины l_a и радиусы r_a симметричных вибраторов, а также отрезки линий передачи длиной L_a ($a = x, y, z$). Пусть фидерный тракт состоит из равномерного сумматора «на три» (1 вход сумматора имеет волновое сопротивление 50 Ом, а остальные 150 Ом), четвертьволновых трансформаторов сопротивлений линий передачи с волновым сопротивлением Z_{0a} к волновому сопротивлению 150 Ом (блоки 1–3) и отрезков линий передачи с волновым сопротивлением Z_{0a} и длиной L_a , необходимых для согласования линии передачи с вибраторами. Z_{in-a} – сопротивление после трансформации в каждом плече, Z – входное сопротивление антенны.

Математическая модель рассматриваемой антенной системы на рис.1 была описана в работах [1–4].

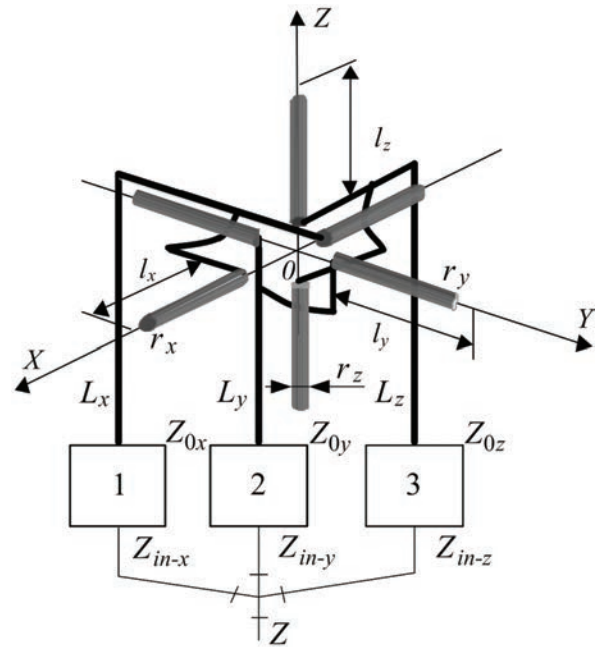


Рис. 1. Система из трех тонких взаимно ортогональных вибраторов

В качестве критерия оптимизации выберем минимум квадрата модуля коэффициента отражения на входе фидера в выбранной полосе частот:

$$Q = \int_{\omega_1}^{\omega_2} |\rho(l_a, r_a, L_a, \omega)|^2 d\omega, \quad (1)$$

где $\rho(l_a, r_a, L_a, \omega)$ – модуль коэффициента отражения антенны в полосе частот.

Для решения сформулированной оптимизационной задачи воспользуемся каноническим генетическим алгоритмом, реализующим идею эволюционного подхода в виде следующих процедур.

1. Вначале случайным образом генерируется конечный набор (популяция) пробных решений (особей):

$p^1 = \{p_1^1 \dots p_n^1\}$, $p_i^1 \in CH$ (первое поколение). Здесь CH – пространство поиска генной структуры хромосомы $ch = (l_x, l_y, l_z, r_x, r_y, r_z, L_x, L_y, L_z)$.

2. Тело итерационного процесса начинается с оценки приспособленности текущего поколения k :

$$F^k = \{f_1^k \dots f_n^k\}, \quad f_i^k = Q(p_i^k).$$

3. Из популяции отбираются и удаляются $n - n_{c+m}$ худших по значениям функции цели особей. Оставшиеся особи n_s составляют родительскую группу.

4. В родительской группе проводится оценка погрешности выбранных точек экстремума:

$$D = \max Q(p_i^k) - \min Q(p_i^k).$$

Заданное число D_0 определяет точность генетического алгоритма, при достижении которой происходит выход из программы поиска решений (при $D > D_0$).

5. Отобранные родительские особи используются для генерации (операция скрещивания) нового поколения решений n_c , составляющих некоторую часть от исходной популяции n . При этом каждый ген (параметр) хромосомы нового поколения выбирается случайным образом из интервала изменения параметров родительских генов (с родительскими признаками).

6. Для уменьшения вероятности потери точки глобального экстремума в новую популяцию добавляется еще n_m особей, полученных аналогично п. 1.

7. Полученное новое поколение $n = n_s + n_c + n_m$ особей посредством операторов селекции S , скрещивания C и мутаций M : $P^{k+1} = M \cdot C \cdot S(P^k, F^k)$ (п.п. 2, 4 и 5) полностью заменяет исходное поколение п. 1. В результате формируется особей нового поколения (здесь нижние индексы «s», «c» и «m» характеризуют соответственно операции селекции S , скрещивания C и мутаций M).

8. Процедура возвращается к п. 2. Обновление поколений продолжается до тех пор, пока во всех координатных точках родительской группы значения оптимизируемой функции не будут отличаться друг от друга меньше, чем заданное малое число D_0 .

От поколения к поколению исследуемое подпространство будет сужаться. Таким образом, генетический алгоритм в исследуемом подпространстве будет случайным образом просматривать точки, выискивая среди них оптимальные в смысле целевой функции.

Ниже представлены результаты решения задачи синтеза широкополосной вибраторной антенны на основе генетического алгоритма.

Диапазон исходных данных параметров ограничивался следующими неравенствами: $0,1 \leq l_a \leq 0,5$, $0,01 \leq r_{ai} \leq 0,125$, $0,1 \leq L_{ai} \leq 1$. Численные соотношения между особями в популяции размером $n = 100$ после применения операций селекции S , скрещивания C и мутаций M составляли: $n_s = 20$, $n_c = 20$ и $n_m = 60$.

Решение задачи синтеза широкополосной вибраторной антенны отражает изменение целевой функции, показанное на рис. 2, где t – количество итераций эволюционного алгоритма. Здесь кривые 1–6 характеризуют номера реализаций при фиксированных начальных параметрах эволюционного алгоритма.

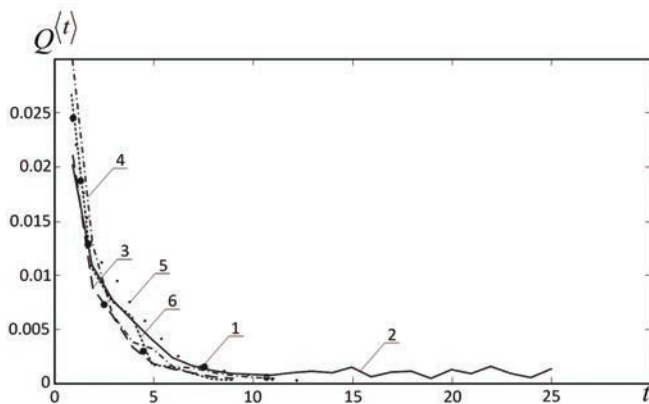


Рис. 2. Изменение целевой функции в процессе синтеза

В результате решения задачи для каждой из реализаций на рис. 2 была сформирована такая частотная зависимость входного сопротивления системы на рис. 1, у которого реальная часть в заданном интервале частот от 196 до 396 МГц (центральная частота 296 МГц) практически неизменна и колеблется вблизи 50 Ом, а мнимая часть колеблется вблизи нулевого уровня (рис. 3, рис. 4).

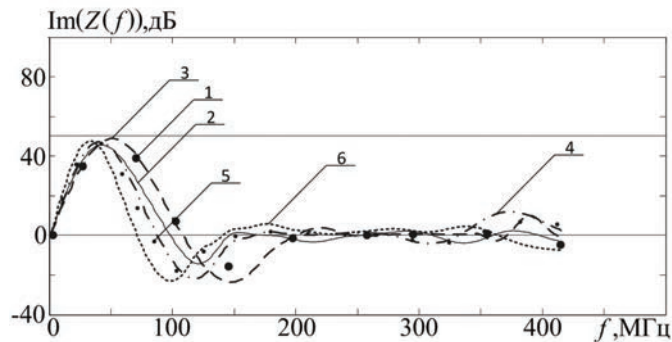


Рис. 3. Зависимость мнимой части входного сопротивления от частоты

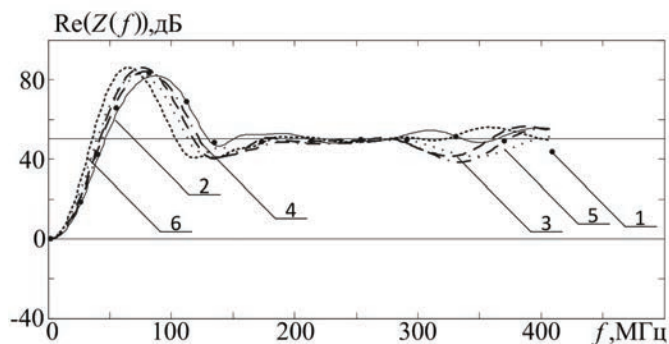


Рис. 4. Зависимость реальной части входного сопротивления от частоты

Рабочие полосы частот (РПЧ) оценивались при уровне в -30 дБ для зависимостей коэффициентов отражений синтезированных излучателей. Для шести реализаций эволюционного алгоритма синтезированные параметры излучателей с рабочими полосами частот приведены в таблице 1. Номера строк таблицы совпадают с номерами кривых на рис. 2–4.

Здесь лучшая реализация эволюционного алгоритма при решении задачи синтеза широкополосного излучателя соответствует второй строке.

Зависимость коэффициента отражения для синтезированной антенны с параметрами второй строки представлена на рис. 5.

Следует отметить, что значение полосы пропускания данной синтезированной антенны совпадает с результатами синтеза широкополосного излучателя с помощью градиентного алгоритма [1–4].

Значения параметров оптимизации

№	РПЧ, %	Длины фидера, м			Длины плеч вibratorов, м			Радиусы проводов, м		
	Δf	L_x	L_y	L_z	l_x	l_y	l_z	r_x	r_y	r_z
1	71%	0.512	0.248	0.369	0.398	0.345	0.375	0.045	0.045	0.053
2	87%	0.389	0.192	0.635	0.376	0.344	0.353	0.063	0.057	0.047
3	50%	0.383	0.490	0.674	0.304	0.367	0.358	0.041	0.043	0.053
4	53%	0.481	0.338	0.670	0.346	0.314	0.341	0.051	0.048	0.053
5	67%	0.429	0.600	0.298	0.408	0.433	0.367	0.045	0.045	0.051
6	52%	0.673	0.489	0.445	0.446	0.435	0.359	0.053	0.044	0.046

Численные исследования показали, что результаты сопоставимы с полученными ранее с точки зрения качества, но, как видно из таблицы 1, критерий (1) содержит большое количество локальных экстремумов, которые практически равноценны по качеству. Это означает, что рассматриваемый критерий необходимо дополнять ограничениями на область допустимых решений. Наличие нескольких разных решений показывает сложность (овражность) показателя качества, что ограничивает использование градиентных алгоритмов [1–4].

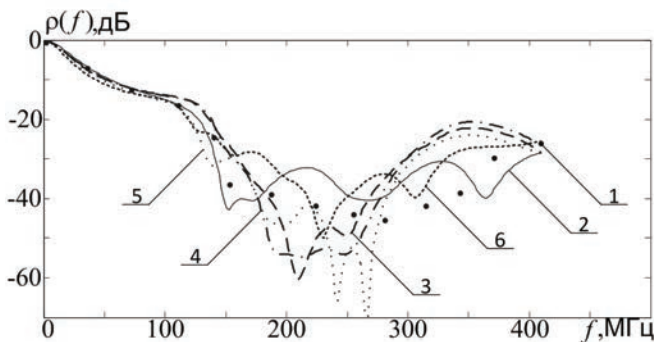


Рис. 5. Зависимость коэффициента отражения от частоты

Таким образом, использование генетического алгоритма для решения задачи синтеза широкополосного излучателя позволило установить, что с точки зрения выбранного критерия качества могут быть получены различные решения, обладающие близким качеством, в том числе и с решением, полученным градиентным методом. Это означает, что применение эволюционного подхода является более оправданным, но требует уточнения набора ограничений, связанных с областью допустимых решений.

Литература

1. Землянский С.В., Колесников В.Н., Мищенко С.Е., Шацкий В.В. Метод синтеза широкополосного из-

лучателя с ортогональными компонентами токов // Излучение и рассеяние ЭМВ-ИРЭМВ-2013: сб. докл. междунар. науч. конф. Таганрог, 2013. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2013. С. 106–111.

2. Землянский С.В., Мищенко С.Е., Шацкий В.В. Широкополосная антенна для системы автоматизированной обработки информации. // Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения: сб. докл. Всерос. науч.-технической конф. СПб.: Изд-во Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2013. С. 364–369.

3. Землянский С.В., Колесников В.Н., Литвинов А.В., Мищенко С.Е., Шацкий В.В. Метод синтеза широкополосного векторного излучателя с ортогональными компонентами тока // Общие вопросы радиоэлектроники. 2014. Вып. 1. С. 48–58.

4. Землянский С.В., Мищенко С.Е., Шацкий В.В. Методика синтеза широкополосных вибраторных антенн для системы технического контроля // Научные технологии в космических исследованиях земли. 2014. Т. 6. № 4. С. 16–22.

5. Weile D.S., Michielssen E. Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics: A review // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1997. Vol. 45. Pp. 343–353.

6. Kurup D., Himdi M., Rydberg A. Synthesis of uniform amplitude unequally spaced antenna arrays using the differential evolution algorithm // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 2003. Vol. 51. Pp. 2210–2217.

7. Yan K.-K., Lu Y. Sidelobe reduction in array-pattern synthesis using genetic algorithm // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1997. Vol. 45. Pp. 1117–1122.

8. Ares-Pena F., Roriguez-Gonzalez J., Villanueva-Lopez E., and Rengarajan S. Genetic algorithms in the design and optimisation of antenna array pattern // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1999. Vol. 47. Pp. 506–510.

9. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization // In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. 1995. Pp. 1942–1948.

10. Clerc M., Kennedy J. The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. No. 6 (1). Pp. 58–73.

11. Mendes R., Kennedy J., Neves J. The fully informed particle swarm: Simpler, maybe хapakbetter // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2004. No. 8 (3). Pp. 204–210.

Для цитирования:

Мищенко С.Е., Шацкий В.В., Землянский С.В. Синтез широкополосного излучателя автоматизированной системы обработки информации // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 24–29.

SYNTHESIS OF THE BROADBAND RADIATOR OF THE AUTOMATED INFORMATION HANDLING SYSTEM

Mishchenko Sergey Evgenevich,
Rostov-on-Don, Russia, mihome@yandex.ru

Shatsky Vitaly Valentinovich,
Rostov-on-Don, Russia, VshatsV@yandex.ru

Zemljansky Sergey Vladimirovich,
Krasnodar, Russia, zems1980@rambler.ru

Abstract

In the main way of the decision problem of broadbandness is creation of radiators with slowly changing input impedance in a strip of frequencies. One of receptions is complication of distribution of current in a radiator due to transition from the linear antenna to a flat radiator. Synthesis of the broadband vibrator antenna on the basis of the crossed vibrators in which orthogonal components of currents are independent is considered. This antenna consists of three mutually orthogonal symmetric vibrator with the combined phase centers. The feeding path consists from uniform adder "on three", quarter wave transformers of resistance and pieces of transmission lines with wave resistance and length. The task of synthesis is reduced to the solution of a task about minimization of the module of factor of the reflection of the antenna in a strip of frequencies, depending from nine parameters by means of a genetic algorithm. Application of the evolutionary approach for a solution of the task of synthesis of a broadband radiator has allowed to establish, that from the point of view of the chosen criterion of quality the various solutions, possessing close quality. Input impedance of the separate vibrator in a task of synthesis paid off on a basis of "a method of equivalent schemes". The received results allowed to create frequency dependence of input resistance of the antenna, at which real part in the set interval of frequencies from 196 to 396 MHz (the central frequency of 296 MHz) it is almost invariable and hesitates

near 50 Ohms, and the imaginary part fluctuates near zero level. Numerical results confirm possibility of application of procedure of narrow-band coordination for separate antenna elements of system of radiators for the purpose of expansion of a working strip of all system (for the given example this expansion made 87%). The offered method belongs to the class methods of constructive synthesis of antennas also allows at certain modifications and restrictions to become a basis for the solution of a number of almost important task of creation of broadband antennas.

Keywords: input resistance; factor of the reflection; symmetrical vibrator; broadband antenna; genetic algorithm.

References

1. Zemljanskij S.V., Kolesnikov V.N., Mishchenko S.E., Shatsky V.V. Metod sinteza shirokopolsnogo izluthatelya s ortogonalnimi komponentami tokov [Method of synthesis of a broadband radiator with orthogonal components of currents]. Radiation and Scattering of Electromagnetic waves RSEMW-2015: Works of the International scientific conference. Taganrog, TTI SFU. 2013. C. 106–111. (In Russian).
2. Zemlyanskiy S.V., Mishchenko S.E., Shatskiy V.V. Shirokopolsnaya antenna dlya sistemi avtomatizirovannoi obrabotki informathii [The broadband antenna for system of the automated processing of the information]. Theoretical and applied problems of development and perfection of the automated military-oriented control systems. The collection of works of the All-Russia scientific and technical conference. St.-Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F.Mozhajsokogo Publ. 2013. C. 364–369. (In Russian).
3. Zemlyanskiy S.V., Kolesnikov V.N., Litvinov A.V., Mishchenko S.E., Shatskiy V.V. Metod sinteza shirokopolsnogo vektornogo izluthatelya s ortogonalnimi komponentami toka [Method of synthesis of a broadband vector radiator with orthogonal components of a current]. General questions of radio electronics. Obshchie voprosy radioelek-trotekhniki. 2014. Issue 1. Pp. 48–58. (In Russian).
4. Zemlyanskiy S.V., Mishchenko S.E., Shatskiy V.V. Metodika sinteza shirokopolsnih vibratornih antenn dlya sistemi teh-

nitheskogo kontrolya. H&ES Research. 2014. Vol. 6. No. 4. Pp. 16–22. (In Russian).

5. Weile D.S., Michielssen E. Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics: A review. IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1997. Vol. 45. Pp. 343–353.

6. Kurup D., Hindi M., Rydberg A. Synthesis of uniform amplitude unequally spaced antenna arrays using the differential evolution algorithm. IEEE Trans. Antennas and Propagation. 2003. Vol. 51. Pp. 2210–2217.

7. Yan K.-K., Lu Y. Sidelobe reduction in array-pattern synthesis using genetic algorithm. IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1997. Vol. 45. Pp. 1117–1122.

8. Ares-Pena F., Roriguez-Gonzalez J., Villanueva-Lopez E., Rengarajan S. Genetic algorithms in the design and optimisation of antenna array pattern. // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1999. Vol. 47. Pp. 506–510.

9. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization. In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. 1995. Pp. 1942–1948.

10. Clerc M., Kennedy J. The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. No. 6 (1). Pp. 58–73.

11. Mendes R., Kennedy J., Neves J. The fully informed particle swarm: Simpler, maybe xapakbetter. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2004. No. 8 (3). Pp. 204–210.

Information about authors:

Mishchenko S.E., Ph.D., professor, leading researcher in Federal state unitary "Rostov-on-Don Radio Communication Research Institute" enterprises Federal research and production center;

Shatsky V.V., Ph.D., senior researcher in Federal state unitary "Rostov-on-Don Radio Communication Research Institute" enterprises Federal research and production center;

Zemlyansky S.V., Ph.D., professor assistant of the Krasnodar higher military college.

For citation:

Mishchenko S.E., Shatsky V.V., Zemlyansky S.V. Synthesis of the broadband radiator of the automated information handling system. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 24–29.



АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ СЛЕПОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ КАНАЛОВ

Мирошникова

Наталья Евгеньевна,

ассистент кафедры радиотехнических систем Московского технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, drugbami@mail.ru

Ключевые слова:

декаметровая радиосвязь; слепая идентификация; когнитивное радио; ионосферный канал; модель Вотерсона.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время, благодаря появлению новых технологий, активно развиваются системы ионосферной радиосвязи с мобильными абонентами. При этом одним из актуальных вопросов повышения качества радиосвязи является адаптация параметров используемых радиосигналов и адаптация рабочих частот в зависимости от состояния нестационарного ионосферного канала. В таких системах ключевым способом определения характеристик канала является его тестирование испытательным импульсом. Альтернативой тестированию канала для оценки его состояния может служить использование методов слепой обработки сигналов, позволяющих идентифицировать канал лишь по принятым отсчетам смеси сигналов, тем самым сэкономив время, используемое для тестирования канала, а значит, быстрее адаптироваться к быстрым изменениям характеристики канала. Цель работы проанализировать характеристики основных алгоритмов слепой идентификации для случая передачи сигналов по декаметровому каналу. Обычно, если для анализа доступна длинная последовательность отсчетов и известна статистика этой последовательности, используются методы, основанные на статистике второго или высших порядков. Однако, в статье рассмотрены алгоритмы для случая, когда доступная последовательность отсчетов короткая и система быстро изменяет свои параметры. Были проанализированы следующие алгоритмы: алгоритм взаимных отношений, алгоритм максимального правдоподобия и алгоритм канального подпространства. Для моделирования прохождения сигнала через ионосферный канал была построена модель такого канала в Matlab. Модель основана на модели Вотерсона. Параметры канала определены рекомендацией ITU-R F.1487. Отсчеты шума представляют собой Гауссовский процесс с нулевым математическим ожиданием. Алгоритмы сравнивались путем вычисления среднеквадратической ошибки оценки импульсной характеристики. Алгоритм канального подпространства практически совпадает с методом взаимных корреляций для случая двух антенн. Погрешность метода примерно равна погрешности метода максимального правдоподобия. Погрешность алгоритма взаимных отношений при увеличении отношения сигнал-шум и увеличении длины реализации не достигает погрешности алгоритма максимального правдоподобия, что является следствием асимптотической эффективности оценок максимального правдоподобия. Однако, выигрыш в погрешности алгоритма максимального правдоподобия относительно алгоритма взаимных отношений может быть крайне незначительным, хотя наблюдается некоторый рост выигрыша при увеличении длины канала и числа отсчетов на входе.

Введение

Ионосферные каналы характеризуются меняющейся во времени (нестационарной) импульсной характеристикой. Поэтому важной и актуальной задачей является адаптация, хотя бы частичная, параметров рассматриваемого радиоканала к текущей ситуации в радиоэфире. Возможность системы воспринимать условия, в которых она работает, и, если потребуется, автоматически изменять свои характеристики, приспособиваясь к окружающей среде, является одним из важнейших свойств когнитивных радиосистем [1, 2].

В системах декаметрового диапазона тестирование канала испытательным импульсом – это ключевая технология реализации эквалайзеров различного типа [3]. Альтернативой тестированию канала в этих системах может служить использование методов слепой обработки сигналов, нашедших широкое применение при разработке систем когнитивного радио и позволяющих идентифицировать канал лишь по принятым отсчетам смеси сигналов, тем самым сэкономив время, используемое для тестирования канала, а значит быстрее адаптироваться к быстрым изменениям характеристики канала.

1. Модель канала

Под идентифицируемостью системы вслепую понимается возможность восстановления импульсной характеристики системы с точностью до комплексного множителя только по отсчетам принятого сигнала. На практике, слепое оценивание канала опирается на использование структуры канала или известные свойства его входа [3].

Рассмотрим случай многолучевого канала. Пусть число элементов антенной решетки равно числу лучей M . Тогда сигнал на выходе i -го элемента антенной решетки можно записать в виде:

$$x_i(k) = \sum_{l=0}^{L-1} h_i(l) \cdot s(k-l) = s(k) * h_i(k) \quad (1)$$

где $*$ обозначает операцию свертки.

Тогда отсчеты на выходе антенной решетки будут описываться вектором x :

$$x = H \cdot s + w \quad (2)$$

x – вектор отсчетов на выходе антенной решетки, имеющий вид:

$$x = [x_1^T \quad x_2^T \quad \dots \quad x_M^T]^T \quad (3)$$

$$x_i = [x_i(0) \quad x_i(1) \quad \dots \quad x_i(N-1)]^T,$$

N – число отсчетов.

w – вектор отсчетов шума

s – вектор отсчетов информационного сигнала

$$s = [s(-L) \quad s(-(L-1)) \quad \dots \quad s(N-1)]^T$$

L – длина канала.

Матрица H_M является обобщенной матрицей Сильвестра [5]

$$H = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \dots \\ H_M \end{bmatrix} \quad (4)$$

где H_i – матрица Сильвестра размерностью $N \times (N+L)$ составленная из отсчетов импульсной характеристики i -го канала.

Стоит отметить, что если система является инвариантной ко времени в течении промежутка времени достаточного для передачи длинной последовательности данных и известна статистика этой последовательности, то используются методы, основанные на статистике второго порядка [4–5] и статистике высоких порядков [6]. Однако в данной статье рассматривается случай, когда доступная последовательность короткая или канал быстро изменяет свои параметры, т.е. случай, имеющий место быть в ионосферной связи.

В следующих подразделах будут рассмотрены основные алгоритмы слепой идентификации при использовании рассмотренной векторной модели канала.

1.1. Алгоритм взаимных отношений

Данный алгоритм был впервые предложен в [7], а также независимо рядом других авторов [8].

Этот алгоритм основан на свойстве взаимной симметрии выходных сигналов каналов, на входе которых присутствует одна и та же информационная последовательность, т.е.

$$x_i(k) * h_j = x_j(k) * h_i, \quad (5)$$

Тогда вектор \hat{h} – оценки импульсной характеристики является решением уравнения:

$$X_M \cdot \hat{h} = 0, \quad (6)$$

X_M – матрица, составленная из отсчетов смеси сигналов на выходе канала. Для случая $M=2$ матрица имеет вид

$$X_2 = [X_{(2)} - X_{(1)}] \quad (7)$$

$$X(i) = \begin{bmatrix} x_i(L) & \dots & x_i(0) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_i(N-1) & \dots & x_i(N-L-1) \end{bmatrix}$$

Оценка канала (решение уравнения (2)) может быть получена методом наименьших квадратов, в соответствии с которым [7]:

$$\hat{h} = \arg \min_{\|h\|=1} (h^* X_M^* X_M \cdot h) \quad (8)$$

где $\|h\|$ – евклидова векторная норма

Вектор \hat{h} имеет следующую структуру:

$$h = [h_1^T \quad h_2^T \quad \dots \quad h_M^T]^T \quad (9)$$

$$h_i = [h_i(0) \quad h_i(1) \quad \dots \quad h_i(N-1)]^T,$$

Главные недостатки алгоритма, это необходимость точного знания длины канала L , а также необходимость работы с разреженными матрицами большого размера.

1.2. Алгоритм максимального правдоподобия

В соответствии с [9] алгоритм максимального правдоподобия (МП) эквивалентен следующей последовательности шагов:

1. $\hat{h}_1 = \arg \min_{|h|=1} (h^* X_M^* X_M \cdot h)$
2. $\hat{h}_2 = \arg \min_{|h|=1} (h^* X_M^* X_M \cdot (G_M^* G_M) h)$

где G_M – матрица импульсных характеристик, полученных на шаге 1 и являющаяся матрицей ортогональных дополнений матрицы H . Для случая $M=2$ матрица будет иметь вид

$$G_M^* = [-H2 \ H1] \tag{10}$$

Стоит отметить, что первый шаг этого алгоритма эквивалентен алгоритму взаимных отношений.

Как и в предыдущем разделе, минимизация правых частей (4) и (5) заключается в нахождении собственных векторов, соответствующих минимальных собственным значениям матриц $X_M^* X_M$ и $X_M^* X_M \cdot (G_M^* G_M)$ соответственно.

1.3. Алгоритм канального подпространства

Алгоритм канального подпространства предложен в [10] и основан на свойствах матрицы H .

Модель системы в данном случае записывается в виде (2), где

$$x = [x_1^T \ x_2^T \ \dots \ x_M^T]^T \tag{11}$$

$$x_i = [x_i(0) \ x_i(1) \ \dots \ x_i(N-1)]^T,$$

$$s = [s(-L) \ s(-(L-1)) \ \dots \ s(N-1)]^T$$

Сформируем ковариационную матрицу отсчетов смеси R_x в следующем виде:

$$R_x = M \{xx^*\} = HR_s H^* + R_w \tag{12}$$

R_s – ковариационная матрица отсчетов исходных сигналов.

Пусть U – матрица собственных векторов матрицы $R_s - R_w$, соответствующая нулевым собственным значениям.

Тогда система $ML-2L-1$ линейных однородных уравнений для ML неизвестных имеет ровно $2L-1$ нетривиальных решений, которые можно записать в виде:

$$U^* H = 0 \tag{13}$$

Поскольку матрица $R_s - R_w$ формируется как выборочная ковариация, то для оценки канала мы можем использовать метод наименьших квадратов, т.е.:

$$\hat{h}_1 = \min_{|h|=1} \|U^* H\| \tag{14}$$

Алгоритм канального подпространства, также как и другие рассмотренные алгоритмы, требует априорного знания длины канала

2. Модель канала

Для моделирования прохождения сигнала через ионосферный канал была построена модель такого канала в Matlab. Модель основана на модели Вотерсона. Параметры канала определены рекомендацией ITU-R F.1487.

Рассматривалась передача по так называемому «плохому» каналу.

Согласно терминологии ITU-R, «плохим» определён канал с двумя лучами равной мощности, с относительной задержкой 2 мс, скоростью быстрых релейских замираний каждого луча 1 Гц. «Хороший» канал – это канал с двумя лучами равной мощности, с относительной задержкой 0,5 мс, скоростью быстрых релейских замираний каждого луча 0,1 Гц.

В качестве передаваемого сигнала был использован сигнал с полосой 3 кГц и 8-позиционной частотной манипуляцией (8-FSK) в полосе стандартного телефонного канала с символьной скоростью 125 Бод.

Отсчеты шума представляют собой Гауссовский процесс с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением $\sigma^2 = 1$. Число выходных отсчетов $N=30$. Число антенн M принято равным 2.

3. Результаты моделирования

На рис. 1–2 показаны результаты математического моделирования алгоритмов слепой идентификации векторного канала при различных параметрах алгоритмов.

Для сравнения алгоритмов была вычислена среднеквадратическая ошибка ϵ , описываемая следующей формулой:

$$\epsilon^2 = M \left\{ \frac{\|h - \hat{h}\|^2}{\|h\|^2} \right\} \tag{15}$$

Результаты моделирования показали, что относительная погрешность алгоритма взаимных отношений сильно зависит от уровня шума. Приемлемый уровень погрешности достигается при отношении сигнал-шум более 30 Дб. При увеличении длины канала с $L=2$ до $L=3$ и числе антенн $M=2$ погрешность алгоритма возросла, однако при увеличении числа антенн M при больших значениях отношения сигнал/шум погрешность практически не изменялась.

Алгоритм максимального правдоподобия имеет менее резкий рост погрешности при малых отношениях сигнал/шум чем алгоритм взаимных отношений. Погрешности выравниваются при увеличении числа антенн M .

Погрешность алгоритма взаимных отношений при увеличении отношения сигнал-шум и увеличении дли-

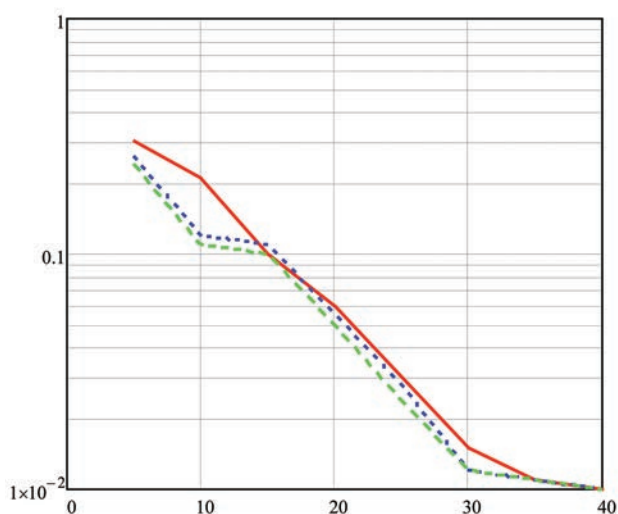


Рис. 1. Зависимость среднеквадратической ошибки слепого восстановления канала (по вертикали) алгоритмами слепой идентификации от отношения сигнал-шум в [Дб] (по горизонтали) для $M = 2$, $L = 2$.

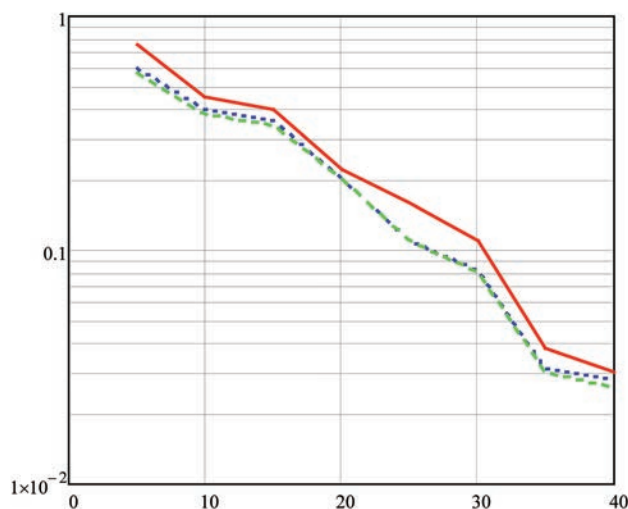


Рис. 2. Зависимость среднеквадратической ошибки слепого восстановления канала (по вертикали) алгоритмами слепой идентификации от отношения сигнал-шум в [Дб] (по горизонтали) для $M = 2$, $L = 3$.

ны реализации не достигает погрешности алгоритма максимального правдоподобия. Однако, из рис. 2 видно, что выигрыш в погрешности алгоритма максимального правдоподобия относительно алгоритма взаимных отношений является крайне незначительным, хотя наблюдается выигрыш растет при увеличении длины канала и числа отсчетов на входе.

Результат, полученный при использовании алгоритма канального подпространства практически совпадает с методом взаимных отношений для $M = 2$. Погрешность метода примерно равна погрешности метода максимального правдоподобия.

Литература

1. Мирошникова Н.Е. Обзор систем когнитивного радио // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С. 108–112.
2. Мирошникова Н.Е. Влияние ошибок синхронизации на прием цифровых сигналов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С.112–115.
3. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. М.: Радио и связь, 2003. 230 с.
4. Tong L., Xu G., Kailath T. Blind identification and

equalization based on second-order statistics: A time domain approach // IEEE Trans. Inform. Theory. 1994. Vol. 40. Pp. 340–349.

5. Tong L., Xu G., Hassibi B., Kailath T. Blind channel identification based on second-order statistics: A frequency-domain approach // IEEE Trans. Inform. Theory. 1995. Vol. 41. Pp. 329–333.

6. Tugnait J.K. Fractionally spaced blind equalization and estimation of FIR channels // Proc. Int. Conf. Commun., Geneva, Switzerland. 1993. Pp. 428–432.

7. Abed-Meraim K., Hua W., Qiu, Y. Blind System Identification // IEEE Proceeding. 1997. Vol. 85. Pp. 1308–1322.

8. Hua Y. Fast maximum likelihood for blind identification of blind identification of multiple FIR channels // IEEE Transactions on Signal Processing. 1996. Vol. 44. Pp. 661–672.

9. Moulines E., Duhamel P., Cardoso J.-F., Mayrargue S. Subspace methods for the blind identification of multichannel FIR filters // IEEE Trans. on Signal Processing. 1995. Vol. 43. Pp. 516–525.

10. Perreau, S., Tong, L. Blind Channel Estimation: From Subspace to Maximum Likelihood Methods // IEEE Proceedings. 1998. Vol. 86. Pp. 1951–1968.

Для цитирования:

Мирошникова Н.Е. Анализ эффективности алгоритмов слепой идентификации ионосферных каналов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 30–34.

