



Том VIII. № 5-2016

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 Паблшер»

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
Паблшер». 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 Паблшер» 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

Отдел развития и рекламы: Ольга Дорошкевич, ovd@media-publisher.ru, тел.: 8(916) 951-55-36.

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

GONCHAREVSKIY 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

Development and advertizing department: Olga Doroshkevich, ovd@media-publisher.ru, tel.: 8(916) 951-55-36.

H&ES RESEARCH

Vol. VIII. No. 5-2016

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

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. Объём 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 сносок (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), пристатейный 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.

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Арутюнян Р.В.** 6
Новый подход к редукции многомерных линейных краевых задач
к эквивалентным граничным интегральным уравнениям.
Часть 2

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- Телеш В.А., Левадный Ю.В.** 14
Программный комплекс анализа и моделирования
радиолокационных изображений объектов местности

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- Лазарев Д.В.** 20
Технологии системного проектирования и сопровождения
корабельного радиоэлектронного вооружения надводных кораблей
в отношении эффектов электромагнитной обстановки
- Манонина И.В.** 28
Определение оптимальных параметров для вейвлет-обработки рефлектограмм

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Андреев А.М., Федоренко М.Ю.** 39
Алгоритм идентификации информативных телеметрируемых параметров
на основе вейвлет-анализа
- Галкин А.С., Архипов П.А., Маркин Д.О.** 44
Организация анонимного доступа к удаленным ресурсам
на основе технологии веб-прокси
- Елизаров А.А., Назаров И.В., Кухаренко А.С.** 50
Исследование прямоугольного волновода с магнитной стенкой
из грибовидного метаматериала
- Козинов И.А.** 57
Автоматизированная обработка и анализ
больших потоков гиперспектральной аэрокосмической информации
- Королев А.С.** 63
Обеспечение информационно-технического сопряжения
автоматизированных систем на программном уровне
с помощью модульных транспортных шлюзов
- Легков К.Е., Буренин А.Н.** 70
Автоматизация процедур управления информационными подсистемами
инфокоммуникационных систем специального назначения
в условиях интенсивных воздействий
- Соловьев С.В., Мамута В.В.** 78
Применение аппарата нейросетевых технологий для определения актуальных
угроз безопасности информации информационных систем
- Степанов М.Ф., Степанов А.М.,
Михайлова Л.С., Пименова О.Н.** 83
Интеллектуализация автоматизированных и автоматических систем управления
и методология автоматизации их построения и исследования

CONTENTS

	MATHEMATICS
6	Arutyunyan R.V. A new approach to the reduction of multidimensional linear boundary value problems for an equivalent boundary integral equations. Part 2
	INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS
14	Telesh V.A., Levadny Yu.V. Program complex of the analysis and simulation of radar images of objects of terrain
	RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION
20	Lazarev D.V. Technology of system design and maintenance of ship radioelectronic equipment in relation of electromagnetic environment effects
28	Manonina I.V. Determination of the optimal parameters for wavelet-processing reflectograms
	INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL
39	Andreev A.M., Fedorenko M.Y. Algorithm informative telemetered parameters identification technique based on wavelet analysis
44	Galkin A.S., Arhipov P.A., Markin D.O. Anonymous access to remote resources based on web proxy technology
50	Yelizarov A.A., Nazarov I.V., Kukhareenko A.S. Rectangular waveguide with a magnetic wall of the mushroom-shaped metamaterial investigation
57	Kozinov I.A. The automated processing and the analysis of large flows of the hyperspectral aerospace information
63	Korolev A.S. Providing information and technical interface of automated systems at software level using the modular media gateways
70	Legkov K.E., Burenin A.N. Automation of control procedures of special purpose infocommunication networks in the conditions of intensive influences
78	Solovyov S.V., Mamuta V.V. Using neural network technologies apparatus for determination of the actual information security threats for information systems
83	Stepanov M.F., Stepanov A.M., Mikhailova L.S., Pimenova O.N. Intellectualization of the automated and automatic control systems and methodology of automation of their construction and research

НОВЫЙ ПОДХОД К РЕДУКЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ К ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ГРАНИЧНЫМ ИНТЕГРАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМ

ЧАСТЬ 2

Арутюнян

Роберт Владимирович,

доцент кафедры

математического анализа

Московского технического университета

связи и информатики,

г. Москва, Россия,

Rob57@mail.ru

Ключевые слова:

дифференциальные уравнения в частных производных; система; краевая задача; редукция; граничные интегральные уравнения.

АННОТАЦИЯ

Описан новый метод редукции многомерных линейных краевых задач для систем дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка к эквивалентным граничным интегральным уравнениям. Метод эффективен для систем большой размерности и позволяет эффективно автоматизировать редукцию при помощи систем аналитических вычислений на ЭВМ. Данный метод в принципе может применяться для решения уравнений Максвелла и других подобных систем и в том в случае, когда коэффициенты материальных уравнений зависят от пространственных координат и времени.

Формулы метода обобщают соотношения Гюйгенса для уравнений Максвелла, Сомилиана для задач теории упругости и другие аналогичные известные интегральные представления решений систем дифференциальных уравнений в частных производных.

Предложенный алгоритм состоит из следующих этапов. Нахождение на первом этапе сингулярного решения осуществляется методами стандартных интегральных преобразований, а соответствующий алгоритм легко программируется в системах компьютерной алгебры.

Некоторую проблему представляет то, что многие краевые задачи ставятся в виде систем, в которых количество неизвестных и уравнений не совпадает. По этой причине требуется осуществлять на втором этапе соответствующую процедуру перехода к системе относительно нового вектора базисных неизвестных. В зависимости от типа краевых условий исходная система редуцируется к системе граничных уравнений минимальной размерности первого или второго рода. На третьем этапе осуществляется анализ корректности получившейся системы сингулярных граничных интегральных уравнений с использованием теории символа. Анализ принципиально важной проблемы краевых условий существенно упрощается и может быть выполнен следующим образом. Определяются ранг и базисные вектора линейной оболочки строк матрицы дифференциального оператора. Для систем с кусочно-постоянными коэффициентами особенно удобен анализ краевых условий при помощи исследования миноров соответствующей матрицы, описанной в статье. Невырожденному минору этой матрицы соответствует корректная система граничных интегральных уравнений.

На заключительном этапе алгоритма формулируется система линейных алгебраических уравнений для непосредственного приближенного численного решения системы граничных интегральных уравнений. В дальнейшем граничные интегральные уравнения сводятся к системе линейных алгебраических уравнений и решаются методом Гаусса или другим подходящим численным методом.

Предложенная методика обладает рядом преимуществ прежде всего при решении новых недостаточно исследованных многомерных краевых задач. В случае классических систем предложенный подход наиболее полезен для случая нестандартных краевых условий. Предложенное интегральное представление применимо и в случае, когда коэффициенты дифференциального оператора системы являются произвольными кусочно-непрерывными функциями. Основной проблемой в данном случае является отыскание матрицы-функции фундаментального решения.

Введение

В области приложений существует тенденция к использованию все более сложных математических моделей, в результате чего появляется практическая потребность решать уже известные или новые виды систем дифференциальных уравнений большой размерности [1-14]. К таким системам, в частности, относятся уравнения электромагнетизма в случае, когда характеристики среды являются тензорными величинами и система Максвелла не распадается на независимые уравнения. Статья продолжает исследование автора в этом направлении [13,14].

Другим примером является система уравнений электроупругости, описывающая пьезоэлектрические явления [11]. В теории электроупругости в настоящее время являются актуальными задачи расчета собственных частот пьезоэлектрических тел сложных и разнообразных форм. Потребность в учете различного рода физических эффектов постоянно приводит к усложнению прежних и появлению новых видов систем дифференциальных уравнений в частных производных.

Для решения подобных задач при помощи метода граничных интегральных уравнений могут использоваться интегральные представления общего решения системы [3-6]. Возможности такого подхода расширяются при помощи систем аналитических вычислений на ЭВМ [7-9]. В статье автора разработан новый универсальный метод редукции многомерных линейных краевых задач для систем дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка к эквивалентным системам граничных интегральных уравнений. В отличие от традиционных подходов [3-6] редукция осуществляется для системы дифференциальных уравнений первого, а не второго порядка.

Данный метод в принципе может применяться для решения уравнений Максвелла и других подобных систем и в том в случае, когда коэффициенты материальных уравнений зависят от пространственных координат и времени. Интегральные уравнения, к которым редуцируются исходные системы дифференциальных уравнений, получаются в результате применения выше упомянутых подходов, как правило, сингулярными. Данное обстоятельство представляет собой существенную проблему при численной реализации метода граничных интегральных уравнений вещественными и тем более интервальными методами. Эффективным способом решения данной проблемы является преобразование системы метода граничных интегральных уравнений посредством умножения на матричный сингулярный оператор, называемый эквивалентным регуляризатором [3-6, 10]. Другая проблема связана с тем, что некоторые интегральные уравнения могут быть зависимыми. Ее решение возможно посредством перехода к новому вектору зависимых переменных при помощи метода, описанного в литературе [3-6].

Поскольку эквивалентный регуляризатор является сингулярным, то полученные после преобразований свободные члены новой системы метода граничных интегральных уравнений, как правило, представляют собой сингулярные интегралы с известными плотностями.

Задача вычисления подобных интегралов в пространстве непрерывных функций является некорректной. Данное обстоятельство создает дополнительную проблему при вычислении интервальных оценок свободных членов граничных интегральных уравнений. Ее решение возможно в ряде случаев при помощи аналитического вычисления интеграла в окрестности особой точки.

Полученные в результате соответствующих преобразований регулярные интегральные уравнения могут быть решены описанными в [3-6] численными методами с выделением особенности.

В качестве конкретного примера рассмотрим универсальный алгоритм отыскания фундаментальных решений, редукции и анализа линейных систем дифференциальных уравнений в частных производных и соответствующих краевых задач, удобный для программирования в современных системах компьютерной алгебры. Описание метода дано в части 1 статьи [14].

1. Применение метода на примере системы Максвелла

В качестве важного примера рассмотрим применение данной методики к редукции системы Максвелла к системе метода граничных интегральных уравнений для случая кусочно-однородных сред.

Систему дифференциальных уравнений Максвелла с постоянными коэффициентами можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H &= \gamma (E + \mu v \times H) + \varepsilon \partial E / \partial t + \delta_0(x), \\ \operatorname{rot} E &= -\mu \partial H / \partial t, \quad x \in \Omega \end{aligned}$$

а после преобразования Лапласа по времени эту систему можно записать в терминах образов:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H^* &= \gamma (E^* + \mu v \times H^*) + \varepsilon p E^* + \delta_0^*(x), \\ \operatorname{rot} E^* &= -p \mu H^*, \quad x \in \Omega \end{aligned}$$

где для рассматриваемого случая E – вектор электрической напряженности (а не единичная матрица), E^* – образ E при преобразовании Лапласа, γ электропроводность, μ магнитная проницаемость, v вектор скорости движения среды, ε диэлектрическая проницаемость, p параметр преобразования Лапласа, $\delta_0^*(x)$ – преобразование Лапласа вектора плотности сторонних токов в среде, $B_0(x)$ – начальное значение магнитной индукции в среде, rot – дифференциальный оператор ротора:

$$\operatorname{rot} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\partial}{\partial x_3} & \frac{\partial}{\partial x_2} \\ \frac{\partial}{\partial x_3} & 0 & -\frac{\partial}{\partial x_1} \\ -\frac{\partial}{\partial x_2} & \frac{\partial}{\partial x_1} & 0 \end{bmatrix},$$

Вектор-функция зависимых переменных $u(x)$ – равна $u(x) = (H^*, E^*)^T$, вектор-функция свободных членов $F(x) = (\delta_0^*(x), B_0(x))^T$; $n = 3, q = 6, m = 6$.

С учетом выражения векторного произведения скорости на напряженность магнитного поля:

$$v \times H = \begin{vmatrix} e_1 & e_2 & e_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \\ H_1 & H_2 & H_3 \end{vmatrix} = e_1(v_2 H_3 - v_3 H_2) + e_2(-v_1 H_3 + v_3 H_1) + e_3(v_1 H_2 - v_2 H_1)$$

выражение дифференциального оператора (1) имеет вид:

$$A\left(\frac{\partial}{\partial x}\right) = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\partial}{\partial x_3} + \gamma\mu\nu_3 & \frac{\partial}{\partial x_2} - \gamma\mu\nu_2 & -\gamma - \varepsilon\rho & 0 & 0 \\ \frac{\partial}{\partial x_3} - \gamma\mu\nu_3 & 0 & -\frac{\partial}{\partial x_1} + \gamma\mu\nu_1 & 0 & -\gamma - \varepsilon\rho & 0 \\ -\frac{\partial}{\partial x_2} + \gamma\mu\nu_2 & \frac{\partial}{\partial x_1} - \gamma\mu\nu_1 & 0 & 0 & 0 & -\gamma - \varepsilon\rho \\ \rho\mu & 0 & 0 & 0 & -\frac{\partial}{\partial x_3} & \frac{\partial}{\partial x_2} \\ 0 & \rho\mu & 0 & \frac{\partial}{\partial x_3} & 0 & -\frac{\partial}{\partial x_1} \\ 0 & 0 & \rho\mu & -\frac{\partial}{\partial x_2} & \frac{\partial}{\partial x_1} & 0 \end{bmatrix}$$

Оператор, формально сопряженный данному, записывается в виде:

$$A^*\left(\frac{\partial}{\partial x}\right) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial}{\partial x_3} - \gamma\mu\nu_3 & -\frac{\partial}{\partial x_2} + \gamma\mu\nu_2 & \rho\mu & 0 & 0 \\ -\frac{\partial}{\partial x_3} + \gamma\mu\nu_3 & 0 & \frac{\partial}{\partial x_1} - \gamma\mu\nu_1 & 0 & \rho\mu & 0 \\ \frac{\partial}{\partial x_2} - \gamma\mu\nu_2 & -\frac{\partial}{\partial x_1} + \gamma\mu\nu_1 & 0 & 0 & 0 & \rho\mu \\ -\gamma - \varepsilon\rho & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x_3} & -\frac{\partial}{\partial x_2} \\ 0 & -\gamma - \varepsilon\rho & 0 & -\frac{\partial}{\partial x_3} & 0 & \frac{\partial}{\partial x_1} \\ 0 & 0 & -\gamma - \varepsilon\rho & \frac{\partial}{\partial x_2} & -\frac{\partial}{\partial x_1} & 0 \end{bmatrix}$$

Матрица нормалей может быть записана в виде:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_1 & O \\ O & Q_1 \end{bmatrix}, \quad Q_1 = \begin{bmatrix} 0 & -n_3 & n_2 \\ n_3 & 0 & -n_1 \\ -n_2 & n_1 & 0 \end{bmatrix}$$

её ранг равен четырем, координаты вектора нормали n имеют следующие выражения: $n_1 = \cos(\varphi)\sin(\vartheta)$, $n_2 = \sin(\varphi)\sin(\vartheta)$, $n_3 = \cos(\vartheta)$,

где $\varphi = \varphi(x)$ и $\vartheta = \vartheta(x)$ функции точки границы области Γ .

Переход к новому базису в интеграле $Qu = W\sigma$ осуществляется при помощи матриц:

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & O_{32} \\ O_{32} & W_1 \end{bmatrix}, \quad W_1 = \begin{bmatrix} \sin\varphi & -\cos\varphi\cos\vartheta \\ -\cos\varphi & -\sin\varphi\cos\vartheta \\ 0 & \sin\vartheta \end{bmatrix}$$

Переход к новому базису

$$\sigma(x) = C(x)u(x)$$

осуществляется при помощи матрицы перехода $C(x)$:

$$C = \begin{bmatrix} C_1 & O_{23} \\ O_{23} & C_1 \end{bmatrix}, \quad C_1 = \begin{bmatrix} -\cos\varphi\cos\vartheta & -\sin\varphi\cos\vartheta & \sin\vartheta \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \end{bmatrix}$$

обладающей свойством

$$C(x)C^T(x) = \text{diag}[1,1,1,1],$$

что упрощает запись ядра интегрального уравнения (6):

$$K(x,y) = -C(x)G^T(y-x)Q(y)C^T(y).$$

Базисные переменные – $\sigma(x) = (H_\tau^*, E_\tau^*)^T$, где H_τ^* и E_τ^* – касательные вектора образов напряженностей электромагнитного поля на поверхности Γ . Как известно, на границе раздела сред обычно предполагают в качестве условий сопряжения непрерывность значений касательных составляющих $[n, E^*]$, $[n, H^*]$ (квадратные скобки обозначают векторное произведение) [1,2]. Поскольку область трехмерная, то векторное пространство касательных векторов является двумерным, а размерность базиса равна $r = 4$. Пример корректной постановки краевой задачи: на поверхности области заданы касательные вектора магнитной индукции B_τ^* (электрической напряженности E_τ^*), требуется найти значения касательного вектора электрической напряженности E_τ^* (вектора магнитной индукции B_τ^*).

Нахождение матрицы Грина $G(x)$ возможно при помощи многомерного преобразования Фурье. С учетом соответствия $\partial/\partial x$ и $i\omega$, i – мнимая единица, $\omega \in R^n$ – вектор параметров многомерного преобразования Фурье, образ уравнения (2) примет вид: $\omega \in R^n \times R^n$

$$A^*(i\omega)G(\omega) = (2\pi)^{-n/2}\text{diag}[1, \dots, 1], \quad \omega \in R^n,$$

откуда можно выразить Фурье-образ фундаментальной матрицы:

$$G(\omega) = (2\pi)^{-n/2}[A^*(i\omega)]^{-1},$$

для отыскания искомого выражения матрицы Грина требуется вычислить обратное преобразование Фурье для $G(\omega)$. Оно имеет вид:

$$G(x) = D(\partial/\partial x)G_0(x),$$

где $G_0(x)$ находится как обратное преобразование Фурье для выражения $1/\det G(\omega)$, $D(\partial/\partial x)$ – некоторый дифференциальный оператор.