ANALYSIS OF BLIND IDENTIFICATION ALGORITHMS FOR HF CHANNEL IDENTIFICATION

Miroshnikova Nataliya Evgen'evna,
Moscow, Russia, drugbimir@mail.ru

Abstract

Nowadays, thanks to the emergence of new technologies, mobile ionospheric radio systems are actively developing. In this case, one of the pressing issues of improving the quality of radio communication is the adaptation of the system parameters and adaptation of operating frequencies depending on the status of non-stationary ionospheric channel. In such systems, a key way to determine the channel characteristics is its testing by the test pulse. Despite of testing channel to assess its condition we can use blind signal processing methods for the identification of the channel only by the received signal samples, thereby saving time used for testing the channel and, therefore, to adapt more quickly to rapid changes in channel characteristics. The aim of the work is to analyze the characteristics of the main blind identification algorithms for the case of transmission over HF channel. If there is a long data sequence available and a priori statistical information about its input is reliable than the second-order or higher order statistic-based methods should be exploited. However, in this paper, the available sequence is short and the system is fast varying. The following algorithms were analyzed: cross-relations algorithm, the maximum likelihood algorithm, and the algorithm of the channel subspace. For modeling the signal passes through an ionospheric channel model was built in this channel Matlab. The model is based on a Waterson HF channel model. Channel parameters defined by ITU-R F.1487 recommendation. Algorithms were compared by calculating the mean squared error of the estimate of the impulse response. Channel subspace algorithm substantially coincides with the cross-relations algorithm for the case of two antennas. Error of the method is approximately equal to the error of the method of maximum likelihood. Error of cross-relations algorithm by increasing the signal-to-noise ratio and increasing the length of the implementation does not reach the maximum likelihood algorithm error, which is a consequence of the asymptotic efficiency of the maximum likelihood estimates. However, the gain in accuracy of the algorithm with respect to the maximum likelihood algorithm for

mutual relations may be very low, although there has been some increase in winnings by increasing the channel length and the number of samples in the input.

Keywords: HF radio; blind identification; cognitive radio; ionospheric channel, Waterson channel model.

References

1. Miroshnikova N.E. Cognitive radio systems overview. T-Comm. 2013. No. 9. Pp. 108–112. (In Russian).
2. Miroshnikova N.E. Phase and timing synchronization error influence on digital receiver properties'. T-Comm. 2013. No. 9. Pp.112–115. (In Russian).
3. Goriachkin O.V. Metody slepoi obrabotki signalov i ih prilozheniye v sistemah radiotekhniki i svyazi [Blind signal processing algorithms and their application in radio technical systems and communications]. Moscow, Radio i svyaz, 2003. 230 p. (In Russian).
4. Tong L., Xu G., Kailath T. Blind identification and equalization based on second-order statistics: A time domain approach. IEEE Trans. Inform. Theory. 1994. Vol. 40. Pp. 340–349.
5. Tong L., Xu G., Hassibi B., Kailath T. Blind channel identification based on second-order statistics: A frequency-domain approach. IEEE Trans. Inform. Theory. 1995. Vol. 41. Pp. 329–333.
6. Tugnait J. K. Fractionally spaced blind equalization and estimation of FIR channels. Proc. Int. Conf. Commun., Geneva, Switzerland. 1993. Pp. 428–432.
7. Abed-Meraim K., Hua W., Qiu, Y. Blind System Identification. IEEE Proceeding. 1997. Vol. 85. Pp. 1308–1322.
8. Hua Y. Fast maximum likelihood for blind identification of blind identification of multiple FIR channels. IEEE Transactions on Signal Processing. 1996. Vol. 44. Pp. 661–672.
9. Moulines E., Duhamel P., Cardoso J.-F., Mayrargue S. Subspace methods for the blind identification of multichannel FIR filters. IEEE Trans. on Signal Processing. 1995. Vol. 43. Pp. 516–525.
10. Perreau. S, Tong. L. Blind Channel Estimation: From Subspace to Maximum Likelihood Methods. IEEE Proceedings. 1998. Vol. 86. Pp. 1951–1968.

Information about authors:

Miroshnikova N.E., Ph.D., assistant professor of the Technical University of Communications and Informatics.

For citation:

Miroshnikova N.E. Analysis of blind identification algorithms for HF channel identification. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 30–34.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНОГО РЕСУРСА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА

Калюка

Владимир Иванович,

к.т.н., доцент, докторант Военной
академии связи
имени С.М. Буденного,
г. Санкт-Петербург, Россия,
kvi_spb@rambler.ru

Овсянников

Станислав Николаевич,

адъюнкт Военной академии связи
имени С.М. Буденного,
г. Санкт-Петербург, Россия,
stasfvo@mail.ru

Сапунова

Лидия Петровна,

адъюнкт Военной академии связи
имени С.М. Буденного
г. Санкт-Петербург, Россия,
Tlidiya.karmanec@mail.ru

Ключевые слова:

оптимизация; алгоритм; ресурс; сеть;
пропускная способность; радиодоступ;
распределение.

АННОТАЦИЯ

Рассматривается оптимизационная задача распределения общего ресурса пропускной способности сетей широкополосного радиодоступа между отдельными абонентскими группами, использующими локальный ресурс, выделяемый из общего ресурса пропускной способности сетей широкополосного радиодоступа, обладающих набором функциональных характеристик. Оптимизация функциональных характеристик сетей беспроводного абонентского радиодоступа позволяет получить близкий к требуемому вариант построения данных сетей, а также производить оценку по показателям затрат ресурсов, качества и условий функционирования. Каждый показатель является комплексным и позволяет решать комплекс оптимизационных задач на сетях широкополосного радиодоступа. Критерии эффективности функционирования сетей широкополосного радиодоступа, отражающие пропускную способность всех сетей широкополосного радиодоступа или ее локальной части, характеризуют адаптивно-игровое управление широкополосным радиодоступом в общем или локальном диапазоне (поддиапазоне) выделенных частот с возможностью его «мягкой» смены. В концепции развития сотовой связи пятого поколения 5G заложены новые инфотелекоммуникационные технологии, обеспечивающие формирование новых направлений развития беспроводного широкополосного радиодоступа в области межмашинных телекоммуникаций. В последнее время прослеживается устойчивая тенденция развития распределённых сетей широкополосного радиодоступа как совокупности некоторых модулей, входящих в состав инфотелекоммуникационной системы. При оптимизации локального ресурса пропускной способности сетей широкополосного радиодоступа в перспективных «устройство-ориентированных» сетях широкополосного радиодоступа как независимой локальной единицы, а также при оптимизации общего ресурса пропускной способности в «устройство-ориентированных» инфотелекоммуникационных системах, возникает задача поиска оптимального распределения локального ресурса пропускной способности, получаемого с помощью системы поддержки принятия решений. А так как их решение требует вычислительной мощности вычислительных систем и времени, то необходимо оптимизировать алгоритмы и найти оптимальные способы решения задачи планирования. Программирование для многопроцессорных машинных систем связано с распараллеливанием и синхронизацией вычислений. Инструментом решения оптимизационной задачи распределения локального ресурса пропускной способности выступает алгоритм Крона, принцип действия которого заключается в случайном распределении множества параллельных расчетных заданий на множество несвязанных идентичных процессоров и уточнении полученного распределения

В настоящее время, благодаря активному внедрению инновационных проектов в области телекоммуникаций [1], современные сети широкополосного радиодоступа (СШРД) динамично развиваются и успешно решают проблемы обеспечения потребительского спроса абонентов в качественных услугах, постоянном доступе к общему информационному ресурсу и индивидуальной доступности. Нарастание информационного обмена между абонентами приводит к увеличению канальной емкости радиосистем и необходимости оптимизации локального ресурса (ЛР) пропускной способности (ПС) в абонентских группах (АГ) СШРД.

СШРД как система передачи информации характеризуются набором функциональных характеристик (ФХ), к которым относятся [2,3]:

пропускная способность – максимальная скорость передачи информации при фиксированных условиях;

вид среды распространения сигнала: с использованием направляющих систем (проводная связь, волоконно-оптическая линия связи, волноводы), без использования направляющих систем (радиосвязь, оптическая связь, ультразвуковая связь);

параметры передатчика: мощность излучения, полоса частот сигнала, вид сигнала и способ его формирования, стабильность частоты и номиналы частот и пр.;

параметры приёмника: тип обрабатываемого сигнала, чувствительность (реальная, пороговая), избирательность, показатели качества приёма информации, необходимая полоса частот;

параметры полезного сигнала: вид модуляции, способ отображения информации на параметры сигнала;

достоверность передачи информации (вероятность правильного приёма на бит, байт, пакет; отношение сигнал/шум, распознаваемость речи);

вид модуляции сигналов: класс излучения.

Оптимизация ФХ СШРД позволяет получить близкий к требуемому (наилучший из всех возможных вариантов) вариант построения данных сетей, а также производить оценку по показателям затрат ресурсов, качества и условий функционирования [4].

Каждый показатель является комплексным и позволяет решать комплекс оптимизационных задач на СШРД. Однако, из всего комплекса оптимизационных задач, подлежащих решению, следует в первую очередь уделять внимание задачам, которые позволят достичь основную цель функционирования СШРД – обеспечение радиопередачи пакетного трафика (QoS – Quality of Service) с максимальной скоростью при выполнении заданных требований по своевременности, достоверности и безопасности [5].

Основные факторы, определяющие качество пакетного трафика в СШРД, изложены в [6]. Обеспечение качества радиопередачи пакетного трафика в СШРД связано с ее ПС, управляемой с помощью служебного потока данных. ПС СШРД складывается из ПС радиоканалов как максимально возможных скоростей передачи информации между ее элементами и ограничивается его

шумовыми характеристиками и полосой пропускания. Критерии эффективности функционирования СШРД, отражающие ПС всей СШРД или ее локальной части, характеризуют адаптивно-игровое управление [4,7] широкополосным радиодоступом в общем или локальном диапазоне (поддиапазоне) выделенных частот с возможностью его «мягкой» смены. «Мягкие» решения на смену частот позволяют повысить эффективность распределения имеющегося в наличии частотного ресурса за счет частичного или полного устранения неопределенности путем адаптации СШРД под текущую ситуацию.

В концепции развития сотовой связи пятого поколения 5G заложены новые инфотелекоммуникационные технологии, обеспечивающие формирование новых направлений развития беспроводного широкополосного радиодоступа в области межмашинных телекоммуникаций и работы в режиме M2M (machine-to-machine) при переходах из сот в микросоты, пикосоты и наоборот. Согласно названной концепции телекоммуникационные сети 5G являются «устройство-ориентированными», а не «сота-ориентированными», в которых абонентский трафик предполагается обрабатывать локально, когда абоненты находятся в непосредственной близости друг от друга [8]. Для каждого устройства будет определена своя политика взаимодействия с сетью, учитывающая объем передаваемых данных, величину допустимой задержки и другие параметры. Для уменьшения времени задержки предлагается прямой канал радиобмена между абонентскими устройствами в режиме D2D (device-to-device) при обработке пакетного трафика на территориально-распределенных серверах облачной СШРД. Однако, перспективные радиосистемы 5G [9,10] столкнутся с дефицитом свободных диапазонов частот и накладываемыми в связи с этим ограничениями при их повторном использовании, а также наличием до конца не решенных задач оптимизации (локального «мягкого» распределения) ресурса ПС.

В последнее время прослеживается устойчивая тенденция развития распределённых СШРД как совокупности некоторых модулей, входящих в состав инфотелекоммуникационной системы (ИТКС). В этом случае, каждая СШРД (модуль ИТКС) может быть рассмотрена как независимая локальная единица, обладающая своим ЛР ПС.

Имеется СШРД, у которой общий ресурс (ОР) ПС $R_{\text{ПС.общ.СШРД}}$ по отношению к ОР ПС ИТКС $R_{\text{ПС.общ.ИТКС}}$ является ЛР ПС СШРД $R_{\text{ПС.лок.СШРД}}$, который, в свою очередь, по отношению к ЛР ПС АГ СШРД $R_{\text{ПС.лок.АГ СШРД}}$ является ОР ПС. Путем суммирования общих $R_{\text{ПС.общ.ИТКС}}$ и $R_{\text{ПС.общ.СШРД}}$ и локальных $R_{\text{ПС.лок.СШРД}}$, $R_{\text{ПС.лок.АГ СШРД}}$ ресурсов находим:

1) ОР ПС ИТКС:

$$R_{\text{ПС.общ.ИТКС}} = R_{\text{ПС.общ.СШРД-1}} + R_{\text{ПС.общ.СШРД-2}} + \dots + R_{\text{ПС.общ.СШРД-N}}; \quad (1)$$

2) ОР ПС СШРД:

$$R_{\text{ПС.общ.СШРД}} = R_{\text{ПС.лок.СШРД-1}} + R_{\text{ПС.лок.СШРД-2}} + \dots + R_{\text{ПС.лок.СШРД-N}}; \quad (2)$$

3) ЛР ПС СШРД:

$$R_{\text{ПС.лок.СШРД}} = R_{\text{ПС.лок.АГ-1.СШРД-1}} + R_{\text{ПС.лок.АГ-2.СШРД-2}} + \dots + R_{\text{ПС.лок.АГ-N.СШРД-N}}; \quad (3)$$

4) ЛР ПС АГ СШРД:

$$R_{\text{ПС.лок.АГ СШРД}} = R_{\text{ПС.аБ-1}} + R_{\text{ПС.аБ-2}} + \dots + R_{\text{ПС.аБ-N}}; \quad (4)$$

В (1), (2), (3), (4) и ниже N – число, определяющее максимальное количество элементов системы.

ЛР ПС СШРД $R_{\text{ПС.лок.СШРД}}$ зависит от численности присвоенных частот, распределения частотно-территориального ресурса, повторного использования частотных каналов, условий распространения радиоволн, помеховой обстановки и др.:

$$R_{\text{ПС.лок.СШРД}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{БС}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{сек}}} R_{\text{ПС.лок.АГ.СШРД}ij}(n_{\text{кан}}, W_{\text{дост}}, W_{\text{дупл}}, k_{\text{повт}}), \quad (5)$$

где $n_{\text{БС}}$ – количество базовых станций (БС);

$n_{\text{сек}}$ – количество секторов на одну БС;

$n_{\text{кан}}$ – число каналов на одну БС (сектор);

$R_{\text{ПС.лок.СШРД}ij}$ – ресурс ПС на один сектор (АГ);

$W_{\text{дупл}}$ – вектор параметров протокола доступа к каналам;

$k_{\text{повт}}$ – коэффициент повторного использования частот.

При оптимизации ЛР ПС в перспективных «устройство-ориентированных» СШРД как независимой локальной единицы, а также при оптимизации ОР ПС в «устройство-ориентированных» ИТКС возникает задача поиска оптимального распределения ЛР ПС $R_{\text{ПС.лок.СШРД}}$ получаемого с помощью системы поддержки принятия решений (СППР) [11–13]. Последовательность выполнения расчетных задач в СППР определяется на этапе планирования выполнения функциональных операторов вычислительной системой (ВС) и зависит от выбора алгоритма, время работы которого может отличаться от других заложенных в систему алгоритмов. Тем самым требует своего решения ряд экстремальных задач комбинаторного типа с неоднородными системами. А так как их решение требует вычислительной мощности ВС и времени, то необходимо оптимизировать алгоритмы и найти оптимальные способы решения задачи планирования.

Постановка задачи планирования выполнения функциональных операторов ВС выглядит следующим образом:

Имеется ВС, состоящая из N несвязанных идентичных процессоров (устройств, приборов и т.п.) $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $n \in N$. На обслуживание в ВС поступает набор из M независимых параллельных заданий (работ, операторов) $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, $m \in N$. Известны время решения $\tau(t_i, p_j)$ задания t_i на устройстве p_j и образованная матрица T_r . Процессоры неоднородны и каждое поступающее на выполнение задание может выполняться на любом из

них. В определённый момент времени $\tau(t_i, p_j)$ отдельный процессор обслуживает не более одного задания и выполнение задания не прерывается для передачи на другой процессор. Если задание не может быть выполнено на каком-либо из обслуживающих процессоров, то время выполнения задания на этом процессоре определено как $\tau(t_i, p_j) = \infty$ [14]. Требуется найти такое распределение заданий по процессорам, при котором суммарное время выполнения заданий на каждом из процессоров было бы минимальным.

Программирование для многопроцессорных машинных систем связано с распараллеливанием и синхронизацией вычислений. Одной из сложных и важных задач является задача расчета характеристик времени и количества операций, требующихся для построения расписаний (планов) при планировании и выполнении параллельных программ на многопроцессорных и многомашинных ВС.

Под расписанием следует понимать отображение $A_R: T \rightarrow P$ такое, что если $A_R(t_i) = p_j$, то говорят, что задание $t_i \in T$ в расписании R назначено на процессор $p_j \in P$. При сделанных выше допущениях расписание можно представить разбиением множества заданий T на N непересекающихся подмножеств T_j ; $j = 1, \dots, N$.

Критерий, используемый для минимизации времени завершения обслуживания заданий, является минимальным критерием и определяется в следующем виде (6):

$$f_r = \max_{1 \leq j \leq n} f_j \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $f_j = \sum_{t_i \in T_j} \tau(t_i)$ – время завершения работы процессора p_j .

Задачу распределения заданий по процессорам ПЭВМ в СППР решают с помощью алгоритма Крона и его модификаций [15, 16], адаптированных под неоднородные системы.

Принцип действия не модифицированного алгоритма Крона можно описать в два этапа. Первый этап заключается в случайном распределении множества заданий на множество процессоров, второй – уточняет полученное распределение.

Алгоритм первого этапа можно представить в виде последовательности шагов:

Шаг 1. Сгенерировать случайное число p_j (номер процессора), равномерно распределенное на интервале $[1, N]$. Инициализировать $j = 1$.

Шаг 2. Назначить на процессор с номером p_j j -е задание. Увеличить $j = j + 1$.

Шаг 3. Проверить, больше ли значение j количества заданий M . Если условие выполняется, то прекратить распределение, а иначе перейти к Шагу 1.

Алгоритм второго этапа выглядит следующим образом:

Шаг 1. Вычислить время загрузки каждого процессора $\{T_j\}$; $j = 1, \dots, N$ путем суммирования времени выполнения заданий, загруженных в каждый j -й процессор.

Шаг 2. Из полученного множества $\{T_k\}$ выбрать номер процессора с максимальным T^{max} и минимальным $\{T_k\}$ значениями из набора T^{max} соответственно.

Шаг 3. Для каждого процессора с минимальной и максимальной загрузкой проверить условие по принципу «каждый с каждым» (7)

$$t_k^{max} - t_l^{min} < \Delta, \quad (7)$$

где $\Delta = T^{max} - T^{max}$, $k, l = 1, \dots, M$. При этом $t_k^{max} - t_l^{min}$.

Если условие выполняется, то перейти к следующему шагу, а иначе прекратить выполнение алгоритма.

Шаг 4. Переставить значения t_k и t_l местами и перейти к Шагу 1.

Принцип действия модифицированного алгоритма Крона содержит следующие шаги:

Шаг 1. Генерация первоначального решения.

Шаг 2. Вычисление $t_i \max = \sum_{j \in 0, m} t_j \cdot p_j$.

Шаг 3. Находим столбец $\min = \min(t_i \max)$ и $\max = \max(t_i \max)$.

Шаг 4. В столбце с максимальным значением берем произвольный элемент.

Шаг 5. Переносим задание с максимального на минимальный и производим расчет t_{\max} для обоих столбцов. Если $t_{\max} < \max(t_i \max)$, где $t \in \{\min, \max\}$, то объявляем решение и повторяем Шаги с 1 по 5. Если $t_{\max} > \max(t_i \max)$, то выбираем следующий элемент из столбца с максимальным значением и переходим к Шагу 4.

Шаг 6. Находим столбец $\min = \min(t_i \max)$ и $\max = \max(t_i \max)$.

Шаг 7. В столбце с максимальным значением берем произвольный элемент.

Шаг 8. Производим замену произвольного элемента столбца с максимальным значением на элемент столбца с минимальным значением. Если $t_{\max} < \max(t_i \max)$, где $i \in \{\min, \max\}$, то обновляем решение и повторяем Шаги 7 и 8.

Шаг 9. Получаем решение – результат работы модифицированного алгоритма Крона.

Модифицированный алгоритм Крона применяется для неоднородных ВС, когда время выполнения одного и того же задания на разных процессорах ПЭВМ автоматизированных рабочих мест в СППР может быть не приемлемым. Полученная модификация алгоритма Крона отличается от не модифицированной версии, с одной стороны, простотой, а с другой – наибольшим по сравнению с точным быстрым действием, что позволяет получать в ходе планирования оптимальные по точности решения [17] задач распределения ЛР ПС СШРД.

Литература

1. Гольдштейн Б.С, Мамонтова Н.П. Инновации в области телекоммуникаций. Страницы истории телефонной связи // Материалы третьих научных чтений, посвященных Дню радио, Санкт-Петербург, 6 мая

2010. СПб.: Изд-во Центрального музея связи имени А.С. Попова, 2010. С. 25–30.

2. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. М.: Сов. радио, 1978. 304 с.

3. Тихонов В.И. Оптимальный приём сигналов. М.: Радио и связь, 1983. 320 с.

4. Одоевский С.М., Калюка В.И. Адаптивно-игровое моделирование военных сетей беспроводного абонентского доступа: в 2-х частях / Новочерк. высшее военное командное уч-ще связи. Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2009. Ч. 1. 216 с.

5. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность системы военной связи и методы ее оценки. СПб.: Изд-во Военной академии связи, 2006. 183 с.

6. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Параметры качества услуг в сетях WiMAX // T-Comm. Телекоммуникации и транспорт. 2007. № 5–6. С. 41–47.

7. Калюка В.И. Адаптивно-игровая оптимизация функциональных характеристик сетей беспроводного абонентского доступа // Научное обозрение. 2014. № 12. С. 81–84.

8. Варюхин С., Серебряков Г. Локальные сервисы в сетях сотовой связи // Технологии и средства связи. 2014. № 6. С. 52–54.

9. Скрынников В. 5G: Облик будущих систем мобильной связи // Технологии и средства связи. 2014. Ч. 1. № 6. С. 56–61.

10. Скрынников В. 5G: Облик будущих систем мобильной связи // Технологии и средства связи. 2015. Ч. 2. № 1. С. 56–58.

11. Inmon W.H., Hackthorn R. Using the Data Warehouse // Wiley. 1994. 304 p.

12. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P., Uthurusamy R. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining // AAAI/MIT Press. 1996.

13. Ginzberg M.I., Stohr E.A. Decision Support Systems: Issues and Perspectives // Processes and Tools for Decision Support. Amsterdam, North-Holland Pub I. Co, 1983.

14. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. М.: Наука, 1987. 248 с.

15. Кобак В.Г., Калюка В.И., Мишин А.И., Муратов М.А. Различные параметры первоначального распределения в алгоритме Крона и его применение в автоматизированных системах // Труды Военной академии связи имени С.М. Буденного. 2012. № 80. С. 125–127.

16. Кобак В.Г., Калюка В.И., Золотых О.А., Зубакин В.В. Распределение ресурса сетей беспроводного абонентского доступа с помощью модификаций алгоритма Крона при соблюдении условий четности // Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения: сборник материалов ежегодной Всероссийской научной конференции, Москва, 15 мая 2013. М.: Концерн «Системпром», 2013. С. 45–47.

17. Кобак В.Г. Алгоритмические подходы к распределению нагрузок в неоднородных информационных системах // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2012. № 4. С. 6–8.

Для цитирования:

Калюка В.И., Овсянников С.Н., Сапунова Л.П. Оптимизация локального ресурса пропускной способности сетей широкополосного радиодоступа // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 35–40.

LOCAL RESOURCE CAPABILITY OPTIMIZATION FOR THE BROADBAND RADIO ACCESS NETWORKS

Kalyuka Vladimir Ivanovich,

St. Petersburg, Russia, kvi_spb@rambler.ru

Ovsyannikov Stanislav Nikolaevich,

St. Petersburg, Russia, stasfvo@mail.ru

Sapunova Lydia Petrovna,

St. Petersburg, Russia, lidiya.karmanec@mail.ru

Abstract

Local resource capability optimization task between the separated user's groups using a general resource of broadband radio access networks is considered. Networks functional characteristics optimization of a wireless user's radio access allows to receive of networks creation option close to demanded, and also to make an assessment of resources expenses, quality and operating conditions indicators. Each indicator is complex and allows to solve a group of optimizing tasks of a broadband radio access networks. The efficiency of functioning of the broadband radio access networks criterias, reflecting capacity of all networks of a broadband radio access or its local part, describe adaptive-game management of a broadband radio access generally or a local range (subrange) the allocated frequencies with the "soft" change possibility. In the concept of development of cellular communication of the fifth generation 5G the new infotelecommunication technologies providing formation of the new directions of development of a wireless broadband radio access in the field of inter-machine telecommunications are put. Recently the steady tendency of development of the distributed networks of a broadband radio access as sets of some modules which are a part of infotelecommunication system is traced. By local resource capability optimization for the broadband radio access networks in perspective «the device-focused» broadband radio access networks as independent local unit, and also by the general resource capability optimization in «the device-focused» infotelecommunication systems, arises a problem of search of optimum distribution of a local resource of the capacity received by means of decision-making support system. As their decision demands computing capacity of computing systems and time, it is necessary to optimize algorithms and to find optimum ways of planning solution problem. Multiprocessing machine systems programming is connected with a parallelization and synchronization of calculations. The tool of an optimizing task solution of distribution

is the Krone algorithm, principle of which is an action local resource capability optimization. The Krone algorithm means casual distribution of a set of parallel settlement tasks to a set of untied identical processors and specification of the received distribution acts.

Keywords: optimization; algorithm; resource; network; capability; radio access; distribution.

References

1. Goljdstein B.S, Mamontova N.P. Innovations in the field of telecommunications. Pages of history of telecommunication. Materials of the third scientific readings devoted to Day of radio, St. Petersburg, on 6 May 2010. St. Petersburg: Tsentralny muzey svyazi imeni A.S. Popova Publ., 2010. Pp. 25–30.
2. Varakin L.E. Theory of systems of signals. Moscow, Sovetskoe radio, 1978. 304 p. (In Russian).
3. Tikhonov V.I. Optimum reception of signals. Moscow, Radio i svyaz', 1983. 320 p. (In Russian).
4. Odoevsky S.M., Kalyuka V.I. Adaptivno-igrovoe modelirovanie voennykh setey besprovodnogo abonentskogo dostupa [Adaptive-game modeling of military networks of wireless subscriber access]. In 2 pt. Novocheb. the highest military command college communications. Novocheb. UPTs "Nabla" SRSTU (NPI), 2009. Pt. 1. 216 p. (In Russian).
5. Bogovik A.V., Ignatov V.V. Effektivnost' sistemy voennoy svyazi i metody ee otsenki [System effectiveness of military communication and methods of its assessment]. St. Petersburg, Military academy of communication Publ., 2006. 183 p. (In Russian).
6. Tikhvinsky V.O., Terentyev S.V. Parametres of quality of services in the WiMAX. T-Comm. 2007. No. 5-6. Pp. 41–47. (In Russian).
7. Kalyuka V.I. Adaptive-game optimisation of functional characteristics of networks of wireless subscriber access. Scientific review. 2014. No. 12. Pp. 81–84. (In Russian).
8. Varyukhin S., Serebryakov G. Local services in networks of cellular communication. Technologies and means of communication. 2014. No. 6. Pp. 52–54. (In Russian).
9. Skrynnikov V. 5G: Shape of future systems of mobile communication. Technologies and means of communication. 2014. Pt. 1. No. 6. Pp. 56–61. (In Russian).
10. Skrynnikov V. 5G: Shape of future systems of mobile communication. Technologies and means of communication. 2015. Pt. 2. No. 1. Pp. 56–58. (In Russian).
11. Inmon W.H., Hackthorn R. Using the Data Warehouse. Wiley, 1994. 304 p.
12. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P., Uthurusamy R. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. AAAI/MIT Press. 1996.

13. Ginzberg M.I., Stohr E.A. Decision Support Systems: Issues and Perspectives. Processes and Tools for Decision Support. Amsterdam, North-Holland Pub I. Co, 1983.

14. Alekseev O.G. Kompleksnoe primeneniye metodov diskretnoi optimizatsii [Complex application of methods of discrete optimization]. Moscow, Nauka, 1987. 248 p. (In Russian).

15. Kobak V.G., Kalyuka V.I., Mishin A.I., Muratov M.A. Razlichnye parametry pervonachalnogo raspredeleniya v algoritme Krona i ego primeneniye v avtomatizirovannykh sistemakh [Various parameters of initial distribution in algorithm Krone and its application in the automated systems]. Trudy Voennoi akademii svyazi imeni S.M. Budyonnogo. 2012. No. 80. Pp. 125–127. (In Russian).

16. Kobak V.G., Kalyuka V.I., Zolotykh O.A., Zubakin V.V. Sovremennye tendentsii razvitiya teorii i praktiki upravleniya v sistemakh spetsialnogo naznacheniya: Sbornik materialov

ezhegodnoi Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii [The collection of reports annual All-Russian scientific conference], Moscow, on May 15, 2013. Moscow, JSC Sistemprom Concern, 2013. Pp. 45–47. (In Russian).

17. Kobak V.G. Algorithmic approaches to distribution of loadings in non-uniform information systems. News of higher education institutions. North Caucasian region. Technical science. 2012. No. 4. Pp. 6–8. (In Russian).

Information about authors:

Kalyuka V.I., Ph.D., doctoral student, Military academy of communications;

Ovsyannikov S.N., postgraduate student, Military academy of communications;

Sapunova L.P., postgraduate student, Military academy of communications.

For citation:

Kalyuka V.I., Ovsyannikov S.N., Sapunova L.P. Local resource capability optimization for the broadband radio access networks. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 35–40.



АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОРАБЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Образцов

Иван Викторович,

адъюнкт кафедры устройства и живучести подводных лодок Военно-морского политехнического института военно-учебного научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия»,
г. Пушкин, Россия,
lion-jan@ya.ru

Круглеевский

Владимир Николаевич,

д.т.н., доцент, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-морского флота военно-учебного научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
skpo@bk.ru

АННОТАЦИЯ

Материал посвящен возможности реализации в системах пожарной сигнализации беспроводной передачи информации на основе технологии радиочастотной идентификации и использования датчиков температуры на поверхностных акустических волнах. Важным, с точки зрения предотвращения развития пожара, является обнаружение процесса образования очага возгорания на этапах пожароопасной и предпожарной ситуаций. Наиболее подходящими из известных беспроводных технологий передачи информации для указанных условий является технологии радиочастотной идентификации. В системах радиочастотной идентификации используются активные и пассивные метки. Пассивные метки, не имея собственного источника питания, необходимую для работы энергию получают из поступающего от считывателя электромагнитного сигнала. Большим преимуществом пассивных меток по сравнению с активными метками является практически неограниченный срок службы, так как они энергонезависимы и не требуют замены батареек, что позволяет их использовать для длительного хранения информации. Недостаток пассивных меток – необходимость использования более мощных устройств считывания информации. Наряду с радиочастотными метками передающими только записанный в них уникальный код в системах радиочастотной идентификации используются датчики различных физических параметров на основе линий задержки на так называемых структурах поверхностных акустических волн. Система пожарной сигнализации может быть построена на основе типового узла беспроводной системы сбора информации. В подобной системе будут использоваться температурные датчики поверхностных акустических волн. Поэтому более точно такую систему пожарной сигнализации следует называть системой температурно-тревожной сигнализацией. В беспроводных системах пожарной сигнализации могут использоваться активные радиочастотные метки. Их применение наиболее эффективно для контроля, так называемого «человеческого фактора». Основные задачи, относящиеся к «человеческому фактору»: контроль каждого человека как источника пожарной опасности и использование людей (персонал объекта), в качестве источников первичной информации о пожарной опасности в помещениях объекта. Если для решения первой задачи могут быть использованы, в принципе, пассивные радиочастотные транспондеры, которые можно закрепить на одежде человека и контролировать его перемещения, то для решения второй задачи более удобно использовать активные радиочастотные транспондеры.

Ключевые слова:

система; пожар; сигнализация; датчик; беспроводной; радиочастотный; идентификация; пьезоэлектрик; транспондер.

Пожароопасные объекты, будь то морские или речные суда, морские платформы, портовые сооружения, как правило, представляют собой пространственные системы множества различных по назначению помещений с достаточным для возникновения и развития пожара количеством горючих веществ, окислителя (кислорода воздуха) и потенциальных источников зажигания. Пожар возникает, если в помещении в определенный момент создаются условия контакта горючего, окислителя и источника зажигания в достаточном количественном соотношении.

При нормальном состоянии помещения газообразные и жидкие горючие вещества находятся в пределах своих технологических систем, а твердые горючие материалы имеют температуру, при которой исключается выделение каких-либо летучих веществ, окиси углерода, метана и других углеводородов, способных воспламениться. Источники зажигания хотя потенциально и присутствуют в помещении, но бездействуют – нет повышенных нагревов воздушной среды и механизмов, отсутствуют искры, короткие замыкания. При нормальном состоянии помещения и на начальных этапах процесса пожарообразования содержание кислорода в воздушной среде практически не изменяется. В то же время параметры горючих веществ и источников зажигания изменяются и находятся в определенной взаимосвязи.

Образование опасного контакта источников зажигания и горючих материалов исключено во всех помещениях объекта при нормальной работе его систем, технических средств и оборудования. Это обеспечивается как соответствующими проектными решениями, так и правильной эксплуатацией соответствующего объекта. Однако, функционирование технических средств, находящихся внутри помещения, в результате возникновения и развития аварийного происшествия,

может выходить за границы нормальных параметров, что, в случае непринятия противодействующих мер, может привести к возникновению пожара.

В соответствии с принятыми теоретическими представлениями весь процесс возникновения и развития пожара условно можно разделить на отдельные этапы со своими признаками, как это показано на рис. 1.

Важным, с точки зрения предотвращения развития пожара, является обнаружение процесса образования очага возгорания на этапах пожароопасной и предпожарной ситуаций. Следует отметить, что не смотря на то, что задачу сверхраннего обнаружения пожаров, на самой ранней стадии их развития, разработчики СПС стремятся решить уже многие годы, она до сих пор еще не решена. СПС обнаруживают пожар только на этапе возгорания. Те современные СПС, в составе которых имеются сигнализаторы угарного газа или наличия продуктов термодеструкции в воздушной среде помещения, позволяют обнаруживать факт возникновения предпожарной ситуации, но не указывают места расположения развивающегося очага пожара.

Исходя из того, что правила пожарной безопасности учитываются при проектировании объекта, а затем выполняются при его постройке и эксплуатации, то нарушить их может только авария, связанная с разрушением оболочек, которые ограничивают технологические перемещения жидких и газообразных горючих веществ или изолируют нагретые до высоких температур элементы оборудования и источники открытого пламени, способные стать источниками зажигания. Учитывая это, предлагается пожарную опасность при изменении обстановки в помещении контролировать, как это показано на рис. 2, следующим образом:

1. В первую очередь необходимо, распознав «нштатную ситуацию» в помещении, осуществить контроль за перемещением и состоянием горючих мате-

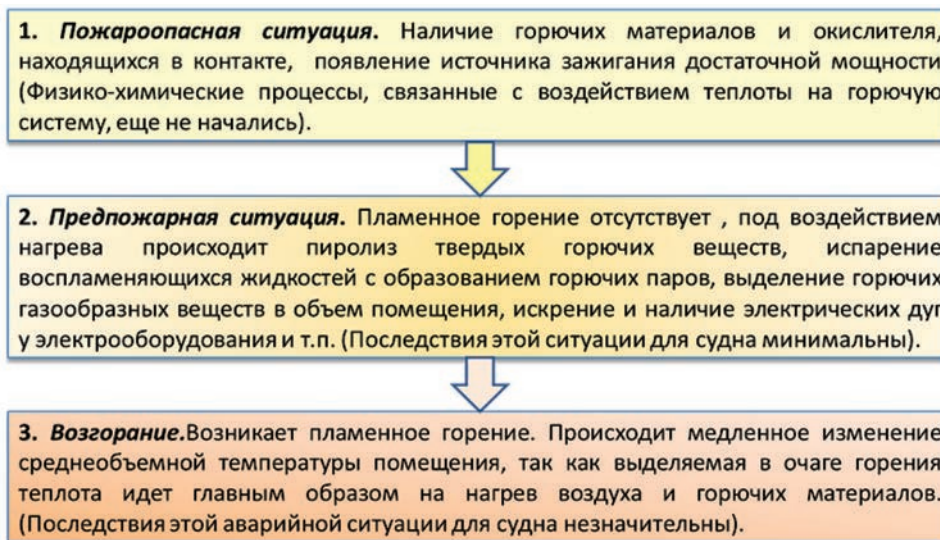


Рис. 1. Характерные признаки начальных этапов развития пожара

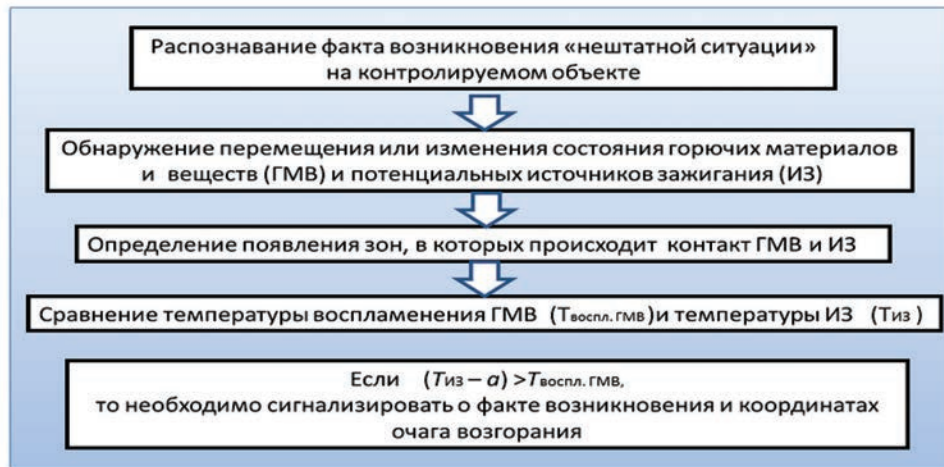


Рис. 2. Способ контроля пожарной опасности

риалов и веществ (ГМВ) и потенциальных источников зажигания (ИЗ);

2. При распознавании факта изменения обстановки в помещении, необходимо определить, появились ли зоны, в которых происходит (или может происходить) контакт ИЗ и ГМВ;

3. Далее следует сравнить температуру воспламенения ГМВ и температуру потенциального ИЗ;

4. В случае, если температура ИЗ за вычетом некоторого «страховочного» значения α окажется больше температуры воспламенения ГМВ, следует сигнализировать о факте возникновения и координатах очага возгорания.

Обнаружение зоны контакта ГМВ и ИЗ, способного привести к образованию очага возгорания, и является фактом возникновения пожароопасной ситуации (ПОС) в помещении.

Учитывая множество разнообразных ИЗ и ГМВ расположенных в помещениях объекта противопо-

жарной защиты, появляется необходимость в установке большого количества сенсоров, контролирующих тепловое поле и изменение обстановки, что невозможно реализовать в полном объеме, используя аппаратуру обычных СПС, по множеству причин (стоимостным, массо-габаритным, надежностным и т.п.). В то же время уменьшение количества источников информации влечет за собой сокращение информации, характеризующей пожарную опасность. Задача оптимизации количества сенсоров связана с задачей распознавания пожарной опасности напрямую: чем меньше сенсоров мы оставим от первоначального числа, тем больше окажется неопределенности в задаче распознавания.

В настоящее время для передачи информации между источниками информации (пожарные извещатели), устройствами обработки (модули, блоки) и представления информации (щиты и панели) в системах по-

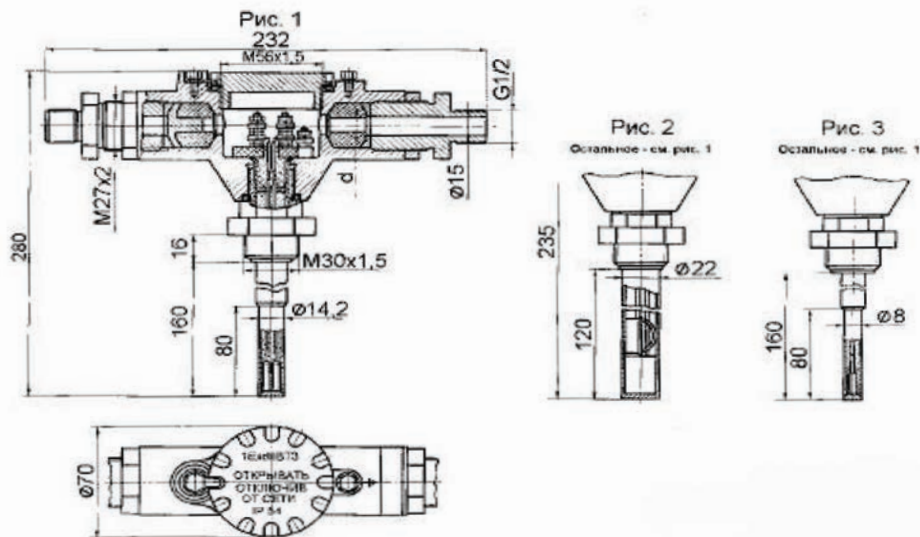


Рис. 3. Извещатель пожарный тепловой взрывозащищенный



Рис. 4. Структура системы радиочастотной идентификации

жарной сигнализации используются, в основном, электрические кабели.

Развитие элементной базы микроэлектроники позволило создать миниатюрные сенсоры различного назначения. Однако процесс миниатюризации датчиков сдерживается необходимостью использования электрических кабелей, внешние диаметры которых в несколько раз превышают размеры чувствительных элементов датчиков. Это приводит к усложнению конструкции и значительному увеличению внешних габаритов датчика, большую часть которого занимают устройства ввода-вывода электрических кабелей как это видно на рис. 3. Как следствие, значительно повышается стоимость датчика, а потребляемая им энергия, в основном, расходуется на формирование и передачу по электрическому кабелю сигналов к устройству обработки информации.

Наблюдая значительный прогресс в развитии беспроводных технологий передачи информации и широкое их внедрение в различные сферы человеческой деятельности, целесообразно рассмотреть возможность их использования для передачи сигналов от датчиков и сигнализаторов в систему пожарной сигнализации.

Так как объем информации, формируемый сигнализатором, небольшой, а передача сигнала должна осуществляться внутри помещений на расстояние, не превышающее в большинстве случаев 10 метров (при этом могут проявляться такие факторы пожара, как задымление и открытое пламя), наиболее подходящими из известных беспроводных технологий передачи информации для указанных условий является технологии радиочастотной идентификации (так называемые РЧИ – технологии).

Системы РЧИ получили широкое распространение в начале 90-х годов. Состав типовой системы РЧИ показан на рис. 4.

Метка и считыватель связаны между собой радиочастотным каналом. Метка состоит из приемопередатчика и антенны. Считыватель также содержит в своем со-

ставе приемопередатчик и антенну. Контроллер может входить в состав считывателя, а может изготавливаться и в виде отдельного устройства. Контроллер образует интерфейс для обмена с устройством обработки информации, в качестве которого используется компьютер.

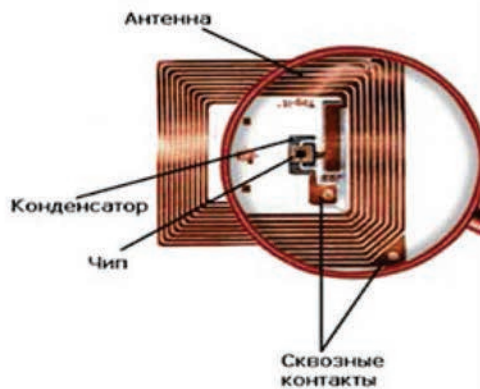
Некоторые фирмы-разработчики интегрируют считыватель, антенну и контроллер в одном изделии, другие, наоборот – в разных. Устройство обработки занимается непосредственно хранением, обработкой и применением полученной от меток информации в различных пользовательских программах.

Посредством приемопередатчика и антенны считыватель излучает электромагнитное поле определенной частоты. Попавшие в зону действия считывающего поля радиочастотные метки «отвечают» собственным сигналом, содержащим определенную информацию (например, код метки) на той же самой или другой частоте. Сигнал улавливается антенной считывателя, принятая информация расшифровывается и передается через контроллер в компьютер для обработки.

Радиочастотная метка обычно включает в себя приемник, передатчик, антенну и блок памяти для хранения информации (рис. 5). Приемник, передатчик и



Рис. 5. Структурная схема пассивной радиочастотной метки



Метки Large Rigid Tag (155 мм)
и Large Rigid Tag (78 мм) Intermac

Рис. 6. Пассивные метки на основе КМОП-чипа

память конструктивно выполняются в виде отдельной микросхемы (чипа). Если в состав конструкции метки включается источник питания (например, литиевая батарейка), то такая метка становится активной.

В системах РЧИ используются активные и пассивные метки.

Пассивные метки, не имея собственного источника питания, необходимую для работы энергию получают из поступающего от считывателя электромагнитного сигнала. Электрический ток, индуцированный в антенне электромагнитным сигналом от считывателя, обеспечивает достаточную мощность для функционирования кремниевого КМОП-чипа, размещённого в метке, и передачи ответного сигнала. Дальность чтения пассивных меток зависит от энергии считывателя. Внешний вид пассивных меток показан на рис. 6. Компактность меток зависит от конфигурации внешних антенн, которые по размерам превосходят чип во много раз и, как правило, определяют габариты меток.

Большим преимуществом пассивных меток по сравнению с активными метками является практически неограниченный срок службы, так как они энергонезависимы и не требуют замены батареек, что позволяет их использовать для длительного хранения информации. Недостаток пассивных меток – необходимость использования более мощных устройств считывания информации.

Наряду с радиочастотными метками передающими только записанный в них уникальный код в РЧИ-системах используются датчики различных физических параметров на основе линий задержки на так называемых ПАВ-структурах.

Принцип работы радиочастотных датчиков основан на двух физических явлениях: поверхностных акустических волнах (ПАВ) и пьезоэлектричестве. ПАВ представляет собой акустическую волну, распространяющуюся в тонком приповерхностном слое среды. На рис. 7 и 8 показаны конструкции устройств на ПАВ.

Скорость распространения ПАВ примерно на пять порядков меньше, чем у электромагнитных волн – характерная скорость ПАВ составляет около 3000 м/с. При

этом частота ПАВ находится в радиочастотном диапазоне электромагнитных волн – обычно от 30 МГц до 3 ГГц. Соответственно, длина ПАВ может составлять от одного до нескольких десятков микрон. Амплитуда ПАВ лежит в нанометровом диапазоне. Энергия ПАВ уменьшается экспоненциально с увеличением глубины – большая ее часть сосредоточена в приповерхностном слое толщиной примерно в одну длину волны.

Если средой распространения ПАВ является пьезоэлектрический материал, то ПАВ могут возбуждать электромагнитные волны, и, наоборот, для генерации ПАВ могут использоваться электромагнитные колебания. Для возбуждения и детектирования ПАВ в пьезоэлек-

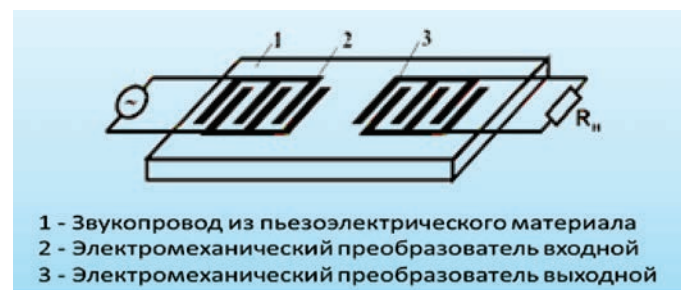


Рис. 7. Устройство электронного прибора на ПАВ



Рис. 8. Конструкция линии задержки на ПАВ с отражательными структурами в виде металлических полосок или канавок

трике применяют так называемые встречно-штырьевые преобразователи (ВШП). ВШП состоит из плоских параллельных металлических электродов, расположенных на поверхности пьезоэлектрического материала и попеременно соединенных друг с другом через общие шины. Если к двум соседним электродам приложено постоянное напряжение, то возникающее между ними электрическое поле вызывает упругую деформацию пьезоэлектрика (обратный пьезоэффект).

Если же приложить переменное напряжение к шинам, то в пьезоэлектрике возникают гармонические механические колебания. Эти колебания порождают ПАВ, которая распространяется в обе стороны от ВШП. Процесс детектирования ПАВ происходит в обратном порядке: акустическая волна, входя в ВШП, генерирует распределение электрического заряда между двумя гребенками электродов (прямой пьезоэффект) и тем самым формирует выходной электромагнитный сигнал в радиочастотном диапазоне.

В настоящее время уже реализованы различные системы контроля и диагностирования, использующие ПАВ-датчики. В качестве примера на рис. 9 представлены элементы систем контроля нагрева узлов электрооборудования с использованием ПАВ-датчиков температуры и мониторинга температуры судовых поршневых машин.

Аналогично представленным выше системами, система пожарной сигнализации может быть построена на основе типового узла беспроводной системы сбора информации, структурная схема которого представлена на рис. 10. В первую очередь, в подобной системе будут использоваться температурные ПАВ-датчики.

Поэтому более точно такую систему пожарной сигнализации следует называть системой температурно-тревожной сигнализацией.

В типовой конструкции устройства беспроводного измерения температуры датчик с антенной крепится на объекте или помещается внутрь контролируемого объема. На некотором расстоянии размещается считыватель. В состав считывателя входит автогенератор с антенной, частота генерации которого благодаря электромагнитной связи между антеннами датчика и считывателя близка к резонансной частоте датчика. Энергия, наводимая в антенне датчика, преобразуется в акустическую волну, которая распространяется вдоль чувствительной поверхности датчика, отражается от конца линии, возвращается к преобразователю и переизлучается модулю обработки. Зависимость коэффициента отражения электрической волны от частоты со стороны порта связи с внешней цепью имеет резонансный характер. Если температура окружающей среды и акустопровода изменяется, то изменение параметров распространения волны приводит к изменению резонансной частоты и максимального значения коэффициента передачи. Сигнальный процессор, входящий в состав модуля обработки, формирует значение температуры. Процесс измерения – пассивный и беспроводной.

Беспроводная система температурно-тревожной сигнализации будет состоять из множества однотипных узлов, подобных представленному на рис. 10.

Собранная стационарным считывателем информация от ПАВ датчиков, попавших в зоны контроля, передается по стандартному интерфейсу RS-485 в бло-



Рис. 9. Элементы беспроводных систем контроля нагрева узлов электрооборудования и мониторинга поршневых машин, а также примеры установки ПАВ-датчиков температуры



Рис. 10. Структурная схема типового узла беспроводной системы сбора информации

ки сбора информации и далее поступает в прибор обработки и представления данных системы.

Объем информации, передаваемый от одного типового узла, зависит от количества датчиков в зоне контроля.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать следующие выводы:

- использование технологии радиочастотной идентификации позволяет реализовать в системах пожарной сигнализации беспроводную передачу информации от датчиков к аппаратуре обработки и представления информации;

- в качестве датчиков температуры целесообразно использовать линии задержки на ПАВ-структурах, обладающие повышенной стойкостью к внешним воздействиям и долговечностью.

Литература

1. Harvesting Power from Ambient Energy Mar 24, 2011.

URL: <http://www.siemens.com/press/photo/IN20110305-02e> (дата обращения: 01.02.2015).

2. Vibration-powered Generators Replace AA, AAA Batteries. Peter Clarke. July 16, 2010. Microwave Engineering Europe . URL: http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20100716/184262/ (дата обращения: 18.05.2015).

3. Скороходов Д.А., Суслов Д.В., Круглеевский В.Н. Передача информации в судовых системах пожарной сигнализации // Морской вестник. 2012. № 2 (42). С. 53–56.

4. Артамонов В.С., Круглеевский В.Н., Скороходов Д.А., Поляков А.С. Судовые системы пожарной сигнализации. От прошлого – в будущее. СПб.: УГПС МЧС РФ, 2013. 160 с.

5. Круглеевский В.Н., Полуляхов Д.С. Анализ возможности использования беспроводной передачи информации в судовых системах контроля технических средств // Судостроение. 2013. № 3 (808). С. 41–43.

Для цитирования:

Образцов И.В., Круглеевский В.Н. Анализ возможности применения беспроводных систем сигнализации и контроля пожарной безопасности технических средств кораблей на основе технологии радиочастотной идентификации // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 41–48.

THE ANALYSIS OF POSSIBILITY OF USING WIRELESS ALARM AND FIRE CONTROL HARDWARE SHIPS OF THE NAVY ON THE BASIS OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION

Obraztsov Ivan Viktorovich,
Pushkin, Russia, lion-jan@ya.ru

Krugleevsky Vladimir Nikolaevich,
St. Petersburg, Russia, skpo@bk.ru

Abstract

Article is devoted to possibility of realization in systems of the fire alarm system of wireless information transfer on the basis of technology of radio-frequency identification and use of sensors of temperature on superficial acoustic waves. From the point of view of prevention of development of the fire, detection of process of formation of the center of ignition at stages of fire-dangerous and prefire situations is important. The most suitable of known wireless technologies of information transfer for the specified conditions is technologies of radio-frequency identification. In systems of radio frequency identification active and passive tags are used. Passive tags, without having own power supply, energy, necessary for work, is received from the electromagnetic signal arriving from the reader. Big advantage of passive tags in comparison with active tags is almost unlimited service life as they are non-volatile and don't demand replacement of batteries that allows to use them for long storage of information. A lack of passive tags – need of use of more powerful devices of reading of information. Along with the radio-frequency tags transferring only the unique code which is written down in them in radio frequency identification - systems sensors of various physical parameters on the basis of lines of a delay on so-called surfactant structures are used. The system of the fire alarm system can be constructed on the basis of standard knot of wireless system of collection of information. In similar system will be used temperature surfactant sensors. Therefore it is necessary to call more just the same system of the fire alarm system the temperature and disturbing alarm system. In wireless systems of the fire alarm system active radio-frequency tags can be used. Their application is most effective for control, so-called "a human factor". The main objectives

relating to "a human factor": control of each person as source of fire danger and use of people (the object personnel), as sources of primary information on fire danger in rooms of object. If for the solution of the first task passive radio-frequency transponders which can be fixed on clothes of the person can be used, in principle, and to control his movements, for the solution of the second task it is more convenient to use active radio-frequency transponders.

Keywords: system; fire; alarm system; sensor; wireless; radio-frequency; identification; piezoelectric material; transponder.

References

1. Harvesting Power from Ambient Energy Mar 24, 2011. URL: <http://www.siemens.com/press/photo/IN20110305-02e> (date of access 01.02.2015).
2. Vibration-powered Generators Replace AA, AAA Batteries. Peter Clarke. July 19, 2010. Microwave Engineering Europe. URL: http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20100716/184262 (date of access 18.05.2015).
3. Skorohodov D.A., Suslov D.V., Krugleevsky V.N. Information transfer in ship systems of the fire alarm system. Sea messenger. 2012. No. 2 (42). Pp. 53–56. (In Russian).
4. Artamonov V.S., Krugleevsky V.N., Skorohodov D.A., Polyakov A.S. Ship systems of the fire alarm system: Of the past – in the future. SPb, GPS of Emercom of Russia, 2013. 160 p. (In Russian).
5. Krugleevsky V.N., Poluliahov D.S. The analysis of possibility of use of wireless information transfer in ship monitoring systems of technical means. Shipbuilding. 2013. No. 3 (808). Pp. 41–43. (In Russian).

Information about authors:

Obraztsov I.V., postgraduate student, Associate Chair of the device and the survivability of the submarine the Naval polytechnic Institute of Military Educational and Scientific Centre of the Navy "The Naval Academy";
Krugleevsky V.N., Ph.D., associate professor, Senior Researcher the Research Institute of Shipbuilding and Armament Navy of Military Educational and Scientific Centre of the Navy "The Naval Academy".

For citation:

Obraztsov I.V., Krugleevsky V.N. The analysis of possibility of using wireless alarm and fire control hardware ships of the navy on the basis of radio frequency identification. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 41–48.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В РАДИОКАНАЛАХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ КЛАССОВ ВЫЧЕТОВ

Самойленко

Дмитрий Владимирович,

к.т.н., преподаватель кафедры
Краснодарского высшего военного
училища имени генерала
армии С.М. Штеменко,
г. Краснодар, Россия,
19sam@mail.ru

Финько

Олег Анатольевич,

д.т.н., профессор, советник Российской
академии ракетных и артиллерийских
наук (РАРАН), профессор кафедры
Краснодарского высшего военного
училища имени генерала
армии С.М. Штеменко,
г. Краснодар, Россия,
ofinko@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются робототехнические комплексы (роботы), групповое взаимодействие которых основано на мультиагентных технологиях. Исследуются методы криптографической защиты информации, предназначенные для обеспечения защиты информации циркулирующей, в мультиагентных робототехнических комплексах от неконтролируемых изменений при ее передаче по радиоканалам. Фактически способность обеспечить эту защиту в это же самое время порождает проблемную ситуацию, когда защищаемая информация становится достаточно чувствительной к влиянию искажений различного происхождения. Изменение одного бита зашифрованных данных может привести к частичной или полной потере расшифрованных данных и нанести неприемлемый ущерб субъектам информационного взаимодействия. Предлагаемый подход основывается на объединении в единую совокупность методов криптографической защиты информации (блочных криптографических систем) и помехоустойчивого кодирования, обеспечивающих интегрированную комплексную защиту. В результате получена система помехоустойчивой передачи шифрованной информации в радиоканалах мультиагентных робототехнических комплексов на основе математического аппарата полиномиальных классов вычетов (модулярных полиномиальных кодов).

Одним из основных достоинств модулярного полиномиального кода является параллельная обработка информации по основаниям полиномов $m_1(z)$, $m_2(z)$, ..., $m_k(z)$, где $m_i(z)$ неприводимый полином над полем $GF(2)$. Помимо указанного свойства применение модулярных полиномиальных кодов позволяет не только повысить скорость обработки информации, но и обеспечить устойчивость функционирования системы в целом. Уникальностью системы является обеспечение ее новым свойством – восстановлением достоверной информации с заданной вероятностью как в условиях преднамеренных искажений, в том числе – имитации информации, так и в условиях непреднамеренных искажений – помех. Достоинством является также и то, что данная система строится на основе действующих криптографических стандартов.

Предложен параллельный алгоритм расширения системы оснований модулярного полиномиального кода. Отличительной особенностью данного алгоритма является вычисление избыточных остатков по дополнительно введенным основаниям полиномам без перехода к позиционному представлению исходного полинома. В результате применения данного алгоритма достигается значительное снижение аппаратных затрат при выполнении операции расширения модулярного полиномиального кода.

Ключевые слова:

робототехнические комплексы;
китайская теорема об остатках;
криптография; модулярная арифметика;
полиномиальные классы вычетов;
помехоустойчивое кодирование
в классах вычетов; система остаточных
классов.

В настоящее время для решения различных специфических задач (разведка, исследование местности) широкое применение получают роботы и робототехнические комплексы. Характерной особенностью функционирования таких комплексов является недетерминированность (неопределенность) обстановки в зоне выполнения задач, а также нестационарность рабочих условий. Причиной неопределенности может быть и радиус действия, ограниченный бортовым ресурсом, и небольшое число выполняемых функций, ограниченное набором исполнительных устройств. Нестационарность обусловлена вариативностью рабочей обстановки и функционированием в экстремальных условиях. Выполнение специфических заданий в таких условиях сопряжено с рядом трудностей, имеющих негативные последствия. Избежать нежелательных последствий возможно за счет группового применения роботов различной спецификации на основе мультиагентных технологий [1]. Такой подход основывается на декомпозиции общей (глобальной) задачи на ряд локальных задач, распределенных между роботами-агентами, планировании их коллективного поведения, координации взаимодействия, коммуникаций и разрешения конфликтных ситуаций и позволяет значительно увеличить радиус действия, расширить набор выполняемых функций, приспособиться к непредсказуемо изменяющимся условиям функционирования.

Преимущества применения мультиагентных робототехнических комплексов (МРК) достигаются ис-

пользованием коммуникационных возможностей, в частности системы радиосвязи. Однако, физические принципы функционирования средств радиосвязи допускают осуществимость преднамеренных и непреднамеренных воздействий [2].

Одной из действенных мер борьбы с помехами является применение методов помехоустойчивого кодирования. В соответствии с базовой эталонной моделью взаимосвязи открытых систем ошибки, вызванные помехами, корректируются на втором канальном уровне устройством защиты от ошибок (УЗО). При положительном результате коррекции ошибок передаваемая информация подлежит дальнейшей обработке, в противном случае она бракуется. Преднамеренные воздействия носят случайный, аналитический, умышленный характер и состояние обстановки в период воздействия остается неизвестным. Иными словами, информация, (командно-программная, телеметрическая, целевая) циркулирующая в группе от робота в центр управления и наоборот, может быть перехвачена, проанализирована, искажена и модифицирована. Это накладывает повышенные требования к защищенности информации (обеспечению криптостойкости, помехоустойчивости и имитостойкости) передаваемой в радиоканалах МРК, как ключевого элемента эффективности функционирования комплекса в целом.

На рис. 1 представлен вариант структуры мультиагентной робототехнической системы, функционирующей в условиях преднамеренных воздействий.

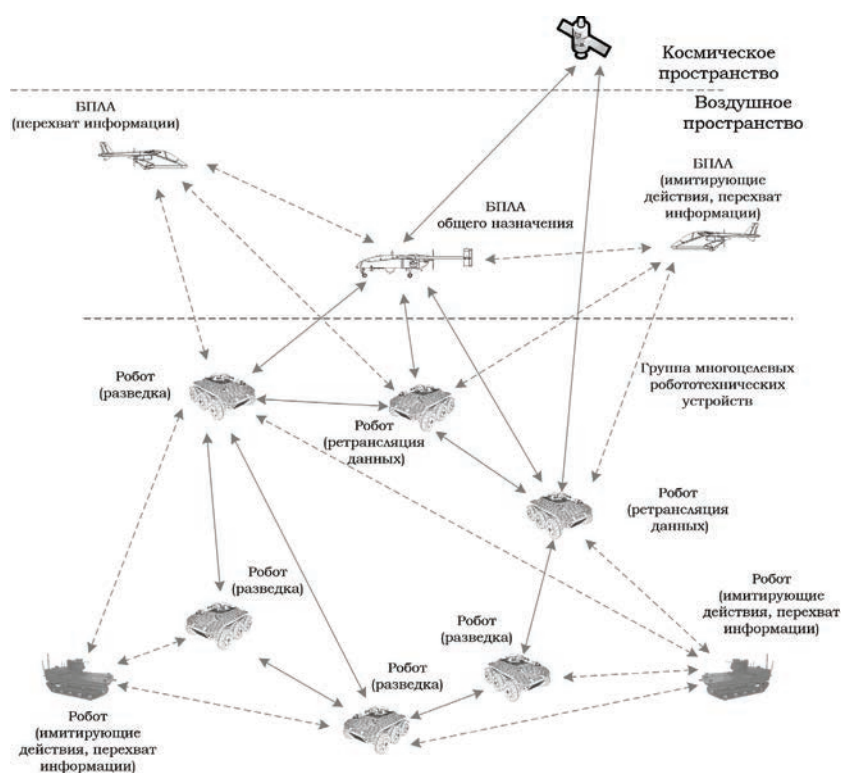


Рис. 1. Вариант структуры мультиагентной робототехнической системы, функционирующей в условия преднамеренных воздействий

Стандартные решения (методы криптографической защиты информации) обеспечивают необходимый уровень криптостойкости, но имеют слабые стороны, обусловленные высокой чувствительностью к ошибкам, возникающим при передаче информации. Вследствие этого вопрос обеспечения помехоустойчивости и имитостойкости передаваемой информации носит проблемный характер [3].

Наряду с этим отметим следующий принципиальный недостаток, характерный для некоторых современных шифров, заключающийся в отсутствии комплексного решения обеспечения криптостойкости, помехоустойчивости и имитостойкости, которое удовлетворяло бы и заданным требованиям 8 центра ФСБ России. Существующие методы противодействия имитации злоумышленника, такие как: формирование имитовставки или хэш кода, использование режимов шифрования, таких как гаммирование с обратной связью (ГОСТ 28147-89) в полной мере не решают этой задачи, так как не позволяют *восстанавливать* искаженные данные, особенно в системах радиосвязи без решающей обратной связи, в том числе при массивных имитационных воздействиях. К тому же вносят дополнительную избыточность.

В [4] была предпринята попытка создания криптосистем, обеспечивающих интегрированную защиту и помехоустойчивость информации. Характерными недостатками таких систем являются: слабая или недостаточно хорошо исследованная криптографическая стойкость (атака Сидельникова-Шестакова на криптосистему Мак-Элиса), низкая корректирующая способность (обнаружение одно-, двухкратных ошибок) или борьба с отдельными видами ошибок («вставка», «выпадение» или «стирание» символов криптограммы), большая размерность ключей шифрования, отсутствие сертификатов органов ФСБ России и др. предопределяют невозможность их практического применения для обеспечения защищенности информации в радиоканалах МРК. Таким образом, ни одна из существующих криптографических систем не позволяет обеспечить *единственность* функций с гарантированной криптографической стойкостью.

В [5–7] предложено решение освещенных выше проблем, основанное на использовании существующих сертифицированных (и перспективных) блочных и поточных шифров. Действительно, в системах радиосвязи для обеспечения требуемой криптографической стойкости и имитостойкости информации применяются шифры, а для обеспечения помехоустойчивости – методы помехоустойчивого кодирования [3]. Реализация данных методов в единой совокупности позволяет повысить *устойчивость* системы к различным видам воздействия с возможностью *восстановления* искаженных данных. В указанных работах применение получили избыточные модулярные коды. Интерес к избыточным модулярным кодам обусловлен рядом преимуществ. В частности:

код является максимальным, т.е. при заданной длине и размерности обладает наибольшим кодовым расстоянием $\max\{d_{\min}\}$ [8];

обеспечивает единый способ представления данных на борту робота и в радиоканале;

в соответствии с [5–7] обеспечивает устойчивость к различным видам воздействия.

Математический аппарат модулярных полиномиальных кодов основывается на следующих положениях [9]:

Пусть $m_1(z), m_2(z), \dots, m_k(z) \in F[z]$ неприводимые полиномы, причем $\deg m_1(z) \leq \deg m_2(z) \leq \dots \leq \deg m_k(z) \in F[z]$, где $\deg m_k(z)$ – степень полинома ($i = 1, 2, \dots, k$), тогда *модулярный полиномиальный код* (МПК) – это отображение

$$\phi: F[z]/(P(z)) \rightarrow F[z]/(m_1(z)) \times \dots \times F[z]/(m_k(z)):$$

$$a(z) \mapsto \phi(a(z)) := (\phi_1(a(z)), \phi_2(a(z)), \dots, \phi_k(a(z))),$$

где $P(z) = \prod_{i=1}^k m_i(z)$, $\phi_i a(z) := a(z) \bmod m_i(z)$ ($i = 1, 2, \dots, k$)

для полиномов $a(z)$ причем $\deg a(z) < \deg P(z)$, то есть

$$C = \{c_1, \dots, c_k, \dots, c_k\} = \phi(a(z))$$

есть код для информационного сообщения $a(z)$. Элементы кода c_i по аналогии с линейными назовем символами, *элементы* из которых суть полиномы из фактор-кольца $F[z]/(m_i(z))$ ($i = 1, 2, \dots, k$).

Рассмотрим систему помехоустойчивой передачи данных в МРК, основанную на свойствах МПК. Подлежащий передаче набор исходных данных M_i t -го робота представим в полиномиальной форме:

$$M_i(z) = \sum_{j=0}^{s-1} m_j^{(i)} z^j = m_{s-1}^{(i)} z^{s-1} + m_{s-2}^{(i)} z^{s-2} + \dots + m_0^{(i)},$$

$$m_j \in \{0, 1\} (i = 1, 2, \dots, k; j = s-1, s-2, \dots, 0).$$

Для обеспечения необходимого уровня криптографической стойкости передаваемых данных в МРК введем процедуры шифрования и расшифрования, которые представим в виде:

$$C_i(z) \rightarrow E_{k_{e,i}} : M_i(z),$$

$$M_i(z) \rightarrow D_{k_{d,i}} : C_i(z),$$

где $C_i(z)$ – блок шифртекста t -го робота, $M_i(z)$ – блок открытых данных, $k_{e,i}, k_{d,i}$ – ключи шифрования и расшифрования ($i = 1, 2, \dots, k$).

Полученный блок шифртекста $C_i(z)$ также сохраняется на борту робота комплекса в подсистеме хранения информации. Непосредственная передача блоков криптограмм между роботами осуществляется с определенной периодичностью при их взаимодействии, т.е. t -ый робот принимает совокупность блоков крип-

Важнейшей операцией, выполняемой в этой системе, является операция расширения МПК. Рассмотрим алгоритм расширения МПК применительно к рассматриваемой системе. В основе данного алгоритма лежит решение системы сравнений (1). В соответствии с Китайской теоремой об остатках для многочленов решению системы сравнений (1) будет соответствовать выражение:

$$X(z) = \sum_{i=1}^k C_i(z)B_i(z) - r_C(z)P(z), \quad (2)$$

где $B_i(z) = k_i(z) P_i(z)$ – полиномиальные ортогональные базисы;

$$k_i(z) = P_i^{-1}(z) \text{ mod } m_i(z);$$

$$P_i(z) = \frac{P(z)}{m_i(z)};$$

$r_C(z)$ – ранг $X(z)$; для $i = 1, 2, \dots, k$

Процедура вычисления $r_C(z)$ будет производиться непосредственно в процессе выполнения операции расширения. Тогда,

$$r_C(z) = \text{Quotient} \left(\frac{C_i(z)k_i(z)}{m_i(z)} \right), \quad (3)$$

где $\text{Quotient} \left(\frac{C_i(z)k_i(z)}{m_i(z)} \right)$ – наименьшее целое от деления

$C_i(z), k_i(z)$ на основание $m_i(z)$; для $i = 1, 2, \dots, k$

Для получения $C_{k+1}(z)$, выражение (2) с учетом (3) примет следующий вид

$$C_{k+1}(z) = C_1(z) \beta_1(z) \text{ mod } m_{k+1}(z) + C_2(z) \beta_2(z) \text{ mod } m_{k+1}(z) + \dots + C_k(z) \beta_k(z) \text{ mod } m_{k+1}(z) - r_C(z) \mu(z) \text{ mod } m_{k+1}(z)$$

где $\beta_i(z) = B_i(z) \text{ mod } m_{k+1}(z)$;

$$\mu(z) = P(z) \text{ mod } m_{k+1}(z); \text{ для } i = 1, 2, \dots, k$$

Выполним

$$G_1(z) = C_1(z) \beta_1(z) \text{ mod } m_{k+1}(z) = g_{m-1}^{(1)} z^{m-1} + g_{m-2}^{(1)} z^{m-2} + g_{m-3}^{(1)} z^{m-3} + \dots + g_0^{(1)}$$

$$G_2(z) = C_2(z) \beta_2(z) \text{ mod } m_{k+1}(z) = g_{m-1}^{(2)} z^{m-1} + g_{m-2}^{(2)} z^{m-2} + g_{m-3}^{(2)} z^{m-3} + \dots + g_0^{(2)}$$

$$G_k(z) = C_k(z) \beta_k(z) \text{ mod } m_{k+1}(z) = g_{m-1}^{(k)} z^{m-1} + g_{m-2}^{(k)} z^{m-2} + g_{m-3}^{(k)} z^{m-3} + \dots + g_0^{(k)}$$

$$A(z) = r_C(z) \mu(z) \text{ mod } m_{k+1}(z) = a_{m-1} z^{m-1} + a_{m-2} z^{m-2} + a_{m-3} z^{m-3} + \dots + a_0.$$

Представим полиномы $C_i(z) (i = 1, 2, \dots, k)$ и $A(z)$ в форме последовательности двоичных коэффициентов:

$$G_1(z) = (g_{m-1}^{(1)} g_{m-2}^{(1)} g_{m-3}^{(1)} \dots g_0^{(1)}),$$

$$G_2(z) = (g_{m-1}^{(2)} g_{m-2}^{(2)} g_{m-3}^{(2)} \dots g_0^{(2)}),$$

.....

$$G_k(z) = (g_{m-1}^{(k)} g_{m-2}^{(k)} g_{m-3}^{(k)} \dots g_0^{(k)}),$$

$$A(z) = (a_{m-1} a_{m-2} a_{m-3} \dots a_0).$$

Получим

$$C_{k+1}(z) = z^{m-1} \left(a_{m-1} \oplus \bigoplus_{i=1}^k g_{m-1}^{(i)} \right) + z^{m-2} \left(a_{m-2} \oplus \bigoplus_{i=1}^k g_{m-2}^{(i)} \right) + z^{m-3} \left(a_{m-3} \oplus \bigoplus_{i=1}^k g_{m-3}^{(i)} \right) + \dots + z^{m-3} \left(a_{m-3} \oplus \bigoplus_{i=1}^k g_{m-3}^{(i)} \right) \text{ mod } m_{k+1}(z) = \sum_{j=0}^{m-1} z^j \bigoplus_{i=1}^k (a_j \oplus g_j^{(i)}) \text{ mod } m_{k+1}(z).$$

Приведенные выше преобразования позволяют без прямого определения $X(z)$, в соответствии с Китайской теоремой об остатках для многочленов, окончательно получить итоговое выражение для вычисления $C_{k+1}(z)$.