Пример редукции для симметризованной формы системы уравнений переменного ЭМП

Найдем конкретные выражения функции Грина для случая изотропной неподвижной среды. Для удобства аналитических вычислений и сокращения размерности задачи осуществим симметризацию системы Максвелла. Пусть j – мнимая единица: $j^2 = -1$. Введем в рассмотрение комплексный вектор, как линейную комбинацию напряженностей магнитного и электрического полей:

$$\vec{\Phi} = \vec{H} + j\sqrt{\frac{\gamma}{\mu\rho}}\vec{E}, \quad \vec{H} = \text{Re } \vec{\Phi}, \quad \vec{E} = \text{Im } \vec{\Phi},$$

Вектор $\vec{\Phi}$ позволяет в два раза уменьшить размерность системы уравнений и удовлетворяет векторному уравнению:

$$\text{rot } \vec{\Phi} = c\vec{\Phi} + \vec{f}, \quad c = -j\sqrt{\gamma\mu p}, \quad \vec{f} = \vec{\delta}_0 + j\sqrt{\frac{\gamma}{\mu p}}\vec{B}_0.$$

Для случая переменных полей $\vec{B}_0 = 0$, $p = i\omega_0$, ω_0 – циклическая частота ЭМП, i – также мнимая единица: $i^2 = -1$. Благодаря симметризации размерность матрицы системы уменьшилась с 6 до 3. Обратная матрица для Фурье-образа сопряженной матрицы системы равна:

$$(A^*)^{-1} = \frac{1}{c(c^2 - \varpi^2)} \times \begin{bmatrix} c^2 - \varpi_1^2 & \varpi_1\varpi_2 - ic\varpi_3 & \varpi_1\varpi_3 + ic\varpi_2 \\ \varpi_1\varpi_2 + ic\varpi_3 & c^2 - \varpi_2^2 & \varpi_2\varpi_3 - ic\varpi_1 \\ \varpi_1\varpi_3 - ic\varpi_2 & \varpi_2\varpi_3 + ic\varpi_1 & c^2 - \varpi_3^2 \end{bmatrix},$$

где $\varpi^2 = \varpi_1^2 + \varpi_2^2 + \varpi_3^2$, $c^2 = -\gamma\mu p$, $c = j\sqrt{\gamma\mu p}$.

Согласно ранее сформулированным соотношениям, Фурье-образ матрицы Грина равен:

$$F(G) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}}(A^*)^{-1}, \quad G(x) = D(\partial/\partial x)G_0(x),$$

где $F(G_0(x)) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}(\omega^2 + a^2)}$, $G_0(x) = \frac{e^{-ar}}{4\pi r}$, $a = \sqrt{\gamma\mu p}$.

$$D\left(\frac{\partial}{\partial x}\right) = -\frac{1}{c} \begin{bmatrix} c^2 + \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} & -\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} + c \frac{\partial}{\partial x_3} & -\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_3} - c \frac{\partial}{\partial x_2} \\ -\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} - c \frac{\partial}{\partial x_3} & c^2 + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} & -\frac{\partial^2}{\partial x_2 \partial x_3} + c \frac{\partial}{\partial x_1} \\ -\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_3} + c \frac{\partial}{\partial x_2} & -\frac{\partial^2}{\partial x_2 \partial x_3} - c \frac{\partial}{\partial x_1} & c^2 + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \end{bmatrix},$$

Для нестационарной задачи p – параметр преобразования Лапласа. Соответствие образов и прообразов данного преобразования:

$$k = r\sqrt{\gamma\mu}, \quad G_0(x) = \frac{e^{-k\sqrt{p}}}{4\pi r},$$

$$e^{-k\sqrt{p}} \leftrightarrow \frac{k}{2\sqrt{\pi t^3}} \exp\left(-\frac{k^2}{4t}\right), \quad \frac{e^{-k\sqrt{p}}}{\sqrt{p}} \leftrightarrow \frac{\exp\left(-\frac{k^2}{4t}\right)}{\sqrt{\pi t}}.$$

Некоторые асимптотики

Векторы $\vec{\Phi}$ в дальней зоне идеально поляризованы по кругу, поэтому в спиральном базисе диаграмма направленности каждого вектора $\vec{\Phi}$ будет иметь лишь одну ненулевую составляющую. Спиральный базис вводится по правилу:

$$e^{+1} = -\frac{1}{\sqrt{2}}(e_\vartheta - e_\varphi), \quad e^{-1} = \frac{1}{\sqrt{2}}(e_\vartheta + e_\varphi).$$

С учётом этих соотношений поле в дальней зоне, выраженное через касательные составляющие поля на поверхности Γ , можно вычислить по формуле:

$$\vec{\Phi}(x) \approx \frac{ke^{-kr}}{2\pi r} \int_{\Gamma} (e^{+1}, [n, \vec{\Phi}]) e^{ikr(x,y)} d\Gamma_y e^{+1},$$

поле же другой спиральной составляющей убывает быстрее, чем $1/r$. Поэтому, для любого $k > 0$ и любого решения уравнений Максвелла вне гладкой ограниченной поверхности, удовлетворяющего условию излучения на бесконечности, касательные составляющие решения на поверхности удовлетворяют условию:

$$\int_{\Gamma} (e^{+1}, [n, \vec{\Phi}]) e^{ikr(x,y)} d\Gamma_y = 0.$$

Связь с формулами Гюйгенса

Даже если среда анизотропна, и ее характеристики имеют тензорный характер, в ряде случаев удается точно вычислить значение матрицы Грина аналитически: например, если среда неподвижна, тензоры проводимостей диагональные, а две их компоненты одинаковы. При ряде упрощающих предположений (изотропность среды и т.д.) примерами соответствующих выражений являются формулы Гюйгенса [4]. Сформулируем для системы переменного ЭМП:

$$\begin{aligned} \text{rot } H^* &= -i\omega \epsilon E^*, \\ \text{rot } E^* &= i\omega \mu H^*, \quad x \in \Omega, \\ \text{div } H^* &= 0, \quad \text{div } E^* = 0. \end{aligned}$$

Матрица фундаментальных решений системы Максвелла состоит из симметричной матрицы $H(z_k, x)$ для вектора $E(x)$

$$H(z_k, x) = \begin{bmatrix} H_{11}(z_k, x) & H_{12}(z_k, x) & H_{13}(z_k, x) \\ H_{21}(z_k, x) & H_{22}(z_k, x) & H_{23}(z_k, x) \\ H_{31}(z_k, x) & H_{32}(z_k, x) & H_{33}(z_k, x) \end{bmatrix}$$

где

$$H_{ij} = \frac{\partial^2 f(z_k, x)}{\partial x_i \partial x_j} + \delta_{ij} k^2 f(z_k, x),$$

$$f(z_k, x) = \frac{e^{-ikr(z_k, x)}}{r(z_k, x)}, \quad k = \omega\sqrt{\epsilon\mu}$$

и антисимметричной матрицы $H(z_k, x)$ для вектора $H(x)$

$$H(z_k, x) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial f(z_k, x)}{\partial x_3} & -\frac{\partial f(z_k, x)}{\partial x_2} \\ -\frac{\partial f(z_k, x)}{\partial x_3} & 0 & \frac{\partial f(z_k, x)}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f(z_k, x)}{\partial x_2} & -\frac{\partial f(z_k, x)}{\partial x_1} & 0 \end{bmatrix}$$

Интегральное представление для напряженностей ЭМП имеет вид соотношений Гюйгенса. Для точек области Ω :

$$\begin{aligned} E^*(x) &= -\frac{1}{4\pi} \text{rot} \iint_{\Gamma} [n, E^*] f(x, y) dS_y + \\ &+ \frac{1}{4\pi i \omega \epsilon} \text{rot rot} \iint_{\Gamma} [n, H^*] f(x, y) dS_y, \\ H^*(x) &= -\frac{1}{4\pi} \text{rot} \iint_{\Gamma} [n, H^*] f(x, y) dS_y + \\ &+ \frac{1}{4\pi i \omega \mu} \text{rot rot} \iint_{\Gamma} [n, E^*] f(x, y) dS_y, \end{aligned}$$

Вне точек области Ω :

$$0 = \text{rot} \iint_{\Gamma} [n, E^*] f(z, y) dS_y -$$

$$-\frac{1}{i\omega\epsilon} \text{rot} \text{rot} \iint_{\Gamma} [n, H^*] f(z, y) dS_y,$$

$$0 = \text{rot} \iint_{\Gamma} [n, H^*] f(z, y) dS_y -$$

$$-\frac{1}{i\omega\mu} \text{rot} \text{rot} \iint_{\Gamma} [n, E^*] f(z, y) dS_y,$$

$$x \in \Omega, z \in \bar{\Omega}$$

Плотность интегральных операторов имеет вид:

$$f(x, y) = \frac{e^{-ikr(x,y)}}{r(x,y)}, \quad f(x, y) = \frac{e^{-ikr(x,y)}}{r(x,y)},$$

2. Компьютерная реализация в системе аналитических вычислений на ЭВМ

Наиболее удобны для автоматизации сложных символьных преобразований системы компьютерной алгебры REDUCE, MAPLE, MATHEMATICA.

Фрагмент REDUCE-программы для нахождения фундаментального решения имеет следующий вид:
 MATRIX A,B,GAMMA,MU,ROT,V,ML;
 gm11:=gm1; gm22:=gm1; gm33:=gm3; m11:=m1; m22:=m1;
 m33:=m3;
 gm12:=gm13:=gm23:=0; m12:=m13:=m23:=0;

```
A := MAT (
  (0, -i*w3, i*w2, -gm11, -gm12, -gm13),
  (i*w3, 0, -i*w1, -gm12, -gm22, -gm23),
  (-i*w2, i*w1, 0, -gm13, -gm23, -gm33),
  (p*m11, p*m12, p*m13, 0, -i*w3, i*w2),
  (p*m12, p*m22, p*m23, i*w3, 0, -i*w1),
  (p*m13, p*m23, p*m33, -i*w2, i*w1, 0)
);
```

```
ROT := MAT (
  (0, -i*w3, i*w2),
  (i*w3, 0, -i*w1),
  (-i*w2, i*w1, 0)
);
```

```
GAMMA := MAT (
  (gm11, gm12, gm13),
  (gm12, gm22, gm23),
  (gm13, gm23, gm33)
);
```

```
MU := MAT (
  (m11, m12, m13),
  (m12, m22, m23),
  (m13, m23, m33)
);
```

```
V := MAT (
  (0, -v3, v2),
  (v3, 0, -v1),
  (-v2, v1, 0)
);

ML := GAMMA*V*MU;
FOR i := 1:3 DO FOR j := 1:3 DO A(i,j):=A(i,j)-ML(i,j);
A;
ON GCD;
D := SUB(I = -I, Det(Tp(A)));
%L := FACTORIZE(D);
L:=SOLVE(D,v1);
in "g:ml.in";
D;
%B:=D*A^(-1);
out "g:ml.out"
I1:=PART(FIRST(L),2)
I2:=PART(SECOND(L),2)
B;
shut "g:ml.out";
```

Результаты вычисления:

$$v1 := -o3*x2 + o2*x3;$$

$$v2 := o3*x1 - o1*x3;$$

$$v3 := -o2*x1 + o1*x2;$$

Матрица, обратная к транспонированной матрице дифференциального оператора, вычисление в системе MATHCAD:

$$\begin{bmatrix} \frac{(c-w1) \cdot (c+w1)}{c \cdot (c^2 - w1^2 - w2^2 - w3^2)} & \frac{w1 \cdot w2 + c \cdot w3 \cdot i}{c \cdot (c^2 - w1^2 - w2^2 - w3^2)} & \frac{w1 \cdot w3 - c \cdot w2 \cdot i}{c \cdot (c^2 - w1^2 - w2^2 - w3^2)} \\ \frac{w1 \cdot w2 - c \cdot w3 \cdot i}{c \cdot (c^2 - w1^2 - w2^2 - w3^2)} & \frac{(c-w2) \cdot (c+w2)}{c \cdot (c^2 - w1^2 - w2^2 - w3^2)} & \frac{w2 \cdot w3 + c \cdot w1 \cdot i}{c \cdot (c^2 - w1^2 - w2^2 - w3^2)} \\ \frac{c \cdot w2 - w1 \cdot w3 \cdot i}{c \cdot (-c^2 \cdot i + w2^2 \cdot i + w1^2 \cdot i + w3^2 \cdot i)} & \frac{c \cdot w1 + w2 \cdot w3 \cdot i}{c \cdot (-w1^2 \cdot i - w2^2 \cdot i - w3^2 \cdot i + c^2 \cdot i)} & \frac{(c-w3) \cdot (c+w3)}{c \cdot (c^2 - w1^2 - w2^2 - w3^2)} \end{bmatrix}$$

Вывод

Предложен новый метод редукции линейных краевых задач к граничным интегральным уравнениям. Метод эффективен для систем большой размерности и позволяет эффективно автоматизировать редукцию при помощи систем аналитических вычислений на ЭВМ.

Литература

1. Жермен-Лакур П., Жорж П.Л., Пистр Ф., Безье П. Математика и САПР: в 2-х кн. М.: Мир, 1989. 264 с.
2. Кулон Ж.-Л., Сабоннадьер Ж.-К. САПР в электротехнике. М.: Мир, 1988. 208 с.
3. Кацикаделис Д.Т. Граничные элементы: теория и приложения: пер. с англ. М.: АСВ, 2007. 343 с.
4. Алексидзе М.А. Фундаментальные функции в приближенных решениях граничных задач. М.: Наука, 1991. 352 с.
5. Иванов Д.Ю. Устойчивая разрешимость в пространствах дифференцируемых функций некоторых двумерных

интегральных уравнений теплопроводности с операторно-полугрупповым ядром // Вестн. Томск. гос. ун-та. Матем. и мех. 2015, № 6(38). С. 33–45.

6. Баженов В., Игумнов Л. Методы граничных интегральных уравнений и граничных элементов. М.: Физматлит, 2008. 352 с.

7. Дэвенпорт Дж., Сирэ И., Турнье Э. Компьютерная алгебра. М.: Мир, 1991. 352 с.

8. Еднерал В.Ф., Крюков А.П., Родионов А.Я. Язык аналитических вычислений REDUCE. М.: МГУ, 1988. 176 с.

9. Климов Д.М., Руденко В.М. Методы компьютерной алгебры в задачах механики. М.: Наука, 1989. 215 с.

10. Михлин С.Г. Многомерные сингулярные интегральные уравнения. М.: Физматгиз, 1962. 256 с.

11. Шульга Н.А., Болкисев А.М. Колебания пьезоэлектрических тел. Киев: Наукова думка, 1990. 228 с.

12. Далецкий Ю.Л., Крейн М.Г. Устойчивость решений дифференциальных уравнений в банаховом пространстве. М.: Наука, 1970. 536 с.

13. Арутюнян Р.В. Новый подход к редукции многомерных линейных краевых задач к эквивалентным граничным интегральным уравнениям // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 4. С. 63-66.

14. Арутюнян Р.В. Новый подход к редукции многомерных линейных краевых задач к эквивалентным граничным интегральным уравнениям // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 6–10.

Для цитирования:

Арутюнян Р.В. Новый подход к редукции многомерных линейных краевых задач к эквивалентным граничным интегральным уравнениям. Часть 2 // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 6–12.

A NEW APPROACH TO THE REDUCTION OF MULTIDIMENSIONAL LINEAR BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR AN EQUIVALENT BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS. Part 2

Robert V. Arutyunyan,
Moscow, Russia, rob@mail.ru

Abstract

Describes a new method of reduction of multidimensional linear boundary value problems for systems of differential equations of the first order to the equivalent boundary integral equations. The method is effective for systems of large dimension and allows you to effectively automate the reduction by means of systems of analytical calculations on a computer. This method can in principle be used to solve Maxwell's equations and other similar systems and that in the case where the material coefficients of equations depend on the spatial coordinates and time.

Formula a method to generalize the ratio of Huygens for Maxwell's equations, Somiglian for problems of elasticity and similar well-known integral representations of solutions of systems of differential equations.

The proposed algorithm consists of the following steps. The finding in the first phase of the singular solution is of the standard methods of integral transformations and the corresponding algorithm is easily programmed in the computer algebra systems.

Some problem is that many boundary value problems are in the form of systems, in which the number of unknowns and equations. For this reason, it is required to carry out the second stage for the procedure to access the system on a new

basis vector is unknown. Depending on the type of boundary conditions, the initial system reduces to the system of boundary equations of the minimum dimensions of the first or second kind.

The third step refers to the analysis of the correctness of the resulting system of singular boundary integral equations using the theory of the symbol. Analysis of the fundamentally important problem of boundary conditions is greatly simplified and can be performed in the following way. Define and rank of the base vector of the linear shell of the rows of the matrix of the differential operator. For systems with piecewise-constant coefficients is particularly convenient analysis of boundary conditions with the help of the study of the minors of the corresponding matrix, described in the article. Nondegenerate minor of this matrix corresponds to a correct system of boundary integral equations.

At the final stage of the algorithm we formulate the system of linear algebraic equations for the approximate direct numerical solution of the system of boundary integral equations. In the future, the boundary integral equation reduced to a system of linear algebraic equations and solved by the Gauss method or another suitable numerical method.

The proposed method has several advantages, especially when dealing with new and under-researched multidimensional boundary value problems. In the case of classical systems the proposed approach is most useful for non-standard boundary conditions. The proposed integral representation is applicable in the case when the coefficients of the differential operator systems are arbitrary piecewise continuous functions. The main problem in this case is the determination of the matrix-function a fundamental solution.

Keywords: differential equations partial differential system; boundary value problem; reduction; boundary integral equations.

References

1. Germain-Lacour P, George P.L., Pistre F., Bezier P. *Mathematiques et CAO*. 2 volumes. Paris, Hermes Pub., 1986. 230 p.
2. Coulomb J.-L., Sabonnadiere J.-K., *CAO en electrotechnique*. Paris, Hermes Pub., 1985. 242 p.
3. Katsikadelis J. T. *Boundary elements: Theory and applications*. Oxford, Elsevier, 2002. 336 p.
4. Aleksidze M.A. *Fundamental'nye funkcii v priblizhennyh reshenijah granichnyh zadach* [The fundamental function of approximate solutions of boundary problem]. Moscow, Nauka, 1991. 352 p. (In Russian).
5. Ivanov D.Y. Sustainable solvability in spaces of differentiable functions of certain two-dimensional integral equations of heat conduction with operator-semigroup kernel. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo instituta. Matematika i mehanika*. 2015. No. 6(38). Pp. 33–45. (In Russian).
6. Bazhenov V., Igumnov L. *Metody granichnyh integral'nyh uravnenij i granichnyh jelementov* [Boundary integral equations and boundary elements]. Moscow, Fizmatlit, 2008. 352 p. (In Russian).
7. Davenport J., Siret Y., Tournier E. *Calcul formel : Systemes et algorithmes de manipulations algebriques*. Paris etc., Masson, 1987. 263 p.
8. Edneral V.F., Kryukov A.P., Rodionov A.Y. *Jazyk analitich-*

eskih vychislenij REDUCE [Language analytical calculations REDUCE]. Moscow, MGU, 1988. 176 p. (In Russian).

9. Klimov D.M., Rudenko V.M. *Klimov D.M., Rudenko V.M. Metody komp'juternoj algebry v zadachah mehaniki* [Methods of computer algebra in mechanics]. Moscow, Nauka, 1989. 215 p. (In Russian).
10. Mikhlin S.G. *Mnogomernye singuljarnye integral'nye uravnenija* [Multi-dimensional singular integral equations]. M.: Fizmatgiz, 1962. 256 p. (In Russian).
11. Shul'ga N.A., Bolkisev A.M. *Kolebanija p'ezoelektricheskikh tel* [Fluctuations piezoelectric bodies]. Kiev: Naukova dumka, 1990. 228 p. (In Russian).
12. Daleckij Ju.L., Krejn M.G. *Ustojchivost' reshenij differentsial'nyh uravnenij v banahovom prostranstve* [Stability of solutions of differential equations in a Banach space]. Moscow, Nauka, 1970. 536 p. (In Russian).
13. Arutyunyan R.V. A new approach to the reduction of multidimensional linear boundary value problems for an equivalent boundary integral equations. *T-Comm*. 2016. Vol. 10. No. 4. Pp. 63–66.
14. Arutyunyan R.V. A new approach to the reduction of multidimensional linear boundary value problems for an equivalent boundary integral equations. *H&ES Research*. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 6–10. (In Russian).