Выводы

Предложенный метод обеспечения помехоустойчивой обработки зашифрованных данных в радиоканале МПК обладает рядом преимуществ. В частности:

позволяет обнаружить имитирующие действия злоумышленника, а при необходимости восстанавливать достоверные данные с заданной вероятностью;

указанные решения могут быть использованы для обеспечения целостности циркулирующей в МПК информации, в том числе, в случае деградации системы;

обеспечивает гарантированную криптографическую стойкость за счет применения сертифицированных средств шифрования.

Литература

1. Timofeev A.V. Neural Multi-Agent Control of Robotic Systems // Proceedings of International Conference on Informatics and Control. 1997. Vol. 2. No. 3. Pp. 537–542.
2. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Радио и связь. 1982. 304 с.

3. Бабаш А.В., Шанкин Г.П. Криптография. М.: Солон-Р. 2002. 512 с.

6. Diffie W., Hellman M. E. Privacy and Authentication: An Introduction to Cryptography // Proceedings of the IEEE. 1979. Vol. 67. Pp. 397–427.

4. McEliece R.J. A Public Key Cryptosystem Based on Algebraic Coding Theory. Deep Space Network Progress Report 42 44, Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology. 1978. Pp. 114–116.

5. Финько О.А. Многоканальные системы, устойчивые к искажению криптограмм // Криптографические методы защиты информации / под ред. Е.А. Сухарева. М.: Радиотехника. 2007. Кн. 4. С. 91–96.

6. Самойленко Д.В., Финько О.А. Криптографическая система в полиномиальных классах вычетов для каналов с шумом и имитирующим злоумышленником //

Теория и техника радиосвязи. 2010. № 4. С. 39–45.

7. Самойленко Д.В., Финько О.А. Имитоустойчивая передача данных в защищенных системах однонаправленной связи на основе полиномиальных классов вычетов // Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 9. С. 647–659.

8. Szabo N.S., Tanaka R.I. Residue Arithmetic and its Applications Computer Technolog. NewYork: McGraw-Hill. 1967. 236 p.

9. Bossen D.C., Yau S.S. Redundant residue polynomial codes // Information and Control. 1968. Vol. 13. Pp. 597–618.

10. Габидулин Э.М., Афанасьев В.Б. Кодирование в радиоэлектронике. М.: Радио и связь. 1986. 176 с.

11. Акушский И.Я., Юдицкий Д.М. Машинная арифметика в остаточных классах. М.: Советское радио. 1968. 440 с.

Для цитирования:

Самойленко Д.В., Финько О.А. Помехоустойчивая передача данных в радиоканалах робототехнических комплексов на основе полиномиальных классов вычетов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 49–55.



NOISE IMMUNITY OF DATA TRANSMISSION IN A RADIO CHANNEL ROBOTIC COMPLEXES BASED ON POLYNOMIAL RESIDUE CLASSES

Samoylenko Dmitriy Vladimirovich,
Krasnodar, Russia, 19sam@mail.ru

Finko Oleg Anatolevich,
Krasnodar, Russia, Ofinko@yandex.ru

Abstract

We consider robotic systems (robots), group interaction which is based on multi-agent technology. The methods of cryptographic protection of information designed to ensure the protection of information circulating, in multi-robot systems from uncontrolled changes in its radio transmission. In fact, the ability to provide this protection at the same time creates a problematic situation when protected information is sufficiently sensitive to the effects of the distortion of different origin. Changing one bit encrypted data can lead to partial or total loss of the decrypted data and cause unacceptable damage to the subjects of information exchange. The proposed approach is based on combining in a single set of methods of cryptographic protection of information (block cryptographic systems) and the error-correcting coding, providing integrated comprehensive protection. The result is a fail-safe system for transmitting encrypted information in the radio channels of multi-agent robotic systems based on mathematical apparatus of polynomial residue class (modular polynomial codes).

One of the main advantages of the modular polynomial code is the parallel processing of information on the grounds of polynomials $m_1(z), m_2(z), \dots, m_k(z)$, where the irreducible polynomial over $GF(2)$. In addition to the properties of the use of modular polynomial code not only increases the speed of information processing, but also to ensure the stability of the system as a whole. The uniqueness of the system is to provide it with a new feature – the restoration of reliable information with a given probability in terms of intentional misstatements, including – imitation of information and in terms of unintended distortion – interference. The advantage is the fact that this system is based on existing cryptographic standards.

We propose a parallel algorithm for modular extension of the bases of a polynomial code. A distinctive feature of this algorithm is to calculate the surplus balances in addition entered the grounds without polynomials transition to positional representation of the original polynomial. As a result of this algorithm achieved a significant reduction in hardware costs in the operation of the modular expansion of a polynomial code.

Keywords: robotic systems; the Chinese remainder theorem; cryptography; modular arithmetic; polynomial residue classes; error control codes in residue classes; residue number system.

References

1. Timofeev A.V. Neural Multi-Agent Control of Robotic Systems, Proceedings of International Conference on Informatics and Control. 1997. Vol. 2. No. 3. Pp. 537–542. (In Russian).
2. Kloviskiy D.D. Peredacha diskretnykh soobscheniy po radio-kanalam [Sending digital messages by radio]. Moscow, Radio i svyaz`. 1982. 304 p. (In Russian).
3. Babash A.V., Shankin G.P. Kriptografiya [Cryptography]. Moscow, Solon-R. 2002. 512 p. (In Russian).
4. McEliece R.J. A Public Key Cryptosystem Based on Algebraic Coding Theory. Deep Space Network Progress Report 42 44, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 1978. Pp. 114–116.
5. Finko O.A. Multichannel modular system stable to distortion of cryptograms, in team monograph Cryptographic methods of information security. Moscow, Radiotekhnika, 2007. Vol. 4. Pp. 91–96. (In Russian).
6. Samoylenko D.V., Finko O.A. Cryptographic system in polynomial residue classes for channels with noise and simulating attacker, Radio communication theory and equipment, 2010. Vol. 4. Pp. 39–44. (In Russian).
7. Samoylenko D.V., Finko O.A. Imitation proof data transmission in protected system of one-way communication by means of polynomial residue classes, Nonlinear world, 2013. Vol. 11. No. 9. Pp. 647–659.
8. Szabo N.S., Tanaka R.I. Residue Arithmetic and its Applications Computer Technolog., New York, McGraw-Hill, 1967. 236 p.
9. Bossen D.C., Yau S.S. Redundant residue polynomial codes, Information and Control, 1968. Vol. 13. Pp. 597–618.
10. Gabidulin E.M., Afanasev V.B. Kodirovanie v radioelektronike [Encoding Electronics]. Moscow, Radio i svyaz`. 1986. 176 p. (In Russian).
11. Akushskiy I.Ya., Yuditskiy D.M. Mashinnaya arifmetika v ostatochnykh klassah [Machine arithmetic residual classes]. Moscow, Sovetskoe radio. 1968. 440 p. (In Russian).

Information about authors:

Samoylenko D.V., Ph.D., Lecturer branch of the Krasnodar Higher Military School;
Finko O.A., Ph.D., professor, Adviser of the Russian Academy Missile and Artillery Sciences, Department of the branch of the Krasnodar Higher Military School.

For citation:

Samoylenko D.V., Finko O.A. Noise immunity of data transmission in a radio channel robotic complexes based on polynomial residue classes. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 49–55.

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Буренин

Андрей Николаевич,

д.т.н., доцент, доцент кафедры
автоматизированных систем управления
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
konferencia_asu_vka@mail.ru

Легов

Константин Евгеньевич,

к.т.н., заместитель начальника кафедры
автоматизированных систем управления
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
constl@mail.ru

Емельянов

Александр Владимирович,

адъюнкт кафедры автоматизированных
систем управления Военно-
космической академии
имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
constl@mail.ru

Ключевые слова:

инфокоммуникационные сети;
автоматизированная система
управления; системный анализ;
научный метод; информация.

АННОТАЦИЯ

В работе в соответствии с основными особенностями организации, принципами построения и условиями функционирования современных инфокоммуникационных систем специального назначения приведены материалы системного анализа автоматизированных систем управления ими, позволяющие оценить достигнутый уровень развития автоматизированных систем специального назначения и, в дальнейшем, определить направления их развития. Показано, что при создании и развитии инфокоммуникаций для министерств и ведомств, обеспечивающих обороноспособность, безопасность и правопорядок, требуется реально оценивать создаваемые и развертываемые автоматизированные системы управления информационными и телекоммуникационными сетями и системами. Осуществить это можно только с позиций системного подхода с привлечением методов и подходов системного анализа.

Известно, что наиболее общим понятием, которое обозначает все возможные проявления и функционирование информационных систем органов управления и систем управления, а также различных информационных и телекоммуникационных сетей специального назначения, является «системность», которую целесообразно рассматривать в трех основных аспектах. Показано, что системный анализ вообще – это научный метод, представляющий собой последовательность действий по установлению структурных связей между переменными или элементами исследуемой автоматизированной системы управления специального назначения.

В качестве базового варианта методологии системного анализа в работе используется методология, предложенная Э. Квейдом. В соответствии с ней в работе проведен системный анализ автоматизированных систем специального назначения в рамках основных ее компонент, определяющих ее качественные показатели.

Основой современных систем управления и связи различных министерств и ведомств, предназначенных, в соответствии с законом РФ «О связи» [1] для нужд обороны, обеспечения безопасности и правопорядка, являются инфокоммуникационные сети специального назначения (ИКС СН), появившиеся в результате протекающих процессов конвергенции информационных систем органов управления и телекоммуникационных сетей. Концептуальной основой ИКС СН являются концепции сетей следующего поколения (NGN) и глобальной информационной инфраструктуры (GII) [2, 5]. При этом обязательно должны быть реализованы требуемые схемы и структуры защиты информации и ресурсов в ИКС СН.

Функционирование ИКС СН в особые периоды осуществляется в неблагоприятных условиях, характеризующихся быстро меняющейся обстановкой, что требует обязательной организации устойчивого управления ими в реальном масштабе времени, которое невозможно осуществить без реализации решений по созданию и развертыванию многоуровневых иерархических АСУ ИКС СН [2 –5], в которых процессы управления декомпозированы по уровням, на каждом из которых управление осуществляется по пяти основным задачам управления, к которым относятся задачи управления производительностью, безопасностью, структурой и адресацией, ресурсами и сбойными ситуациями.

Как правило, АСУ ИКС СН создаются не на пустом месте, а используют компоненты систем управления существующих сетей и систем. Поэтому для целей вы-

явления путей совершенствования созданных АСУ необходимо провести их системный анализ, который позволит оценить как достигнутый уровень развития, так и позволит определить направления их развития.

Основные составляющие системного анализа АСУ ИКС СН

Перспективные АСУ создаваемых современных ИКС СН создаются на базе комплексов средств автоматизации, размещаемых, как правило, на пунктах ведомственных органов управления. Для организации обмена всей необходимой управляющей информацией и создается ИКС СН, типовая структура [5] которой приведена на рис.1.

В соответствии со стандартами сетевого управления (рек. серии М.30XX) в системах управления можно выделить архитектуры АСУ ИКС СН: оперативная, организационная, техническая, функциональная, информационная сеть АСУ, которая обычно состоит из защищенного компонента, который базируется на выделенных каналах и трактах и слабо защищенного или незащищенного компонента, использующего услуги коммутации ЕСЭ РФ. Эти элементы описания АСУ ИКС СН требуется подвергнуть анализу как компонентов системного анализа АСУ ИКС СН.

Учитывая специфику применения ИКС СН, особую важность приобретает такой компонент системного анализа АСУ ИКС СН как анализ уровня обеспечения информационной безопасности.

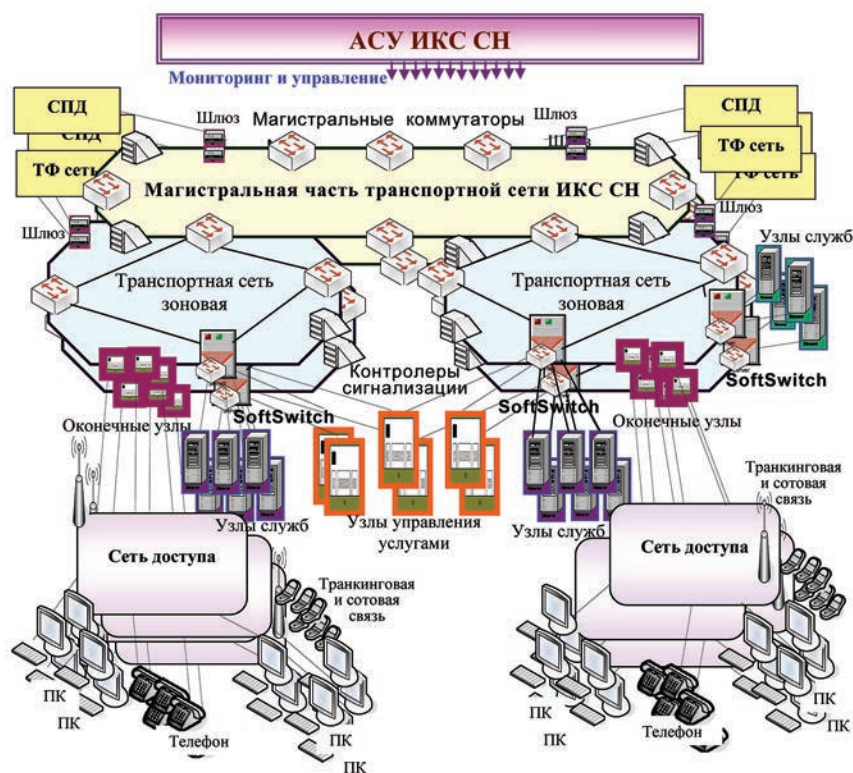


Рис. 1. Типовая структура современной ИКС специального назначения

Анализ оперативной архитектуры АСУ ИКС СН

Оперативная архитектура АСУ ИКС СН как особый тип иерархической структуры описывается графом-прадеревом на множестве объектов $k_i \cup A_{jl} = A_j$; $A_{jl} \cap A_j = \emptyset$; $l, s = \overline{1, k}$ [6, 7].

Одним из основных показателей оперативной архитектуры АСУ ИКС СН является степень ее централизации $\alpha_{АСУ ИКС}^{centr}$, которая определяется мерой разделения полномочий между уровнями АСУ ИКС и степенью централизации для каждой пары $(i=1, i) \forall i=2, N$ смежных уровней иерархии. Степень централизации можно оценить отношением объема комплексов задач (W_i и W_{i-1}), решаемых на уровнях ($\alpha_i^{centr} = \frac{W_i}{W_{i-1}}$), т.е.:

$$\alpha_{АСУ ИКС}^{centr} = \sum_{i=1}^N \beta_i \alpha_i^{centr} = \sum_{i=1}^N \beta_i \frac{W_i}{W_{i-1}}$$

Степень централизации влияет на уровень возможных потерь при ее недостаточной величине и зависит от стоимости АСУ ИКС СН. Для АСУ ИКС СН эти соотношения можно иллюстрировать рис. 2.

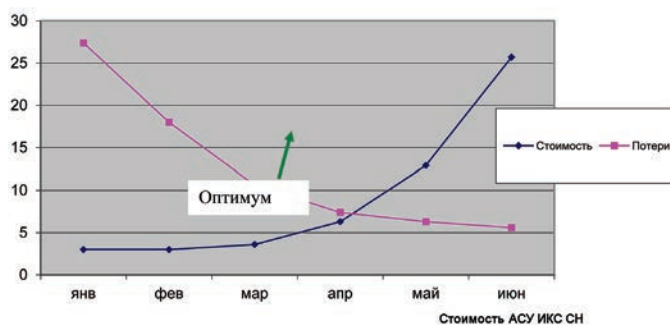


Рис. 2. Уровень централизации АСУ ИКС СН в зависимости от стоимости и возможных потерь при недостаточной централизации

Другим показателем, характеризующим оперативную архитектуру АСУ ИКС СН является уровень оснащённости органов управления комплексами средств автоматизации АСУ ИКС СН. Этот уровень зависит от потенциального количества объектов на i -м уровне иерархии системы k_i и числа комплексов средств автоматизации n_i , т.е.

$$Lev_{АСУ ИКС} = \sum_{i=1}^{N_0} \gamma_i \frac{n_i}{k_i}$$

При этом возможный вариант по оснащённости органов управления для типовой АСУ ИКС СН, с учетом уровня финансирования работ по автоматизации, иллюстрируется рис. 3.

Анализ организационной архитектуры АСУ ИКС СН

Организационная архитектура АСУ ИКС СН [7, 8] задается отображением $P : M \times \Omega \rightarrow Y$, в котором $M = M_1 \times M_2 \times \dots \times M_i \times \dots \times M_n$ – множество управляющих процедур АСУ ИКС СН, а M_i – множество процедур управления для i -го уровня иерархии и $[m_i \in M_i \forall m_i = (m_{i1}, \dots, m_{in})]$.

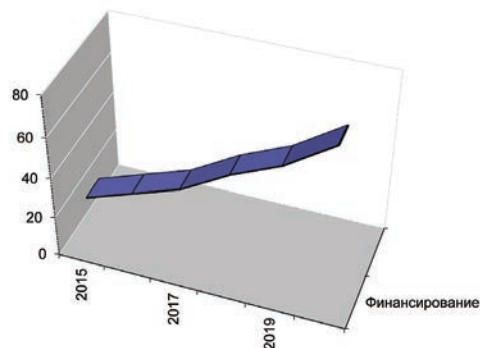


Рис. 3. Вариант по уровню оснащённости средствами АСУ ИКС СН объектов типового ведомства

Модель i -й локальной подсистемы управления R_i АСУ ИКС СН реализуется в виде отображения $C : S \times R_i \rightarrow M_i$; $R = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_i \times \dots \times R_n$, а S – множество функций управления ЕИТС.

Модель организационного воздействия на подчиненные объекты ИКС СН задается отображением $C_0 : K \rightarrow S$, а K – множество функций координации при управлении.

При этом информация обратной связи, за счет процедур мониторинга состояния ИКС СН реализуется отображениями:

$$f_i : M \times \Omega \times Y \rightarrow R_i, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$f_0 : S \times R \times M \rightarrow K$$

Уровень предоставления услуг автоматизации АСУ ИКС СН должностным лицам (ДЛ) органов управления зависит от их количества d_i на каждом уровне иерархии, которым предоставлены услуги автоматизации, и от общего числа ДЛ на уровне r_i

$$Luz_{АСУ ИКС} = \sum_{i=1}^{N_0} \varphi_i \frac{d_i}{r_i} \quad (2)$$

Ежегодный рост уровня предоставления услуг автоматизации АСУ ИКС СН для ДЛ органов управления можно проиллюстрировать рис. 4.

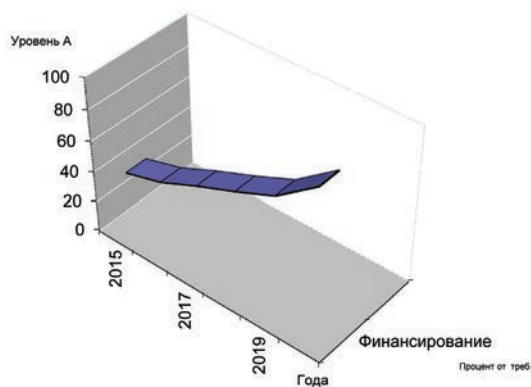


Рис. 4. Вариант повышения уровня предоставления услуг автоматизации АСУ ИКС СН должностным лицам органов управления

Анализ технической архитектуры АСУ ИКС СН

Техническая архитектура АСУ ИКС СН определяется множеством решаемых АСУ задач $E = \{E_j\}$. Связи между задачами задаются графом задач $G_E = \{E_{qj}, (E_{qij})\}$ с множеством вершин E_{qj} , соответствующим задачам, и множеством дуг E_{qij} , отражающим связи задач между собой.

Если имеется множество центров управления АСУ ИКС СН $M = \{M_j\}$ $j = 1, \dots, M$, связи между которыми заданы в виде графа $G_M = \{M_{qj}, (B_{qij})\}$ с множеством вершин M_{qj} , соответствующим пунктам управления, и множеством дуг B_{qij} , отражающим связи пунктов управления между собой.

Пусть задано множество технических средств АСУ ИКС СН $A_{ТЕХН} = \{a_i\}$. Тогда в соответствии с теорией сложных систем [7, 8] целесообразная техническая архитектура АСУ ИКС СН будет характеризоваться выражением:

$$A_{ТЕХН} = \sup_{e_i \in E_j; a_{ij} \in A_i} \sum d_{e_i}^{a_i} \sum_{M_j \in M; a_{ij} \in A_i} z_{M_j, a_i}^{a_i} \quad (3)$$

где $d_{e_i}^{a_i}$ эффект от решения задачи e_j на техническом средстве a_i ;

$z_{M_j, a_i}^{a_i}$ переменная, которая принимает значение 1, если задача решается на j -м ПУ техническим средством a_{ij} , и значение 0 в противном случае.

Аналогичный показатель для реальных технических архитектур создаваемых АСУ ИКС СН для заданного множества решаемых задач $E' = \{E'_z\} \forall z = 1, 2, \dots, x$; $x = \sum_{E_{гн}, E_{отг}, E_{опг}} N_E$ и связей между задачами, заданными графом задач $G'_E = \{E'_{zj}, (E'_{zj})\}$, для перечня из (как правило для реальных АСУ, не более 4–6) центров управления АСУ $M = \{M_h\} \forall h = 1, \dots, 6$ с множеством технических средств АСУ ИКС СН $A_{АСУ ИКС СН}^R = \{a_i\}$, составит

$$\sum_{x; a_{1-6}} d_x^{a_i} \sum_{\forall M_{1-6}; a_{1-6i}} z_{M_i, a_i}^{a_i}$$

При этом оценить техническую архитектуру реальной АСУ ИКС СН можно величиной (уровнем), определяемой следующим выражением:

$$R_{tech\ arx} = \frac{\sum_{x; a_{1-6}} d_x^{a_i} \sum_{\forall M_{1-6}; a_{1-6i}} z_{M_i, a_i}^{a_i}}{\sup_{e_i \in E_j; a_{ij} \in A_i} \sum d_{e_i}^{a_i} \sum_{M_j \in M; a_{ij} \in A_i} z_{M_j, a_i}^{a_i}} \quad (4)$$

Естественно, что с увеличением номенклатуры компонент оборудования АСУ ИКС СН уровень технической архитектуры реальной АСУ ИКС СН (4) снижается (рис. 5).

Поэтому для повышения уровня (4) необходимо снижать номенклатуру за счет унификации и типизации технических средств, что позволит повысить этот показатель (прогнозный уровень для перспективной АСУ ИКС СН) на рис. 6).

Анализ функциональной архитектуры АСУ ИКС СН

Функциональная архитектура АСУ ИКС СН представляет собой набор (множество) функциональных

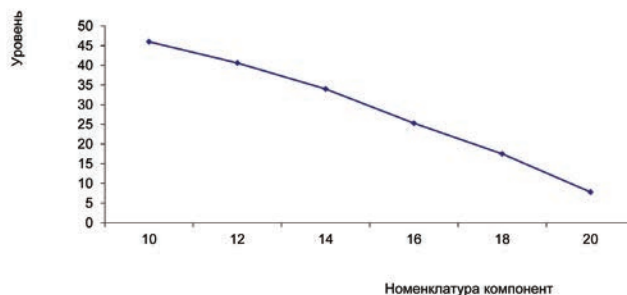


Рис. 5. Уровень технической архитектуры реальной АСУ ИКС СН в зависимости от номенклатуры компонент оборудования

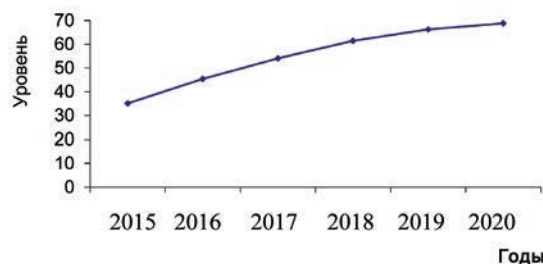


Рис. 6. Возможный уровень технической архитектуры АСУ ИКС СН

компонентов (подсистем), связанных между собой определенным образом, с использованием стандартных интерфейсных точек взаимодействия.

Все задачи управления ИКС СН, выполняемые АСУ ИКС СН, формируются исходя из выполнения максимума выражения $\max(G-L)$ где G – качество функционирования ИКС СН, а L – затраты.

В соответствии с этим АСУ ИКС СН разбивается (декомпозируется) на n функциональных подсистем $s_1, s_2, \dots, s_p, \dots, s_n$, каждая из которых выполняет определенные функции в рамках АСУ ИКС СН, характеризующихся полезностью x_i и потерями y_i , которые в совокупности определяют функцию качества $F_i(x_i, y_i)$.

Тогда в соответствии с теорией больших систем [7, 8] функцию качества функциональной архитектуры АСУ ИКС СН можно задать как:

$$F_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n F_i(x_i, y_i) \quad (5)$$

Для большинства развернутых или создаваемых АСУ ИКС СН, с учетом реально сложившейся их функциональной архитектуры и реального распределения функциональных подсистем, справедливо выражение для показателя функциональности функциональной архитектуры АСУ ИКС СН

$$P_{func} = M \left\{ \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^{m_j} x_i \right\} = \prod_{j=1}^n \left(1 - \prod_{i=1}^{m_j} q_i \right) \quad (6)$$

Показатель (6) архитектуры АСУ ИКС СН будет, в частности, зависеть от того, как организованы службы АСУ, как они взаимодействуют друг с другом, какие

сервисы каждая из них использует (или не использует). В качестве примера на рис. 6 приведены зависимости показателя функциональности АСУ ИКС СН в зависимости от числа функциональных подсистем АСУ для двух вариантов организации служб.

Анализ информационной сети АСУ ИКС СН

Открытый компонент информационной сети АСУ, предоставляющий услуги по обмену несекретной управляющей информацией, фактически является вырощенной подсетью, так как ее элементы пространственно и функционально размещаются за пределами самой АСУ ИКС СН, и предоставляет, как правило, услуги виртуальных сетей на базе ресурсов Ростелекома.

При этом этот компонент (с точки зрения АСУ ИКС СН) может быть представлен одноуровневой многоканальной (по числу точек доступа) системой обслуживания с ограниченной (заданной) пропускной способностью (временем обслуживания), состояния которого описываются выражением [9, 10]:

$$\begin{cases} P_{ij0} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\rho_{ij}}{1!} + \frac{\rho_{ij}^2}{2!} + \dots + \frac{\rho_{ij}^{k_{ij}}}{k_{ij}!}\right)}, \\ P_{ijn} = \frac{\rho_{ij}^n}{n!} P_{ij0} \quad \forall n = 1, 2, \dots, k_{ij}. \end{cases} \quad (7)$$

В котором ρ_{ij} – величина, характеризующая нагрузку, поступающую на транспортную компоненту со стороны всех пограничных маршрутизаторов АСУ ИКС СН, соотношенную со временем обслуживания сетью, определяемому пропускной способностью точек доступа к транспортному компоненту, т.е. равна интенсивности суммарного потока пакетов, поступающих $\sum_{j=1}^n \lambda_j$ их пограничных маршрутизаторов АСУ ИКС СН, поделенной на величину, обратную величине среднего времени обслуживания $(t_{obsl})^{-1}$.

В соответствии с этим вероятности того, что сеть не будет справляться с предложенной нагрузкой (что соответствует превышению максимума пропущенной нагрузки) составит:

$$P^{m}_{otkr\ segm} = \frac{\left(t_{obsl} \sum_{j=1}^m \lambda_j\right)^m}{m! \sum_{k=0}^m \frac{\left(t_{obsl} \sum_{j=1}^m \lambda_j\right)^k}{k!}}. \quad (8)$$

Компонент информационной сети, предоставляющий услуги по обмену закрытой информации, является основным для АСУ ИКС СН.

Он фактически представляет собой двухуровневую систему инфотелекоммуникаций, образованную на

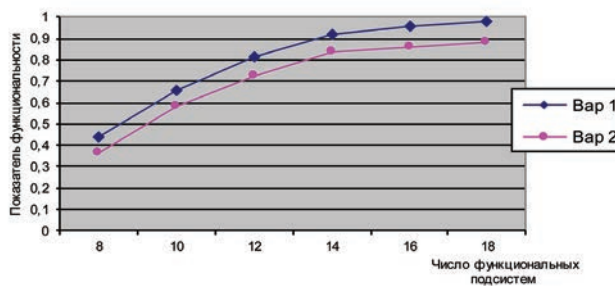


Рис. 7. Показатель функциональности, характеризующий функциональную архитектуру АСУ ИКС СН

базе выделенных цифровых трактов оператора, нижний уровень которой представляет собой защищенную цифровую сеть коммутируемых цифровых каналов, а верхний – наложенную защищенную IP-сеть. Каждый порт маршрутизатора центра управления АСУ ИКС СН должен поддерживать интерфейс соответствующего канала в качестве конечного узла. После того как цифровые каналы скоммутированы и установлены, маршрутизаторы могут пользоваться ими как физическими, посылая данные порту соседнего (по отношению к виртуальному каналу) маршрутизатора. Так образуется сеть выделенных защищенных каналов с собственной топологией.

В соответствии с этим эффективность такой организации зависит от соотношения между средним временем передачи одного массива IP-пакетов \bar{t}_{n1} и временем установления соединения (коммутации цифрового канала) \bar{t}_y . Ясно, что должно выполняться условие $\bar{t}_{n1} > \bar{t}_y$.

При этом среднее время доставки IP-пакета в наложенной управляющей сети АСУ ИКС СН можно определить из выражения: $\bar{t}_n = \frac{Q_n}{v_{эф}} + \bar{t}_{k2} + \bar{t}_y$, где \bar{t}_y – среднее время задержки пакета; \bar{t}_{k2} – среднее время обработки заголовка IP-пакета с обращением к маршрутной таблице, Q_n и $v_{эф}$ – соответственно объем IP-пакета и эффективная скорость передачи его по установленному цифровому каналу, а

$$\bar{t}_y = \frac{Q_n \sum_{k=1}^m \frac{(k-1)m! \rho^k}{(m-k)!}}{v_{эф} \left(1 + \frac{m! \rho}{(m-1)!} + \sum_{k=2}^m \frac{m! \rho^k}{(m-k)!}\right)}. \quad (9)$$

В соответствии с этим выражением можно получить зависимость вероятности своевременной доставки управляющих сообщений АСУ ИКС СН в сети защищенного (закрытого) компонента от уровня нагрузки информации АСУ, рис. 8.

Анализ уровня информационной безопасности на объектах АСУ ИКС СН

Информационная безопасность АСУ ИКС СН является свойством АСУ, обеспечивающим ее нормальную качественную работу и сохранение ее информационных

ресурсов в условиях информационных воздействий [5].

В соответствии с этим уровень информационной безопасности характеризует степень защищенности информационных ресурсов на объектах АСУ ИКС СН от потенциальных угроз.

Сама степень защищенности зависит, во-первых, от наличия, качественного и количественного состава системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ) АСУ ИКС СН, а во-вторых, от наличия и от качественных показателей системы управления информационной безопасностью АСУ ИКС СН.

Таким образом, уровень информационной безопасности каждого объекта АСУ ИКС СН (максимум его равен 1) будет определяться следующим образом:

$$W_{ob\ ACY\ EITS} = \eta_{soib} \cdot \Pi_{soib} + \eta_{SUprsec} \cdot \Pi_{SUprsec} \quad (10)$$

где η_{soib} , $\eta_{SUprsec}$ – весовые коэффициенты подсистем; Π_{soib} , $\Pi_{SUprsec}$ – относительные качественные показатели систем обеспечения информационной безопасности и подсистем управления информационной безопасностью АСУ ИКС СН.

Очевидно, что максимальные значения, которые могут принимать величины Π_{soib} , $\Pi_{SUprsec}$, также равны 1. Наиболее простой вид Π_{soib} можно задать выражением

$$\Pi_{soib} = \frac{1}{k_{soib}} \sum_{i=1}^{k_{soib}} R_i \quad (11)$$

где $R_i = (0,1)$ – величина, характеризующая наличие $R_i = 1$, или отсутствие $R_i = 0$ i -го компонента СОИБ в составе СОИБ.

Так $i=1$ соответствует комплексу средств защиты информации от НСД, $i=2$ – комплексу средств защиты информации от СВАС, $i=3$ – комплексу средств обнаружения атак, $i=4$ – средствам доверенной загрузки и т.д.

Аналогично наиболее простой вид $\Pi_{SUprsec}$ можно задать выражением

$$\Pi_{SUprsec} = \frac{1}{k_{SUprsec}} \sum_{i=1}^{k_{SUprsec}} Z_i \quad (12)$$

где $Z_i = (0,1)$ – величина, характеризующая наличие $Z_i = 1$, или отсутствие $Z_i = 0$ i -й подзадачи управления информационной безопасностью в составе всех задач управления.

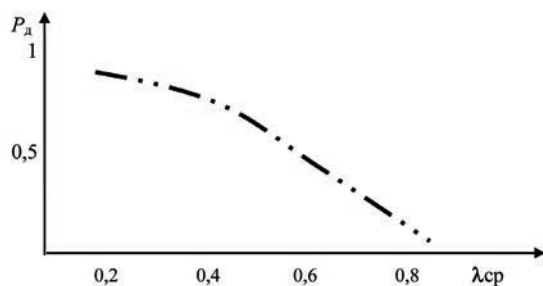


Рис. 8. Вероятность своевременной доставки управляющих сообщений в защищенном компоненте информационной сети АСУ ИКС СН

Так $i=1$ соответствует подзадаче периодического проведения аудита безопасности, $i=2$ – подзадаче управления рисками, $i=3$ – подзадаче управления инцидентами, $i=4$ – подзадаче уточнения правил безопасности по результатам задач $i=1, 2$ и 3 , т. е.:

$$\Pi_{SUprsec} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 Z_i \quad (13)$$

Значения величин весовых коэффициентов подсистем η_{soib} , $\eta_{SUprsec}$ определяется методами экспертных оценок [7, 8] и обычно составляет для типовых АСУ ИКС СН $\eta_{soib} = 0,7$, $\eta_{SUprsec} = 0,3$.

Например, если в СОИБ АСУ ИКС СН реализовано 90% потенциальных средств защиты и обеспечения информационной безопасности, а в системе управления информационной безопасностью выполняется до 40% потенциально возможных задач управления (что достаточно типично), то для развернутых объектов такой АСУ ИКС СН уровень информационной безопасности составит $W_{ob\ ACY\ EITS} = 0,63 + 0,12 = 0,75$. В целом, этот уровень попадает в интервал типового уровня информационной безопасности объектов информационных систем специального назначения, значения которого получаются с применением методов экспертной оценки и составляют $W_{ob\ ACY\ EITS}^{int\ dop} = (0,7; 0,95]$.

Выводы

В практике создания и развития инфокоммуникаций для ведомств, обеспечивающих обороноспособность, безопасность и правопорядок, требуется трезво оценивать создаваемые и развертываемые автоматизированные системы управления инфокоммуникационными сетями и системами. Осуществить это можно только с позиций системного подхода с привлечением методов и подходов системного анализа.

Известно, что наиболее общим понятием, которое обозначает все возможные проявления и функционирование информационных систем органов управления и систем управления, а также различных информационных и телекоммуникационных сетей специального назначения, является «системность», которую целесообразно рассматривать в трех основных аспектах:

- системная теория, которая дает строгое научное знание о них и описывает организацию, функционирование и развитие систем данного класса;
- системный подход, основоположниками которого являются Л. Фон Берталанфи, А.А. Богданов, Г. Саймон, П. Друкер, А. Чандлер, и который является не столько методом решения задач, сколько методом постановки задач;
- системный анализ.

Известно, что системный анализ вообще – это научный метод, представляющий собой последовательность действий по установлению структурных связей между переменными или элементами исследуемой системы и опирающийся на комплекс общенаучных, экспериментальных, естественнонаучных, статистических и математических методов.

Результатом системных исследований является, как правило, выбор плана решения проблемы, параметров и способов решения и т.д. Поэтому истоки системного анализа, его методические концепции лежат в тех дисциплинах, которые занимаются проблемами принятия решений: исследование операций и общая теория управления.

Различные специалисты по системному анализу сложных систем предлагают различные методологии проведения системного анализа сложных систем.

В качестве простейшего варианта методологии системного анализа можно рассматривать такую последовательность:

- постановка задачи;
- структуризация системы;
- построение модели;
- исследование модели.

В соответствии с этим в статье проведен системный анализ АСУ ИКС СН в рамках основных ее компонентов, определяющих ее качественные показатели.