Information about authors:

Arutyunyan R.V., Ph.D., assistant professor of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, Department of "Mathematical Analysis".

For citation:

Arutyunyan R.V. A new approach to the reduction of multidimensional linear boundary value problems for an equivalent boundary integral equations. Part 2. *H&ES Research*. 2016. Vol. 8. No. 5. 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

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ МЕСТНОСТИ

Телеш

Вадим Анатольевич,

к.т.н., доцент кафедры
фототопографии и фотограмметрии
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского
г. Санкт-Петербург, Россия,
pismo@telesh.ru

Левадный

Юрий Валерьевич,

к.в.н., заместитель начальника кафедры
фототопографии и фотограмметрии
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
levada74@mail.ru

Ключевые слова:

моделирование радиолокационного
изображения; радиолокационное
изображение; трёхмерная модель
местности; радиолокационная станция;
программный комплекс моделирования
радиолокационных изображений.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время радиолокационные станции обзора земной поверхности находят широкое применение в Вооруженных Силах и при решении различных народно-хозяйственных задач. С помощью таких систем можно получать изображения объектов, по качеству близкие к оптическим. Радиолокационные изображения используются при разработке и обновлении топографических, ситуационных и тематических карт различных масштабов. Широко применяются при изучении вертикальных просянок и подвижек земной поверхности во время строительства объектов. По радиолокационным изображениям измеряют высоты объектов местности и строят высокоточные цифровые модели местности. Кроме этого такие изображения необходимы при мониторинге стационарных и подвижных объектов на поверхности Земли и определении скорости движущихся объектов. Также радиолокационные изображения необходимы при оценке состояния сельскохозяйственных угодий, а также в учебных заведениях при изучении дисциплин, связанных с дешифрированием изображений.

Очень часто, при проведении практических работ с курсантами и слушателями по дешифрированию необходимо показать, как выглядят различные объекты местности на радиолокационных изображениях. Из-за особенностей формирования радиолокационные изображения имеют ряд отличий от оптических.

Реальных радиолокационных изображений в учебном процессе очень мало, а изображений разных объектов местности (например, отдельно стоящее здание, котельная, дорога, каналы и т.д.) практически нет.

Для качественного проведения занятий можно моделировать процесс получения радиолокационных изображений, начиная от момента излучения радиопульса и заканчивая формированием изображения. Причем модель должна учитывать все факторы, влияющие на качество получаемых радиолокационных изображений.

Описан программный комплекс анализа и моделирования радиолокационных изображений, разработанный в программной среде Borland Delphi. Он функционирует под управлением операционной системой Microsoft Windows. С его помощью можно выделять шумы на однородных участках реальных радиолокационных изображениях, определять законы распределения выделенных шумов, строить «идеальное» радиолокационное изображение по заданным трехмерным координатам объекта местности и формировать радиолокационное изображение трехмерного объекта местности.

Программный комплекс анализа и моделирования радиолокационных изображений (ПКАМ РЛИ) предназначен для формирования РЛИ трехмерной модели местности, созданной в специальном редакторе, например, 3D Studio Max, при заданных условиях съемки и параметрах аппаратуры. С его помощью можно выделять шумы, присутствующие на реальных РЛИ, создавать «идеальное», то есть, незашумленное РЛИ [1] и моделировать РЛИ трехмерной модели местности.

В комплексе реализован способ моделирования РЛИ трёхмерной сцены наблюдения [2], в котором распространение радиоволн имитируется законами распространения оптического излучения и в вычислениях используются законы геометрической оптики. Схожесть получаемого изображения с оригинальным достигается путем моделирования всей трехмерной сцены.

Процесс моделирования РЛИ в рассматриваемом ПКАМ РЛИ заключается в решении обратной радиолокационной фотограмметрической задачи и вычислении яркости элементов моделируемого изображения. При этом изображение формируется на экране монитора в градациях серого цвета, каждый пиксель которого имеет яркость B , $B \in [0 \dots 255]$, где 0 соответствует уровню чёрного цвета, а значению 255 – уровню белого цвета.

На первом этапе моделирования строится контурное изображение трехмерной сцены в координатах наклонная дальность R , частота Доплеровского сдвига f_d . Затем осуществляется закрасивание элементов контурного изображения яркостью $B_{эл}$, в зависимости от угла наблюдения α граней многогранников сцены, диэлектрической проницаемости вещества $\epsilon_{эл}$ граней и коэффициента затемнения $K_{зат}$. После этого формируется радиолокационная тень.

ПКАМ РЛИ разработан по модульному типу. Он включает в свой состав следующие модули (рис. 1):

- модуль задания исходных параметров;
- модуль записи всех полученных результатов;
- модуль просмотра промежуточных результатов;
- модуль формирования незашумлённого РЛИ;
- модуль формирования РЛИ;
- модуль анализа шумов на реальных РЛИ.

В свою очередь модуль формирования незашумленного РЛИ состоит из следующих модулей:

- модуль преобразования трехмерных координат в плоские;
- модуль построения радиолокационной тени;
- модуль расчета яркости элементов РЛИ.

Модуль формирования РЛИ состоит из следующих модулей:

- модуль наложения шумовых пятен на незашумленное РЛИ;
- модуль наложения одиночных шумов на незашумленное РЛИ.

Модуль анализа шумов на реальных РЛИ состоит из модулей:

- модуль выделения шумов на цифровых РЛИ;
- модуль нахождения законов распределения;
- модуль выделения шумовых пятен на цифровых РЛИ.

На начальном этапе работы с ПКАМ РЛИ необходимо ввести исходные данные, содержащие параметры радиолокационной аппаратуры, баллистические параметры но-

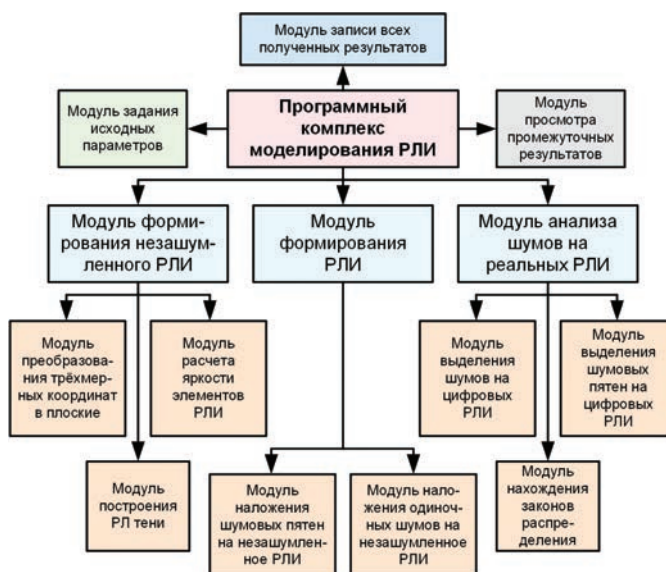


Рис. 1. Структурная схема разработанного ПКАМ РЛИ

сителя РЛС, а также загрузить файл с массивом координат вершин трёхмерной сцены и открыть реальное РЛИ.

Для моделирования «идеального» РЛИ требуется массив координатами вершин трёхмерной сцены. Файл с массивом координат вершин трёхмерной сцены является текстовым (с расширением *.txt). Он содержит значения координат вершин трёхмерного объекта наблюдения (x_{ij} , y_{ij} , z_{ij}), а также значение диэлектрической проницаемости вещества каждой грани трёхмерной сцены. Параметры радиолокационной аппаратуры и ряд баллистических параметров носителя РЛС вводятся с клавиатуры сразу после запуска программного комплекса.

После запуска ПКАМ РЛИ (файл «Модель.exe») отображается главное окно программы. Оно состоит из строки меню, расположенного в верхней части главного окна и панелей ввода/вывода данных «Исходные параметры» и «Отображение результатов». Последнее содержит вкладки «Реальное РЛИ», «Идеальное РЛИ», «Модель РЛИ», «Анализ шумов», «Сравнение» (рис. 2).

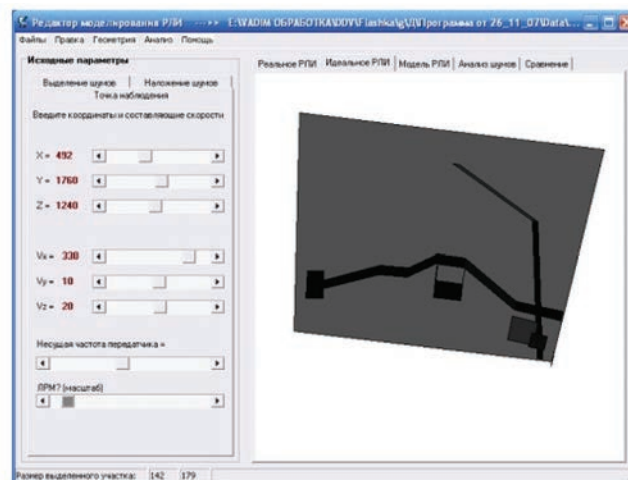


Рис. 2. Внешний вид главного окна ПК

Для построения «идеального» РЛИ следует загрузить файл с массивом координат вершин трёхмерной сцены. Для этого в строке меню необходимо нажать кнопку «Файл» и в раскрывшемся меню выбрать пункт «Импорт 3D-модели». Параметры для моделирования РЛИ следует ввести с клавиатуры путём выбора в строке меню пункта «Начальные параметры» (рис. 3).

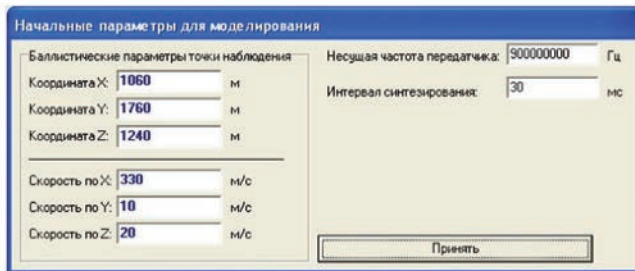


Рис. 3. Окно начальных параметров для моделирования РЛИ

После этого можно построить «идеальное» РЛИ, для чего в строке меню нажать кнопку геометрия «Геометрия» и в раскрывшемся меню выбрать пункт «Идеальное РЛИ». При этом на вкладке главного окна ПК «Идеальное РЛИ» будет отображено сформированное «идеальное» РЛИ.

Этап выделение шумов на реальном РЛИ местности начинается с открытия файла реального РЛИ, который имеет графический формат с расширением *.bmp.

Для начала процедуры выделения шумов необходимо загрузить реальное РЛИ, для чего в строке меню нажать кнопку «Файл» и в раскрывшемся меню выбрать пункт «Открыть РЛИ». Загруженное изображение будет расположено на панели вывода данных. Затем следует в строке меню нажать кнопку «Шумы» и в раскрывшемся меню выбрать пункт «Выделение шума». Внешний вид окна для выделения и анализа шума реального РЛИ представлен на рис. 4.

В левой части указанного окна представлено исследуемое РЛИ. На нем в процессе работы необходимо с помощью манипулятора «мышь» выделять однородные по тону и изображенному материалу участки. Выделенный участок

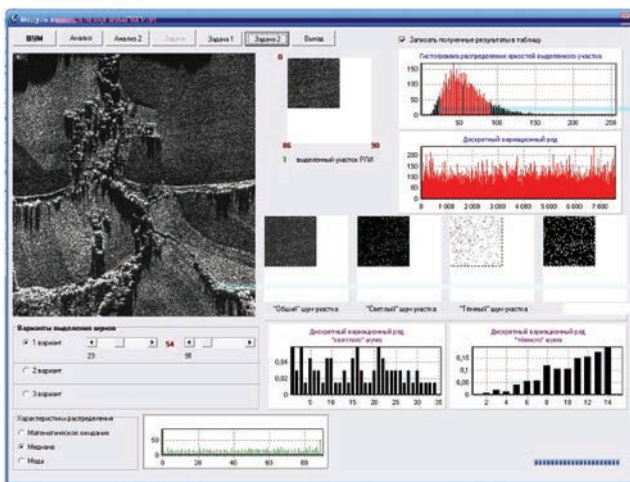


Рис. 4. Рабочее окно для выделения и анализа шума на реальном РЛИ

отображается справа от исходного РЛИ, а в правой части окна строится дискретный вариационный ряд выделенного участка. Затем требуется выбрать вариант выделения шума.

После этого нажать кнопку «Шум» в верхней левой части окна. В результате работы программы на выбранном участке выделяется шум («общий», «тёмный», «светлый»), а также шумовые пятна. Результаты выделения представлены в центре рабочего окна. Далее выделенный шум необходимо проанализировать и определить законы распределения его яркости и координат по полю изображения. Для этого существуют кнопки «Анализ» и «Анализ 2», при нажатии на которые определяется распределения одиночного шума и шумовых пятен соответственно.

Пример шумов, выделенных на реальном РЛИ (см. рис. 4) для разных вариантов, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Шумы, выделенные на реальном РЛИ

Вариант выделения шума	Выделенный шум	«Тёмный» шум	«Светлый» шум	Шумовые пятна
квантиль 0,99				
квантиль 0,98				
квантиль 0,95				
ручной способ				

Интенсивность выделенного шума зависит от выбранного варианта выделения и качества исходного реального РЛИ.

После выделения шумов в ПК автоматически определяются законы распределения яркости пикселей шума, которые затем используются при наложении шумов на «идеальное» РЛИ.

На заключительном этапе моделирования РЛИ осуществляется наложение шумов на «идеальное» РЛИ. Это можно сделать в строке меню «Геометрия» пункт «Моделируемое РЛИ». В результате, программа автоматически наложит шумов на «идеальное» РЛИ.

Все полученные результаты анализа и моделирования можно сохранить в файлы. Для этого в строке меню нажать кнопку «Файл» и в раскрывшемся меню выбрать пункт:

- «Записать таблицу» – для сохранения результатов анализа шумов;
- «Записать идеальное РЛИ» – для сохранения «идеального» РЛИ;
- «Записать моделируемое РЛИ» – для сохранения моделируемого РЛИ заданной трёхмерной сцены.

Разработанный ПК позволяет варьировать параметры моделирования РЛИ и отслеживать результаты изменения на получаемом изображении. Изменяемыми параметрами являются положение точки наблюдения S и вектор скорости. Изменять положение точки наблюдения можно в окне «Исходные параметры» на вкладке «Точка наблюдения». Для этого необходимо в строке меню нажать кнопку «Правка» и в раскрывшемся меню выбрать пункт «Изменение параметров». После этого на панели вывода данных появится вкладка «Точка наблюдения». При изменении положения бегунков ПК автоматически пересчитывает координаты и выводит изменённое моделируемое «идеальное» РЛИ. Изменённое моделируемое РЛИ сцены можно посмотреть, выбрав в строке меню «Геометрия» пункт «Моделируемое РЛИ».

По умолчанию точка наблюдения находится в стороне от трёхмерной сцены так, что в ПКAM РЛИ заданы следующие исходные параметры:

- значение координаты X точки наблюдения S совпадает со значением координатой x_{ij} центральной точки трёхмерной сцены;
- значение координаты Y точки наблюдения S равно 500 км;
- значение координата Z точки наблюдения S – высота полёта КА – равна 450 км.

В табл. 2 представлены «идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены, полученные при разных значениях координаты X точки наблюдения S . Значение X менялось от минимального значения x трёхмерной сцены до максимального. Все остальные параметры не изменялись и были равны значениям по умолчанию.

Таблица 2
«Идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены при разных значениях X

Значение X	-150	-100	-20
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			
Значение X	20	100	150
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			

В табл. 3 представлены «идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены, полученные при разных значениях координаты Y точки наблюдения S . Значение Y менялось в интервале $Y \in [1000; 2500]$ м. Все остальные параметры не изменялись и были равны значениям по умолчанию.

В табл. 4 представлены «идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены, полученные при разных значениях координаты Z точки наблюдения S . Значение Z менялось в интервале $Z \in [400; 1500]$ км. Все остальные параметры не изменялись и были равны значениям по умолчанию.

Таблица 3
«Идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены при разных значениях Y

Значение Y	1000	1200	1600
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			
Значение Y	1900	2100	2500
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			

Таблица 4
«Идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены при разных значениях Z

Значение Z	$Z=500$	$Z=700$	$Z=1100$
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			
Значение Z	$Z=1200$	$Z=1400$	$Z=1500$
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			

В табл. 5 и 6 представлены «идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены, полученные при разных значениях горизонтальной составляющей вектора скорости точки наблюдения S . Значение V_x в табл. 5 менялось в интервале $V_x \in [9; 400]$ км/ч. Все остальные параметры не изменялись

и были равны значениям по умолчанию. В табл. 6 представлены результаты моделирования при отрицательных значениях составляющей вектора скорости (знак определяет направление вектора).

Таблица 5

Динамика изменения моделируемых РЛИ при изменении горизонтальной составляющей вектора скорости V_x

Значение V_x	9	50	100
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			
Значение V_x	200	300	400
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			

Таблица 6

Динамика изменения моделируемых РЛИ при изменении горизонтальной составляющей вектора скорости V_x

Значение V_x	-9	-50	-100
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			
Значение V_x	9	50	100
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			

В табл. 7 представлены «идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены, полученные при разных значениях горизонтальной составляющей вектора скорости точки наблюдения S . Значение V_y менялось в интервале $V_y \in [-300; 300]$ км/ч.

В табл. 8 представлены «идеальные» и моделируемые РЛИ трёхмерной сцены, полученные при разных значениях горизонтальной составляющей вектора скорости точки на-

блюдения S . Значение V_z менялось в интервале $V_z \in [-300; 300]$ км/ч.

Таблица 7

Динамика изменения моделируемых РЛИ при изменении горизонтальной составляющей вектора скорости V_y

Значение V_y	-300	-100	-30
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			
Значение V_y	30	100	300
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			

Таблица 8

Динамика изменения моделируемых РЛИ при изменении горизонтальной составляющей вектора скорости V_z

Значение V_z	-100	-80	-40
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			
Значение V_z	40	80	100
«Идеальное» РЛИ (незашумлённое)			
Моделируемое РЛИ (зашумлённое)			

Таким образом, рассмотренный ПКМ РЛИ позволяет получать РЛИ трёхмерных моделей местности при заданных параметрах съёмки. С его помощью, изменяя исходные параметры, можно визуально наблюдать изменения на моделируемых РЛИ.