Литература

1. Федеральный закон Российской Федерации от 07.07.2003 № 126-ФЗ (ред. от 01.05.2016) «О связи». URL: docs.cntd.ru/document/901867280 (дата обращения 23.05.2016).

2. Буренин А.Н., Легков К.Е., Мясникова А.И. Некоторые подходы к системному анализу процесса управления современными мультисервисными сетями

связи // И&ЕС: Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2012. Т.4. № 1. С. 11–13.

3. Буренин А.Н., Легков К.Е. Особенности архитектур, функционирования, мониторинга и управления полевыми компонентами современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2013. Т. 5. № 3. С. 12–17.

4. Буренин А.Н., Легков К.Е. К вопросу математического описания потоков управляющей информации в процессе управления современной инфокоммуникационной сетью специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2013. Т. 5. № 5. С. 8–12.

5. Буренин А.Н., Легков К.Е. Инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: Медиа Паблишер. 2015. 348 с.

6. Лебедев А.Т., Готного С.В. Построение на сети дерева Штейнера / Под ред. Академика МАИ Н.И. Буренина // Проблемы внедрения новых сетевых технологий в системы связи ВС РФ. ВУС. 2002

7. Lee T.H., Adams G.E., Gaines W.M. Computer process control. Modeling and optimization. New York. 1972.

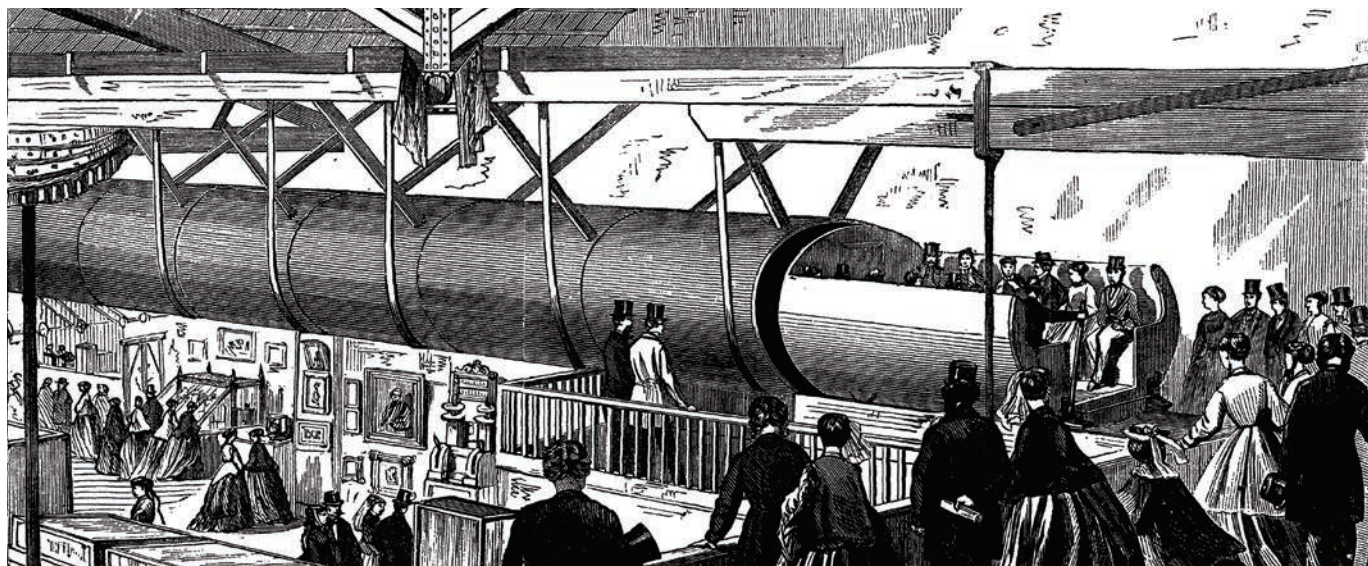
8. Большие системы. Теория, методология, моделирование. М.: Наука. 1971. 327 с.

9. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания. М.: Физматгиз. 1963. 236 с.

10. Захаров Г. П. Методы исследования сетей передачи данных. М.: Радио и связь. 1982. 208 с.

Для цитирования:

Буренин А.Н., Легков К.Е., Емельянов А.В. Элементы системного анализа автоматизированных систем управления современными инфокоммуникационными сетями специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 56–63.



ELEMENTS OF THE SYSTEM ANALYSIS AUTOMATED CONTROL SYSTEMS MODERN INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS SPECIAL PURPOSE

Burenin Andrey Nikolaevich,

St. Petersburg, Russia, konferencia_asu_vk@mail.ru

Legkov Konstantin Evgenyevich,

St. Petersburg, Russia, constl@mail.ru

Emelyanov Alexander Vladimirovich,

St. Petersburg, Russia, constl@mail.ru

Abstract

In the work in accordance with the basic features of the organization, principles and conditions of functioning of modern communication systems, special purpose materials are given systematic analysis of the automated management systems, to assess the current level of development of automated systems and special purpose in the future, to determine the direction of their development.

It is shown that the establishment and development of info-communications for ministries and agencies to ensure the defense capability, security and the rule of law, it is required to assess the actual build and deploy automated management information systems and telecommunications networks and systems. It can be done only with the system approach involving methods and systems analysis approaches.

It is known that the most general concept that defines all possible manifestations and operation of information systems controls and control systems, as well as various information and telecommunication networks for special purposes, a "system", which is appropriate to consider three main aspects.

It is shown that the system analysis in general - is the scientific method, which is a sequence of actions on the establishment of structural links between the variables or elements of the test automated special-purpose control systems.

As a base case system analysis methodology used in the methodology proposed by E. Quaid. In accordance with this work carried out systematic analysis of automated systems for special purposes in the framework of its basic component, determine its quality indicators.

Keywords: infocommunication networks; automated control system; system analysis; scientific method; information.

References

1. The Federal Law of the Russian Federation of July 7, 2003 No. 126-FZ «About communication» (Ed. of May 1, 2016). URL: docs.cntd.ru/document/901867280 (date of access 23.05.2016). (In Russian).
2. Burenin A.N., Legkov K.E., Myasnikova A.I. Some approaches to system analysis of control processes by modern multiservice communication networks. H&ES Research. 2012. Vol. 4. No.1. Pp. 11–13.
3. Burenin A.N., Legkov K.E. Features of the architectures, functioning, monitoring and control of field components of modern infocommunication networks of special purpose. H&ES Research. 2013. Vol. 5. No. 3. Pp. 12–17.
4. Burenin A.N., Legkov K.E. To the question of the mathematical description of the information control flows in modern infocommunication networks of special purpose controlling. H&ES Research. 2013. Vol. 5. No.5. Pp. 8–12.
5. Burenin A.N., Legkov K.E. Infokommunikatsionnye sistemy i seti spetsial'nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya [Infocommunication systems and networks of special purpose. Basics of creation and control]. Moscow, Media Publisher, 2015. 348 p. (In Russian).
6. Lebedev A.T., Gotnoga C.B. Burenin N.I. (Ed.) Postroenie na seti dereva Shteynera [Tree of Shteyner creation on the network]. Problemy vnedreniya novykh setevykh tekhnologiy v sistemy svyazi VS HF. Voennyi universitet svyazi. 2002. (In Russian).
7. Lee T.H., Adams G.E., Gaines W.M. Computer process control. Modeling and optimization. New York. 1972.
8. Bol'shie sistemy: teoriya, metodologiya, modelirovanie [Big systems: theory, methodology, modeling]. Moscow, Nauka. 1971. 327 p. (In Russian).
9. Hinchin A.Ya. Raboty po matematicheskoy teorii masovogo obsluzhivaniya [Works on the mathematical mass service theory]. Moscow, Fizmatlit. 1963. 236 p. (In Russian).
10. Zaharov G.P. Metody issledovaniya setey peredachi dannykh [The methods of observation of the data transmission networks]. Moscow, Radio i svyaz'. 1982. 208 p. (In Russian).

Information about authors:

Burenin A.N., Ph.D., associate professor, associate professor of the Department automated systems of control, Military Space Academy;

Legkov K.E., Ph.D., deputy head of the Department automated systems of control, Military Space Academy.

Emelyanov A.V., postgraduate student, Military Space Academy.

For citation:

Burenin A.N., Legkov K.E., Emelyanov A.V. Elements of the system analysis automated control systems modern information and communication networks special purpose. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 56–63.

ПРИНЦИПЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Грудинин

Игорь Владимирович,

д.в.н., профессор, профессор
кафедры оперативного искусства
и тактики Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
giviniv@yandex.ru

Новиков

Владимир Александрович,

д.в.н., профессор, профессор
кафедры оперативного искусства
и тактики Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
giviniv@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Принципы управления – это основные правила, определяющие построение и функционирование системы управления, а также — важнейшие требования, соблюдение которых обеспечивает эффективность управления. Принципы управления представляют собой его основные начала, вытекающие из отношений управления. Они определяют требования к системе, структуре и организации процесса управления.

Важнейшее требование к сущности и содержанию принципов состоит в обеспечении повышения эффективности управленческой деятельности. Своё предназначение принципы могут выполнить при условии их соответствия объективным закономерностям.

Авторы детально анализируют о сущности и содержании основных принципов информационного обеспечения управления сложными организационно-техническими системами. При рассмотрении каждого принципа подчеркивается их практическая роль и необходимость в информационном обеспечении управления, при этом приводятся их математические формулировки.

Проведенный авторами анализ положений «Основ доктрины военно-воздушных сил» США, который определяет трактовку принципов военного искусства, требований к боевому применению военно-воздушных сил и концептуальных принципов ведения боевых действий военно-воздушных сил США, и руководящих документов, регламентирующих применение Вооруженных Сил РФ, подтверждает всеобщность законов и закономерностей вооруженной борьбы и единый подход к формулировке принципов как их прикладного проявления.

На основе проведенных исследований закономерностей информационного обеспечения управления огнем авторами предлагается формулировка ряда новых принципов и раскрывается их смысл, содержание, сущность, математические формулировки.

Практическая реализация принципов в качестве руководящих идей алгоритмов комплексов средств автоматизации управления огнем затруднена в связи с противоречивостью требований к процессу информационного обеспечения управления огнем.

Основная роль в реализации принципов ложится на должностных лиц органов управления и осуществляется через рекомендации по действиям в конкретных ситуациях – правила информационного обеспечения управления огнем. Авторами даются подходы к разработке таких правил, их структуры, предлагаются конкретные пути решения проблемы разработки правил управления. Приводится вариант структуры правил информационного обеспечения управления огнем.

Результатом данного подхода по совершенствованию управленческих алгоритмов в структуре программного обеспечения перспективных комплексов средств автоматизации управления огнем будет являться конкретное практическое приложение в виде разработки и обоснования системы правил деятельности должностных лиц органов управления в процессе отражения ударов воздушного противника.

Ключевые слова:

информационное обеспечение;
принципы информационного обеспечения;
сложные организационно-технические
системы; управление сложными
организационно-техническими системами;
управление огнем зенитных средств
группировок войск противовоздушной
обороны.

Познание объективно существующих закономерностей вооруженного противоборства позволяет сформулировать соответствующие правила и рекомендации для практической деятельности должностных лиц органов управления. Наиболее рациональной формой практической интерпретации закономерностей являются научно обоснованные принципы. Принципы не являются продуктом абстрактного творческого мышления, они базируются на прагматическом познании существенных связей и соотношений различных аспектов исследуемой предметной области, научном обобщении результатов практической деятельности командиров и штабов в различных условиях обстановки. Этим обуславливается естественный методологический дуализм принципов, сочетающих в себе как объективные результаты научного познания сущности и содержания закономерностей, так и субъективные взгляды руководства на практику реализации основных практических функций.

По своему предназначению принципы информационного обеспечения управления зенитным огнем являются связующим звеном между фундаментом соответствующей теории, образуемым закономерностями предметной области управления огнем и практикой реализации информационно-управленческих функций. Образно говоря, их основная функция заключается в трансформации объективных закономерностей на язык практической деятельности.

Таким образом «...принципы — не исходный пункт исследования, а его заключительный результат; эти принципы не применяются к природе и к человеческой истории, а абстрагируются из них; не природа и человечество соотнобразуются с принципами, а, наоборот, принципы верны лишь постольку, поскольку они соответствуют природе и истории» [1].

Основное прагматическое требование к сущности и содержанию принципов состоит в обеспечении повышения эффективности практической деятельности. Свое предназначение принципы могут выполнить лишь в том случае, если они соответствует объективным закономерностям. В этом заключается признак их научности. Правильно познанные и корректно сформулированные принципы становятся комплексом руководящих правил практической деятельности.

Вместе с тем, даже самые авторитетные и многократно подтвержденные практикой принципы не являются заменой здравому смыслу. Сложность такого общественно-политического явления, как война в целом и в ее частных проявлениях, не позволяет командирам всех степеней использовать принципы в качестве догматического свода правил, гарантированно обеспечивающего достижение победы в конкретных условиях обстановки. Они служат в роли общих руководящих направлений, позволяющих оценить возможный ход развития событий.

Существенным моментом в процессе формулирования принципов является обязательная логическая

увязка комплекса частных принципов, отражающих действие той или иной закономерности исходя из требования строгого и неукоснительного их соответствия всей совокупности объективных закономерностей. Относительная самостоятельность принципов на этапе их выявления и формулирования должна органически перетекать в их тесную взаимосвязь на этапе практического применения. Ни один из принципов не должен рассматриваться в отрыве от других. Эти принципы не являются всеобъемлющими, но они обеспечивают основу для принятия соответствующих решений.

Развитие теории и практики любой предметной области в значительной мере определяется способностью специалистов выявлять и формулировать общие принципы, вычленять из них перспективные частные принципы, обеспечивающее рациональное решение конкретных задач, а затем интегрировать их в основополагающие подходы к совершенствованию практической деятельности.

Применительно к исследуемой предметной области информационного обеспечения управления зенитным огнем под принципами принято понимать основные научно обоснованные и официально утвержденные положения, которыми руководствуются должностные лица органов управления при выработке и принятии управленческих решений в процессе осуществления информационно-управленческой деятельности.

Математические формулировки принципов определяют вид критериев оптимальности управленческих решений, придают строгость требований к их содержанию и дают направления разработки средств автоматизации выработки решений и правил информационного обеспечения управления огнем.

С учетом значительной, а, зачастую и определяющей, обусловленности действий группировки войск противовоздушной обороны (ПВО) действиями воздушного противника, представляется целесообразным провести анализ сущности и содержания принципов боевого применения средств воздушно-космического нападения противника.

Анализ положений «Основной воздушно-космической доктрины Военно-воздушных сил США» 1992 г., свидетельствует о том, что классификация выполняемых ВВС задач отражает цели действий, а не применяемые средства [2], а также растущую роль информационного аспекта в процессе боевого применения ВВС. Рассматривая информационное превосходство в качестве обязательного и синергетического элемента воздушно-космической мощи, ведущие военные специалисты США определяют в качестве основной задачи «завоевание и сохранение информационного превосходства для достижения большей оперативности и эффективности управления подчиненными силами, чем у противника».

Стремление вероятного противника к достижению информационного превосходства проявляется не только в обладании большим объемом информации, но и в рациональном преобразовании ее в точные и достовер-

ные сведения, удобные для дальнейшего использования должностными лицами органов управления. Основной функциональной целью реализации мероприятий по достижению информационного превосходства является обретение способности оперативно реагировать на складывающуюся ситуацию и принимать точные решения с большей скоростью, чем противник. Доминирование над информационными потоками призвано не только улучшить оперативность и качество процесса выработки и принятия решений в своей системе управления, но также и существенно снизить эффективность соответствующих действий противника при работе с информацией во временном и качественном аспектах. В конечном счете, информационное превосходство приводит к неадекватному реагированию противника на складывающуюся обстановку, принятию нерациональных (неправильных) решений и, соответственно, к ошибочным действиям в процессе вооруженного противоборства.

Таким образом, вероятный противник рассматривает вопросы информационного обеспечения боевого применения ВВС в неразрывной и органической связи с вопросами противоборства в информационной сфере.

Руководящие документы, регламентирующие боевое применение ВС РФ, также уделяют большое внимание формулировке и обоснованию принципов военного искусства и боевого применения формирований войск ПВО.

Анализ их содержания [3] показывает, что в целом они соответствуют взглядам противника на боевое применение своих сил и средств. Это в очередной раз свидетельствует о всеобщности законов и закономерностей вооруженной борьбы и едином подходе к осознанию и формулировке принципов как их прикладного проявления.

Учитывая жесткую взаимную корреляцию структурных элементов понятия «информационное обеспечение управления огнем» формулирование специфических принципов информационного обеспечения целесообразно осуществлять на основе развития соответствующих принципов управления огнем зенитных средств.

В качестве основных принципов информационного обеспечения управления огнем необходимо выделить:

- принцип приоритетного решения задач информационного обеспечения управления огнем при поражении важнейших воздушных целей (принцип адаптации качества информационного обеспечения управления огнем оперативно-тактической важности поражаемых (обстреливаемых) воздушных целей);

- принцип максимального количества обрабатываемых воздушных целей с учетом их важности;

- принцип соответствия задач разведывательно-информационным возможностям элементов системы информационного обеспечения и огневым возможностям управляемых огневых средств;

- принцип максимального использования созданной системы информационного обеспечения управления огнем;

- принцип оптимального использования разведывательно-информационных и огневых возможностей группировки войск ПВО;

- принцип максимального обеспечения живучести разведывательно-информационных и огневых средств группировки войск ПВО;

- принцип максимального информационного обеспечения безопасности действий своей авиации.

Проанализируем содержание этих принципов.

Принцип приоритетного решения задач информационного обеспечения управления огнем при поражении важнейших воздушных целей требует первоочередного предоставления должностным лицам органов управления той информации, которая используется при уничтожении воздушных целей, имеющих наибольшую важность. Как правило, в теории управления огнем таковыми считаются цели:

- назначенные для уничтожения старшим начальником;

- способные нанести наибольшие потери войскам (объектам), выполняющим в операции (бою) главную задачу;

- оказывающие максимальное противодействие стрельбе или управлению огнем.

Практическая необходимость рассматриваемого принципа обусловлена априорной неоднородностью по важности удара средств воздушного нападения (СВН) противника, группировки ПВО и прикрываемых войск (объектов). Такая неоднородность по важности элементов противоборствующих систем характеризуется проявлением следующих факторов:

- отсутствие возможности решения задач информационного обеспечения с требуемым качеством по всему массиву налетающих воздушных целей при нанесении воздушным противником ударов, превосходящих разведывательно-информационные возможности системы информационного обеспечения управления огнем;

- специфика решаемых боевых задач и соответствующей им комплектации систем бортового вооружения СВН противника в ударе;

- различная и динамично меняющаяся в ходе операции (боя) оперативно-тактическая важность элементов оперативного построения (боевого порядка) прикрываемых войск (объектов).

Выполнение этого требования возможно только при наличии информации о важности налетающих воздушных целей относительно элементов оперативного построения (боевого порядка) прикрываемых войск (объектов), а также достоверных данных о возможностях управляемых разведывательно-информационных и огневых элементов системы ПВО. Следовательно, важнейшей функцией информационного обеспечения управления огнем на этапе отражения ударов воздушного противника является построение и постоянное уточнение приоритетного ряда целей по степени их важности, а также адаптации качества информационного обеспечения управления огнем важности воздушной цели.

При реализации этого принципа принято, что цели, назначенные старшим начальником, считаются наиболее важными и должны обнаруживаться и обрабатываться в первую очередь, независимо от условий соблюдения требований других принципов. Главенствующая роль рассматриваемого принципа обусловлена необходимостью обеспечить реализацию основного принципа управления огнем — принципа первоочередного поражения важнейших воздушных целей. Кроме того, этот принцип является частным проявлением одного из основополагающих принципов военного искусства – сосредоточения усилий в решающий момент на главных направлениях и для выполнения важнейших задач.

По своей сущности принцип требует максимизации величины предотвращенного действиями группировки ПВО ущерба (U), поэтому может быть математически формализован в следующем виде

$$U(\Phi, Z, Y(I)) \xrightarrow{Y(I)} \max,$$

где Φ – вектор условий отражения удара воздушно-го противника;

Z – вектор, характеризующих задачу группировки войск ПВО по отражению удара воздушного противника;

I – вектор, характеризующий информацию об условиях отражения удара воздушного противника, используемую в процессе управления огнем;

Y – вектор управления огнем зенитных средств группировки войск ПВО.

Принцип максимального количества обрабатываемых воздушных целей ($M_{сви}$) с учетом их важности направлен на обеспечение возможности нанесения воздушному противнику максимального ущерба и уменьшения возможного ущерба прикрываемым войскам и объектам в последующих ударах. Необходимость практического учета данного принципа определяется низкими возможностями системы информационного обеспечения управления огнем по оценке важности целей. Теоретически доказано, что в тех случаях когда точность оценки важности воздушных целей и прогнозирования результатов их действий по нескольким объектам низкая, а ожидаемый эффект примерно одинаков, ресурсы по объектам следует распределять равномерно. Исходя из этого, функционирование системы информационного обеспечения должно быть направлено на формирование на соответствующих пунктах управления возможно более полной информационной модели воздушной обстановки. Применительно к информационному обеспечению управления огнем группировок войск ПВО это означает, что не следует оставлять цели без обработки, сопровождения и выработки по ним решений на ведение огня вследствие необоснованного стремления сосредоточить усилия на уничтожении других целей.

Учитывая существенное значение фактора психологического воздействия на летчика самого факта осуществления стрельбы по нему зенитного средства,

а также неуклонно растущее стремление военно-политического руководства развитых в военном отношении стран максимально снизить потери пилотируемой авиации от огня средств ПВО стрелковым элементом функционирования системы информационного обеспечения управления огнем является предоставление должностным лицам органов управления возможности распределить огонь управляемых зенитных средств по максимальному количеству СВН противника. Опыт Великой Отечественной войны [3] показал, что при потерях уровня 10–30 % противник отказывался от выполнения поставленных задач. В оперативном масштабе потери выше 5 % от общего количества боевых самолето-вылетов, по взглядам военного руководства США [4], являются критическими и требуют пересмотра форм и способов применения авиации.

Таким образом, рассматриваемый принцип обосновывает необходимость равномерного распределения усилий системы информационного обеспечения управления огнем в условиях отсутствия достоверной информации о важности целей в ударе. В этом смысле он противоречит первому принципу.

Математическая формулировка принципа может выглядеть следующим образом

$$M_{сви}^{сво}(\Phi, Z, Y(I)) \xrightarrow{Y(I)} \max.$$

Принцип соответствия задач разведывательно-информационным возможностям элементов системы информационного обеспечения и огневым возможностям управляемых огневых средств требует постановки подчиненным реальных задач по информационному обеспечению управления огнем. Задача, которая ставится разведывательно-информационным элементам системы информационного обеспечения, должна соответствовать их боевым возможностям, т. е. быть выполнимой, хотя и с полным напряжением сил и при условии выработки и принятия рациональных (оптимальных) решений. Под разведывательно-информационными возможностями будем понимать совокупность характеристик группировки войск ПВО, определяющих ее возможности по формированию на пунктах управления информационной модели воздушной обстановки, обеспечивающей должностным лицам органов управления возможность выработки и принятия рациональных решений при отражении ударов воздушного противника.

Существенное значение имеет также взаимное соответствие между пространственно-временными показателями системы информационного обеспечения и системы огня группировки войск ПВО.

Математическая формулировка принципа может быть определена следующим образом

$$\mathcal{E}_{гр.тр}(\Phi, Z) \leq \mathcal{E}_{гр}(\Phi, Z, Y(I))$$

Принцип максимального использования созданной системы информационного обеспечения управле-

ния огнем рекомендует в процессе выработки и принятия решений по управлению функционированием разведывательно-информационных элементов рассматривать наличие в перечне отобранных на этапе организации системы информационного обеспечения вариантов действий, которые полностью или частично соответствуют условиям сложившейся обстановки. Если такие варианты есть, то их необходимо использовать при выработке управленческих решений на этапе отражения удара СВН противника без изменений или с требуемой коррекцией. Актуальность реализации этого принципа заключается в том, что заранее подготовленные и детально отработанные варианты действий повышают эффективность отражения удара и значительно упрощают работу всех пунктов управления при реализации функций информационного обеспечения управления огнем группировки войск ПВО.

Очевидно проявляемая сущность принципа, обусловленная объективно существующими закономерностями информационного обеспечения управления огнем, тем не менее, требует уточнения его формулировки. Такое уточнение вызвано следующими соображениями. Применение понятия «максимальное использование» к системе информационного обеспечения представляется не в полной мере корректным, вследствие того, что используется не система (как статичная совокупность определенных элементов), а заранее подготовленные варианты действий. С учетом данного соображения, указанный принцип можно сформулировать как принцип заблаговременной организации действий разведывательно-информационных элементов системы информационного обеспечения управления огнем группировки войск ПВО.

Математическую формулировку принципа целесообразно определить в виде следующей формульной зависимости

$$\mathcal{E}_{op}(\Phi, Z, Y', S_{cno}) \xrightarrow{S_{cno}} \max,$$

где Y' – вектор управления, не включающий в себя параметры системы информационного обеспечения управления огнем;

S_{cno} – вектор параметров системы информационного обеспечения управления огнем.

Принцип оптимального использования разведывательно-информационных и огневых возможностей группировки войск ПВО говорит о том, что при отражении удара СВН группировка войск ПВО должна быть в состоянии полностью использовать свои боевые возможности, но расходовать их по мере необходимости. Соединения, части и подразделения должны выполнять боевые задачи минимально необходимым количеством сил и средств при расходе ресурса, обеспечивающем требуемую эффективность выполнения поставленной боевой задачи, непрерывно поддерживая боеспособность и сохраняя резерв боевых возможностей для выполнения внезапно возникающих задач.

Данный принцип возник в результате исследований как итог объединения принципов полного использования боевых возможностей и экономии сил и средств. Эволюция теории информационного обеспечения управления огнем показывает необоснованность такого слияния. Во-первых, сущность принципа соответствует принципу экономии. Во-вторых, требование полного использования разведывательно-информационных и огневых возможностей может выражаться в максимизации величины предотвращенного ущерба или числа уничтоженных целей, что эквивалентно первым двум принципам.

В связи с этим представляется целесообразным возвращение к формулировке рассматриваемого принципа как принципа экономии сил и средств. Его математическая формулировка может быть определена как

$$\begin{aligned} N_{oe}(\Phi, Z, Y(I)) &\xrightarrow{Y(I)} \min; \\ N_{cp}(\Phi, Z, Y(I)) &\xrightarrow{Y(I)} \min; \\ N_{zpp}(\Phi, Z, Y(I)) &\xrightarrow{Y(I)} \min; \\ \mathcal{E}_{cp}(\Phi, Z, Y(I), N_{oe}, N_{cp}, N_{zpp}) &\geq \mathcal{E}_{cp,mp}. \end{aligned}$$

Сущность принципа заключается в минимизации привлекаемых средств разведки и огневых единиц (N_{cp} , N_{oe}) для отражения удара воздушного противника и минимизации расхода ракет и боеприпасов (N_{zpp}) при условии обеспечения требуемого уровня эффективности группировки.

Принцип максимального обеспечения живучести разведывательно-информационных и огневых средств группировки войск ПВО требует использования таких способов информационного обеспечения управления огнем при отражении ударов СВН противника, которые позволяют минимизировать потери средств ПВО ($M_{ноо}$). В некотором смысле он перекликается с принципом экономии сил и средств, поскольку основным направлением его реализации является минимально возможное привлечение средств для выполнения поставленных задач. Однако есть и другие направления обеспечения живучести в рамках реализации функций информационного обеспечения управления огнем (рациональное использование маневренных возможностей средств при отражении удара, меры по обману противника, рациональное распределение функций информационного обеспечения управления огнем между различными ПУ и другие).

Математическая формулировка принципа определяется как

$$M_{ноо}(\Phi, Z, Y(I)) \xrightarrow{Y(I)} \min.$$

Принцип максимального информационного обеспечения безопасности действий своей авиации является одним из основополагающих при управлении огнем группировок войск ПВО. Он требует:

выработки таких решений, в ходе реализации которых исключается или максимально уменьшается вероятность обстрела своих летательных аппаратов;

полного и своевременного информирования подчиненных о действиях своей авиации;

установления ограничений на самостоятельные действия управляемых огневых средств при наличии своей авиации в их зонах ответственности.

Математическая формулировка принципа определяется следующим образом

$$P_{св.ав}(\Phi, Z, Y(I)) \xrightarrow{Y(I)} \max ,$$

где $P_{св.ав}$ – вероятность непоражения своих летательных аппаратов огнем средств ПВО.

Анализ закономерностей информационного обеспечения управления огнем показывает, что существующие принципы в большей степени отражают основные требования к процессу управления и в меньшей – технологию реализацию функций информационного обеспечения. В связи с этим предлагается сформулировать ряд новых принципов.

Результаты исследования закономерностей распределения функций в системе информационного обеспечения управления огнем позволяют сформулировать принцип оптимальной централизации информационного обеспечения управления огнем. Его сущность можно выразить следующим образом: «Распределение функций в системе информационного обеспечения управления огнем должно обеспечивать рациональное сочетание централизованного управления с автономными действиями подчиненных, а выбранный уровень централизации информационного обеспечения управления не должен сдерживать разумную инициативу подчиненных».

Математическая формулировка принципа будет выглядеть следующим образом

$$\mathcal{E}_{оп}(\Phi, Z, Y'', F_{сво}) \longrightarrow \max ,$$

где Y'' – вектор управления, не включающий в себя распределение функций управления между ПУ;

$F_{сво}$ – вектор распределения функций управления.

Выявленная зависимость эффективности управления от объема и качества используемой информации позволяет сформулировать принцип оптимального информационного обеспечения процесса выработки и принятия решений.

Сущность данного принципа заключается в том, что для эффективного решения задач управления на каждом пункте управления должен быть необходимый объем информации требуемого качества. Этот принцип требует, чтобы при организации управления (в ходе выработки решений на отражение удара воздушного противника) была создана такая структура информационной подсистемы, которая позволила бы обеспечить сбор и обработку необходимой информации с требуемыми показателями качества. В ходе отра-

жения ударов воздушного противника процесс сбора и обработки информации должен регулироваться таким образом, чтобы обеспечить выполнение возложенных на соответствующий пункт управления функций управления.

Данный принцип имеет и другой аспект, который связан с информационной поддержкой действий подчиненных. Смысл его заключается в том, что каждый пункт управления должен стремиться к максимальному обеспечению информацией своих подчиненных, причем эта информация должна обладать свойством адаптивности к постоянно меняющемуся объему и степени детализации задач, решаемых управляемыми огневыми средствами.

Математическая формулировка принципа оптимальной информационной поддержки может быть представлена следующим образом

$$K_{ю}(\Phi, Z, I) \xrightarrow{I} \max .$$

Анализ содержания принципов показывает многообразие процесса информационного обеспечения управления огнем зенитных средств, противоречивость требований к нему, что определяет сложность его формализации. В связи с этим практическая реализация принципов в виде руководящих идей управляющих алгоритмов комплексов средств автоматизации управления огнем существенно затруднена и требует значительного их упрощения. Зачастую это приводит к невозможности комплексной реализации принципиальных положений в связи с отсутствием четко определенного приоритетного ряда принципов и формируемых на их основе правил информационного обеспечения управления огнем. Закономерным результатом этого является сложившееся положение, которое характеризуется использованием в существующих технических средствах управления лишь ограниченного числа принципов. Основная роль в их реализации ложится на должностных лиц органов управления и осуществляется через обоснованные рекомендации по действиям в конкретных ситуациях, а именно, через правила информационного обеспечения управления огнем.

Следует отметить, что задача разработки таких правил является очень актуальной, поскольку существующие правила охватывают лишь информационное обеспечение функции целераспределения. Анализ содержания и принципов информационного обеспечения управления огнем зенитных средств группировок войск ПВО позволяет определить рациональную структуру таких правил. Правила информационного обеспечения должны соответствовать реализуемым управленческим функциям, конкретным организационно-штатным структурам и конкретным вариантам технического оснащения пунктов управления и огневых средств. Они должны быть научно обоснованы и представлены в руководствах по боевой работе на соответствующих пунктах управления.

В качестве ориентировочного варианта может быть рассмотрен следующий вариант структуры правил информационного обеспечения управления огнем зенитных средств группировок войск ПВО:

правила определения числа средств информационного обеспечения, привлекаемых к информационному обеспечению управления огнем (способов перевода средств в готовность к боевой работе);

правила вывода средств информационного обеспечения в резерв и ввода их в бой;

правила оценки воздушной обстановки;

правила выбора целей для приоритетного информационного обеспечения стрельбы управляемых зенитных средств;

правила распределения целей между элементами системы информационного обеспечения;

правила распределения усилий между элементами системы информационного обеспечения;

правила распределения управленческих функций в системе информационного обеспечения;

правила регулирования расхода ресурса между элементами системы информационного обеспечения;

правила обеспечения живучести элементов системы информационного обеспечения;

правила информационного обеспечения безопасности действий своей авиации в зонах боевых действий управляемых зенитных средств.

Проблема разработки правил управления может быть решена на основе двух основных задач — классификации тактических ситуаций и оптимизации решений в конкрет-

ной обстановке, определяемой ситуацией. Разработка и обоснование содержания и структуры методики синтеза правил информационного обеспечения управления огнем представляется весьма актуальной научной задачей и требует приложения исследовательских усилий.

Таким образом, развитие принципов информационного обеспечения управления огнем зенитных средств группировок войск ПВО направлено не только на совершенствование общих положений теории управления. Оно имеет вполне конкретное прагматическое приложение в виде разработки и обоснования системы правил деятельности должностных лиц органов управления в процессе отражения ударов воздушного противника, а также подходов к комплексной формализации принципиальных положений, открывающих возможность дальнейшего совершенствования управленческих алгоритмов в структуре программного обеспечения перспективных комплексов средств автоматизации управления огнем.

Литература

1. Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения. Изд. 2-е. Том 20. М.: Политиздат, 1961. 567 с.

2. Заяц В.А. Эволюция концепций строительства и боевого применения ВВС США // Зарубежное военное обозрение. 2002. № 1. С. 22–30.

3. Светлишин Н.А. Войска ПВО страны в Великой Отечественной войне. М.: Наука, 1979. 296 с.

4. Бабич В.К. Авиация в локальных войнах. М.: Воениздат, 1988. 207 с.

Для цитирования:

Грудинин И.В., Новиков В.А. Принципы информационного обеспечения управления сложными организационно-техническими системами специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 64–71.

PRINCIPLES OF INFORMATION SUPPORT CONTROL COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEM OF THE SPECIAL PURPOSE MANAGEMENT

Grudin I. V.,

St. Petersburg, Russia, giviniv@yandex.ru

Novikov V. A.,

St. Petersburg, Russia, giviniv@yandex.ru

Abstract

Principles of management - these are the basic rules governing the construction and operation of control systems, as well – the most important requirements that ensure effective management. Management principles are its basic principles, arising from the relationship management. They define requirements for the system, structure and organization of the management process.

The most important requirement for the spirit and the content of the principles is to ensure the increase of efficiency of administrative activity. Its principles can fulfill the purpose provided that they meet the objective laws.

The author analyzes the nature and content of the basic principles of information security management of complex organizational and technical systems. In considering each principle emphasizes their practical role and the need for information security management, thus are their mathematical formulations. The authors' analysis of the provisions, "based on the doctrine of the Air Force," the United States, which defines the interpretation of the principles of the art of war, demands for combat Air Force and conceptual principles of warfare US Air Force, and guidelines governing the use of the Armed Forces, confirms the universality of the laws and the laws of armed struggle and a common approach to the formulation of the principles of their application displays.

Based on studies of information laws provide fire control authors suggest the wording of a number of new principles and reveals their meaning, content, essence, mathematical formulations. Practical implementation of principles as a guiding ideology

algorithms complexes of automation fire control is difficult due to the contradictory requirements of the process of information management software fire.

The main role in the implementation of the principles rests with the officials of the administration and through recommendations for action in specific situations - the rules of information support fire control.

The authors are approaches to developing such rules, their structure, proposes concrete solutions to the problems of developing management rules. A possible structure of the rules of information support fire control.

The result of this approach for improving management algorithms in the software structure of perspective complexes of automation fire control will be a specific practical application in the form of the development and validation of a system of rules of activities of officials of control in the process of reflection of air strikes.

Keywords: information support; principles of information support; difficult organizational and technical systems; management of difficult organizational and technical systems; fire control of anti-aircraft means of groups of troops of anti-aircraft defense.