Комплекс планируется использовать при проведении практических и лабораторных занятий с курсантами и слушателями по дисциплинам «Топографическое дешифрирование снимков», «Аэрокосмические съёмки и основы фотограмметрии», «Фототопография».

Литература

1. Левадный Ю.В., Телеш В.А. Моделирование идеального радиолокационного изображения. // Труды Всеармейской научно-практической конференции. 2015. С. 273-276.

2. Левадный Ю.В., Телеш В.А. Способ моделирования радиолокационных изображений наземных объектов наблюдения. // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 4. С. 25–28.

3. Горелик А.Г. Самоучитель 3ds Max 2016. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 528 с.

4. Тимофеев С.М. 3ds Max 2012. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 496 с.

5. Кормен Т. Алгоритмы. Вводный курс. М.: Вильямс, 2016. 208 с.

6. Гофман В.Э., Хомоненко А.Д. Самоучитель Delphi. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 576 с.

Для цитирования:

Телеш В.А., Левадный Ю.В. Программный комплекс анализа и моделирования радиолокационных изображений объектов местности // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 14–19.

PROGRAM COMPLEX OF THE ANALYSIS AND SIMULATION OF RADAR IMAGES OF OBJECTS OF TERRAIN

Vadim A. Telesh,

St. Petersburg, Russia, pismo@telesh.ru

Yury V. Levadny,

St. Petersburg, Russia, levada74@mail.ru

Abstract

Now radar stations of the review of the land surface find broad application in Armed Forces and in case of the decision of different economic tasks. By means of such systems it is possible to receive images of objects, on quality the close to optical. Radar images are used by development and up-dating of topographic, situation-dependent and subject maps of different scales. Are widely applied in case of a study of vertical sagging and adjustments of the land surface during construction of facilities. According to radar images measure heights of objects of terrain and build high-precision digital models of terrain. Besides such images are necessary when monitoring stationary and mobile objects on the Earth's surface and speed sensing of moving objects. Also radar images are necessary in case of assessment of a status of agricultural grounds, and also in educational institutions in case of a study of the disciplines connected to decryption of images.

Very often, when carrying out practical operations with cadets and listeners on decryption it is necessary to show how different objects of terrain on radar images look. Because of features of formation radar images have a row of differences from optical.

The present radar images in educational process aren't enough, and there are practically no images of different objects of terrain (for example, the separate building, a boiler room, the road, channels, etc.).

For high-quality training it is possible to model process of

obtaining radar images, beginning from the moment of radiation of a radio-frequency pulse and finishing with image generation. And the model shall consider all factors influencing quality of the received radar images.

The program complex of the analysis and simulation of radar images developed in a software environment of Borland Delphi is described. It functions under control of the Microsoft Windows operating system.

Keywords: simulation of the radar image; radar image; three-dimensional model of terrain; radar station; program complex of simulation of radar images.

References

1. Levadny Yu.V., Telesh V.A. Modelirovanie ideal'nogo radiolokatsionnogo izobrazheniya [Simulation of the ideal radar image]. Trudy vseharmeyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2015. Pp. 273–276. (In Russian).

2. Levadny Yu.V., Telesh V.A. Sposob of simulation of radar images of terrestrial objects of observation. H&E Researches. 2015. Vol. 7. No. 4. Pp. 25–28. (In Russian).

3. Gorelik A.G. Samouchitel' 3ds Max 2016 [Self-instruction manual 3ds Max 2016] 2016. St. Petersburg, BHV-St. Petersburg, 2016. 528 p. (In Russian).

4. Timofeev S.M. 3ds Max 2012. St. Petersburg, BHV-St. Petersburg, 2012. 496 p. (In Russian).

5. Cormen T.H. Algorithms Unlocked. London, England, The MIT Press, 2013. 235 p. (In Russian).c

6. Gofman V.E., Homonenko A.D. Samouchitel' Delphi. [Self-instruction manual Delphi]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg, 2013. 576 p. (In Russian).

Information about authors:

Telesh V.A., Ph.D., docent of the Department phototopography and fotogrammetriya, Military Space Academy; Levadny Y.V., Ph.D., deputy head of the Department phototopography and fotogrammetriya Military Space Academy.

For citation:

Telesh V.A., Levadny Yu.V. Program complex of the analysis and simulation of radar images of objects of terrain. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 14–19. (In Russian).

ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ КОРАБЕЛЬНОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ВООРУЖЕНИЯ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ В ОТНОШЕНИИ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

Лазарев

Дмитрий Владимирович,

к.т.н., ведущий научный сотрудник

Центрального научно-

исследовательского института «Курс»

г. Москва, Россия,

qsk@mail.ru

Ключевые слова:

электромагнитное проектирование; корабельное радиоэлектронное средство; электромагнитная совместимость; электромагнитная безопасность; электромагнитная стойкость; специализированный аппаратно-программный комплекс.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены актуальные проблемы и современные решения системного проектирования и сопровождения корабельного радиоэлектронного вооружения надводных кораблей в отношении эффектов электромагнитной обстановки: обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, обеспечения электромагнитной безопасности в отношении промышленных и биологических рецепторов, обеспечение электромагнитной стойкости радиоэлектронных средств к воздействию мощных импульсных электромагнитных излучений мобильных комплексов электромагнитного оружия. На современном этапе проектирования и сопровождения корабельного радиоэлектронного вооружения надводных кораблей одним из важных аспектов является электромагнитное проектирование морских радиотехнических систем верхней палубы. Это обусловлено большой плотностью размещения антенных постов многофункциональных широкополосных радиоэлектронных средств различного назначения радиолокационного и радиосвязного профиля. Задача электромагнитного проектирования надводных кораблей заключается в определении эффектов электромагнитной обстановки, складывающейся при функционировании радиоэлектронного вооружения. Актуальные решения в определении этих эффектов заключаются в решении следующих подзадач: электродинамическое моделирование электромагнитных процессов СЧ-СВЧ диапазонов для целей обеспечения внутрисистемной и межсистемной электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, для целей обеспечения объектовой и внеобъектовой электромагнитной безопасности в отношении промышленных и биологических рецепторов, для целей обеспечения электромагнитной стойкости радиоэлектронных средств к воздействию мощных импульсных электромагнитных излучений мобильных комплексов электромагнитного оружия. Для решения каждой из указанных подзадач и общей задачи электромагнитного проектирования надводных кораблей разработаны технология системного проектирования радиоэлектронного вооружения, оригинальные запатентованные инструменты в виде комплекса программного и аппаратного обеспечения. Разработанная совокупность организационного, методического, программного и технического обеспечения позволяет на ранних этапах проектирования решать поставленные задачи, проводить электромагнитное сопровождение надводных кораблей на основных этапах его жизненного цикла и снижать временные, материальные, финансовые, трудовые затраты, возникающие на этапах проектирования, строительства, испытаний и эксплуатации надводных кораблей.

На современном этапе проектирования и сопровождения корабельного радиоэлектронного вооружения надводных кораблей одним из важных аспектов является электромагнитное проектирование корабельных радиотехнических систем верхней палубы. Это обусловлено большой плотностью размещения антенных постов многофункциональных широкополосных радиоэлектронных средств различного назначения радиолокационного и радиосвязного профиля. Задача электромагнитного проектирования надводных кораблей заключается в определении эффектов электромагнитной обстановки, складывающейся при функционировании радиоэлектронного вооружения [1]. Актуальные направления в определении этих эффектов заключаются в решении следующих подзадач: электродинамическое моделирование электромагнитных процессов СЧ-СВЧ диапазонов для целей обеспечения внутрисистемной и межсистемной электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС), для целей обеспечения объектовой и внеобъектовой электромагнитной безопасности (ЭМБ) в отношении промышленных и биологических рецепторов, для целей обеспечения электромагнитной стойкости радиоэлектронных средств (ЭМСт РЭС) к воздействию мощных импульсных электромагнитных излучений мобильных комплексов электромагнитного оружия.

Целью проводимых исследований является предложение современного научно-методического и аппаратно-программного обеспечения для решения проблемы системного проектирования радиоэлектронного вооружения надводных кораблей при их «электромагнитном сопровождении» на основных этапах жизненного цикла.

При проектировании, испытаниях и эксплуатации судов и специализированных морских объектов, укомплектованных значительным количеством радиоэлектронных средств различного назначения, а также на протяжении основных этапов их жизненного цикла, необходимо иметь возможность оперативно проводить экспертизу, оценку, мониторинг и анализ интегральных электромагнитных полей радиочастот в локальных областях и точках пространства для уменьшения рисков в отношении электромагнитных эффектов для персонала, легковоспламеняющихся жидкостей и газов, боеприпасов инициируемых электрическим зарядом, радиоэлектронного оборудования.

Автоматизированный комплекс моделирования электромагнитной обстановки и расчета параметров ЭМП СЧ-СВЧ диапазона на судах и специализированных морских объектах (АКМ-ЭМБ) предназначен для моделирования электромагнитной обстановки на проектируемых и эксплуатируемых судах и других морских инженерных сооружениях различного назначения, создаваемой их радиотехническим оборудованием непрерывного и импульсного излучения радиолокационного и радиосвязного профилей с целью научно-методической и конструкторско-технологической информационной поддержки организационных и технических решений проектантов и эксплуатантов по обеспечению электромагнитной безопасности (ЭМБ) в отношении персонала и перевозимых грузов [2].

Программный комплекс АКМ-ЭМБ позволяет проводить расчеты для следующих радиотехнических систем:

расчет электрической напряженности (плотности потока мощности) электромагнитных полей, создаваемых РЭС с проволочными антеннами СЧ диапазона, со штыревыми антеннами ВЧ диапазона в ближней и дальней зоне, с вибраторными антеннами ОВЧ-УВЧ диапазона в ближней и дальней зоне, с апертурными антеннами УВЧ-СВЧ диапазона в ближней и дальней зоне, с апертурными антеннами УВЧ-СВЧ диапазона в ближней и дальней зоне. Программный комплекс АКМ-ЭМБ состоит из нескольких модулей: база данных судовых передающих РЭС радиолокационного и радиосвязного профилей, модуль обработки и графической конструкторской информации об исследуемом морском объекте и составе его РЭС, модуль выбора или задания нормируемых уровней электрической и магнитной составляющих напряженности электромагнитного поля, модуль расчета точечных и непрерывных значений парциальных и интегральных электромагнитных полей, создаваемых судовыми РЭС радиолокационного и радиосвязного профилей СЧ-СВЧ диапазона и анализа их уровней в соответствии с предельно-допустимыми уровнями (ПДУ), модуль формирования отчетов (визуализации) по результатам проведенных расчетных оценок проектов исследуемых морских объектов, модуль сохранения и загрузки рассчитанных проектов исследуемых морских объектов, модуль импорта файлов результатов измерений, полученных с помощью мобильного аппаратного комплекса измерений.

Апробация комплекса моделирования электромагнитной обстановки и оценки электромагнитной безопасности на морских объектах (АКМ-ЭМБ) и заложенных в него аналитических методов расчёта электромагнитных полей (ЭМП) от радиоэлектронных средств различных диапазонов частот проведена на примере расчётно-оценочной экспертизы обеспечения электромагнитной безопасности в отношении персонала проекта отечественного универсального атомного ледокола (рис. 1). Комплекс моделирования позволяет рассчитывать карту распределения электромагнитных полей СЧ-СВЧ диапазона и их относительное превышение над предельно-допустимыми уровнями (ПДУ) (рис. 2). Возможно детальное построение диаграмм энергетического вклада РЭС и гистограмм распределения парциальных и интегральных ЭМП (рис. 3).

Для каждого случая превышения ПДУ в контрольных точках для радиоэлектронных средств, имеющих высокие уровни парциальных электромагнитных полей и вносящих существенный вклад в интегральную электромагнитную обстановку, разрабатываются организационно-технические рекомендации (снижение излучаемой мощности, смена рабочих частот излучения, увеличение высоты расположения антенного поста, применение специальных затеняющих-экранирующих надстроек) по снижению уровней электромагнитных полей до допустимых.

Для решения задач обеспечения ЭМС РЭС и устранения недостатков, присущих стандартным способам измерений параметров электромагнитных полей (ЭМП) (универсальные наземные мобильные системы мониторинга ЭМП радиочастот, летающие лаборатории на базе самолетов), а также учёта особенностей эксплуатации технических

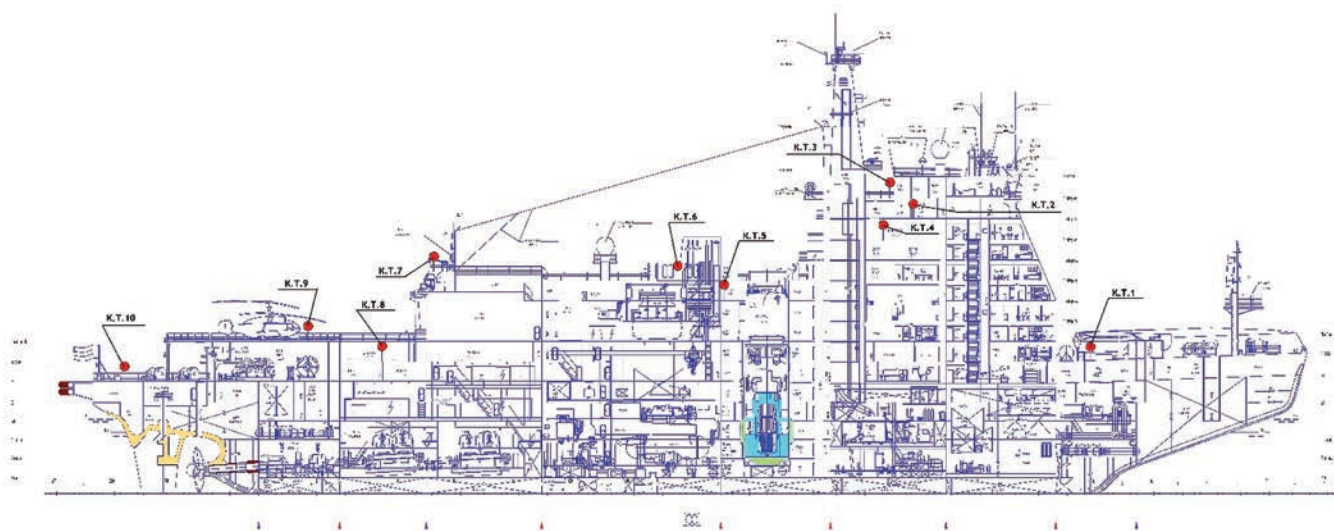


Рис. 1. Проект атомного ледокола с указанием исследуемых контрольных точек

объектов морского базирования (ТОМБ) был разработан оригинальный способ измерений параметров физических полей верхней полусферы морских объектов [5].

Технический результат рассматриваемого изобретения заключается в повышении точности измерений, снижении затрат на их проведение, доступности и простоты проведения для проектантов и эксплуатантов исследуемого морского объекта. Указанный результат достигается за счёт того, что в заявленном способе фиксируются значения параметров ЭМП крупногабаритного морского объекта, без вывода его из эксплуатации, для любых положений чувствительных элементов радиоизмерительного комплекса по пеленгу, углу места и дальности по отношению к исследуемому морскому объекту и отсутствует необходимость применения сложных дорогостоящих операций с применением летаю-

щих лабораторий и наземных измерительных комплексов.

Данный способ основан на использовании морского автоматизированного воздушного радиоизмерительного комплекса (МАВРИК) с применением вертолётного беспилотного летательного аппарата (БПЛА), в том числе привязного типа. Способ предназначен для определения параметров интегрального или парциального электромагнитного поля, создаваемого радиотехническими средствами морского объекта, в локальных областях и точках пространства. К параметрам интегрального электромагнитного поля относятся энергетические, частотные, фазовые, временные и поляризационные параметры ЭМП [3].

Данный способ основан на использовании морского автоматизированного воздушного радиоизмерительного комплекса (МАВРИК) с применением вертолётного бес-

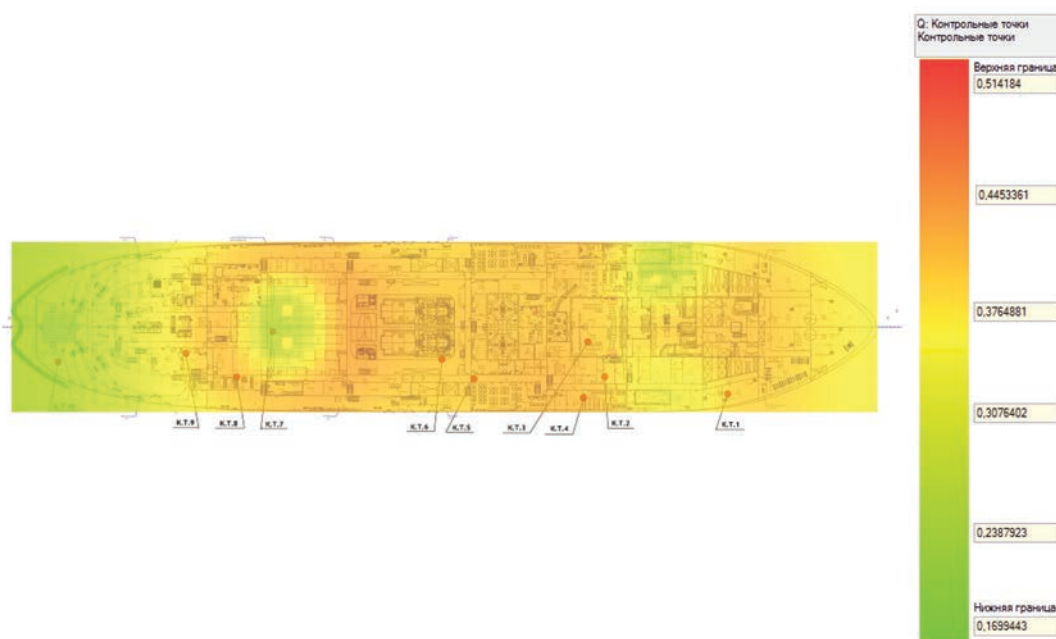


Рис. 2. Карта распределения превышений ПДУ ЭМП

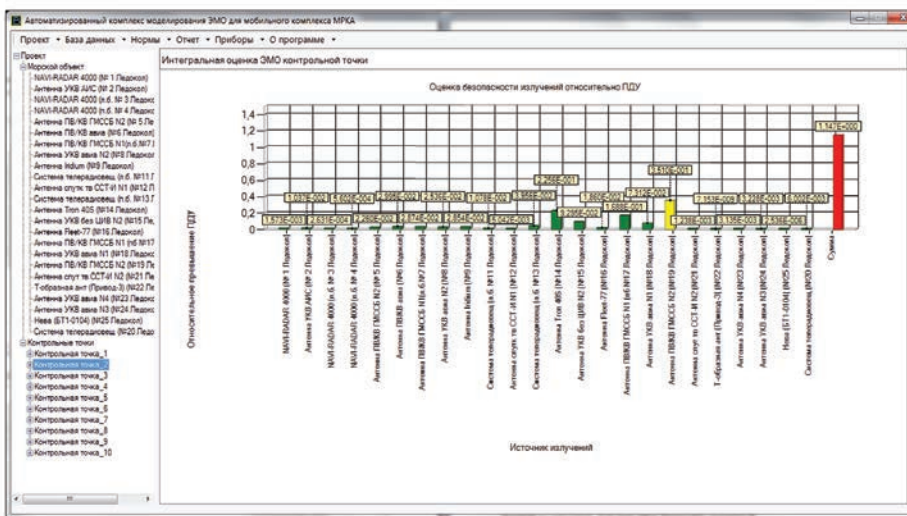
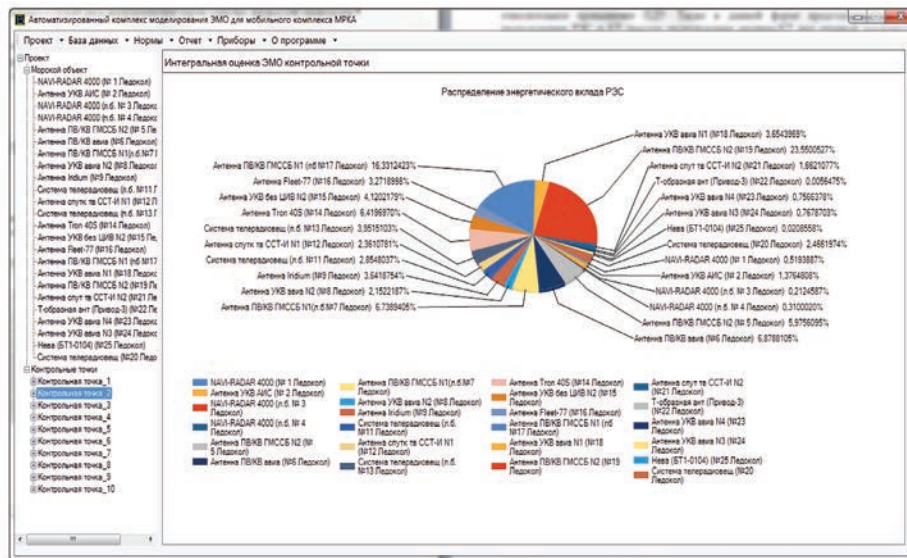


Рис. 3. Параметры парциальных электромагнитных полей в контрольной точке

пилотного летательного аппарата (БПЛА), в том числе привязного типа. Способ предназначен для определения параметров интегрального или парциального электромагнитного поля, создаваемого радиотехническими средствами морского объекта, в локальных областях и точках пространства. К параметрам интегрального электромагнитного поля относятся энергетические, частотные, фазовые, временные и поляризационные параметры ЭМП [3].

На рис. 4 показано взаимодействие различных компонентов измерительной системы, обеспечивающей реализацию первого варианта предлагаемого способа, где 1 – измеряемое ЭМП крупногабаритного морского объекта; 2 – источник измеряемого физического поля, например, антенна радиолокационной станции; 3 – крупногабаритный морской объект (например, корабль); 4 – управляемое беспилотное вертолётное аэроподъёмное устройство (АПУ) привязного типа, содержащее управляемый с внешней ЭВМ радиоизмерительный комплекс ЭМП (элементы радиоизмерительного комплекса);

5 – совокупность электрических кабелей, обеспечивающих работу валов электродвигателей, связанных с воздушными винтами аэроэлектроподъёмного устройства (АПУ), обеспечивающих электропитание радиоизмерительного комплекса, обеспечивающих управление работой радиоизмерительного комплекса (также возможна реализация управления как АПУ, так и радиоизмерительным комплексом по беспроводным радиоканалам, однако такое техническое решение необходимо обосновать с позиций ЭМС РЭС); 6 – контейнер для транспортировки АПУ, содержащий также, например, рабочее место оператора, проводящего измерения, содержащий, в свою очередь, по меньшей мере управляющую ЭВМ; 7 – самоходный подвижный морской объект (например, катер). При этом рассматриваемый вариант данного способа может осуществляться как при стоянке исследуемого морского объекта, так и при его движении.

Для реализации разработанной технологии мониторинга ЭМП верхней полусферы кораблей и иных сложных техниче-

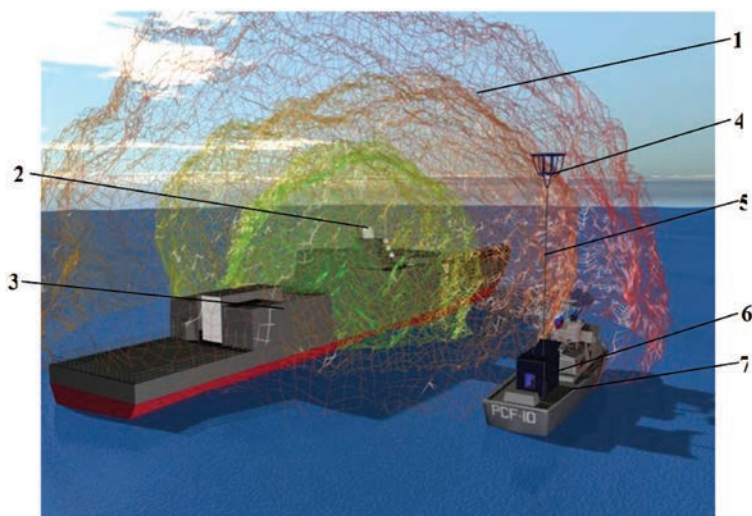


Рис. 4. Реализация разработанного способа измерения ЭМП для корабля

ских объектов морского базирования было разработать программное обеспечение визуализации результатов натурных испытаний морских объектов «Монитор ЭМО» [4]. Внешний вид программного обеспечения представлен на рис. 5.

Проблема обеспечения стойкости радиотехнических систем различного назначения (радиолокация, навигация, связь) к преднамеренным мощным электромагнитным воздействиям (МЭМВ) актуальна для всех современных радиоэлектронных комплексов гражданского и специального назначения. Острая необходимость обеспечения радиоэлектронной защиты (РЭЗ) современных многофункциональных радиоэлектронных комплексов обусловлена высокой степенью интеграции основных видов базовых несущих конструкций радиоэлектронного оборудования, начиная от шкафов и стоек до блоков и функциональных узлов, вплоть до компонентного уровня электронной элементной базы. При этом существенно увеличивается подверженность к различным видам отказов таких систем при влиянии

мощного внешнего электромагнитного воздействия, в том числе искусственного происхождения. Функционирование разрабатываемых радиоэлектронных систем в сложной электромагнитной обстановке (ЭМО) становится более традиционным условием их эксплуатации, особенно это характерно для подвижных объектов и сложных наземных инфраструктурных объектов. Тенденция к ужесточению эксплуатационной ЭМО, а также возможная вероятность преднамеренных МЭМВ приводит к выдвиганию повышенных требований к РЭЗ и анализу стойкости, в первую очередь, особо ответственных стратегических радиотехнических объектов специального назначения.

Непосредственное влияние МЭМВ на радиоэлектронные средства различного назначения может привести к трём основным качественным эффектам: при воздействии источника МЭМВ на расстояниях порядка тысяч метров от рецептора воздействия происходит информационное подавление, проявляющееся в интенсивном воздействии элек-

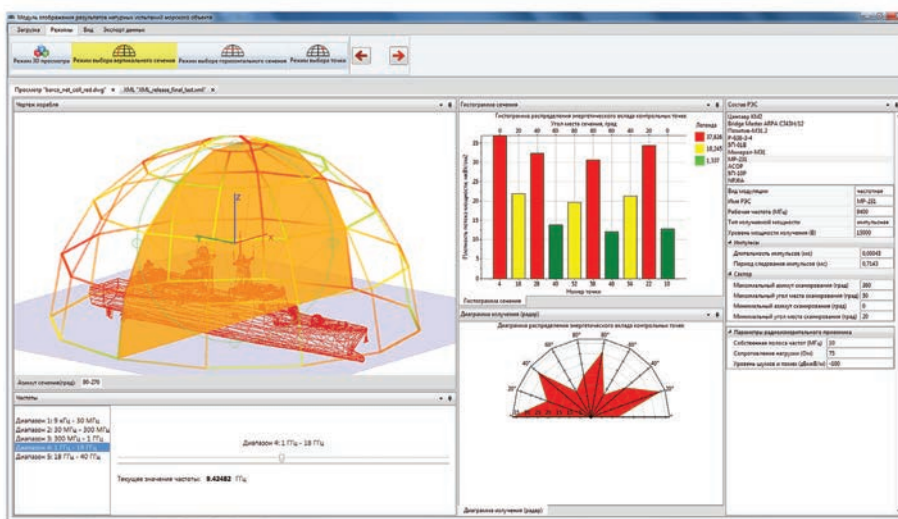


Рис. 5. Внешний вид программы «Монитор ЭМО»

ромагнитных радиопомех, приводящих к полной потере полезного сигнала на время действия электромагнитного возмущения; при воздействии источника МЭМВ на расстояниях порядка сотен метров от рецептора воздействия происходит функциональное подавление, проявляющееся в полной или частичной потере работоспособности радиоэлектронного оборудования, которая сохраняется не только на время действия электромагнитного возмущения, но и после него, вследствие чего для восстановления работоспособности радиотехнической системы требуется вмешательство оператора; при воздействии источника МЭМВ на расстояниях порядка десятков метров от рецептора воздействия происходит физическое подавление, проявляющееся в физическом разрушении радиотехнических цепей и электрорадиоэлементов оборудования, приводящее к полному выходу из строя отдельных трактов радиотехнической системы, для восстановления работоспособности которой требуется замена функциональных узлов.

Рассматривая влияние излучаемых МЭМВ на радиотехнические системы различного назначения необходимо в первую очередь рассматривать такое влияние через антенно-фидерные тракты таких систем, как наиболее уязвимых к данному виду воздействий. Для решения задачи расчётной оценки электромагнитной стойкости РЭС от воздействия

мощных импульсных электромагнитных излучений мобильных комплексов электромагнитного оружия разработано численно-аналитическое методическое обеспечение, позволяющее проводить оценку применительно к морским радиотехническим системам различного назначения, функционирующим в различных диапазонах радиочастотного спектра. При рассмотрении излучаемых ЭМП на радиотехнические системы различного назначения, в первую очередь, рассмотрено воздействие через их антенно-фидерные тракты, которые являются наиболее вероятными рецепторами и наиболее уязвимыми к данному виду воздействий.

По разработанной технологии и научно-методическому обеспечению было разработано специализированное исследовательское программное обеспечение (СИПО), позволяющее исследовать влияние каждого из восьми контуров прохождения электромагнитного процесса от источника к рецептору (рис. 6) [6].

Практическая значимость разработанной технологии и методического обеспечения каждого её этапа заключается в возможности на ранних этапах проектирования радиоэлектронных средств на основе расчётно-оценочной экспертизы их стойкости к потенциальным мощным преднамеренным электромагнитным воздействиям обосновать организационно-технические, конструктивно-технологич-

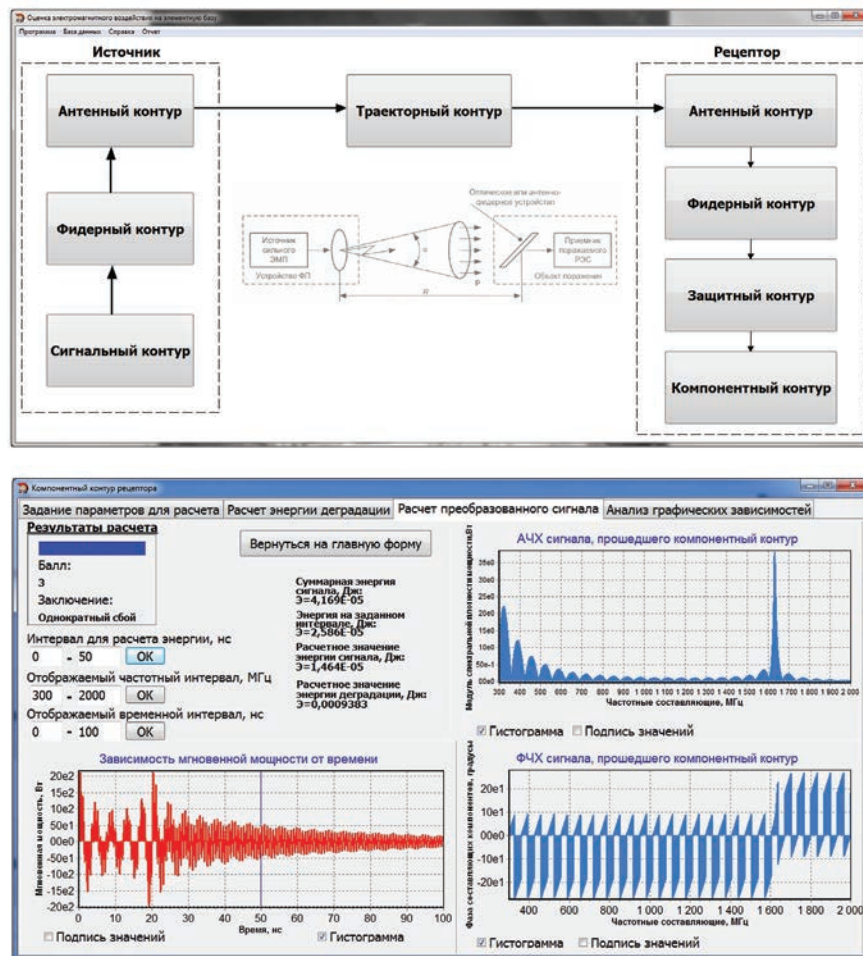


Рис. 6. Внешний вид главной формы и результатов расчёта разработанного СИПО

ческие и структурно-схемотехнические решения, направленные на достижение заданного уровня радиоэлектронной защиты, а также существенно улучшить разработку программы и методик лабораторных, полигонных и натуральных испытаний на этапе контрольно-инструментальной экспертизы (КИЭ) стойкости радиоэлектронных устройств к мощным преднамеренным электромагнитным воздействиям и интерпретации протоколов таких испытаний.

Полученная совокупность разработанных технологий, научно-методического и программно-аппаратного обеспечения для решения проблемы системного проектирования радиоэлектронного вооружения надводных кораблей при их «электромагнитном сопровождении» на основных этапах жизненного цикла позволит существенно сократить временные, материальные, финансовые и трудовые затраты разработчиков, строителей и эксплуатантов кораблей и специализированных морских объектов.

Литература

1. Бурутин А.Г., Балюк Н.В., Кечиев Л.Н. Электромагнитные эффекты среды и функциональная безопасность радиоэлектронных систем вооружения // Технологии ЭМС. 2010. № 1 (32). С. 3–27.
2. Лазарев Д.В., Горчакова Е.А. Научно-методическое обеспечение и аппаратно-программный комплекс оценки электромагнитной безопасности при функционировании объектов морской инфраструктуры // Проблемы развития

корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2012. № 1. С. 27–38.

3. Патент РФ 2481601. Способ измерения параметров физических полей верхней полусферы морского объекта / Клячко Л.М., Лазарев Д.В., Седов В.А., Чуриков А.Ю., Горчакова Е.А. Заявл. 04.08.2011. Опубл. 10.05.2013. Бюл. № 13.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618032. Программный комплекс обработки параметров и визуализации конфигурации электромагнитных полей морских объектов в верхней полусфере / Лазарев Дмитрий Владимирович, Крутько Александра Николаевна, Чуриков Алексей Юрьевич, Седов Владимир Аркадьевич; рег. от 08.08.2014, РОСПАТЕНТ.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614255. Автоматизированный комплекс моделирования электромагнитной обстановки, расчёта уровней электромагнитных полей, анализа экспериментальных данных и оценки электромагнитной безопасности морских объектов / Лазарев Дмитрий Владимирович, Глушко Елена Юрьевна, Союстова Алина Олеговна; рег. от 13.04.2015, РОСПАТЕНТ.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616004. Расчётная оценка стойкости радиоэлектронных средств к воздействию мощных сверхкоротких импульсных электромагнитных излучений / Лазарев Дмитрий Владимирович, Биктеева Анастасия Максимовна; рег. от 28.05.2015, РОСПАТЕНТ.

Для цитирования:

Лазарев Д.В. Технологии системного проектирования и сопровождения корабельного радиоэлектронного вооружения надводных кораблей в отношении эффектов электромагнитной обстановки // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 20–27.

$$\begin{aligned}
 & B = \frac{\Delta I_B}{S} \quad E = \frac{1}{2} \hbar \omega / k/m \quad \omega = 2\pi f \quad \vec{\psi} = \iint \vec{D} dS = \Phi = \frac{2\pi \sin^2 \alpha}{\lambda} \psi \\
 & f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad \vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B}) \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad \vec{S}_2 = U_e I t \quad \lambda^* T = b \quad v = c/\lambda \\
 & R = \rho \frac{l}{S} \quad \vec{\Phi} = NBS \quad H_\lambda = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda} \\
 & k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \quad F_v = \int \frac{F_n}{R} \quad E = mc^2 \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \quad \vec{F}_m = \vec{B} I l = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d} \\
 & v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad \sigma = \frac{\Phi}{S} \quad M_e = \sigma T^4 \quad R_m = \frac{c}{T} \quad v_k = \sqrt{\frac{R M_e}{R_2}} \\
 & v = \frac{\hbar \omega}{2\pi r m_e} \quad M_0 = \frac{4\pi^2 r^3}{\sigma T^2} \quad I_m^2 = U_m^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_c} - \frac{1}{X_L} \right)^2 \right] \quad F_g = \frac{m_1 m_2}{r^2} \\
 & M = \int \vec{E} d q \quad \vec{B} = \mu_0 \frac{NI}{l} \quad 1 \text{ pc} = \frac{1 \text{ AU}}{3.26}
 \end{aligned}$$

TECHNOLOGY OF SYSTEM DESIGN AND MAINTENANCE OF SHIP RADIOELECTRONIC EQUIPMENT IN RELATION OF ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT EFFECTS

Dmitriy V. Lazarev,
Moscow, Russia, qsk@mail.ru

Abstract

Actual problems and modern solutions for system design and maintenance of the ship's electronic equipment of surface ships against the effects of electromagnetic environment: ensuring electromagnetic compatibility of radio electronic means and ensuring electromagnetic safety for industrial and biological receptors, providing the electromagnetic immunity of electronic means to the effects of high-power pulsed electromagnetic radiation of mobile systems electromagnetic weapons. At the present stage of the design and maintenance of the ship's electronic equipment of surface ships with one of the important aspects is the electromagnetic design of marine radio systems of the upper deck. This is due to high-density multi-functional broadband antenna stations of radio electronic equipment for various purposes of radar and radio communication profile. The task of designing an electromagnetic surface ships is to determine the effects of electromagnetic situation emerging in the operation of electronic equipment. Recent decisions in the determination of these effects is to address the following subtasks: electrodynamic simulation of electromagnetic processes midrange UHF bands for the purpose of ensuring intra and inter-system electromagnetic compatibility of radio electronic means, for purposes of the object and out object electromagnetic safety for industrial and biological receptor, for the purposes of ensuring electromagnetic radio-electronic means of resistance to the effects of high-power pulsed electromagnetic radiation of mobile complexes of electromagnetic weapons. In order to solve each of these subtasks, and the general problem of the electromagnetic design of surface ships developed technology electronic equipment system design, original patented tools in the form of complex software and hardware. Developed a set of organizational, methodological, software and hardware allows the early stages of design to solve tasks, to carry out an electromagnetic tracking surface ships on the main stages of its life cycle and reduce the time, material, financial, labor costs incurred during the design, construction, testing and operation of surface ships.