References

1. Marks K., Engels F. Sochineniia [Compositions]. Ed. 2nd. Vol. 20. Moscow, Politizdat, 1961. 567 p. (In Russian).
2. Zayc V.A. Evoliutcii kontseptcii stroitelstva i boevogo primeneniia BBC USA // Zarubezhnoe voennoe obozrenie. 2002. No. 1. Pp. 22–30. (In Russian).
3. Svetlishin, N.A. Voiska PVO strany v Velikoi Otechestvennoi voine [Armies of air defense of the country in the Great Patriotic War]. Moscow, Nauka, 1979. 296 p. (In Russian).
4. Babich V.K. Aviatciia v lokalnykh voynakh [Aircraft in local wars]. Moscow, Voenizdat, 1988. 207 p. (In Russian).

Information about authors:

Grudin I.V., Ph.D., professor, professor of chair, Military Space Academy;
Novikov V.A., Ph.D., professor, professor of chair, Military Space Academy.

For citation:

Grudin I.V., Novikov V.A. Principles of information support control complex organizational and technical system of the special purpose management. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 64–71.

ДЕСКРИПТИВНАЯ МОДЕЛЬ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Анисимов

Олег Витальевич,

к.т.н., доцент, доцент кафедры автоматики и вычислительных средств Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, qwaker@inbox.ru

Курчидис

Виктор Александрович,

д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматики и вычислительных средств Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, idahmer2@yandex.ru

Приветень

Александр Сергеевич,

начальник станции узла автоматизированного управления Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, priveten@yandex.ru

Ключевые слова:

восстановление радиоэлектронной аппаратуры; информационная поддержка; техническое диагностирование; дескриптивная модель; онтологии.

АННОТАЦИЯ

Обеспечение работоспособности сложных технических комплексов связано с выполнением работ по диагностированию радиоэлектронной аппаратуры в процессе восстановления. При выполнении операций по диагностированию радиоэлектронной аппаратуры важную роль играют средства информационной поддержки обслуживающего персонала. При этом одним из основных информационных ресурсов обслуживающего персонала является комплект эксплуатационных документов, содержащих необходимую техническую информацию. Это обстоятельство определяет потери времени при диагностировании радиоэлектронной аппаратуры, которые вносят операции, связанные с извлечением и предоставлением обслуживающему персоналу требуемой технической информации. Необходимость использования разнородной технической информации при диагностировании радиоэлектронной аппаратуры определяет разнообразие способов и приемов извлечения диагностической информации обслуживающим персоналом из комплекта эксплуатационных документов, которые должны реализовываться в системах информационной поддержки.

Способы и средства извлечения диагностической информации, реализованные в существующих системах информационной поддержки, основаны на использовании формальных моделей в терминах графов, матриц, диаграмм, таблиц. Эти модели не позволяют представить в формальном виде значительный объем диагностической информации описательного характера, содержащейся в эксплуатационных документах, что существенно ограничивает возможности существующих средств автоматизации информационной поддержки. Следствием этого является необходимость формирования обслуживающим персоналом в процессе диагностирования радиоэлектронной аппаратуры большого количества уточняющих запросов для извлечения требуемой технической информации из баз данных, что связано со значительными потерями времени. В работе предлагается для формирования более полного информационного образа радиоэлектронной аппаратуры с точки зрения информационной поддержки обслуживающего персонала использовать еще один вид формальной модели – дескриптивную модель. Такая модель предназначена для описания в терминах и понятиях предметной области множества фактов и свойств радиоэлектронной аппаратуры на основе эксплуатационных документов, которые могут применяться обслуживающим персоналом в процессе диагностирования. В качестве формальной основы построения дескриптивной модели предлагается использовать математический аппарат онтологий. Формирование дескриптивной модели осуществляется посредством объединения всех прикладных онтологий, используемых для описания компонент радиоэлектронной аппаратуры в составе сложного технического комплекса, с единой онтологией предметной области технической эксплуатации. Использование дескриптивной модели радиоэлектронной аппаратуры в архитектуре систем информационной поддержки предоставляет возможность обслуживающему персоналу при формировании запросов на получение необходимой диагностической информации использовать термины естественного языка. Это способствует повышению информативности запросов обслуживающего персонала, следствием чего является сокращение времени извлечения информации, необходимой в процессе диагностирования, за счет уменьшения общего количества формируемых запросов.

Радиоэлектронная аппаратура является основой сложных технических комплексов (СТК), используемых в разных сферах деятельности. Обеспечение высокого уровня готовности таких комплексов к применению связано с выполнением работ по диагностированию радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в процессе восстановления СТК. Важную роль при выполнении операций по диагностированию РЭА играет обслуживающий персонал (ОП). При этом одним из основных информационных ресурсов ОП является комплект эксплуатационных документов, содержащих разнородную техническую информацию. Это обстоятельство определяет потери времени при диагностировании РЭА, которые вносят операции, связанные с извлечением и предоставлением обслуживающему персоналу требуемой технической информации. Эти операции вносят потери времени, которые при восстановлении РЭА современных сложных технических комплексах составляют до 15 % от общего времени восстановления.

Таким образом, с практической точки зрения имеется противоречие между необходимостью сокращения времени восстановления и существенными временными затратами на поиск и извлечением диагностической информации, необходимой обслуживающему персоналу в процессе восстановления РЭА СТК. Выявленное практическое противоречие обуславливает прикладное значение работы: сокращение времени диагностирования СТК за счет уменьшения времени извлечения информации, необходимой обслуживающему персоналу при восстановлении РЭА.

Необходимость использования разнородной технической информации при диагностировании РЭА определяет разнообразие способов и приемов извлечения диагностической информации обслуживающим персоналом из комплекта эксплуатационных документов, которые должны реализовываться в системах информационной поддержки (СИП). Способы и средства извлечения диагностической информации, реализованные в существующих СИП, основаны на использовании формальных моделей РЭА [3], информационное представление которых осуществляется на основе технологий баз данных в терминах этих моделей (графы, матрицы, диаграммы, таблицы). При этом значительный объем информации, содержащейся в эксплуатационных документах, оказывается не представленным в этих моделях, что является существенным ограничением возможностей существующих средств автоматизации информационной поддержки ОП. Следствием этого является необходимость формирования обслуживающим персоналом в процессе диагностирования РЭА большого количества уточняющих запросов для извлечения требуемой технической информации из баз данных, что связано со значительными потерями времени.

Развитие методов и средств информационной поддержки ОП в процессе диагностирования РЭА требует рассматривать эксплуатационные документы, как самостоятельные объекты моделирования в понятиях

и терминах предметной области, на основе которых может осуществляться соответствующее представление РЭА. Это позволяет повысить информативность запросов ОП при извлечении диагностической информации, и, соответственно, сократить общее число запросов при извлечении необходимой информации. В существующих работах такие вопросы малоисследованы, а представленные в них подходы базируются, в основном, на использовании традиционных запросных методов извлечения информации из баз данных.

Это позволяет сформулировать противоречие в науке: необходимость совершенствования методов информационной поддержки обслуживающего персонала в процессе диагностирования РЭА и отсутствие формальных подходов, обеспечивающих представление разнообразных свойств (структурных, функциональных, конструктивных и т.п.) РЭА в понятиях и терминах предметной области.

В связи с этим следует отметить работы [4; 7], в которых предложенные методы информационной поддержки базируются на использовании объектно-графических моделей электрических схем и моделей размеченных текстовых документов, представляемых в терминах предметной области. Подходы, предложенные в этих работах, обеспечивает возможность обслуживающему персоналу при выполнении операций по диагностированию использовать высокоуровневые запросы с применением предметных понятий и терминов. Однако используемые при этом формальные модели РЭА не позволяют учесть некоторые виды диагностической информации описательного характера, содержащейся в эксплуатационных документах.

Данная работа в целом примыкает к упомянутым работам [3; 4; 7]. В ней предлагается для формирования более полного информационного образа РЭА с точки зрения информационной поддержки ОП использовать еще один вид формальной модели РЭА – дескриптивную модель. Такая модель предназначается для описания в терминах и понятиях предметной области множества фактов и свойств РЭА на основе эксплуатационных документов, которые могут применяться обслуживающим персоналом в процессе диагностирования РЭА. Создание и использование дескриптивной модели РЭА способствует совершенствованию существующих средств информационной поддержки ОП и повышению эффективности их использования за счет сокращения времени извлечения информации, необходимой в процессе диагностирования.

В качестве формальной основы построения дескриптивной модели РЭА предлагается использовать математический аппарат онтологий, что позволяет отнести такую модель к классу концептуальных моделей. В настоящее время для формализованного представления и отражения терминологических особенностей предметной области онтологии используются довольно широко [1; 2]. Для целого ряда предметных областей разработаны соответствующие алгоритмы

формирования онтологий [5; 6; 9]. Для области диагностики и восстановления РЭА такие исследования отсутствуют [3]. В то же время нормативная база данной предметной области хорошо проработана, что позволяет за счет использования онтологического подхода повысить уровень абстракции используемых в СИП моделей. Данная статья расширяет область применения онтологий и определяет подходы к построению дескриптивных моделей РЭА на основе концептуальных моделей предметной области.

В работе под онтологией понимается система, состоящая из множества понятий, их определений и аксиом, необходимых для ограничения интерпретаций при использовании понятий предметной области [2, 3]. Формально всякую онтологию O можно представить упорядоченной записью вида [2]:

$$O = \langle C, R, A \rangle, \quad (1)$$

где C – конечное множество концептов (понятий, терминов) предметной области, которую представляет онтология O , R – конечное множество отношений (связей) между концептами заданной предметной области, A – конечное множество аксиом (функций интерпретации), заданных на концептах и/или отношениях онтологии O .

В представленном виде выражение (1) может использоваться для определения онтологии предметной области (метаонтологии) технической эксплуатации РЭА:

$$O_{ТЭ} = \langle C_{ТЭ}, R_{ТЭ}, A_{ТЭ} \rangle. \quad (2)$$

В выражении (2) компоненты $C_{ТЭ}$, $R_{ТЭ}$, $A_{ТЭ}$ означают соответственно множество понятий, отношений и аксиом, определенных в соответствии с эксплуатационной документацией, в терминах которых работает ОП при выполнении операций процесса диагностирования РЭА:

$$\begin{aligned} C_{ТЭ} &= \{C_{ТЭ1}, C_{ТЭ2}, \dots, C_{ТЭn_1}\}, \\ R_{ТЭ} &= \{R_{ТЭ1}, R_{ТЭ2}, \dots, R_{ТЭn_2}\}, \\ A_{ТЭ} &= \{A_{ТЭ1}, A_{ТЭ2}, \dots, A_{ТЭn_3}\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для определения дескриптивной модели РЭА $DM_{РЭА}$ необходимо онтологию предметной области $O_{ТЭ}$ дополнить прикладными (частными) онтологиями. Прикладные онтологии определяются с использованием понятий и отношений, связанных с описанием компонентов конкретной РЭА (ячейки, блока, шкафа, выполняемых функций и т.п.) в терминах предметной области, так, что описание одного изделия осуществляется на основе нескольких прикладных онтологий. Формально прикладную онтологию всякой i -ой компоненты РЭА ($i = \overline{1, N}$) можно представить следующей записью:

$$\Theta_{Ki} = \langle E_{Ki}, W_{Ki}, V_{Ki} \rangle. \quad (4)$$

где E_{Ki} – конечное множество экземпляров (индивидов) в составе i -ой компоненты РЭА, W_{Ki} – конечное

множество отношений в i -ой компоненте РЭА, V_{Ki} – конечное множество аксиоматических утверждений (аксиом) об экземплярах i -ой компоненты РЭА.

Совокупность прикладных онтологий $\hat{\Theta}_K = \{\Theta_{K1}, \Theta_{K2}, \dots, \Theta_{KN}\}$ позволяет сформировать представление о конкретном изделии радиоэлектронной аппаратуры, которые необходимо согласовать с используемыми терминами предметной области эксплуатации. Такое согласование целесообразно выполнить в рамках общей дескриптивной модели РЭА.

Для формирования дескриптивной модели РЭА $DM_{РЭА}$ необходимо выполнить объединение всех прикладных онтологий множества $\hat{\Theta}_K$, используемых для описания компонент конкретной РЭА, с единой онтологией предметной области (метаонтологией) $O_{ТЭ}$. Формирование единой системы понятий и терминов предметной области осуществляется путем согласования онтологий $\Theta_{Ki} \in \hat{\Theta}_K$ с онтологией $O_{ТЭ}$ с помощью множества отношений, устанавливающих гомоморфизмы $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ следующего вида:

$$\begin{aligned} \Gamma_1 : C_{ТЭj} &\rightarrow E_K(C_{ТЭj}) \subseteq \bigcup_{i=1}^{i=N} E_{K_i}, j = \overline{1, n_1}; \\ \Gamma_2 : R_{ТЭj} &\rightarrow W_K(C_{ТЭj}) \subseteq \bigcup_{i=1}^{i=N} W_{K_i}, j = \overline{1, n_2}; \\ \Gamma_3 : A_{ТЭj} &\rightarrow V_K(C_{ТЭj}) \subseteq \bigcup_{i=1}^{i=N} V_{K_i}, j = \overline{1, n_3}. \end{aligned} \quad (5)$$

Отображения (5) устанавливают соответствие между понятиями предметной области из метаонтологии $O_{ТЭ}$ и множеством элементов в описании компонент РЭА, что обеспечивает непротиворечивое использование понятий и терминов в прикладных онтологиях $\hat{\Theta}_{Ki}$ ($i = \overline{1, N}$), которые приводятся в соответствие с нормативными документами.

При построении прикладной онтологии Θ_{Ki} можно применять формальные модели РЭА, которые используются в существующих СИП при автоматизации процесса восстановления аппаратуры [3; 4; 7]:

$$\begin{aligned} M_{РЭА} &= \{SM_{РЭА}, FM_{РЭА}, IM_{РЭА}, PrM_{РЭА}, \\ &\quad CFDM_{РЭА}, FrM_{РЭА}\}. \end{aligned} \quad (6)$$

где $SM_{РЭА}$ – структурная модель РЭА, $FM_{РЭА}$ – функциональная модель РЭА, $IM_{РЭА}$ – идентификационная модель РЭА, $PrM_{РЭА}$ – параметрическая модель РЭА, $CFDM_{РЭА}$ – структурно-функциональная документо-ориентированная модель РЭА, $FrM_{РЭА}$ – фреймовая модель РЭА.

Перечисленные модели отражают различные аспекты устройства РЭА (структура, функциональность и т.д.), однако эти модели не позволяют формально описывать факты и свойства РЭА в терминах и понятиях предметной области технической эксплуатации. Более того, многие факты и свойства РЭА, необходимые при диагностировании, в принципе не могут быть представлены на основе таких моделей. Построение и использование в СИП предлагаемой дескриптивной модели

$DM_{РЭА}$ на основе онтологий способствует устранению отмеченных ограничений, что обеспечивает повышение уровня автоматизации средств информационной поддержки ОП при диагностировании СТК.

Построение метаонтологии $O_{ТЭ}$ технической эксплуатации СТК определяется необходимостью использования терминов, связанных не только с описанием компонентов РЭА, но также с применением понятий, используемых при описании жизненного цикла изделия, эксплуатационных документов, участников работ и эксплуатируемых изделий. Это приводит к необходимости декомпозиции метаонтологии $O_{ТЭ}$ путем представления предметной области технической эксплуатации в виде совокупности структурированных классов понятий, выступающих основой для формирования множества соответствующих онтологий. Таким образом, применительно к предметной области технической эксплуатации онтологию $O_{ТЭ}$ СТК целесообразно представить в виде множества предметных онтологий $O_{ТЭ} = \{O_{ТЭ1}, O_{ТЭ2}, \dots, O_{ТЭQ}\}$.

Общее число онтологий Q определяется количеством и уровнем детализации представления предметной области и решаемых ОП задач при диагностировании РЭА. Следует отметить, что наименьшее число онтологий не может быть меньше трех: одной онтологии, определяющей предмет моделирования и двух связанных с ней онтологий (онтология кратких форм терминов и онтология условных обозначений понятий предметной области).

Анализ процесса технической эксплуатации по совокупности нормативных документов позволяет сформировать совокупности классов понятий, описывающих:

- изделия, их виды, типы и структуру, выполняемые функции и задачи;
- жизненный цикл изделий, их стадии, виды и этапы;
- технические документы, включая их виды, типы и структуру;
- участников работ;
- объекты эксплуатации и их состояние;
- события технической эксплуатации;
- условные обозначения понятий;
- краткие формы терминов.

Анализ понятий предметной области технической эксплуатации СТК показывает, что для описания изделий (виды, типы и структуру) и выполняемых ими функций и задач целесообразно использовать следующие предметные онтологии: изделия $O_{ТЭ1}$, интерфейсов $O_{ТЭ2}$, электрических цепей $O_{ТЭ3}$, и выполняемых изделием функций $O_{ТЭ4}$.

Использование структурно-функциональной документо-ориентированной модели РЭА связано с определением понятий, используемых для описания технических документов, их видов, типов и структуры. Это показывает необходимость формирования предметной онтологии технических документов $O_{ТЭ5}$.

Для описания понятий жизненного цикла изделий (стадии, виды, этапы, привлекаемые силы и средства, объекты эксплуатации и их состояние, события и про-

цессы технической эксплуатации) целесообразно использовать предметные онтологии жизненного цикла изделия $O_{ТЭ6}$, средств эксплуатации, технических и радиоэлектронных средств $O_{ТЭ7}$, событий технической эксплуатации $O_{ТЭ8}$, технических состояний изделий $O_{ТЭ9}$ и участников работ $O_{ТЭ10}$.

Поскольку в нормативных документах многие понятия имеют краткие формы представления и условные обозначения, целесообразно дополнительно использовать две предметные онтологии: онтологию кратких форм терминов предметной области $O_{ТЭ11}$ и онтологию условных обозначений понятий предметной области $O_{ТЭ12}$.

Проведенная декомпозиция классов понятий и терминов предметной области технической эксплуатации СТК позволяет представить метаонтологию $O_{ТЭ}$ в виде совокупности следующей предметных онтологий:

$$O_{ТЭ} = \{O_{ТЭ1}, O_{ТЭ2}, O_{ТЭ3}, O_{ТЭ3}, O_{ТЭ4}, O_{ТЭ5}, O_{ТЭ6}, O_{ТЭ7}, O_{ТЭ8}, O_{ТЭ9}, O_{ТЭ10}, O_{ТЭ11}, O_{ТЭ12}\} \quad (7)$$

Предложенный подход в целом определяет двухуровневую структуру дескриптивной модели РЭА (рис. 1). В этой модели нижний уровень образован совокупностью прикладных онтологий компонент РЭА, а верхний уровень – совокупностью предметных онтологий для области технической эксплуатации СТК.

Использование дескриптивной модели РЭА видоизменяет существующую структуру информационных ресурсов СИП, используемых обслуживающим персоналом при выполнении различных операций в процессе диагностирования СТК.

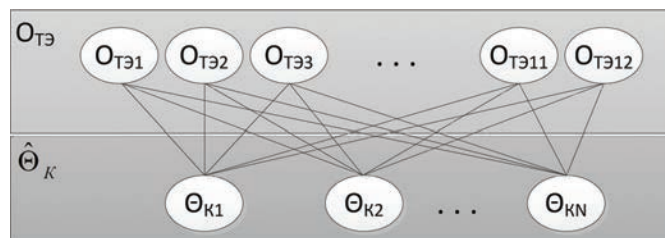


Рис. 1. Иерархическая структура дескриптивной модели радиоэлектронной аппаратуры

В существующих СИП (рис. 2а) информационный ресурс представляется в виде совокупности известных моделей РЭА и электронного представления комплекта эксплуатационных документов (КЭДЭ). При этом данные представляются в терминах этих моделей (таблицы, графики, диаграммы, фрагменты текста, изображения), а не в терминах и понятиях предметной области. Поэтому доступ ОП к этим информационным ресурсам для извлечения требуемой диагностической информации осуществляется в СИП на основе существующих запросных языков (SQL, LinQ и т.п.), которые не позволяют в структуре запросов учитывать особенности концептуального представления РЭА в терминах и понятиях предметной области. Это приво-

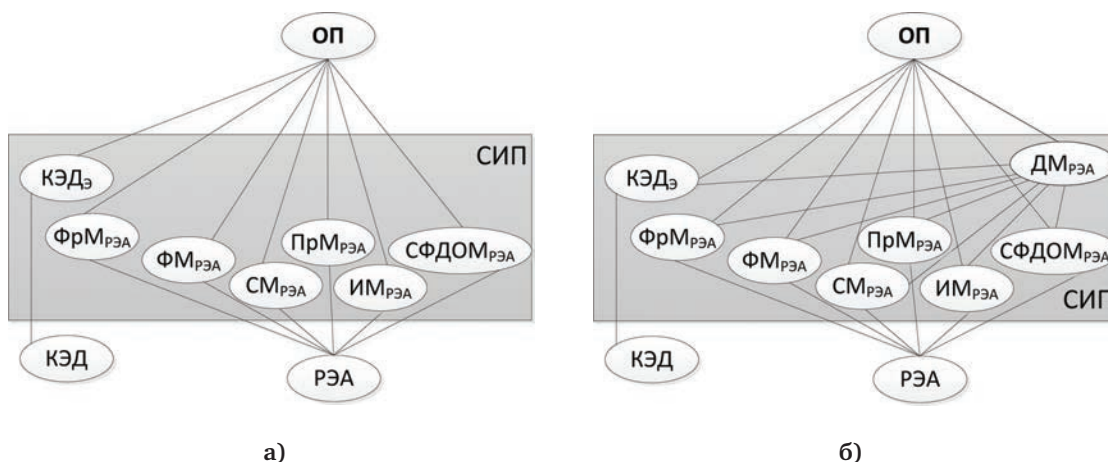


Рис. 2. Архитектуры систем информационной поддержки
 а) Существующая архитектура; б) Предлагаемая архитектура

дит к необходимости формирования большого числа запросов для извлечения требуемой диагностической информации и негативно отражается на общем времени восстановления радиоэлектронной аппаратуры.

При использовании дескриптивной модели РЭА собственно информационный ресурс СИП принципиально не изменяется и сохраняются существующие информационные интерфейсы ОП (рис. 2б). В то же время включение дескриптивной модели РЭА в архитектуру СИП обеспечивает возможность работы ОП с имеющимися информационными ресурсами в терминах и понятиях предметной области технической эксплуатации. При этом у обслуживающего персонала появляется возможность использовать в запросах термины естественного языка, что открывает возможность развития средств автоматизации СИП для организации интерфейса ОП на естественно-подобном языке запросов.

При таком подходе повышается информативность запросов, так, что один запрос на естественно-подобном языке может содержать количество информации, равносильной нескольким запросам на существующих запросных языках. Следствием этого является сокращение времени восстановления РЭА за счет уменьшения времени извлечения диагностической информации, необходимой ОП при выполнении диагностирования.

Литература

1. Asuncion Gomez-Perez, Mariano Fernandez-Lopez, and Oscar Concho Ontological engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and

the semantic web. Springer-Verlag, London 2004. 404 p.

2. Thomas Gruber. Collective Knowledge Systems: Where the Social Web meets the Semantic Web // Journal of Web Semantics, 2007. Vol. 6. No. 1. Pp. 129–145.

3. Анисимов О.В. Модели радиоэлектронной аппаратуры как основа организации информационных интерфейсов в системах автоматизации технической эксплуатации. М.: Норд, 2013. 88 с.

4. Анисимов О.В. Направления совершенствования систем информационной поддержки обслуживающего персонала при технической эксплуатации систем специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2014. Т. 6. № 5. С. 44–52.

5. Воронина И.Е., Пигалкова Е.А. Создание базовой онтологии для российской системы права на основе онтологии LKIF-CORE // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия Системный анализ и информационные технологии. 2010. № 1. С. 154–159.

6. Карпова И., Порысева Е., Казаков Г., Кольцова Э. Разработка онтологии в области наноконпозиционных материалов // Информационные ресурсы России. 2012. № 2. С. 5–9.

7. Рыбакин А. А., Анисимов О. В. Формирование эксплуатационной документации образцов вооружения на основе формальных моделей РЭС // Труды Всероссийской научно-практической конференции. 2012. Т. 1. С. 135–139.

8. Семикин В.А. Семантическая модель контента образовательных электронных изданий // Автореферат диссертации, Тюмень. ТГУ. 2004. 21 с.

Для цитирования:

Анисимов О.В., Курчидис В.А., Приветень А.С. Дескриптивная модель радиоэлектронной аппаратуры на основе онтологий для автоматизации информационной поддержки обслуживающего персонала при диагностировании сложных технических комплексов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 72–77.

DESCRIPTIVE MODEL OF THE RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT ON THE BASIS OF ONTOLOGIES FOR AUTOMATION OF INFORMATION SUPPORT OF SERVICE PERSONNEL WHEN DIAGNOSING COMPLICATED TECHNICAL COMPLEXES

Anisimov Oleg Vitalievich,
Yaroslavl, Russian, qwaker@inbox.ru

Kurchidis Viktor Alexandrovitch,
Yaroslavl, Russian, idahmer2@yandex.ru

Priveten Alexandr Sergeevitch,
Yaroslavl, Russian, priveten@yandex.ru

Abstract

The maintenance of complex technical systems is associated with performance of diagnostic works of electronic equipment in the recovery process. When performing operations on diagnostics of electronic equipment, the means of information support for the personnel play an important role. One of the main information resources staff is the set of operational documents, containing the necessary technical information. This circumstance determines the loss of time in the diagnostics of electronic equipment, which make operations connected with extracting and providing the staff with the required technical information.

The need to use various technical information in the diagnostics of electronic equipment determines the variety of methods and techniques to extract diagnostic information by staff from the set of operational documents, which should be implemented in information support systems.

The ways and means of extracting diagnostic information implemented in existing information support systems are based on the use of formal models in terms of graphs, matrices, charts, tables. These models do not allow us to represent the formal view of a large amount of diagnostic descriptive information contained in the operational documents. This significantly limits the capabilities of existing automation means of information support. As a consequence, there is a need of formation by staff in the process of diagnostics of electronic equipment of a great number of lookups required to retrieve technical information from databases that is associated with loss of time.

This paper proposes to form a more complete image information of electronic equipment from the point of view of information support staff to use another type of formal model – a descriptive model. This model is intended to describe the terms and concepts of the subject area of many of the facts and properties of electronic equipment based on operational documents, which can be used by staff in the diagnostics process.

As a formal basis for the construction of a descriptive model is proposed to use the mathematical apparatus of ontologies. The formation of descriptive models is done by merging all application ontologies, used to describe a component of electronic equipment in complex technical system, with a unified domain ontology of technical operation.

The use of descriptive model of electronic equipment in the architecture of information support systems provides an opportunity to the staff to use the terms of natural language when building queries to obtain the necessary diagnostic information. This helps to enhance the informative requests of staff, resulting in reducing the retrieval time of the information necessary in the process of diagnostics, through reduce the total number of generated queries.

Keywords: recovery of radio electronic equipment; information support; technical diagnostic; description model; ontologies.

References

1. Asuncion Gomez-Perez, Mariano Fernandez-Lopez, Oscar Concho. *Ontological engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web.* Springer-Verlag: London, 2004. 404 p.
2. Thomas Gruber. *Collective Knowledge Systems: Where the Social Web meets the Semantic Web // Journal of Web Semantics, 2007. Vol. 6. No. 1. Pp. 129–145.*
3. Anisimov O. V. *Modeli radiojelektronnoj apparatury kak osnova organizacii informacionnyh interfejsov v sistemah avtomatizacii tehniceskoy jekspluatacii [Models of electronic equipment as a basis for organizing information interfaces in automation systems technical exploitation].* Moscow, Nord, 2013. 88 p. (In Russian).
4. Anisimov O.V. *Improvement of system of information support for the personnel during the technical maintenance of special-purpose systems.* H&ES Research. 2014. Vol. 6. No. 5. Pp. 44–52. (In Russian).
5. Voronina I. E., Pigalkova E. A. *Sozdanie bazovoj ontologii dlja rossijskoj sistemy prava na osnove ontologii LKIF-CORE [Creation of basic ontology for the Russian system of the right on the basis of ontology LKIF-CORE].* Vestnik Voronezh. gos. un-ta. Serija Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii. 2010. No. 1. Pp. 154–159. (In Russian).
6. Karpova I., Poryseva E., Kazakov G., Kol'cova Je. *Razrabotka ontologii v oblasti nanokompozicionnyh materialov [Development of ontology in the field of nanocomposite materials].* Informacionnye resursy Rossii. 2012. No. 2. Pp. 5–9. (In Russian).
7. Rybakina A.A., Anisimov O.V. *Formirovanie jekspluatacionnoj dokumentacii obrazcov vooruzhenija na osnove formal'nyh modelej RJeS [Formation of operational documentation weapon models based on formal models of electronic equipment].* Trudy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2012. Vol. 1. Pp. 135–139. (In Russian).
8. Semikin V.A. *Semanticheskaja model' kontenta obrazovatel'nyh jelektronnyh izdanij [Semantic model of content of educational electronic editions].* Avtoreferat dissertacii. Tjumen'. TGU. 2004. 21 p. (In Russian).

Information about authors:

Anisimov O.V., Ph.D., associate professor of automation and computing means, Higher Military School of Air Defence, Yaroslavl;
Kurchidis V.A., Ph.D., professor of automation and computing means, Higher Military School of Air Defence, Yaroslavl;
Priveten A.S., Head of automated control node station, Higher Military School of Air Defence, Yaroslavl.

For citation:

Anisimov O.V., Kurchidis V.A., Priveten A.S. *Descriptive model of the radio-electronic equipment on the basis of ontologies for automation of information support of service personnel when diagnosing complicated technical complexes.* H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 72–77.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Кухаренко

Александр Сергеевич,

к.т.н., старший научный сотрудник
филиала открытого акционерного
общества «Объединенная ракетно-
космическая корпорация»

«Научно-исследовательский институт
космического приборостроения».

г. Москва, Россия,

alexk.05@mail.ru

Ключевые слова:

диэлектрическая проницаемость;
магнитная проницаемость; эффективное
значение; метаматериал; полоса зазира-
ния; частотно-селективная поверхность.

АННОТАЦИЯ

Серьезной проблемой, с которой сталкиваются разработчики устройств на основе метаматериалов, является то, что судить о свойствах самого метаматериала можно лишь косвенно, анализируя параметры всего устройства в целом. Поскольку такие устройства являются периодическими металлодиэлектрическими структурами, стандартные методы определения их диэлектрической и магнитной проницаемости не применимы. В настоящей работе предложена методика измерения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости этих структур, основанная на измерении их комплексных коэффициентов передачи и отражения. В основу представленного алгоритма положен приведенный математический аппарат, устанавливающий прямую зависимость диэлектрических параметров тестируемых образцов от измеренных значений их S-параметров. Непосредственно для проведения измерений предложен ряд конструкций оснасток, позволяющих определять эффективные значения диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериалов при воздействии на них продольных электромагнитных волн вертикальной и горизонтальной поляризации электрического поля, а также поперечных электромагнитных волн. Для каждого типа оснастки представлен вариант их реализации и полосы частот, в которых эти варианты позволяют осуществлять измерения. Преимущество всех представленных конструкций заключается в том, что они являются закрытыми структурами, не подверженными влиянию окружающих предметов. Подробно рассмотрена схема подключения оснасток к векторному анализатору цепей. Отдельно затронут вопрос учета влияния элементов измерительного тракта на точность измерений. Поскольку конструкции предложенных оснасток не позволяют осуществлять прямую калибровку используемых измерительных приборов, предложен способ компенсации их влияния на измеряемые параметры, заключающийся в математической обработке данных измерения. Приведены практические результаты определения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости образца метаматериала, полученные по описанному алгоритму при помощи двух разных оснасток. Проведенный эксперимент показал хорошее совпадение данных между собой и с результатами математического моделирования. Таким образом, в работе подробно описана методика определения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериалов при помощи их комплексных коэффициентов передачи и отражения, предложен ряд конструкций оснасток, позволяющих осуществлять практические измерения, и рассмотрены вопросы калибровки измерительных станций. Проведенные эксперименты подтверждают правомочность представленных алгоритмов.

Введение

В последнее время метаматериалы находят все большее применение при конструировании различных сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств [1, 2]. Они используются как элементы усилителей [3], фильтров [4, 5], делителей мощности [5] и др. Также они широко применяются при конструировании антенн [6, 7] и антенных решеток [8]. Их необычные свойства, связанные с возможностью получения отрицательного коэффициента преломления, позволяют существенно улучшить характеристики СВЧ устройств, в которых они используются.

Однако разработчики подобных СВЧ устройств сталкиваются с серьезной проблемой, заключающейся в том, что определять параметры самого метаматериала можно лишь косвенно, анализируя характеристики всего устройства в целом. Поскольку по своей сути метаматериалы являются периодическими металлодиэлектрическими структурами, свойства которых определяются не только свойствами составляющих компонентов, но, и в равной степени, их конструкцией, такие методы определения их относительной диэлектрической и магнитной проницаемости, как метод полного резонанса [9], метод с применением объемного диэлектрического резонатора [10], и прочие традиционные методики не применимы.

К настоящему времени предложено несколько способов измерения рабочей полосы метаматериалов, такие как зондовый метод [11] или измерения при помощи направленных антенн [12]. Но они позволяют провести лишь качественную оценку положения, ширины полосы запыриания и относительного уровня подавления сигнала, обеспечиваемых структурами, и не позволяют определить конкретные значения их относительной диэлектрической и магнитной проницаемости.

В настоящей работе предложена методика измерения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериалов, а также представлены конструкции оснасток, необходимые для проведения измерений при разных поляризациях электромагнитного поля.

Определение эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости структур при помощи комплексных коэффициентов передачи и отражения

В общем случае метаматериалы могут быть рассмотрены как анизотропные среды. Их конструкция представляет собой периодическую металлодиэлектрическую структуру, имеющую, как минимум, одну ось симметрии. Поскольку размеры резонансных элементов, образующих метаматериал, как правило, меньше одной десятой длины волны возбуждения в рабочем диапазоне частот, его можно считать изотропной средой при условии, что электромагнитная волна распространяется вдоль оси симметрии и имеет линейную (горизонтальную или вертикальную) поляризацию электрического поля.

Рассмотрим метаматериал в виде электродинамической структуры длиной d , находящейся в свободном пространстве, по нормали к поверхности которой падает электромагнитная волна (рис. 1). Вектора E и H обозначают соответственно электрическую и магнитную компоненты поля, Π – вектор Пойнтинга. Индексы «п», «о» и «пр» относятся к компонентам электромагнитного поля падающей, отраженной и прошедшей волны соответственно.

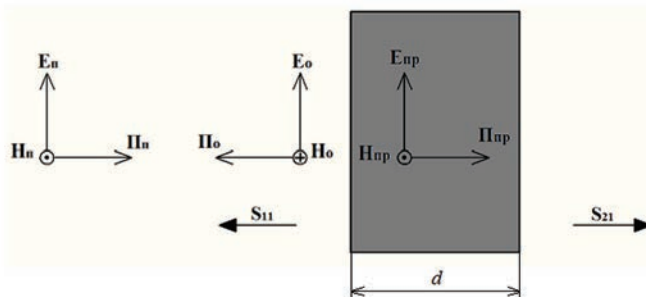


Рис. 1. Электромагнитная волна, нормально падающая на поверхность метаматериала

Такая электродинамическая структура может быть представлена в виде эквивалентного четырехполюсника S -типа, комплексный коэффициент отражения S_{11} и комплексный коэффициент передачи S_{21} которого могут быть записаны в следующем виде [13, 14]:

$$S_{11} = \frac{R_{01}(1 - e^{i2nk_0d})}{1 - R_{01}^2 e^{i2nk_0d}}, \quad (1)$$

$$S_{21} = \frac{(1 - R_{01}^2)e^{i2nk_0d}}{1 - R_{01}^2 e^{i2nk_0d}}. \quad (2)$$

где:

$$R_{01} = \frac{Z - 1}{Z + 1}; \quad (3)$$

n – коэффициент преломления;

R_{01} – множитель в уравнениях (1) и (2) [13, 14];

Z – комплексное волновое сопротивление эквивалентного четырехполюсника;

$k_0 = 2\pi/\lambda$ – волновое число;

d – длина электродинамической структуры.