Keywords: electromagnetic design; ship radio-electronic means; electromagnetic compatibility; electromagnetic safety; electromagnetic immunity; specialized hardware and software.

References

1. Burutin A.G., Baluk N.V. Kechiev L.N. Electromagnetic Environment Effects and functional safety of electronic weapons systems. Technologies of electromagnetic compatibility. 2010. No. 1 (32). Pp. 3-27. (In Russian).
2. Lazarev D.V., Gorchakova E.A. Scientific and methodological support and hardware-software complex assessment of electromagnetic safety in the operation of marine infrastructure. Problemy razvitiya korabel'nogo vooruzheniya i sudovogo radioelektronnogo oborudovaniya. 2012. No. 1. Pp. 27–38. (In Russian).
3. Patent RF 2481601. Sposob izmereniya parametrov fizicheskikh poley verkhney polusfery morskogo ob"ekta [The method of measuring the parameters of physical fields of the upper hemisphere marine object]. Klyachko L.M., Lazarev D.V., Sedov V.A., Churikov A.Yu., Gorchakova E.A. Declared 04.08.2011. Published 10.05.2013. Bulletin No. 13. (In Russian).
4. Certificate of state registration of the computer program 2014618032. Programmnyy kompleks obrabotki parametrov i vizualizatsii konfiguratsii elektromagnitnykh poley morskikh ob"ektov v verkhney polusfere [The program complex of processing and visualization configuration parameters of electromagnetic fields offshore facilities in the upper hemisphere]. Dmitry Lazarev, Krut'ko Alexandra Nikolaevna, Churikov Alexey Yur'evich, Sedov Vladimir Arkad'evich; reg. 08.08.2014, ROSPATENT. (In Russian).
5. Certificate of state registration of the computer program 2015614255. Avtomatizirovanny kompleks modelirovaniya elektromagnitnoy obstanovki, rascheta urovney elektromagnitnykh poley, analiza eksperimental'nykh dannykh i otsenki elektromagnitnoy bezopasnosti morskikh ob"ektov [The automated complex electromagnetic environment simulation, calculation of the levels of electromagnetic fields, analysis of experimental data and evaluation of electromagnetic safety of offshore facilities]. Dmitry Lazarev, Glushko Elena, Soyustova Alina O.; reg. 04.13.2015, ROSPATENT. (In Russian).
6. Certificate of state registration of the computer program 2015616004. Raschetnaya otsenka stoykosti radioelektronnnykh sredstv k vozdeystviyu moshchnykh sverkhkorotkikh impul'snykh elektromagnitnykh izlucheniyy [The calculated estimation of resistance to the effects of radio-electronic means of high-power ultrashort pulse of electromagnetic radiation]. Bikteeva Anastasia Maksimovna, Lazarev Dmitriy Vladimirovich; reg. 05.28.2015, ROSPATENT. (In Russian).

Information about authors:

Lazarev D.V., Ph.D., leading researcher, Central Research Institute "Kurs".

For citation:

Lazarev D.V. Technology of system design and maintenance of ship radioelectronic equipment in relation of electromagnetic environment effects. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 20–27.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ВЕЙВЛЕТ-ОБРАБОТКИ РЕФЛЕКТОГРАММ

Манонина

Ирина Владимировна,

старший преподаватель кафедры
метрологии, стандартизации и изме-
рений в инфокоммуникациях,
Московского технического
Университета связи и информатики,
Москва, Россия,
irina.mtuci@gmail.com

Ключевые слова:

базисный вейвлет; пороговая
обработка; оценка дисперсии шума;
рефлектограмма; вейвлет-преобразо-
вание.

АННОТАЦИЯ

Известные современные методы локализации повреждений и неоднородностей на линиях связи позволяют определять местоположение и тип таких повреждений, влияющих на качество передаваемого сигнала. Однако, результаты измерений, получаемые при помощи современных «классических» рефлектометров, при всех их достоинствах, содержат определённые погрешности. Такие погрешности могут возникать из-за неидеальной формы зондирующего импульса, его возможных искажений в линии связи, а также воздействия на неё внешних помех. Кроме того, влияет и метод получения на экране прибора рефлектограммы и её дальнейшей обработки. Это приводит к появлению на рефлектограмме шумов и эхо-импульсов. Такой уровень точности далеко не всегда удовлетворяет требованиям, предъявляемым к измерениям на линиях связи, поскольку даёт не вполне достоверную информацию о существующих в линии повреждениях и неоднородностях. Одним из вариантов решения данной задачи может стать следующий метод обработки рефлектограмм, основанный на сочетании стандартных методов рефлектометрии и вейвлет-анализа. Это позволит уменьшить ошибки идентификации повреждений за счёт применения к результатам измерения современного метода анализа, основанного на обработке детализирующих вейвлет-коэффициентов, полученных после прямого дискретного вейвлет-преобразования рефлектограмм. Восстановление очищенной рефлектограммы производится по скорректированным вейвлет-коэффициентам с высокой степенью точности. Результаты такой обработки применяются для удаления шума из рефлектограммы и последующего восстановления и идентификации дефектов линии связи, а также позволяют определять сингулярности рефлектограммы, повышая локализацию повреждений и неоднородностей, что является наиболее важной задачей рефлектометрических измерений. При этом для получения более точных результатов необходимо использовать определённые параметры для вейвлет-обработки. Данная работа посвящена анализу и выбору таких оптимальных параметров вейвлет-обработки, как:

- базисный вейвлет для прямого и обратного дискретного вейвлет-преобразования;
- тип пороговой обработки;
- метод расчёта оценки дисперсии шума.

Проводится сравнительный анализ погрешностей результатов для каждого определяемого параметра. В заключении приведены оптимальные параметры вейвлет-обработки рефлектограмм.

Введение

Существуют различные вейвлеты [3], которые можно использовать в качестве базисной функции для вейвлет-обработки рефлектограмм. Основные отличия этих вейвлетов могут заключаться в следующем: они могут быть ортогональными, полуортогональными, биортогональными; симметричными, асимметричными и несимметричными; с компактным носителем (областью определения) и иным; иметь различную степень гладкости. Наличие у вейвлета свойства ортогональности в значительной степени облегчает анализ и полное восстановление рефлектограмм с наибольшей точностью, а также дает возможность реализовывать алгоритмы быстрых вейвлет-преобразований.

Наиболее простой вещественный вейвлет – вейвлет Хаара, представлен на рис. 1(а). Это вейвлет является ортогональным, обладает компактным носителем и хорошо локализован в пространстве, но не очень хорошо локализован в частотной области, поскольку прямоугольный сигнал имеет широкий спектр частот (теоретически бесконечный), а также обладает низкой степенью гладкости.

В связи с тем, что для полной реконструкции рефлектограмм необходим ортогональный вейвлет, то были предложены функции, вычисляемые итерационным путем, и названные вейвлетами Добеши (вейвлет Хаара является

вейвлетом Добеши 1-го порядка). Таким вейвлеты ортогональны, обладают компактным носителем, при увеличении порядка вейвлета увеличивается его гладкость. Однако, эти вейвлеты несимметричны, что несколько сужает область их использования. Вейвлеты представляют собой семейство функций, полученных посредством растяжения и сдвигов одной материнской вейвлет-функции psi . Для разложения функции до определенного уровня используют т.н. масштабирующую phi -функцию, также называемую отцовским вейвлетом. На рис. 1(б) и 1(в) представлены psi -функции вейвлета Добеши 5-го и 6-го порядка.

Вейвлеты, полученные из вейвлетов Добеши, названные симлетами, позволяют приблизиться к симметрии, насколько это возможно. На рис. 1(г) и (д) представлены симлеты 2-го и 5-го порядков. Добиться ещё большей симметрии, чем симлеты, позволяют вейвлеты, предложенные Р. Койфманом – койфлеты [6]. У таких вейвлетов нулевые моменты имеет и psi -функция и phi -функция. Нулевые моменты в phi -функции облегчают анализ и вейвлет-преобразование. Psi -функция койфлета 1-го порядка представлена на рис. 1(е).

Также на результаты вейвлет-обработки рефлектограмм влияют тип пороговой обработки и метод, используемый в качестве оценки дисперсии для пороговой обработки.

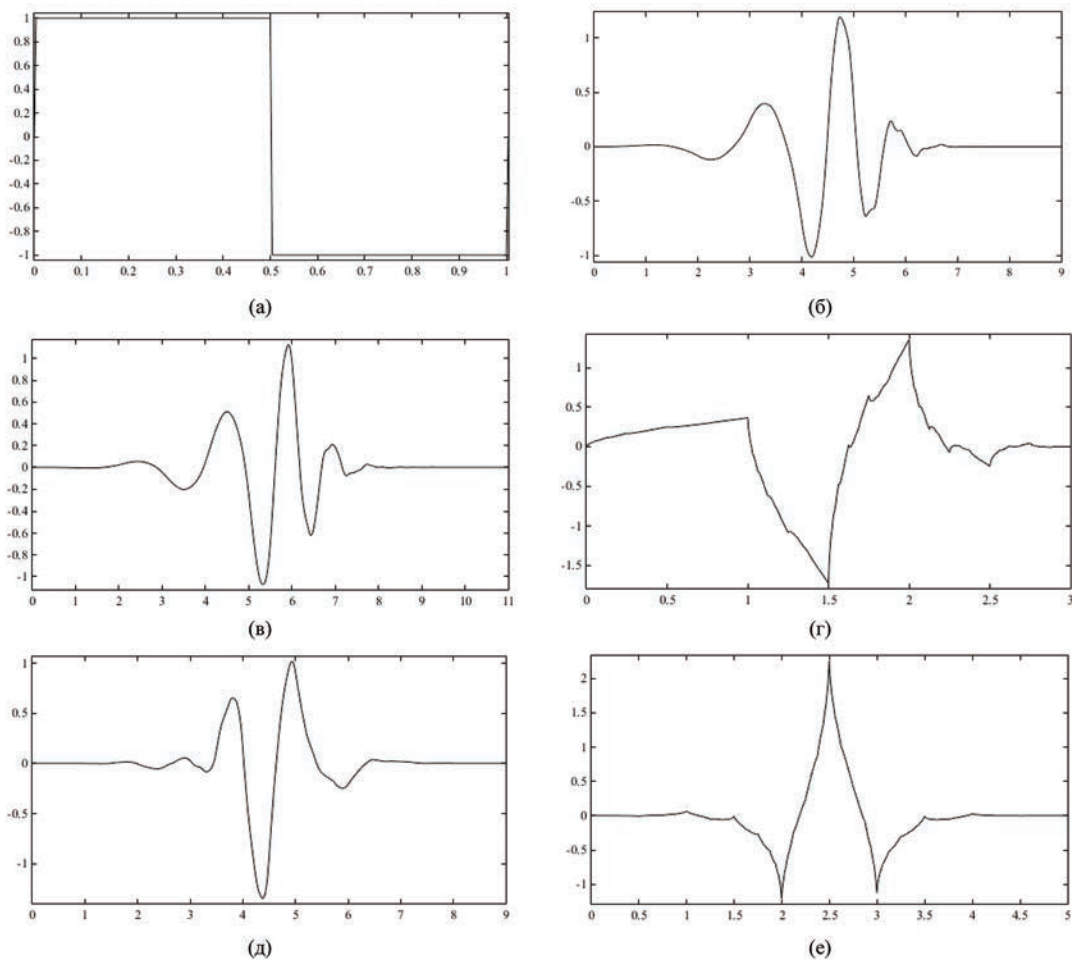


Рис. 1. Вейвлет Хаара (а). Вейвлеты Добеши: 5-го порядка (б), 6-го порядка (в). Симлеты: 2-го порядка (г), 5-го порядка (д). Койфлет 1-го порядка (е)

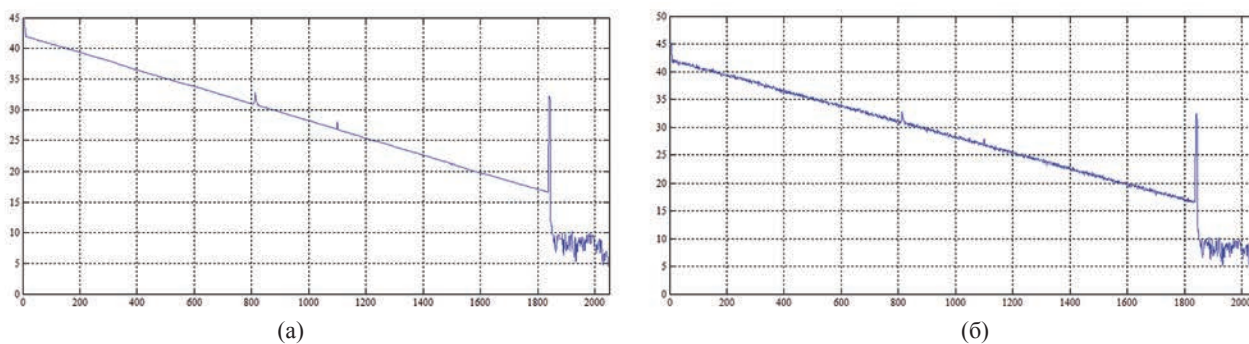


Рис. 2. Идеальная рефлектограмма – (а). Зашумленная рефлектограмма – (б)

Для выбора оптимальных параметров вейвлет-обработки рефлектограмм необходимо на основе базисного вейвлета вычислить прямое дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) и к полученным вейвлет-коэффициентам применить мягкую пороговую обработку, имеющую непрерывную пороговую функцию, и жёсткую пороговую обработку, имеющую разрывы пороговой функции. При этом в качестве оценки дисперсии используется медианное абсолютное отклонение (МАО) и среднеквадратическое отклонение (СКО) S^2 . По полученным после обработки коэффициентам вычисляется обратное ДВП.

Для определения этих параметров используется идеальная рефлектограмма, изображенная на рис. 2(а). К идеальной рефлектограмме был добавлен возможный шум с дисперсией $\sigma^2 = 0.16^2$, рис. 2(б).

1. Базисный вейвлет – вейвлет Хаара

Результаты удаления шума и восстановления рефлектограммы на основе базисного вейвлета Хаара, мягкой пороговой обработки с оценкой дисперсии МАО и СКО, приведены на рис. 3. На рис. 4 представлены результаты, полученные на основе вейвлета Хаара, жёсткой пороговой обработки с оценкой дисперсии МАО и СКО.

По полученным данным вычисляется оценка риска \hat{R}_N , которую необходимо сравнить с оценкой риска, рассчитанной для идеальной рефлектограммы с заданной дисперсией шума $\hat{R}_N = 105.24$. Если в качестве оценки дисперсии шума используются значения на основе МАО, то $\hat{R}_N = 121.02$, когда – на основе СКО, то $\hat{R}_N = 121.62$.

В случае использования в качестве оценки дисперсии шума значения на основе МАО отношение оценок риска будет равно: $(\hat{R}_N - R_N)/(\sigma^2(2N)^{1/2}) \approx 4.56$. При использовании – значения на основе S^2 : $(\hat{R}_N - R_N)/(\sigma^2(2N)^{1/2}) \approx 4.57$.

В [4] показано, что отношение, полученное с использованием в качестве оценки дисперсии шума значения на основе МАО, будет асимптотически нормально с нулевым средним и дисперсией ≈ 1.36 . При этом полученное значение отклоняется от нуля сильнее, чем это характерно для предельного распределения. Также в [4] показано, что отношение, полученное с использованием в качестве оценки дисперсии шума значения на основе СКО, будет асимптотически нормально с нулевым средним и дисперсией 1. При этом полученное значение отклоняется от нуля сильнее, чем это характерно для предельного распределения.

Для сравнения исходной и восстановленной рефлектограмм используется критерий согласия, основанный на расстоянии между теоретической и эмпирической функциями распределения вероятностей. По методу наименьших квадратов рассчитывается относительная разница между исходным и восстановленным сигналами, и сравнивается полученное значение с критическим значением квантиля хи-квадрат $\chi^2_{кр} = 7.815$, являющегося табличным значением интегральной функции распределения Пирсона [5], взятого с вероятностью $P = 0.95$ и числом степеней свободы $k = (5-1-1) = 3$, где число 5 – выбрано из соображения того, что весь участок рефлектограммы разбит на 5 частей – до повреждения, повреждение, от повреждения до помехи (ошибочного выброса), ошибочный выброс, после ошибочного выброса.