Из (1) – (3) получаем выражения для определения комплексного волнового сопротивления и коэффициента преломления [13 - 16]:

$$Z = \sqrt{\frac{(1 + S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1 - S_{11})^2 - S_{21}^2}}; \quad (4)$$

$$n = \frac{1}{k_0 d} \cos^{-1} \left[\frac{1}{2S_{21}} (1 - S_{11}^2 + S_{21}^2) \right] + \frac{2\pi m}{k_0 d}, \quad (5)$$

где m – целое число, равное количеству полуволн на частоте измерения, укладываемых на длине структуры d [16].

Зная комплексное волновое сопротивление и коэффициент преломления измеряемого образца мета-

материала, эффективные значения его диэлектрической (ϵ) и магнитной (μ) проницаемости могут быть определены при помощи следующих выражений:

$$\epsilon = \frac{n}{Z}; \quad (6)$$

$$\mu = nZ. \quad (7)$$

Таким образом, экспериментально измерив комплексные коэффициенты передачи и отражения эквивалентного четырехполюсника, заменяющего структуру метаматериала, можно определить эффективные значения его диэлектрической и магнитной проницаемости.

Измерение комплексных коэффициентов передачи и отражения метаматериала

Поскольку в общем случае структура метаматериала несимметрична по осям координат [2], его свойства в разных направлениях, при воздействии электромагнитных волн различных поляризаций, могут отличаться. Поэтому целесообразно производить измерения параметров такой электродинамической структуры отдельно для каждой поляризации поля.

Случай распространения электромагнитной волны вдоль рабочей поверхности метаматериала с вертикальной поляризацией электрического поля

Для определения значений комплексных коэффициентов передачи и отражения в данном случае можно воспользоваться методом измерений при помощи микрополосковой линии [17, 18].

Суть метода заключается в том, что между проводником микрополосковой линии (1) и ее метал-

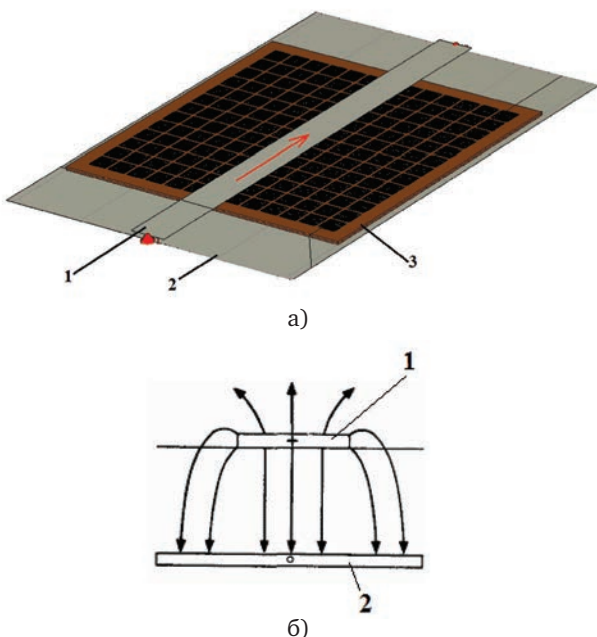
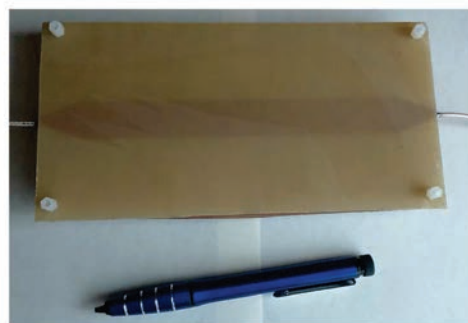


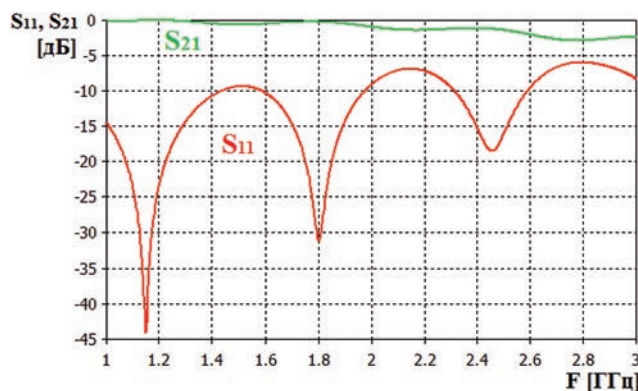
Рис. 2. Общий вид оснастки, предназначенной для измерения параметров метаматериала при помощи микрополосковой линии (а) и распределение электрического поля в ней (б)



а)



б)



в)

Рис. 3. Конструкция оснастки для измерения параметров метаматериала при помощи микрополосковой линии (а), вариант ее реализации (б) и зависимость коэффициентов передачи и отражения макета оснастки от частоты (в)

лическим экраном (2) помещается тонкая пластина измеряемого образца (3) (рис. 2а). Направление распространения электромагнитной волны показано на рис. 2а стрелкой. Электрическое поле в такой конструкции большей частью сосредоточено между проводником линии и экраном, и имеет в этой области вертикальную поляризацию [19] (рис. 2б). Преимущество этого метода заключается в возможности согласования используемой микрополосковой линии в широком диапазоне частот [18], что позволяет создать универсальную оснастку для проведения измерений.

Пример реализации такой конструкции приведен на рис. 3. Проводник микрополосковой линии шириной a и длиной b расположен на высоте c над металлическим экраном длиной b и шириной d .

Изготовленный макет оснастки (рис. 3б) представляет собой плату из стеклотекстолита размером $b=200$ мм и $d=100$ мм, закрепленную на высоте $c=5$ мм над металлическим экраном такого же размера при помощи диэлектрических стоек. На стороне пла-

ты, обращенной к экрану, находится проводник микрополосковой линии с размером $a=20$ мм и $b=200$ мм. На обратной стороне платы металлизация отсутствует. Подключение оснастки к измерительному прибору осуществляется при помощи коаксиальных кабелей, центральные жилы которых подключены к противоположным концам проводника микрополосковой линии, а оплетка – к металлическому экрану. Зависимости измеренных значений комплексных коэффициентов передачи и отражения представленного макета (рис. 3в) показывают, что конструкция согласована в частотном диапазоне 1 – 2 ГГц.

Случай распространения электромагнитной волны вдоль рабочей поверхности метаматериала с горизонтальной поляризацией электрического поля

Для измерения значений комплексных коэффициентов передачи и отражения в рассматриваемом случае, предложена конструкция, показанная на рис. 4. Она представляет собой две диэлектрические подложки 1 с выполненными на их поверхности микрополосковыми проводниками Т-образной формы 2 шириной a , расположенные друг напротив друга на расстоянии b . Сверху и снизу относительно подложек находятся проводящие экраны 3 размером $c \times d$, расположенные на расстоянии e друг от друга таким образом, что Т-образные проводники находятся точно посередине между ними. Измеряемый образец 4 при этом помещается на нижний экран между диэлектрическими подложками 1. Верхний и нижний экраны соединены между собой проводящими перемычками 5.

Распределение электрического поля в такой структуре приведено на рис. 4б и близко к полю симметричной щелевой линии [19]. В пространстве между двумя Т-образными проводниками создается участок поля, на котором его поляризацию можно считать горизонтальной. Непосредственно в этот участок и помещается измеряемый образец.

Изготовленный макет конструкции (рис. 4в) имеет следующие размеры: $a=80$ мм, $b=150$ мм, $c=100$ мм, $d=200$ мм, $e=5$ мм. Материалом диэлектрических подложек 1 выбран стеклотекстолит. Проводящими перемычками 5 служат металлические стойки высотой 5 мм. Подключение оснастки к измерительному прибору осуществляется при помощи двух коаксиальных кабелей, центральные жилы которых подключались к горизонтальной части Т-образных проводников, а оплетка – к нижнему экрану. Комплексные коэффициенты передачи и отражения, представленные на рис. 4г, показывают, что макет согласован лишь в относительно узкой полосе частот 1,52 – 1,58 ГГц.

Случай нормального падения электромагнитной волны на поверхность метаматериала

В ряде работ [20, 21] приводятся результаты измерения параметров частотно-селективных поверхностей при помощи направленных антенн, располо-

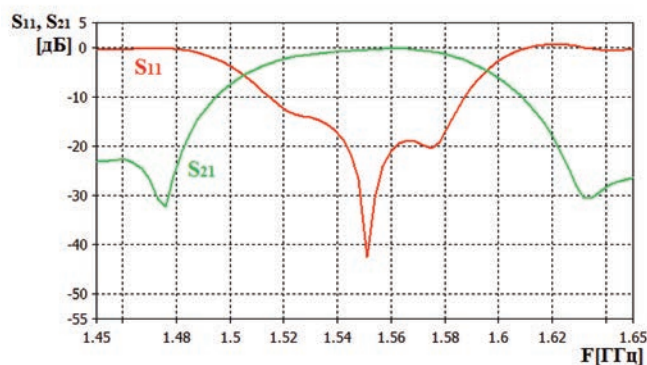
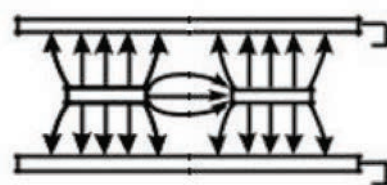
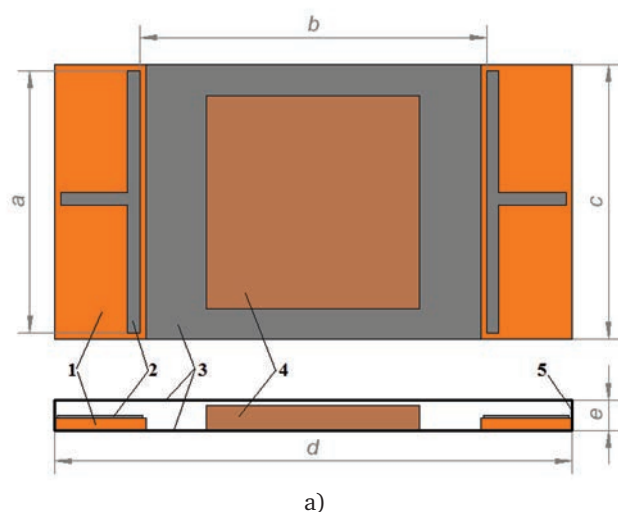


Рис. 4. Конструкция оснастки для измерения параметров метаматериала в случае распространения вдоль его поверхности волны с горизонтальной поляризацией (а), распределение электрического поля в ней (б), изготовленный образец (в) и зависимость коэффициентов передачи и отражения макета оснастки от частоты (г)

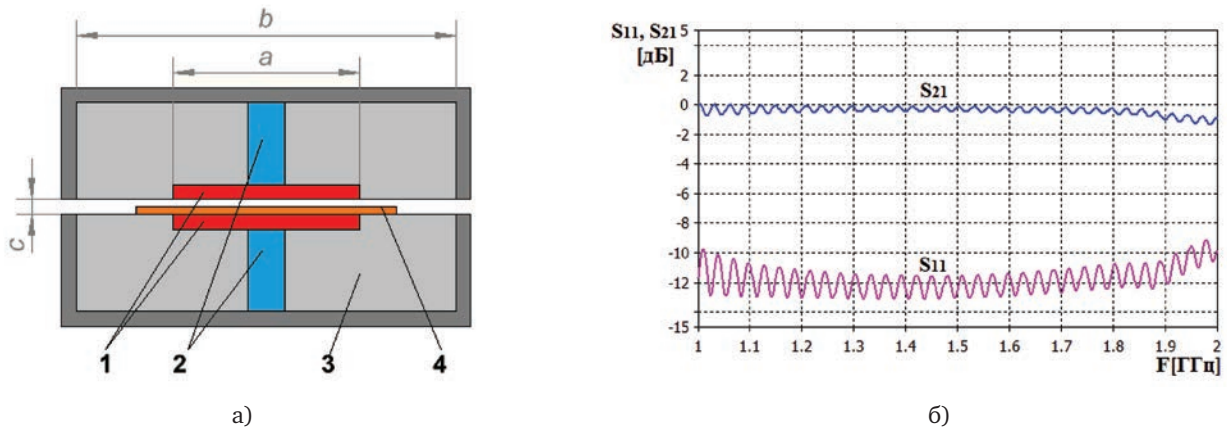


Рис. 5. Конструкция оснастки для измерения параметров метаматериала в случае нормального падения электромагнитной волны на его поверхность (а) и зависимость коэффициентов передачи и отражения модели оснастки от частоты (б)

женных по разные стороны от измеряемого объекта. Однако такие измерительные установки обладают существенными недостатками: они громоздки, сложны в эксплуатации, поскольку требуют точного позиционирования в момент сборки и переноса, являются открытыми системами, подверженными влиянию окружающих предметов, и, следовательно, требуют специальной подготовки помещений.

Поэтому, для определения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериалов в случае нормального падения электромагнитной волны на его поверхность, лучше воспользоваться закрытыми электродинамическими системами. Одна из таких систем, позволяющая производить измерения в широком диапазоне частот, представлена в работе [22] и приведена на рис. 5а. Ее конструкция представляет собой диэлектрические резонаторы 1 диаметром a , установленные на диэлектрических стойках 2 внутри объема, ограниченного металлическими стаканами 3 с внутренним диаметром b . Между обкладками резонаторов имеется зазор шириной c , в который в этом случае и помещается измеряемый об-

разец 4. Возбуждение резонаторов 1 осуществляется при помощи зондов (на рисунке не показаны).

На рис. 5б представлен результат математического моделирования зависимости комплексных коэффициентов передачи и отражения от частоты такой конструкции с размерами $a=40$ мм, $b=100$ мм, $c=5$ мм. Видно, что структура согласована в полосе частот 1 – 2 ГГц.

Конструкция измерительного стенда и его калибровка

Непосредственное измерение комплексных коэффициентов передачи и отражения может быть осуществлено при помощи векторного анализатора цепей. При этом программное обеспечение анализатора должно позволять осуществлять выгрузку значений коэффициентов передачи и отражения в комплексной форме, что необходимо для проведения расчетов при помощи выражений (4) – (7). Схема подключения оснасток приведена на рис. 6а. На рис. 6б приведена схема распределения сигналов в анализаторе цепей [23]. Свойства искажающих адаптеров определены их комплексными коэффициентами передачи и отражения,

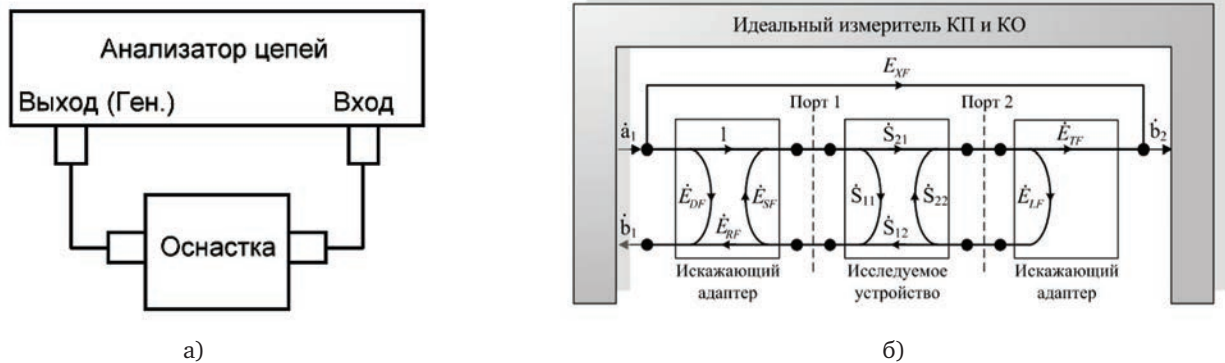


Рис. 6. Схема подключения оснастки к векторному анализатору цепей (а) и модель векторного анализатора цепей (б) модели оснастки от частоты (б)

которые обозначены на рис. 6б как E_D , E_S , E_R , E_T и E_L . Дополнительный индекс «F» показывает прямое распространение сигнала, а «R» – обратное. Паразитное проникновение из источника сигнала в измерительный приемник обозначено как E_x .

Как видно на рис. 6б, помимо коэффициентов передачи и отражения непосредственно измеряемого объекта в собранной схеме существует также ряд внутренних потерь. Поэтому, для того чтобы получить коэффициенты передачи и отражения непосредственно измеряемого образца необходимо произвести калибровку стенда, собранного по схеме на рис. 6а. Калибровку выходных разъемов измерительного прибора и соединительных кабелей необходимо осуществить в соответствии с инструкцией на прибор. Однако, влияние измерительной оснастки не удастся исключить, применяя стандартные процедуры.

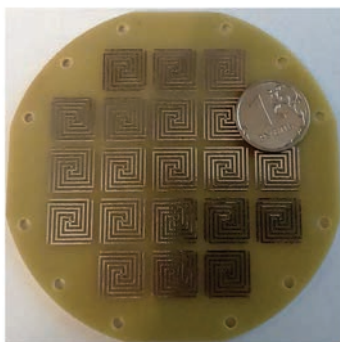
В соответствии с [23, 24] и как показано на рис. 6б, оснастка может рассматриваться в качестве искажающего адаптера, включенного в схему измерений последовательно с измеряемым образцом. Поэтому истинные значения комплексных коэффициентов передачи и отражения метаматериала в этом случае могут быть получены из [24]:

$$S_{11}^{ист} = S_{11}^{изм2} - S_{11}^{изм1}, \quad (8)$$

$$S_{21}^{ист} = S_{21}^{изм2} - S_{21}^{изм1}, \quad (9)$$

где S_{11} – комплексный коэффициент отражения; S_{21} – комплексный коэффициент передачи; индекс «ист» обозначает истинное значение коэффициента; индекс «изм1» - значение, полученное в результате измерения оснастки без измеряемого образца в ней; индекс «изм2» - значение, полученное в результате измерения оснастки с измеряемым образцом.

Таким образом, для получения истинных значений комплексных коэффициентов передачи и отражения метаматериала необходимо провести измерение образца и оснастки, а затем осуществить вычисления в соответствии с (8) и (9).



а)

Практическое измерение параметров метаматериала

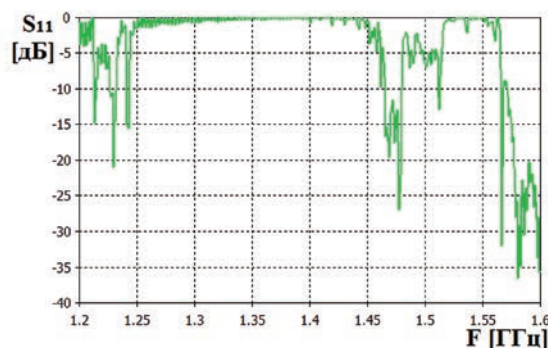
Для проведения эксперимента был выбран образец двухдиапазонного грибовидного метаматериала [7, 25–27], общий вид которого приведен на рис. 7а. Параметры структуры были заданы так, чтобы она обеспечивала полосы запирания в диапазонах L1 (1223 – 1236 МГц) и L2 (1575 – 1590 МГц) (рис. 7б).

Определение эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемостей образца метаматериала осуществлялось в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Калибровка векторного анализатора цепей с подключенными соединительными кабелями.
2. Подключение измерительной оснастки и получение измеренных значений ее комплексных коэффициентов передачи и отражения.
3. Установка измеряемого образца в оснастку и получение измеренных значений его комплексных коэффициентов передачи и отражения.
4. Вычисление по формулам (8) и (9) истинных значений комплексных коэффициентов передачи и отражения измеряемого образца.
5. Вычисление по формулам (4)-(7) эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемостей для каждой точки измерения.

На рис.8 (а – г) представлены результаты измерений комплексных коэффициентов передачи и отражения по пунктам 1-3 алгоритма, выполненные с использованием оснасток, предназначенных для случаев распространения электромагнитной волны вдоль рабочей поверхности метаматериала с вертикальной и горизонтальной поляризацией электрического поля. Видно, что в обоих случаях измеренное положение полос запирания структуры находится в хорошем соответствии с результатами математического моделирования.

На рис. 9 (а – г) представлены результаты вычисления эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости образца, полученные отдельно для случаев с вертикальной и горизонтальной поляризацией поля. Оба расчета показывают, что в областях



б)

Рис. 7. Изменяемый образец метаматериала (а) и результат моделирования его коэффициентов передачи и отражения (б)

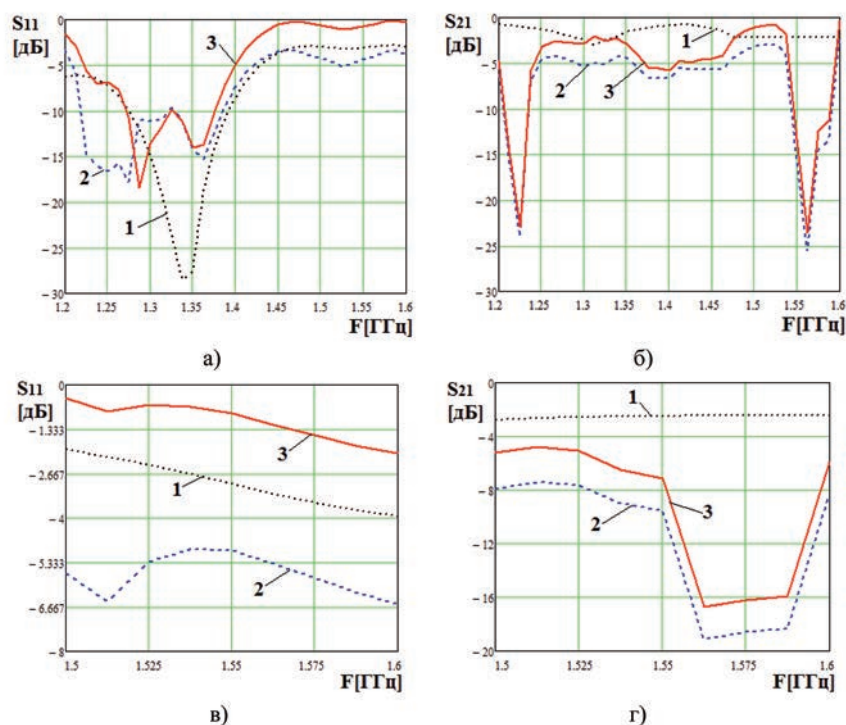


Рис. 8. Измеренные значения комплексных коэффициентов передачи и отражения оснастки (1) и измеряемого образца (2), а также вычисленные истинные значения комплексных коэффициентов (3):

- (а) – коэффициент отражения в случае использования волны с вертикальной поляризацией;
- (б) – коэффициент передачи в случае использования волны с вертикальной поляризацией;
- (в) – коэффициент отражения в случае использования волны с горизонтальной поляризацией;
- (г) – коэффициент передачи в случае использования волны с горизонтальной поляризацией

полос запираания эффективные диэлектрическая и магнитная проницаемости измеренного образца приобретают отрицательные значения, что является безусловным свойством метаматериалов.

Заключение

Таким образом, в работе предложена методика определения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериалов, основанная на измерении их комплексных коэффициентов передачи и отражения. Приведен математический аппарат, необходимый для осуществления вычислений. Для проведения измерений предложен ряд конструкций оснасток, используемых при исследовании образцов метаматериала под воздействием электромагнитных полей с различной поляризацией. Проведено практическое измерение S-параметров образца двухдиапазонного грибовидного метаматериала и определены эффективные значения его диэлектрической и магнитной проницаемости. Полученные результаты эксперимента находятся в хорошем соответствии с результатами математического моделирования.

Литература

1. Caloz Ch., Itoh T. Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications (the

engineering approach). New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. 352 p.

2. Engheta N., Ziolkowsky R. W. Metamaterials –physics and engineering exploration. Danvers: John Wiley & Sons, 2006. 414 p.

3. Kim H., Seo C. Inverse class-F power amplifier using the metamaterial structure on the harmonic control circuit // Microwave and Optical Technology Letters. 2008. Vol. 50. No. 2. Pp. 2881–2884.

4. Awasthi S., Biswas A., Akhtar M. J. Compact band-stop filter using triangular metamaterial mushroom resonators // Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings. 2012. Pp. 217–219.

5. Morata M., Gil I., Fernandez-Garcia R. Parametric design of stop band pass filter based on RF metamaterials in LTCC technology // Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings. 2012. No. 8. Pp. 813–817.

6. Бойко С.Н., Веселаго В.Г., Виноградов Е.А., Жуков А.А. Малогабаритные антенны на основе метаматериалов (практические аспекты) // Антенны. 2012. № 12. С. 32–41.

7. Кухаренко А.С., Елизаров А.А. Анализ физических особенностей метаматериалов и частотно-селективных СВЧ-устройств на их основе // Т-Comm: Телекоммуникации и связь. 2015. Т. 9. № 5. С. 36–41.

8. Бойко С.Н., Елизаров А.А., Закирова Э.А., Кухарен-

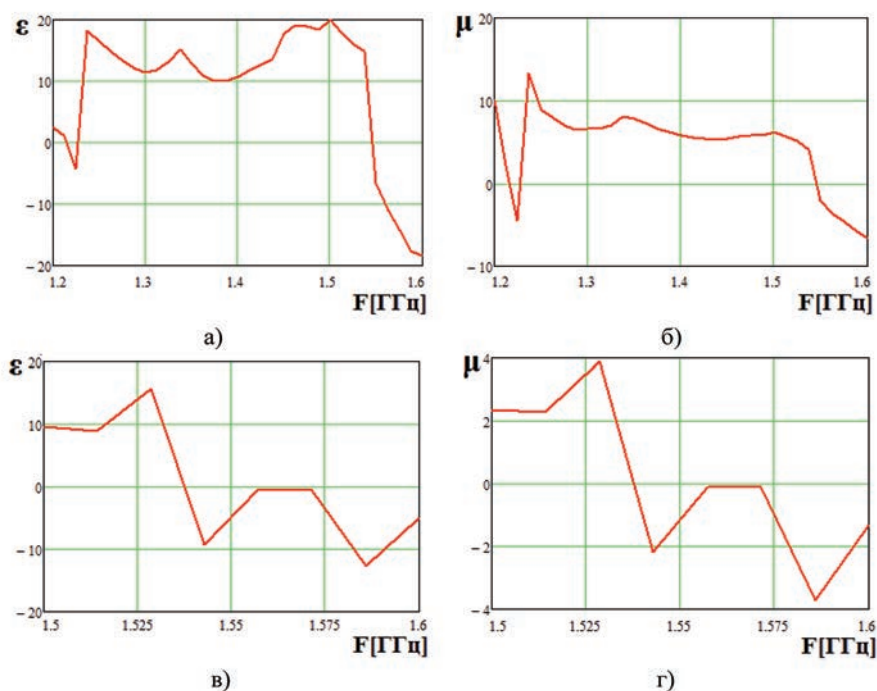


Рис. 9. Рассчитанные значения эффективной диэлектрической и магнитной проницаемости измеренного образца метаматериала: (а) – диэлектрическая проницаемость в случае распространения вдоль поверхности метаматериала волны с вертикальной поляризацией электрического поля; (б) – магнитная проницаемость в случае распространения вдоль поверхности метаматериала волны с вертикальной поляризацией электрического поля; (в) – диэлектрическая проницаемость в случае распространения вдоль поверхности метаматериала волны с горизонтальной поляризацией электрического поля; (г) – магнитная проницаемость в случае распространения вдоль поверхности метаматериала волны с горизонтальной поляризацией электрического поля

ко А.С. Исследование малогабаритного развязывающего СВЧ фильтра на метаматериале // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП – 2014: сб. докладов Междунар. науч.-технической конф., Саратов, 2014. Т. 1. С.218–225.

9. Conrod J. Methods for characterizing the dielectric constant of microwave PCB laminates // *Microwave Journal*. 2011. Vol. 54. No. 5. Pp.132–144.

10. Resso M., Begley S. Maximizing data rates of PCB structures by understanding dielectric properties. URL: www.home.agilent.com. (дата обращения 14.05.2016).

11. Sievenpiper D., Zhang L., Broas R. J., Alexopolous N. G., Yablonovitch E. High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band // *IEEE Trans. MTT*. 1999. Vol. 47. No. 11. Pp. 2059-2074.

12. Lee J., Yoo M., Lim S. A study of ultra-thin single layer frequency selective surface microwave absorbers with three different bandwidth using double resonance // *IEEE Trans. AP*. 2015. Vol. 63. No. 1. Pp. 221–230.

13. Chen X., Grzegorzeczyk T. M., Wu. B., Pacheco J. Jr., Kong J. A. Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials // *Physical review*. July 2004. E 70, 016608.

14. Numman A.B., Sharawi M. S. Extraction of material parameters for metamaterials using a full-wave simulator // *IEEE AP Magazine*. 2013. Vol. 55. No. 5. Pp. 202–211.

15. Smith D.R., Schultz S., Markos P., Soukoulis C. M. Determination of effective permittivity and permeability of metamaterials from reflection and transmission coefficients // *Physical review*. 2002. B 65, 195104.

16. Smith D.R., Vier D.C., Koschny Th., Soukoulis C.M. Electromagnetic parameter retrieval from inhomogeneous metamaterials // *Physical review*. 2005. E 71, 036617.

17. Narayanan P.M. Microstrip transmission line method for broadband permittivity measurement of dielectric substrates // *IEEE Trans. AP*. 2014. Vol. 62. No. 11. Pp. 2784–2790.

18. Mulenga C.B., Flint J.A., Vaja R., Chauraya A. Measurement techniques for polar electromagnetic band gap structures using an air spaced microstrip line // *Laughborough antenna and propagation conference*. 2008. Pp. 341-344.

19. Нефедов Е.И. Устройства СВЧ и антенны. М.: Академия, 2009. 384 с.

20. Lee J., Yoo S., Lim S. A study of ultra-thin single layer frequency selective surface microwave absorber with three different bandwidths using double resonance // *IEEE Trans. AP*. 2014. Vol. 62. No 11. Pp. 2784-2790.

21. Mias C., Tsakonos C., Oswald C. An investigation into the feasibility of designing frequency selective windows employing periodic structures. Nottingham: The Nottingham trent university, 2010. 167 p.

22. Mazierska J., Krupka J., Jacob M. V., Ledenyov D. Complex permittivity measurement at variable tempera-

tures of low loss dielectric substrates employing split post and single post dielectric resonators // IEEE MTT-S Digest. 2004. No. 4. Pp. 1825–1828.

23. Хибель М. Основы векторного анализа цепей. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 500 с.

24. МИ 3411-2013. Анализаторы цепей векторные. Методика определения метрологических характеристик. Новосибирск: ФГУП «СНИИМ», 2013. 54 с.

25. Кухаренко А.С. Методика расширения полосы работы метаматериалов // Молодёжь и будущее авиации и космонавтики: сб. докладов. М.: МАИ, 2014. С. 296–298.

26. Елизаров А.А., Кухаренко А.С. Широкополос-

ные частотно-селективные СВЧ устройства на основе планарных модифицированных грибовидных метаматериалов // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: сб. докладов Междунар. Крымской конф. Севастополь, 2015. Т. 1. С. 586–587.

27. Елизаров А.А., Кухаренко А.С. Частотно-селективная поверхность на основе метаматериала с электронной перестройкой полосы запираания // Проблемы СВЧ-электроники МИЭМ НИУ ВШЭ – Инновационные решения Keysight Technologies: сб. докладов II Всерос. объединённой науч. конф. М.: ИД Медиа Паблишер, 2015. С. 45–48.

Для цитирования:

Кухаренко А.С. Методика измерения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериалов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 78–87.

A METHODOLOGY OF METAMATERIAL EFFECTIVE PERMITTIVITY AND PERMEABILITY VALUE MEASUREMENT

Kukhareno Alexander Sergeevich,
Moscow, Russia, alexk.05@mail.ru

Abstract

Developers of metamaterial-based devices in our days face a serious problem – they can guess the properties of metamaterial itself only by analyzing the overall parameters of the complete device. As such constructions are periodical metal-dielectric structures, the standard methods of their permittivity and permeability measurement can't be implemented. In this paper a methodology of metamaterial effective permittivity and permeability determination, based on their complex reflecting and transmitting coefficient measurement, is suggested. The base of the presented algorithm is evaluations, shown here, which determine the dependence of dielectric parameters of the sample under test on its measured S-parameters. For practical measurement some constructions of measuring tools, which allow metamaterial parameter determination in case of using longitudinal electromagnetic wave with vertical and horizontal polarization of electric field and normally incident wave, are suggested. A form of realization and a band, in which measurements can be provided, are presented for each type of measuring tools. An advantage of all constructions is that they are closed structures and don't feel the influence of surroundings. The schema of connecting the measuring tools to a vector network analyzer is detail reviewed. A question of measuring schema element influence on the accuracy of parameter determination is discussed separately. As the constructions of meas-

uring tools don't allow direct measuring device calibration, a method of compensation of their influence on the measured parameters accuracy, based on the mathematical processing of the obtained data, is suggested. Practical results of metamaterial sample effective permittivity and permeability determination, made using the described algorithm and two different measuring tools, are shown. The made experiment has shown a good correlation of the obtained data between each other and with the computed parameters of the sample. So the paper presents the detailed description of the methodology of metamaterial effective permittivity and permeability determination, with the help of measuring their complex reflecting and transmitting coefficient, some measuring tool constructions are suggested, which allow practical measurements, measuring circuit calibration methods are described. The presented experimental data confirm that the suggested algorithm can be used.

Keywords: permittivity; permeability; effective value; metamaterial; band gap; frequency-selective surface.

References

1. Caloz Ch., Itoh T. Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications (the engineering approach). New Jersey, John Wiley & Sons, 2006. 352 p.
2. Engheta N., Ziolkowsky R. W. Metamaterials – physics and engineering exploration. Danvers, John Wiley & Sons, 2006. 414 p.
3. Kim H., Seo C. Inverse class-F power amplifier using the metamaterial structure on the harmonic control circuit. Microwave and Optical Technology Letters. 2008. Vol. 50. No. 2. Pp. 2881–2884.

4. Awasthi S., Biswas A., Akhtar M. J. Compact bandstop filter using triangular metamaterial mushroom resonators. *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*. 2012. Pp. 217–219.
5. Morata M., Gil I., Fernandez-Garcia R. Parametric design of stop band pass filter based on RF metamaterials in LTCC technology. *Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings*. 2012. No. 8. Pp. 813–817.
6. Boyko S.N., Veselago V.G., Vinogradov V.G., Vinogradov Y.A. Small metamaterial-based antennas (practical options). *Antenny*. 2012. No. 12. Pp. 32–41. (In Russian).
7. Kukharenko A.S., Yelizarov A.A. Analysis of metamaterial physical features and constituted frequency-selective devices. *T-Comm*. 2015. Vol. 9. No. 5. Pp. 36–41. (In Russian).
8. Boyko S.N., Yelizarov A.A., Zakirova E. A., Kukharenko A.S. Aktualniye problemy elektronnoy priborostroeniya APEP-2014: sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsiy [The collection of reports of an international scientific-technical conference "Topical problems of electronic device creation APEP-2014"]. Saratov, 2014. Vol. 1. Pp. 218–225. (In Russian).
9. Conrod J. Methods for characterizing the dielectric constant of microwave PCB laminates. *Microwave Journal*. 2011. Vol. 54. No. 5. Pp. 132–144.
10. Resso M., Begley S. Maximizing Data Rates of PCB Structures by Understanding Dielectric Properties. URL: www.home.agilent.com.
11. Sievenpiper D., Zhang L., Broas R.J., Alexopolous N.G., Yablonovitch E. High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band. *IEEE Trans. MTT*. 1999. Vol. 47. No. 11. Pp. 2059–2074.
12. Lee J., Yoo M., Lim S. A study of ultra-thin single layer frequency selective surface microwave absorbers with three different bandwidth using double resonance. *IEEE Trans. AP*. 2015. Vol. 63. No. 1. Pp. 221–230.
13. Chen X., Grzegorzeczyk T.M., Wu.B., Pacheco J. Jr., Kong J. A. Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials. *Physical review*. July 2004. E 70, 016608.
14. Numman A.B., Sharawi M.S. Extraction of material parameters for metamaterials using a full-wave simulator. *IEEE AP Magazine*. 2013. Vol. 55. No. 5. Pp. 202–211.
15. Smith D.R., Schultz S., Markos P., Soukoulis C.M. Determination of effective permittivity and permeability of metamaterials from reflection and transmission coefficients. *Physical review*. 2002. B 65, 195104.
16. Smith D.R., Vier D.C., Koschny Th., Soukoulis C.M. Electromagnetic parameter retrieval from inhomogeneous metamaterials. *Physical review*. 2005. E 71, 036617.
17. Narayanan P. M. Microstrip transmission line method for broadband permittivity measurement of dielectric substrates. *IEEE Trans. AP*. 2014. Vol. 62. No. 11. Pp. 2784–2790.
18. Mulenga C.B., Flint J.A., Vaja R., Chauraya A. Measurement techniques for polar electromagnetic band gap structures using an air spaced microstrip line. *Laughborough antenna and propagation conference*. 2008. Pp. 341–344.
19. Nefedov E.I. *Ustroystva SVCH i anteny [UHF Devices and antennas]*. Moscow, Academia, 2009. 384 p. (In Russian)
20. Lee J., Yoo S., Lim S. A study of ultra-thin single layer frequency selective surface microwave absorber with three different bandwidths using double resonance. *IEEE Trans. AP*. 2014. Vol. 62. No. 11. Pp. 2784–2790.
21. Mias C., Tsakonos C., Oswald C. An investigation into the feasibility of designing frequency selective windows employing periodic structures. Nottingham, The Nottingham trent university, 2010. 167 p.
22. Mazierska J., Krupka J., Jacob M.V., Ledenyov D. Complex permittivity measurement at variable temperatures of low loss dielectric substrates employing split post and single post dielectric resonators. *IEEE MTT-S Digest*. 2004. No. 4. Pp. 1825–1828.
23. Heebel M. *Osnovy vektornogo analiza tsepey [Vector network analysis basics]*. Moscow, MEY Publ., 2009. 500 p. (In Russian).
24. MI 3411-2013. *Analizatory tsepey vektorniye. Metodika opredelenia metrologicheskikh haracteristic [Vector network analyzers. Metrology characteristic determination methodology]*. Novosibirsk, FGUP "SNIIM" Publ. 2013. 54 p. (In Russian).
25. Kukharenko A.S. *Molodiozh i boodushee aviatsiy i kosmonavtiy: sbornik dokladov [The collection of reports of the conference "Youth and future of aviation and kosmonauts"]*. Moscow, MAI. 2014. Pp. 296–298. (In Russian).
26. Yelizarov A.A., Kukharenko A.S. *SVCH-tehnika i telekommunikatsionniye tehnologii: sbornik dokladov mezhdunarodnoy Krymskoy konferentsiy [The collection of reports of international Crimea conference "UHF Technique and telecommunication technologies"]*. Sevastopol, 2015. Vol. 1. pp. 586–587. (In Russian).
27. Yelizarov A.A., Kukharenko A.S. *Problemy SVCH-electroniki MIEM NIU VSU – Innovatsionniye reshenia Keysight Technologies: sbornik dokladov II vserossiyskoy obyedinennoy nauchnoy konferentsiy [The collection of reports of the II Russia joint conference "UHF electronics problems MIEM NIU VSU - Innovative decisions of Keysight technologies"]*. Moscow, Media Publisher, 2015. Pp. 45–48. (In Russian).

Information about author:

Kukharenko A.S., Ph.D., Head Researcher Branch of united rocket and space corporation – Institute of space device engineering.

For citation:

Kukharenko A.S. A methodology of metamaterial effective permittivity and permeability value measurement. *H&ES Research*. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 78–87.

PROBLEMS AND MODELS OF MEASUREMENT THE CHARACTERISTICS OF ROBOTICS SYSTEM USE FOR EMERGENCY RECOVERY AT A MISSILE DEPLOYMENT AREA OF A SPACE-VEHICLE LAUNCHING UNIT

Minakov

Evgeniy Petrovich,

*Ph.D., professor, professor at the
Department of Controlling of Space
Organizational and Technical Systems,
Military Space Academy
St. Petersburg, Russia,
Ep.minakov12345@mail.ru*

Tarasov

Anatoly Gennadevich,

*Ph.D., doctoral student, Military space
Academy named after A.F. Mozhaisky
St. Petersburg, Russia,
Atol-77@mail.ru*

Keywords: *space-time data;
manipulating subsystem action area;
probability of hazards liquidation;
coverage coefficient.*

ABSTRACT

The work presents a model for measurement of spatial-time data of robotics systems and robotics complexes use for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit in the process of outer space mis-sile preparation and launch. This model differs from any other known model and makes it possible to use pattern spatial data of emergencies for assignment of application method and estimation of required amount of robotics systems as well as a structure of robotics complexes for emergency recovery. The analysis of the main tendencies of robotics systems and robotics complexes development demonstrates that their use in emergency situations is the mainstream. Particularly, it refers to emergency recovery and large-scale accidents management at missile deployment areas of a space-vehicle launching unit. In addition to the above, it is necessary to state that now any specialized robotics systems for emergency recovery and emergency management (for different types of emergencies and its consequences) are practically non-existent (except for ground-based firefighting robotic equipment). This situation actualizes a complex solution for a problem of justification of robotics systems characteristics and requirements for their operational and physical characteristics, of adaptive synthesis of robotics complexes compositions and structures, modes of application of robotics systems as a part of these robotics complexes. This complex solution should be based on a correct task statement, analysis of main scripts of robotics systems use for emergency recovery, mathematical modelling of space-time data of these emergency situations, justification of these problem solution approach.

The statement of the problem

The mathematical statement of the problem is shaped as a direct and an inverse problem [1–6].

The direct problem is the following one: if a direction of model characteristics of i^{th} emergency situations (ES) $a_i = \langle a_i^{(1)}, a_i^{(2)}, \dots, a_i^{(ki)} \rangle$ and operational and technical characteristics of robotics systems (RS) $w_j = \langle w_j^{(1)}, a_i^{(2)}, \dots, a_j^{(kj)} \rangle$ are known it is necessary to estimate means of use and a required number of RS as well as robotics complexes (RC) structure for emergency recovery with specified probability:

$$P_{liqES}(w_j, t) \geq P_{liqES}^{req} .$$

As elements of a direction of model ES characteristics at a missile deployment area (MDA) of space-vehicle launching units can be used the following ones:

a) spatial attitude of an epicenter which could be time-variant (line, motion path, trace of ES epicenter) and is set in a certain system of coordinates;

b) speed of epicenter displacement which could be time-variant (e.g., $V(t) = \langle V_x(t), V_y(t), V_z(t), t \rangle$);

c) spatial characteristic and dimensions which could be time-variant (e.g., the ES front surface (line) $R(t) = \langle r_l(t), r_j(t), r_k(t), t \rangle$).

The inverse problem is the following one: if a direction of model characteristics of i^{th} ES $a_i = \langle a_i^{(1)}, a_i^{(2)}, \dots, a_i^{(ki)} \rangle$ and means of RS use are known it is necessary to estimate operational

and technical characteristics of RS $w_j = \langle w_j^{(1)}, a_i^{(2)}, \dots, a_j^{(kj)} \rangle$ and a required number of RC as well as RC structure for emergency recovery with specified probability:

$$P_{liqES}(w_j, t) \geq P_{liqES}^{req} .$$

Scripts of emergency situation initiation

When ES at MDA of a space-vehicle launching unit is started, a particular type of ES script occurs. These types are different in terms of ES influence to people and environment (as presented in the table 1):

– Segregated spillage of propellant constituents (PC) or accidental release of PC;

– Fire as a consequence of combined spillage of propellant constituents (PC);

– Explosion of elements at start, in flight of space-vehicle (SV), and in the process of hard landing of faulted vehicle.

For necessary actions in the sphere of emergency recovery, it is necessary to develop models, that make possible a-priori estimation of spatial areas of hazards expansion, that could cripple people and environment.

Mathematical models for measurement of space-time data of emergency situations

If ES occurs at a launching stand, a fire circle will not be wider than 300 meters from launching device. If CV has made a hard landing and propellant container has de-

Table 1

Scripts of emergency situation caused by SV crashing

Script number	Script type	Possible consequences of ES
1	Explosion of SV and fire on it at a missile site (MS)	1.1. Damage of fire- and explosion hazardous objects of a space launcher complex
		1.2. Chemical contamination of the Earth surface, surface layer of the atmosphere, and ground water
		1.3. Injury of crewmembers preparing a SV at a MS
2	Hard landing of SV at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit	2.1. Technogenic fire at the area of SV hard landing
		2.2. Chemical contamination of the area of SV hard landing
		2.3. Damage of industrial and accomodation units at the area of a SV hard landing
		2.4. People injury
3	Faulted PC spillage	3.1. Technogenic fire at the area of PC spillage
		3.2. Chemical contamination of the Earth surface, surface layer of the atmosphere, and ground water
4	Fire at fuel filling station units	4.1. Damage of fire- and explosion hazardous objects of a space launcher complex
		4.2. Chemical contamination of the Earth surface, surface layer of the atmosphere, and ground water
		4.3. Injury of crewmembers preparing a SV at a MS

pressurized, a cloud of PC originates. Weight of this cloud is calculated using the following formula [7, 8]:

$$M_{cl} = M_g + M_a + M_b, \quad (1)$$

where M_{cl} means weight of PC in an initial cloud;

M_g means weight of PC which transforms into an initial cloud as a gas at the moment of super quick boiling of PC;

M_a means weight of PC which transforms into an initial cloud as an aerosol;

M_b means weight of PC which transforms into an initial cloud as a gas in the process of spillage boiling.

The surface area of spillage S_{spil} at an open terrain in case of free spreading is calculated using the following formula:

$$S_{spil} = \frac{\pi \left(\sqrt[3]{25,5 \frac{M_{PC} - M_g - M_a}{\rho_{PC}}} \right)^2}{4} \quad (2)$$

where M_{PC} means weight of PC within a SV by the time of accident;

ρ_{PC} means PC density.

Radius of initial cloud of PC R_{cl} at the moment of detonation of CV fuel containers is calculated using the following formula [7]:

$$R_{cl} = \sqrt[3]{(3M_{cl} / 4\pi\rho_{bl})} \quad (3)$$

where ρ_{bl} means PC density in an initial cloud at the start time.

Radius of secondary cloud of PC R_{cl2} , that is generated as a result of vaporization of PC from the spillage, is calculated using the following formula [7]:

$$R_{cl2} = 0,56\sqrt{S_{spil}} \quad (4)$$

Case 1. Building a model of an ES area, that is possible in the preparation and launch of space-vehicle "Soyuz-2".

If emergency situation occurs in the process of preparation and launch of SV, the results of influence to people and environment depend on the amount of fuel which remains in a fuel container of SV, and therefore on its flying time. Accordingly with statistics and technical data, the most dramatic consequences (explosion, hard landing, fire) are possible for the period of the first 25-40 seconds of

flight, i. e. within a radius of 30 km from launch complex. When this crucial flight period is over, the altitude becomes high enough and fuel remains become insignificant.

On a base of power plant characteristics, it is possible to calculate a PC consumption rate. Taking it as permanent, it is possible to calculate weight of PC M_{pc} in the process of SV flight for different periods of ES initiation. Data for PC weight for the most crucial flight period (0÷40 sec) are presented in the table 2.

If ES does not include PC fire, then oxygen, which is used as an oxidizing material (O), quickly vapors out making a "white cloud". Kerosine, which is used as a fuel (F), will partly transform into a gaseous and aerosol state as a result of detonation and make an initial cloud; the rest of it will make a contamination plume on the Earth surface. For the case investigated, we used data that are presented in the table 3.

More common ES includes PC fire, and it is more complicated modelling task. It is necessary to make a model of PC spillage with consequent fire and formation a cloud, which includes toxic combustion gases. In this case, it is necessary to estimate a blasting effect and dynamics of deleterious substances expansion.

To calculate a radius of blasting effect, that has been formed as a result of fuel-air mixture (FAM) explosion, it is possible to use an approximation equation [7]

$$R = K\sqrt[3]{W} / \sqrt{6\left(1 + \left(\frac{3180}{W}\right)^2\right)}, \quad (5)$$

where K coefficient should be found in reference data, W stays for explosive yield, that is calculated as

$$W = \frac{0,4M_g q_g}{4,05 \cdot 10^6} = \frac{0,4(M_{cl} - M_a - M_b)q_g}{4,05 \cdot 10^6} \quad (6)$$

where M_g means FAM weight;

q_g means gas efficiency, that should be found in reference data or calculated using the following equation [7]:

$$q_g = 44\beta, \quad (7)$$

where β means reference value of an adjustment factor for the most widespread explosive materials.

For the case of ES at the first stage of SV "Soyuz-2" flight the following data values were calculated: radius of blasting effect for an area of total building fracture R_1 ($K=3,8$), for an area of heavy damage R_2 ($K=5,6$), and for

Table 2

PC weight characteristics for the first period of SV flight

Flight duration, sec	PC weight in lateral blocks, kg	PC weight in a central block, kg	PC weight in the 3 rd submissile, kg	Total PC weight, kg	O weight, kg	F weight, kg
0	39162	90160	23204	270012	191941	78071
10	35911	87228	23204	254076	180612	73463
20	32660	84296	23204	238140	169284	68856
30	29409	81364	23204	222203	157956	64248
40	26158	78432	23204	206267	146627	59640

Table 3

Spatial characteristics in emergency situation without PC fire at the first stage of SV flight

Flight duration, sec	Fuel weight, kg M	M_f , kg	$M-M_f$, kg	M_a , kg	M_b , kg	M_{cl} , kg	R_{cl} , m	S_{spil} , m ²	R_{cl2} , m
0	78071	30606	47465	30606	16860	61211	6	52	4
10	73463	28799	44664	28799	15865	57599	6	50	4
20	68856	26993	41863	26993	14870	53986	5	48	4
30	64248	25187	39061	25187	13875	50373	5	46	4
40	59640	23380	36260	23380	12879	46761	5	43	4

Table 4

Target values for radii of blasting effect in a case of ES initiation at the first stage of SV flight for different damage areas

Flight duration, sec	M_g , kg	W , MJ	R_1 , m	R_2 , m	R_3 , m
0	253152,29	129979,95	192,47	283,64	486,24
10	238211,17	122308,50	188,61	277,94	476,48
20	223270,06	114637,05	184,57	272,00	466,29
30	208328,94	106965,60	180,36	265,79	455,64
40	193387,83	99294,15	175,93	259,27	444,47

an area of medium damage R_3 ($K=9,6$); the data are presented in the table 4.

Models of measurement of characteristics of robotics systems use for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit

As a result of modelling the processes of SV preparation and launch some values were calculated. These values are the following ones: a-priori values of an initial cloud radius R_{cl} at the moment of detonation of a CV fuel containers, of a secondary cloud radius R_{cl2} that originates in the process of PC vaporization from a spillage, of blasting effect radii for an area of total building fracture R_1 , for an area of heavy damage R_2 , and for an area of medium damage R_3 , that will be labeled as ES radius R_{ES} . Such an approach assumes that ES area has a regular shape, i. e., round shape in the plane and sphere shape in the dimensional space; surface area and cubic content of these shapes should be calculated on the base of R_{ES} .

However, an ES area in the process of expansion usually makes a non-regular shape (fig. 1), and it has sense to approximate it by using geometric figures that are determined by operational characteristics of RS for emergency recovery.

Operational characteristics of RS (RC) are considered as designed capacities of RS (RC) related to its ability to perform certain operations (control over environment, horizontal and vertical mobility, ability to use for manipulations water or foam, etc.).

A parameter of operational characteristics of RS (RC) is considered as a quantitative or qualitative value of RS (RC) capacity to perform designed operations (resolution

ability of control facilities, range (radius) of sensor unit action, propelling plant movement speed, radius of manipulator unit action, etc.).

An effect of RS (RC) effect on ES is considered as a result of such an influence of operational characteristics of RS (RC) upon an ES characteristic that minimize its level or eliminates it.

An assumption: if an operational characteristic of RS (RC) accords with an ES characteristic, it necessarily makes an effect on this characteristic.

It is suggested in the paper to apply a geometric approach to the measurement of characteristics of RC for

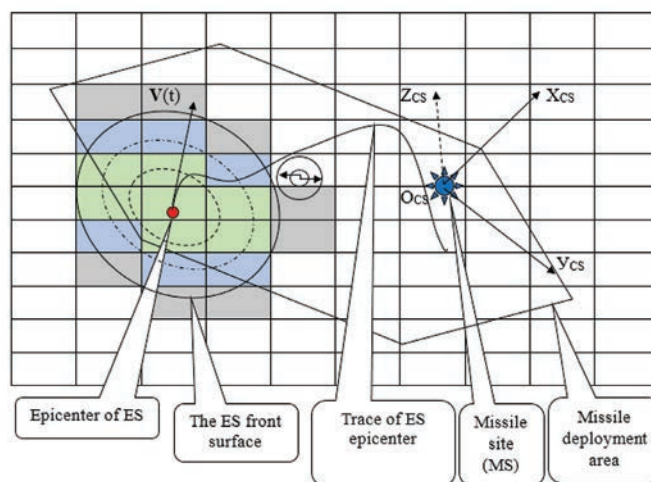


Fig. 1. Presentation of space-time data of ES with geo reference to a missile deployment area (MDA) of a space-vehicle launching unit

emergency recovery. The core of the approach is the following. An ES area, which represents a non-regular geometric shape, should be approximated by geometric shapes with parameters which are determined by RS characteristics, i.e. action area of manipulating subsystem (fig. 2). It also makes necessary to produce a complete cover of an ES area and the minimum difference between an approximating area and an ES area – $S_A - S_{ES} \rightarrow \min$.

The probability value of ES liquidation should be calculated as a product of probability of hazardous factors liquidation by RC in an action area of manipulating subsystem (AAMS) and an ES surface obscuration ratio:

$$P_{liqES} = K_V P_{RC} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{RSj}^{AAMS}}{V_{ES}} P_{RC} \quad (8)$$

where K_V means ES surface obscuration ratio of AAMS of RC;

V_{RSj} means AAMS of j^{th} RC;

V_{ES} means an ES area;

P_{RC} means probability of hazardous factors liquidation by RC.

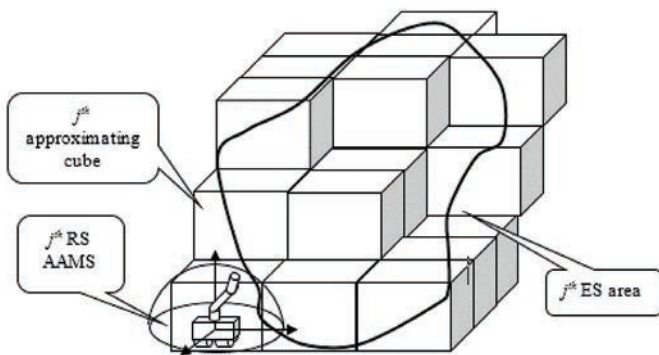


Fig. 2. Approximation of an emergency situation area by “cubes” or “parallelepipeds”

It should be fixed for precise calculation of emergency recovery that overlapping action areas of neighbor RS manipulating subsystem are formed as a result of complete cover of an ES area. Probability of hazardous factors liquidation by RC for non-overlapping areas is calculated as a product of probabilities of hazardous factors liquidation by RC involved:

$$P_{RC} = \prod_{j=1}^n P_{RSj} \cdot \quad (9)$$

Probability of overlapping areas of hazardous factors liquidation by RC for overlapping areas of j^{th} RS and k^{th} RS is calculated as

$$P_{RC} = 1 - (1 - P_{RSj})(1 - P_{RSk}). \quad (10)$$

Then probability of emergency recovery will be calculated using the following formula:

$$P_{RC} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{RSj}^{\Delta AAMS} \prod_{j=1}^n P_{RSj} + \sum_{j=1}^k V_{RSj}^{\Delta AAMS} (1 - (1 - P_{RSj})^k)}{V_{ES}} \quad (11)$$

where V_{RSj} means non-overlapping AAMS of RS;

V_{RSj} means overlapping AAMS of RS;

P_{RS} means probability of hazardous factors liquidation by RS.

Let us determine means of use and required number of existing robotics systems (table 5).

It should be taken into account for determination of means of RS use, that AAMS of RS forms a semi sphere with radius R_{WDR} , equivalent to of special water dispenser range. To produce a complete cover of an ES area it is necessary to calculate maximum width of RS action L with provision for distance to hazardous factor focus R_d (fig. 3) and angle of rotation α that should be used for rotation of manipulating subsystem (MS) for providing the maximum width of RS action.

Width of approximating rectangle will be calculated using the following equation:

$$L = 2\sqrt{R_{WDR}^2 - R_d^2}. \quad (12)$$

Length of approximating rectangle will be calculated using the following equation:

$$B = R_{WDR} - R_d. \quad (13)$$

Angle of MS rotation will be calculated using the following equation

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R_d}{R_{WDR}}\right). \quad (14)$$

Target values of approximating rectangles dimensions for analyzed RS with fire defense that gives an opportunity to operate at the distance of 10–15 meters from fire focus are presented in the table 6.

For calculation of a minimum required number of RS as a part of RC N_{RS} it is necessary to calculate a minimum excessive number of “layers” which are parallel to the main subspace $O_{cs} X_{cs} Y_{cs}$ (horizontal layers) that is determined by the equation

$$M_z = E \left[\frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{A} \right] + 1, \quad (15)$$

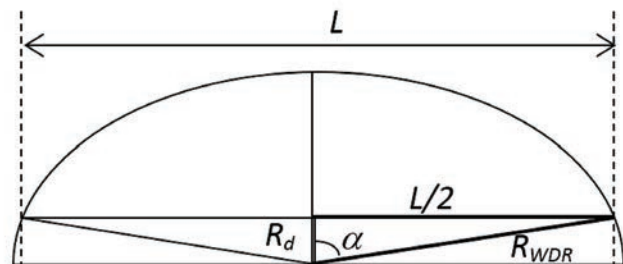


Fig. 3. Calculation of approximating figure which is adaptive for RS characteristics

Table 5

Operational and physical characteristics of firefighting RS

Characteristics	Yel'-10	Kedr	Luf-60	Uran-14
Gross tare weight, t	22	16	2,12	14
Dry weight, t	16,4		1,9	
Range of special water dispenser (water), m	90	60	60	50
Range of special water dispenser (foam), m	70			35
Rate of water injection pump, l/min	4000	4000		2000
Rate of special water dispenser, l/min	3600		400	
Movement speed, km/h	5	15	5	12
Remote control via radiochannel at an open terrain, m	1000	2000		

where Z_{max}, Z_{min} mean maximum and minimum coordinate positions of an ES area along the axis Z_{cs} ;

A means action altitude of RS MS.

A number of series for total influence zones of RC MS along the axis Y_{cs} for every i^{th} layer is calculated using the following formula:

$$M_{zyi} = E \left[\frac{Y_{zi\ max} - Y_{zi\ min}}{L} \right] + 1, \quad (16)$$

where Y_{max}, Y_{min} mean maximum and minimum coordinate positions of an ES area along the axis Y_{cs} .

A number of series for total influence zones of RC MS along the axis X_{cs} is calculated using the following formula:

$$M_{zyxj} = E \left[\frac{X_{zyj\ max} - X_{zyj\ min}}{B} \right] + 1, \quad (17)$$

where $X_{zy\ max}, X_{zy\ min}$ mean maximum and minimum coordinate positions of an ES area for zy series.

Total number of RS, which produce total influence zones of RC MS, can be calculated using the following formula:

$$N_{RS} = \sum_{i=1}^{M_z} \sum_{j=1}^{M_{zyi}} M_{zyxj}; \quad (18)$$

Case 2. It is necessary to calculate the minimum required number of RS as a part of RC for an ES area that shaped as a round with radius $R_{ES} = 300$ m that is corresponding to ES of SV explosion at start position. In order to manage the emergency situation we will use firefighting RS, which are presented in the table 5.

Calculating the minimum required number of RS we will assume that the minimum excessive number of "layers" which are parallel to the main subspace $O_{cs} X_{cs} Y_{cs}$ (horizontal layers) is equivalent to $M_z = 1$.

Target values, which are calculated on the base of RS characteristics (table 6) и formulas (16) – (18), are presented in the table 7.

This number of RS is necessary when every RS will cover only one approximating rectangle. Whereby the maximum value of the coefficient of an ES area complete cover will be equivalent to $K_v = 1$. However, from the practical point of view it is impossible to arrange simultaneous exposure for the whole ES area because we can reach the ES epicenter only after hazardous factors liquidation at the edge of ES zone. Therefore, RS should produce a zone of impact that has width L in the limits from $X_{zy\ min}$ to $X_{zy\ max}$. This RS application approach means that a minimum required number of RS will be equal to M_{zyi} (table 7), and the coefficient of

Table 6

Target values of approximating rectangles for fire fighting RS

RS type	R_{WDR}, m	R_d, m	L, m	B, v	$\alpha, grad$
Yel'-10	90	15	177,5	75,00	80,44671
Kedr	60	15	116,2	45,00	75,56079
Luf-60	60	15	116,2	45,00	75,56079
Uran-14	50	15	95,4	35,00	72,57919

Table 7

Target values of a minimum excessive number of firefighting rs

RS type	L, m	B, m	R_{ES}, m	$Y_{zimax} - Y_{zimin}$	M_{zyi}	$X_{zyjmax} - X_{zyjmin}$	M_{zyxj}	N_{RS}
Yel'-10	177,5	75,00	300	600	4	600	9	36
Kedr	116,2	45,00	300	600	6	600	14	84
Luf-60	116,2	45,00	300	600	6	600	14	84
Uran-14	95,4	35,00	300	600	7	600	18	126

an ES area complete cover will depend on parameters of hazardous factors expansion (wind speed, deleterious substances concentration, etc.). In this case, we should find a solution for an inverse problem, i. e. making requirements for operational characteristics of RS that should provide with continuous action for ES characteristics on the interval $|X_{zy\max} - X_{zy\min}|$ for the required time period.

Some difficulties could occur in the process of an inverse problem solution (making requirements for characteristics of RS for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit). These difficulties are the following:

1) Some requirements for RS characteristics can be formulated theoretically but cannot be fulfilled practically;

2) Practical estimation of ES characteristics is not always possible because of the following fact: some changes in the situation cannot be correctly defined and estimated because of their stochasticity, unpredictability and novelty.

To solve these problems it is necessary to develop adaptive RC, which are designed for liquidation of a-priori determined characteristics of ES and can reconfigure for liquidation of unforeseen characteristics of ES.

Conclusions

The results of mathematical modeling of space-time ES areas, which could occur in the process of preparation and launch of space-vehicle, are presented in the paper. Considerable amount of chemically active and fire-hazardous substances, which are used in the process of preparation and launch of SV, can produce large-scaled (in terms of its spatial characteristics) accidents. Suggested approach to RS use for emergency recovery can increase their self-regulation; use of the required number of RS will provide with in-time emergency recovery. Efficiency of RS use can be increased by means of its operation modeling and not by means of simple change of functional equipment as it happens now (firefighting RS are designed on the base of military equipment). For the reason of complexity of precise a-priori determination of ES characteristics it is suggested to develop RS samples that are suitable for algorithmic and structural reconfiguration for liquidation of unforeseen characteristics of ES.

References

1. Tarasov A.G. Prospects of creation of robotic tools and systems training and startup space rockets. H&ES Re-

search. 2014. Vol.6. No. 6. Pp. 72-75. (In Russian).

2. Tarasov A G. Sistemnyj podhod k sovershenstvovaniyu funkcionirovanija avtomatizirovannoj sistemy podgotovki i puska raket kosmicheskogo naznachenija [A systematic approach to the functioning of automated system preparation and launch of space rocket]. Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo. 2014. No. 645. Pp. 204–209. (In Russian).

3. Minakov E.P., Tarasov A.G. Robotic systems of automated control systems preparation and launching of a space rocket and indicators of efficiency of their application. Industrial automation and controllers. 2015. no. 6. pp. 19-24. (In Russian).

4. Minakov E.P., Tarasov A.G., Borovskoi E.P. The development of the structure of automated control system for preparation and launch of space rockets to automate processes of removing emergency situations. H&ES Research.2015.Vol.7.No.6.Pp.16-21.(In Russian).

5. Tarasov A.G., Doroghko I.V. Logically-parametric approach to survivability simulation of automated systems preparation and launching of space rockets in case of emergency. H&ES Research. 2015. Vol.7. No. 3. Pp. 38-44. (In Russian).

6. Tarasov A.G., Samsonov F.A., Tsvetkov A.Y. Struktura avtomatizirovannoj sistemy podgotovki i puska raket kosmicheskogo naznachenija s primeneniem robototekhnicheskikh sredstv [The structure of the automated system preparation and launch of space rocket with the use of robotic tools]. Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo. 2015. No. 646. Pp. 180–185. (In Russian).

7. Shatov S.V. Raschet porazhajushhih faktorov i ih verojatnyh zon dejstvija pri vybrose zhidkoj fazy nesimmetrichnogo dimetilgidrazina [Calculation of amazing factors and their probable operative ranges at emission of the liquid phase asymmetrical dimethylhydrazine]. Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo. 2015. No. 648. Pp. 187–191. (In Russian).

8. Popov A.P., Fedoruk V.S., Barinov M.F., Myasnikov D.V. Osnovy modelirovanija i ocenki jeffektivnosti dejstvija sil RSChS pri vedenii avarijno-spasatel'nyh i drugih neotlozhnyh rabot [Fundamentals of modeling and evaluating the effectiveness of emergency prevention and response forces in the conduct of rescue and other emergency operations]. Khimki: AHP of EMERCOM of Russia, 2014. 61 p. (In Russian).

For citation:

Minakov E.P., Tarasov A.G. Problems and models of measurement the characteristics of robotics system use for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 88–95.

ЗАДАЧИ И МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЛИКВИДАЦИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПОЗИЦИОННОМ РАЙОНЕ ЧАСТИ ЗАПУСКА

Минаков Евгений Петрович,
г.Санкт-Петербург, Россия, ep.minakov12345@mail.ru

Тарасов Анатолий Геннадьевич,
г.Санкт-Петербург, Россия, Atol-77@mail.ru

Аннотация

Предлагается модель определения пространственно-временных характеристик применения робототехнических систем и комплексов ликвидации экстремальных ситуаций в позиционном районе части запуска в процессе подготовки и пуска ракет космического назначения, которая, в отличие от известных, позволяет на основе модельных пространственных характеристик экстремальных ситуаций определить способ применения и необходимое количество робототехнических систем, а также структуру робототехнического комплекса ликвидации экстремальных ситуаций. Анализ основных тенденций развития робототехнических систем и комплексов показывает, что магистральным направлением является использование их в различных экстремальных ситуациях, что, в частности, относится к проведению аварийно-спасательных работ и ликвидации последствий аварий и катастроф в позиционных районах частей запуска космических аппаратов. При

этом следует констатировать, что в настоящее время практически (за исключением наземных робототехнических средств тушения пожаров) отсутствуют специализированные робототехнические системы, предназначенные для ликвидации экстремальных ситуаций и их последствий различных типов, что делает актуальным комплексное решение задачи обоснования их облика и требований к их тактико-техническим характеристикам, адаптивного синтеза составов и структур робототехнических комплексов, способов применения робототехнических систем в составе этих комплексов, которое базируется на корректной ее постановке, анализе основных сценариев применения робототехнических систем при ликвидации экстремальных ситуаций, математическом моделировании пространственно-временных характеристик этих ситуаций, обосновании подходов к решению указанных задач.

Ключевые слова: пространственно-временные характеристики; область действия манипуляционной подсистемы; вероятность ликвидации опасных факторов; коэффициент покрытия.

Информация об авторах:

Минаков Е.П., д.т.н., профессор, профессор кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского.

Тарасов А.Г., к.т.н., докторант кафедры автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского.

Для цитирования:

Минаков Е.П., Тарасов А.Г. Задачи и модели формирования характеристик применения робототехнических комплексов ликвидации экстремальных ситуаций, возникающих в позиционном районе части запуска. Научные исследования Земли. 2016. Т. 8. № 3. С. 88–95.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Предоставляемая для публикации статья должна быть актуальной, обладать новизной, отражать постановку задачи, содержать описание основных результатов исследования, выводы, а также соответствовать указанным ниже правилам оформления. Текст должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала.

1. Статья подготавливается в редакторе MS Word.
2. Формульные выражения выполняются в редакторе Math Type. Также в отдельной папке должны содержаться экспортированные изображения формул в формате TIFF (качество изображений не менее 300 dpi). Названия файлов должны соответствовать номерам формул в статье (Например: Формула 1.tif).
3. Объем статьи без аннотации – от 10 до 20 тыс. знаков. Рисунки и таблицы в объеме статьи не учитываются.
4. Объем аннотации 250-300 слов. Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), без сокращений, структурированной, отражать основное содержание статьи: предмет, цель, методологию проведения исследований, результаты исследований, область их применения, выводы. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Предложения должны начинаться словами: показано, получено, исследовано, предсказано и т.д. и т.п.
5. Ключевые слова (не менее пяти), разделенных точкой с запятой.
6. Фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и полное название организации - места работы, город, страна, адрес электронной почты и почтовый адрес каждого автора полностью.
7. Список литературы не менее пяти наименований, для статей - с указанием страниц, для книг - с указанием общего числа страниц в книге, для интернет-сайта - с указанием даты обращения. Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты и другую нормативную и непериодическую документацию, эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или в виде постраничных ссылок (если автор

непрерывно хочет указать нормативный документ или сослаться на свою диссертацию). Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.05-2008. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала.

8. Формулы нумеруются в круглых скобках, источники – в прямых. Нумерация формул и приведение в списке источников, на которые нет ссылок по тексту, не допускается.

9. На английском языке предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы. В конце размещается полная информация об авторах (возможно размещение кратких автобиографий): фамилия, инициалы, должность, ученая степень, ученое звание, место работы (организация) и другие данные с надписью (Information about authors).

Все названия издательств и журналов должны быть транслитерированы, а не переведены. Названия организаций в списках литературы (Труды Академии...) должны быть четко выверены с данными организации и иметь официальное английское наименование, которое указано на их сайте или также транслитерированы. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала.

10. Статья предоставляется в электронном виде, единым файлом, имеющим следующую структуру: заглавие статьи, сведения об авторах, ключевые слова, аннотация, текст статьи (включая иллюстрации, таблицы и формулы), приставительный список литературы, англоязычный блок. Также представляется отдельная папка с экспортированными изображениями рисунков и формул в формате TIFF, по требованиям указанным в п.2. Тексты в рисунках должны быть читаемы.

11. К статье прилагается экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати и две рецензии кандидатов или докторов наук по профилю планируемой публикации материалов (сканированные копии в электронном виде).

Все материалы высылаются электронной почтой в адрес журнала: HT-ESResearch@yandex.ru

Редакция принимает к публикации статьи на английском языке.

Внимание! Редакция оставляет за собой право отклонить представленные материалы, оформленные не по указанным правилам.

MANUSCRIPT REQUIREMENTS

Format

1. All files should be submitted as a Word document.
2. Articles should be between 15000 and 20000 characters (incl. spaces).
3. Article Title to be submitted in native language and English. A title of not more than eight words should be provided.

Author Details (in English and native language)

Details should be supplied on the Article Title Page including:

- * Full name of each author
- * Position, rank, academic degree
- * Affiliation of each author, at the time the research was completed
- * Full postal address of the affiliation
- * E-mail address of each author
- * Structured Abstract (in English and native language)
- * Abstract should be: informative (no general words), original, relevant (reflects your papers key content and research findings); structured (follows the logics of results presentation in the paper), concise (between 250 and 300 words).
- * Purpose (mandatory)
- * Design/methodology/approach (mandatory)
- * Findings (mandatory)
- * Research limitations/implications (if applicable)
- * Practical implications (if applicable)
- * Social implications (if applicable)
- * Originality/value (mandatory)

It is appropriate to describe the research methods/methodology if they are original or of interest for this particular research. For papers concerned with experimental work describe your data sources and

data procession technique. Describe your results as precisely and informatively as possible. Include your key theoretical and experimental results, factual information, revealed interconnections and patterns. Give special priority in your abstract to new results and long-term impact data, important discoveries and verified findings that contradict previous theories as well as data that you think have practical value.

Conclusions could be associated with recommendations, estimates, suggestions, hypotheses described in the paper.

Information contained in the title should not be duplicated in the abstract. Try to avoid unnecessary introductory phrases (e.g. the author of the paper considers).

Use the language typical of research and technical documents to compile your abstract and avoid complex grammatical constructions. The text of the abstract should include key words of the paper.

Keywords (in English and native language)

Please provide up to 5 keywords on the Article Title Page, which encapsulate the principal topics of the paper.

Figures

All figures should be of high quality, legible and numbered consecutively with arabic numerals. All figures (charts, diagrams, line drawings, web pages/screenshots, and photographic images) should be submitted in electronic form preferably in color as separate files, that match the following parameters: TIFF format (quality of figures not less than 300 dpi).

References

References to other publications must be in Harvard style and carefully checked for completeness, accuracy and consistency.