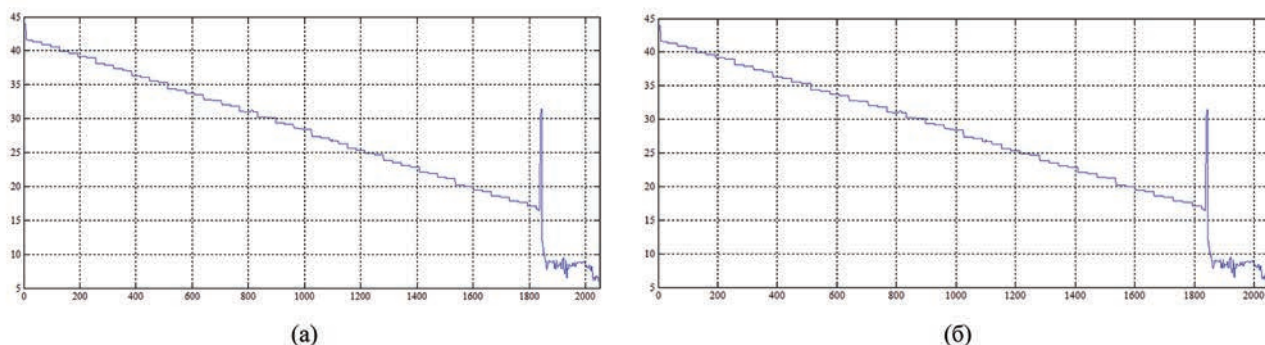


Рис. 3. Результаты очистки рефлектограммы с применением вейвлета Хаара, мягкой пороговой обработки с оценкой дисперсии (а) – МАО, (б) – СКО S^2

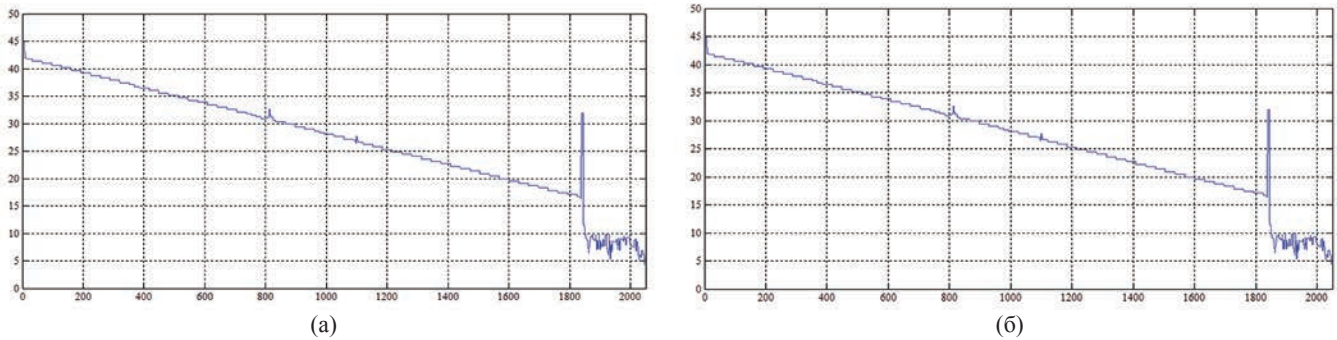


Рис. 4. Результаты очистки рефлектограммы с применением вейвлета Хаара, жёсткой пороговой обработки с оценкой дисперсии (а) – MAO, (б) – SKO S^2

Таблица 1

Относительные отклонения для восстановленного сигнала с помощью вейвлета Хаара

	Мягкий порог		Жёсткий порог	
	Оценка дисперсии шума на основе MAO	Оценка дисперсии шума на основе S^2	Оценка дисперсии шума на основе MAO	Оценка дисперсии шума на основе S^2
Значение χ^2	14.35	14.53	5.19	5.19

При этом проверяется нулевая гипотеза: восстановленный сигнал при определенном уровне значимости α совпадает с исходным сигналом. Если выполняется условие $\chi^2 \leq \chi^2_{кр}$, то нулевая гипотеза принимается. В противном случае, принимают альтернативную гипотезу, и говорить о совпадении двух сигналов нельзя. Результаты расчёта относительной разницы приведены в табл. 1.

Нулевая гипотеза не отвергается только для восстановленного сигнала с помощью вейвлета Хаара с использованием жёсткого порога и оценки дисперсии шума на основе MAO и S^2 , т.к. выполняется условие $\chi^2 \leq \chi^2_{кр}$. Для остальных восстановленных сигналов данное условие $\chi^2 \leq \chi^2_{кр}$ не соблюдается.

Детальная оценка погрешности восстановления в районе повреждения: от 800 до 830 отсчёта, показана на рис. 5(а) – 5(г), где восстановленный сигнал изображен сплошной линией, а исходный сигнал – сплошной линией с окружностями. В табл. 2 приведены результаты расчёта среднеквадратической погрешности для данного интервала.

Таблица 2

Результаты вычисления среднеквадратической погрешности

Тип порога	Среднеквадратическая погрешность
Мягкий порог, оценка дисперсии шума на основе MAO	0.4059
Мягкий порог, оценка дисперсии шума на основе S^2	0.4057
Жёсткий порог, оценка дисперсии шума на основе MAO	0.2505
Жёсткий порог, оценка дисперсии шума на основе S^2	0.2505

Наименьшую погрешность имеет жёсткий тип порога с оценкой дисперсии шума на основе MAO и S^2 . На рис. 5(в) и 5(г) также видно, что восстановленный сигнал имеет похожую форму с высокой мощностью выброса, как и исходный сигнал. Для восстановленного сигнала с применением мягкого порога значение среднеквадратической погрешности выше, что также отражено на рис. 5(а) и 5(б), и соответственно, повреждение не будет распознано при анализе рефлектограммы или будет распознано, но с грубыми погрешностями.

2. Базисные вейвлеты: вейвлет Добеши 5-го и 6-го порядков, симлет 2-го и 5-го порядков, койфлет 1-го порядка.

По аналогии с предыдущим разделом вычислены прямое ДВП на основе следующих вейвлетов: вейвлета Добеши 5-го и 6-го порядков, симлета 2-го и 5-го порядков, койфлета 1-го порядка. К полученным вейвлет-коэффициентам применена мягкая и жёсткая пороговая обработка с оценкой дисперсии шума на основе MAO и SKO. Далее вычислено обратное ДВП. Результаты очистки рефлектограммы с применением указанных вейвлетов, мягкой пороговой обработки с оценкой дисперсии MAO и SKO, приведены на рис. 6. Результаты очистки рефлектограммы с применением указанных вейвлетов и жёсткой пороговой обработки с оценкой дисперсии MAO и SKO, приведены на рис. 7.

Результаты расчёта отношения оценки риска для всех используемых вейвлетов сведены в табл. 3.

Результаты расчёта относительного отклонения для восстановленного сигнала сведем в табл. 4. Сравним их с критическим значением $\chi^2_{кр} = 7.815$.

Для детальной оценки погрешности восстановления в районе повреждения: от 800 до 830 отсчёта, на рис. 8 по-

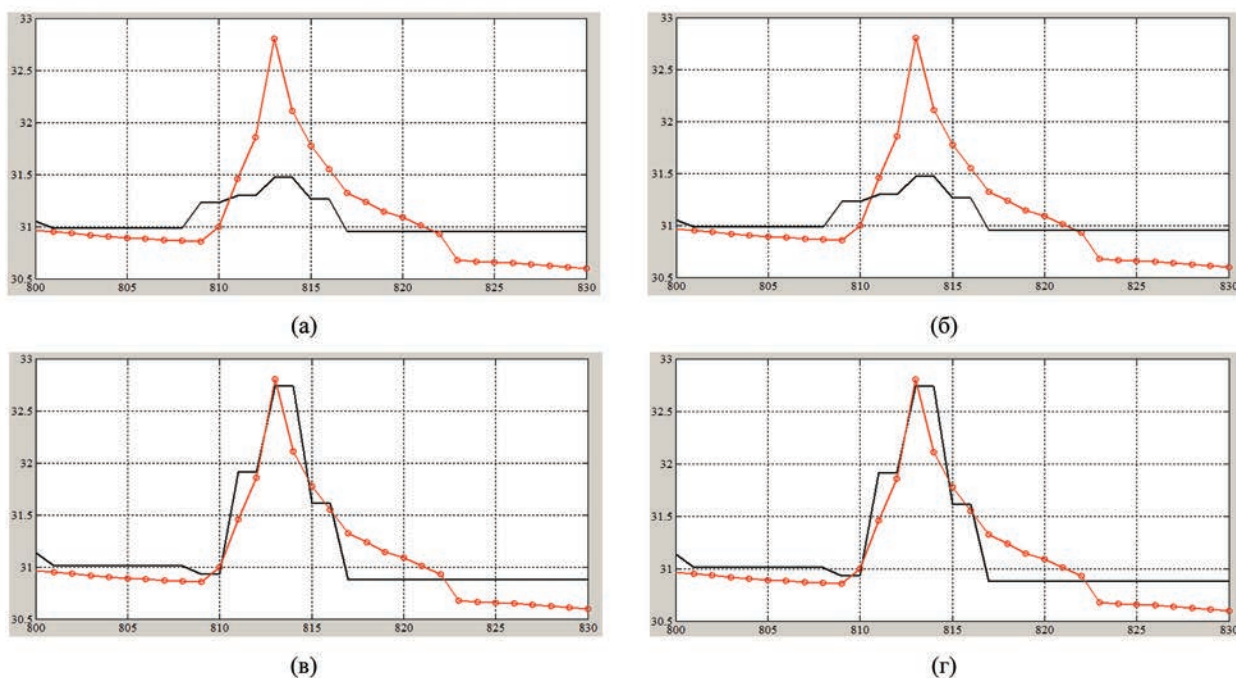


Рис. 5. Восстановленный и исходный сигналы на участке повреждения с использованием вейвлета Хаара: (а) – мягкий порог с оценкой дисперсии шума на основе MAO; (б) – мягкий порог и оценка дисперсии шума на основе S^2 ; (в) – жёсткий порог и оценка дисперсии шума на основе MAO; (г) – жёсткий порог и оценка дисперсии шума на основе S^2

Таблица 3

Результаты расчёта отношения оценок риска
для указанных вейвлетов

	Отношение оценки риска на основе MAO $(R_N(\text{MAO}) - R_N)/(\sigma^2(2N)^{1/2})$	Отношение оценки риска на основе S^2 $(R_N(S^2) - R_N)/(\sigma^2(2N)^{1/2})$
Вейвлет Добеши 5-го порядка	2.92	-1.93
Вейвлет Добеши 6-го порядка	5.06	3.02
Симлет 2-го порядка	-3.86	-7.68
Симлет 5-го порядка	2.02	1.99
Койфлет 1-го порядка	-1.02	-6.65

казаны восстановленный и исходный сигналы на участке повреждения с использованием указанных вейвлетов и мягким порогом с оценкой дисперсии шума на основе MAO и SKO. На рис. 9 показаны восстановленный и исходный сигналы на участке повреждения с использованием указанных вейвлетов и жёстким порогом с оценкой дисперсии шума на основе MAO и SKO. При этом восстановленный сигнал изображен сплошной линией, а исходный сигнал – сплошной линией с окружностями.

В табл. 5 записаны результаты вычисления среднеквадратической погрешности для указанных вейвлетов на выбранном интервале в районе повреждения. Данные табл. 5 необходимо сравнить между собой, так как определенного критического значения для среднеквадратической погрешности нет.

3. Сравнительный анализ

Из таб. 3 видно, что для отношения оценки риска на основе MAO незначительные отклонения, характерные для предельного распределения имеют следующие вейвлеты: койфлет 1-го порядка, симлет 5-го порядка и вейвлет Добеши 5-го порядка. Для отношение оценки риска на основе SKO незначительное отклонение от нуля имеют следующие вейвлеты: вейвлет Добеши 5-го порядка и симлет 5-го порядка.

При сравнении результатов табл. 4 и критического значения $\chi^2_{кр}$, можно отметить, что для всех вейвлетов с мягким порогом результаты превышают критическое значение. Следовательно, нулевую гипотезу о схожести сигналов при уровне значимости $\alpha = 0.05$ принять нельзя. Также нулевая гипотеза отвергается и для вейвлета Добеши 5-го порядка и койфлета 1-го порядка с жёстким порогом и оценкой дис-

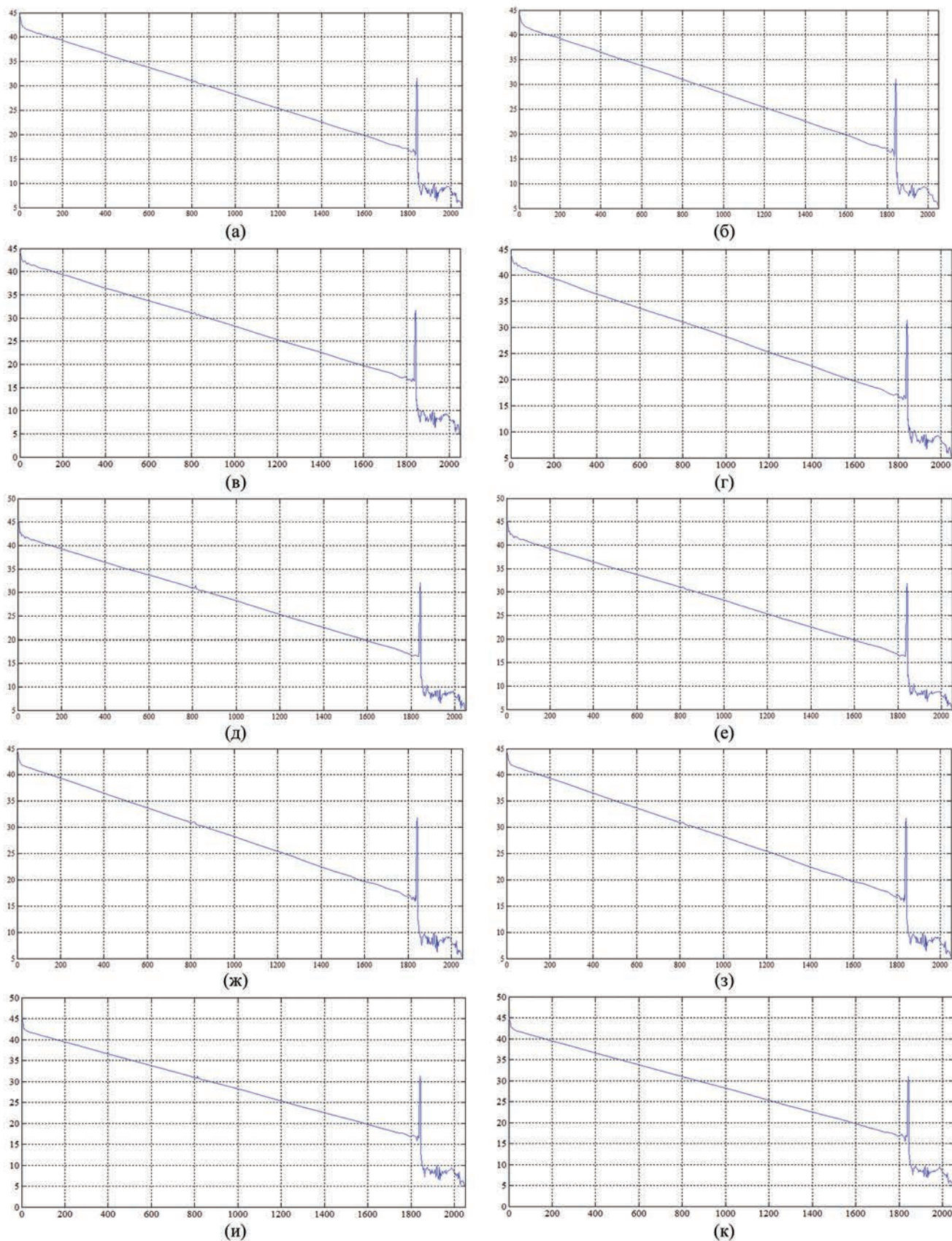


Рис. 6. Результаты очистки рефлектограммы с применением мягкой пороговой обработки и в качестве оценки дисперсии используется MAO: вейвлет Добеши 5-го порядка – (а); вейвлет Добеши 6-го порядка – (в); симлет 2-го порядка – (д); симлет 5-го порядка – (ж); койфлет 1-го порядка – (и). В качестве оценки дисперсии используется SKO: вейвлет Добеши 5-го порядка – (б); вейвлет Добеши 6-го порядка – (г); симлет 2-го порядка – (е); симлет 5-го порядка – (з); койфлет 1-го порядка – (к)

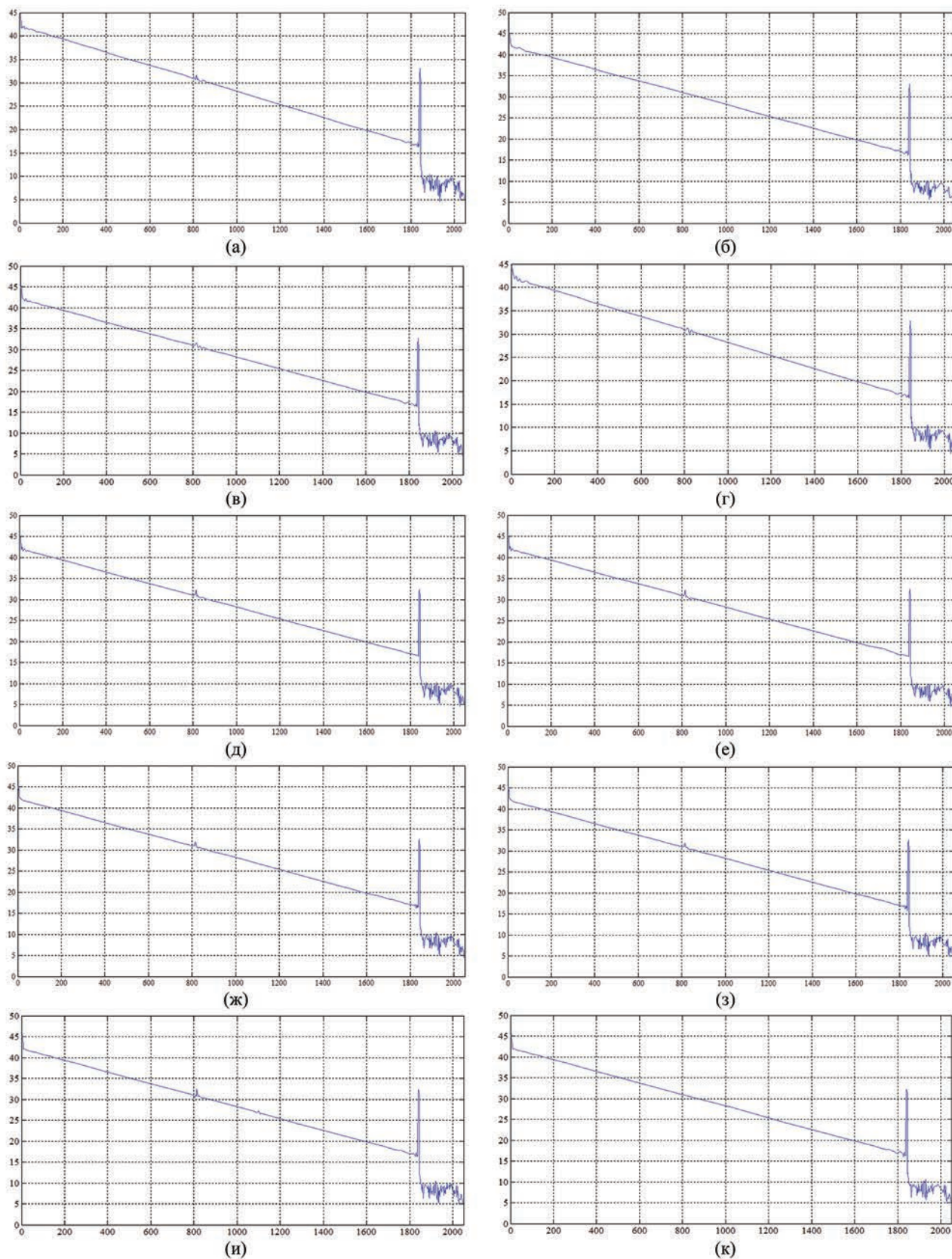


Рис. 7. Результаты очистки рефлектограммы с применением жёсткой пороговой обработки и в качестве оценки дисперсии используется MAO: вейвлет Добеши 5-го порядка – (а); вейвлет Добеши 6-го порядка – (в); симлет 2-го порядка – (д); симлет 5-го порядка – (ж); койфлет 1-го порядка – (и). В качестве оценки дисперсии используется SKO: вейвлет Добеши 5-го порядка – (б); вейвлет Добеши 6-го порядка – (г); симлет 2-го порядка – (е); симлет 5-го порядка – (з); койфлет 1-го порядка – (к)

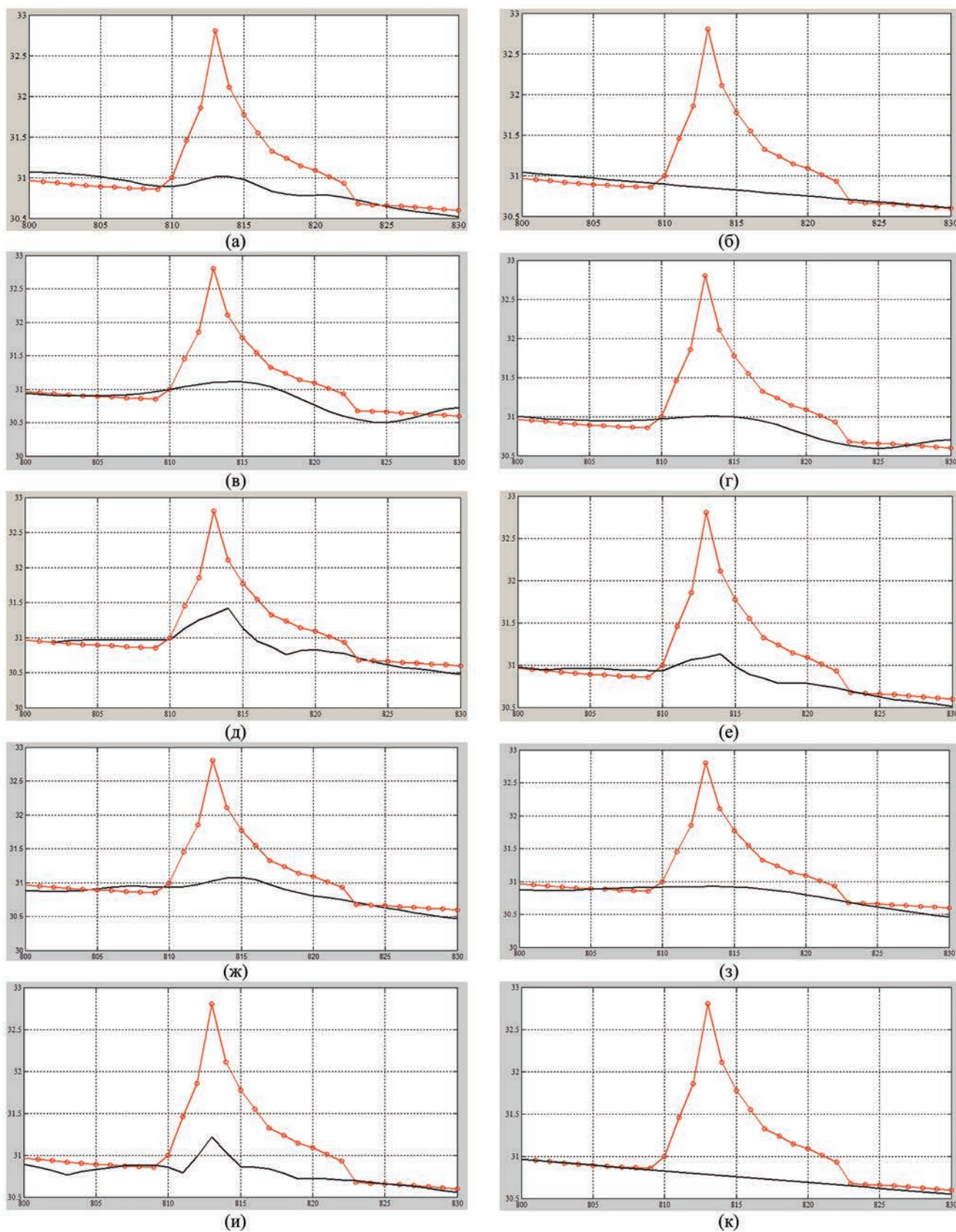


Рис. 8. Восстановленный и исходный сигналы на участке повреждения с использованием мягкого порога с оценкой дисперсии шума на основе МАО: вейвлет Добеши 5-го порядка – (а); вейвлет Добеши 6-го порядка – (в); симлет 2-го порядка – (д); симлет 5-го порядка – (ж); койфлет 1-го порядка – (и). В качестве оценки дисперсии используется СКО: вейвлет Добеши 5-го порядка – (б); вейвлет Добеши 6-го порядка – (г); симлет 2-го порядка – (е); симлет 5-го порядка – (з); койфлет 1-го порядка – (к)

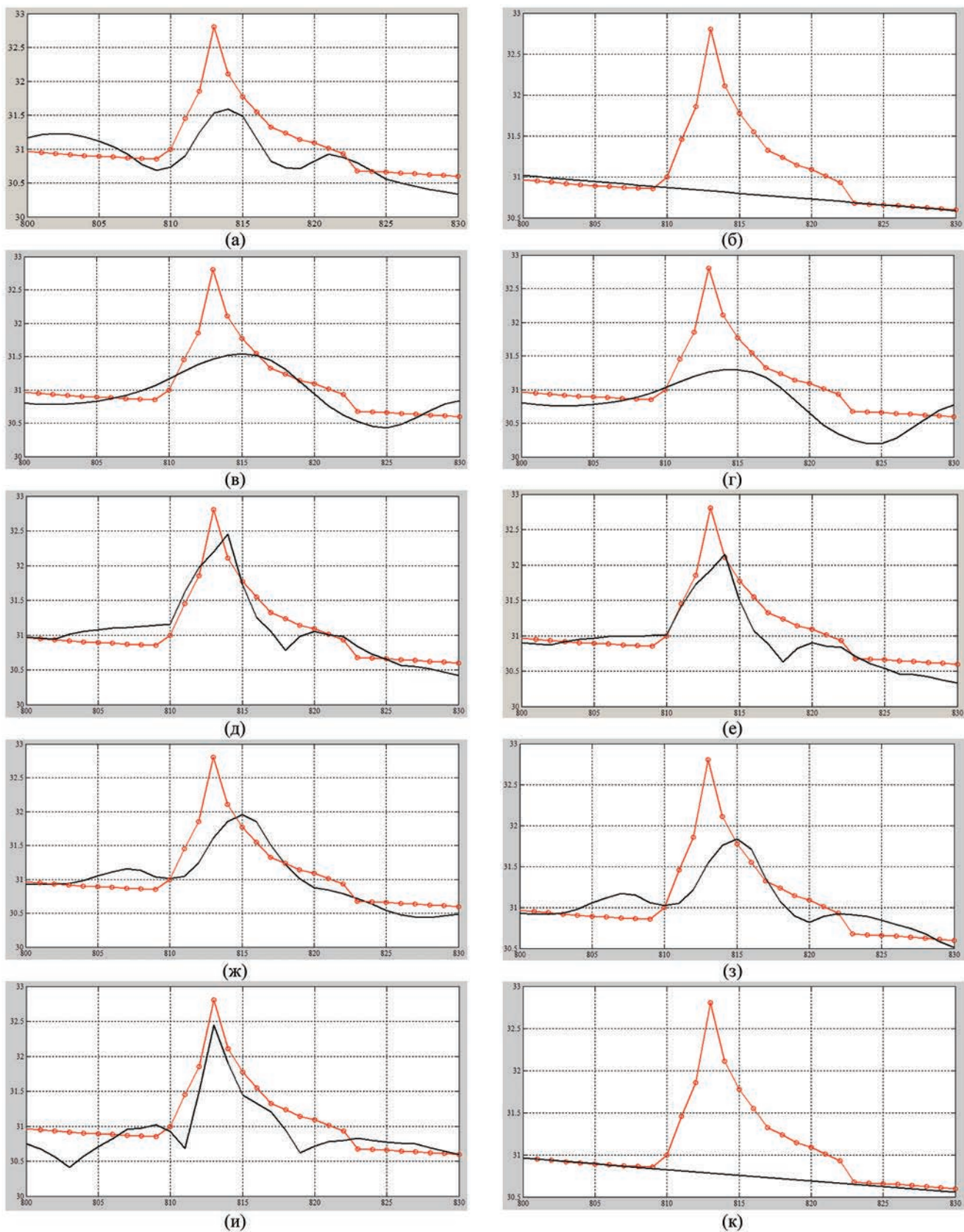


Рис. 9. Восстановленный и исходный сигналы на участке повреждения с использованием жёсткого порога с оценкой дисперсии шума на основе МАО: вейвлет Добеши 5-го порядка – (а); вейвлет Добеши 6-го порядка – (в); симлет 2-го порядка – (д); симлет 5-го порядка – (ж); койфлет 1-го порядка – (и). В качестве оценки дисперсии используется СКО: вейвлет Добеши 5-го порядка – (б); вейвлет Добеши 6-го порядка – (г); симлет 2-го порядка – (е); симлет 5-го порядка – (з); койфлет 1-го порядка – (к)

Таблица 4

Результаты расчёта относительного отклонения для восстановленного сигнала для указанных вейвлетов

	Мягкий порог		Жёсткий порог	
	оценка дисперсии шума на основе МАО	оценка дисперсии шума на основе S^2	оценка дисперсии шума на основе МАО	оценка дисперсии шума на основе S^2
Вейвлет Добеши 5-го порядка	11.92	19.93	3.74	11.03
Вейвлет Добеши 6-го порядка	10.48	15.71	4.02	6.88
Симлет 2-го порядка	10.55	15.53	4.16	6.56
Симлет 5-го порядка	9.33	11.72	3.32	4.36
Койфлет 1-го порядка	10.47	16.07	3.42	8.12

Таблица 5

Результаты расчёта среднеквадратической погрешности восстановленного сигнала в районе повреждения для указанных вейвлетов

	Мягкий порог		Жёсткий порог	
	оценка дисперсии шума на основе МАО	оценка дисперсии шума на основе S^2	оценка дисперсии шума на основе МАО	оценка дисперсии шума на основе S^2
Вейвлет Добеши 5-го порядка	0.5558	0.6170	0.4083	0.6153
Вейвлет Добеши 6-го порядка	0.5025	0.5408	0.3499	0.4906
Симлет 2-го порядка	0.4399	0.5243	0.2489	0.2924
Симлет 5-го порядка	0.5231	0.5743	0.3353	0.3515
Койфлет 1-го порядка	0.5451	0.6556	0.2833	0.6540

персии шума на основе СКО. Для всех вейвлетов с жёстким порогом и оценкой дисперсии шума на основе МАО, полученные значения меньше критического, следовательно, нулевая гипотеза принимается. Также нулевая гипотеза принимается и для вейвлета Хаара с жёстким порогом.

Сравнивая результаты табл. 5 можно отметить, что для всех вейвлетов с мягким порогом значения среднеквадратической погрешности восстановленного сигнала имеет большое значение, соответственно на данном участке рефлектограммы повреждение будет нераспознано или распознано с грубыми погрешностями. Для большинства вейвлетов с жёстким порогом и оценкой дисперсии шума на основе СКО результат среднеквадратической погрешности также имеет большое значение. Такой вывод подтверждают и результаты, показанные на рис. 8 и 9. Наилучший результат имеют вейвлеты с жёстким порогом и оценкой дисперсии шума на основе МАО. При этом наименьшее значение погрешности имеют симлет 2-го порядка и койфлет 1-го порядка, а также вейвлет Хаара.

Однако, для очистки и восстановления сигнала, использование вейвлета Хаара нецелесообразно, так как при исследовании восстановленного сигнала анализируется его форма. А как видно из рис. 3 – 5, форма восстановленного сигнала значительно изменена и не является гладкой. Что при анализе может быть воспринято как наличие повреж-

дений, и, следовательно, будет являться грубой погрешностью. Соответственно, хотя погрешности восстановленного сигнала, полученные с помощью вейвлета Хаара, и имеют маленькие значения, но применять этот вейвлет для удаления шума и восстановления сигнала нельзя.

Заключение

В статье были проанализированы параметры вейвлет-обработки рефлектограмм для уменьшения погрешностей при локализации повреждений линий связи, что обеспечит повышение качества передаваемого сигнала. Сравнительный анализ выявил следующие оптимальные параметры вейвлет-обработки:

- оптимальными базисными вейвлетами для вейвлет-обработки рефлектограмм являются: койфлет 1-го порядка, симлет 2-го и 5-го порядка;
- оптимальный вид пороговой обработки – жёсткая;
- оптимальный метод расчёта оценки дисперсии шума – на основе медианного абсолютного отклонения.

Литература

1. Власов И.И., Новиков Э.В., Птичников М.М., Сторожук Н.Л. Цифровые сети связи. Кабельные и волоконно-оптические линии. М.: ФАЗИС, 2008. 500 с.
2. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия

оптических волокон. М.: ВЭЛКОМ, 2005. 208 с.

3. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002. 446 с.

4. Манонина И.В. Использование вейвлет-анализа для оценки качества рефлектограмм // Т-comm. 2014. № 9. С. 54–59.

5. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. М.: Издательство стандартов, 1972. 312 с.

6. Daubechies I. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets. Variations on a theme // Communications on Pure and Applied Mathematics. 1988. Vol. XLI. Pp. 909–996.

Для цитирования:

Манонина И.В. Определение оптимальных параметров для вейвлет-обработки рефлектограмм // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 28–38.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL PARAMETERS FOR WAVELET-PROCESSING REFLECTOGRAMS

Irina V. Manonina,

Moscow, Russia, irina.mtuci@gmail.com

Abstract

Famous modern methods of fault location on communication lines allow to define location and different type of inhomogeneity of the medium of transmission, affecting the quality of the transmitted signal. However, the measurement results obtained by means of modern "classical" OTDR, for all their merits, contain a certain error. Such errors can occur due to non-ideal forms of the probe pulse, its possible distortions in the communication lines, as well as the impact on it of external interference. In addition, the influences and the method of obtaining reflectograms on the screen of the device and its further processing. This leads to the appearance noise and echoes on the reflectogram. This level of accuracy is not always meet the requirements for measurements on communication lines, because it gives not quite reliable information on the existing line faults and irregularities. One solution to this problem could be the next method of processing reflectograms, based on a combination of standard methods of reflectometry and wavelet analysis. This will reduce error identification of damage due to the use of measurement results of modern methods of analysis based on the processing of the detail wavelet-coefficients obtained after the discrete wavelet transform reflectograms. Recovering prepared reflectogram is performed on the corrected wavelet coefficients with a high degree of accuracy. The results of this treatment are applied to remove noise from the waveform and the subsequent recovery and identification of defects in communication lines, as well as allow to define the singularity of the reflectogram, improving the localization of damage and irregularities, which is the most important task of OTDR measurements. Thus, to obtain good results should be used

certain parameters for wavelet processing. This work is devoted to the analysis and selection of the optimal parameters of the wavelet processing, such as:

- Wavelet basis for the forward and inverse discrete wavelet transform;
- type of thresholding;
- The basis for the calculation of noise variance estimation.

In conclusion, the article compares the results of errors for each defined parameter.

Keywords: basic wavelet; thresholding; noise variance estimation; reflectogram; the wavelet transform.

References

1. Vlasov I.I., Novikov E.V., Ptichnikov M.M., Storozhuk N.L. Cifrovye seti svyazi. Kabel'nye i volokonno-opticheskie linii [Digital communication network. Cable and fiber optic lines]. Moscow, Fazis, 2008. 500 p. (In Russian).
2. Listvin A.V., Listvin V.N. Reflektometriya opticheskikh volokon [Reflectometry optical fibers]. Moscow, WELCOME, 2005. 208 p. (In Russian)
3. Dyakonov V.P. Wavelets. Veyvlety. Ot teorii k praktike [From theory to practice]. Moscow, SOLON R, 2002. 446 p. (In Russian).
4. Manonina I.V. Using wavelet analysis to assess the quality of reflectogram. T-comm. 2014. No. 9. Pp. 54–59. (In Russian).
5. Burdun G.D., Markov B.N. Osnovy metrologii [Fundamentals of metrology]. Moscow, Publishing House of Standards, 1972. 312 p. (In Russian).
6. Daubechies I. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets. Variations on a theme. Communications on Pure and Applied Mathematics. 1988. Vol. XLI. Pp. 909–996.

Information about authors:

Manonina I.V., lecturer at the Department of Metrology, Standardization and Measurement in infocommunications Moscow Technical University of Communications and Informatics.

For citation:

Manonina I.V. Determination of the optimal parameters for wavelet-processing reflectograms. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 28–38.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИНФОРМАТИВНЫХ ТЕЛЕМЕТРИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Андреев

Андрей Михайлович,

к.т.н. доцент, ведущий научный
сотрудник Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского
г. Санкт-Петербург, Россия

Федоренко

Михаил Юрьевич,

начальник лаборатории –
старший научный сотрудник
Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского
г. Санкт-Петербург, Россия,
fedorenko.mihail_spb@mail.ru

Ключевые слова:

вейвлет-анализ; телеметрируемый
параметр; идентификация;
циклограмма полета; синтез вейвлета.

АННОТАЦИЯ

В условиях действия Договора о мерах по дальнейшему сокращению и ограничению стратегических наступательных вооружений (Договора СНВ-3) весьма актуальной является задача контроля пусков баллистических ракет на полигонах США, в ходе которого определяются направления производимых модернизаций и оцениваются достигаемые летные и технические характеристики. В условиях априорной неопределенности относительно особенностей производимых испытаний объектов контроля наиболее информативным источником сведений является передаваемая с борта объектов контроля телеметрическая информация. В ходе контроля анализируются информативные телеметрируемые параметры. В ряде случаев позиции значений информативных телеметрируемых параметров в кадре группового телеметрического сигнала неизвестны. Поэтому поиск и идентификация функциональных информативных телеметрируемых параметров представляют собой важную и сложную задачу.

Как правило, функциональные информативные телеметрируемые параметры имеют тесную связь с циклограммой полета объектов контроля. В моменты смены этапов циклограммы графики изменения значений информативных телеметрируемых параметров во времени имеют характерную форму (далее – характер поведения), повторяющуюся от пуска к пуску и отличную от других телеметрируемых параметров. Следовательно, характер поведения информативных телеметрируемых параметров во времени может быть использован для идентификации.

Предлагается подход к идентификации функциональных информативных телеметрируемых параметров в групповом телеметрическом сигнале объектов контроля, заключающийся в использовании в качестве базиса при вейвлет-разложении очередного телеметрируемого параметра вейвлета, сформированного из фрагмента того же информативного телеметрируемого параметра, идентифицированного ранее. Показана методика формирования эталонного вейвлета. Синтез вейвлета осуществляется аппроксимацией методом наименьших квадратов фрагмента ранее идентифицированного телеметрируемого параметра, разбитого на кусочно-непрерывные постоянные функции. Разработан алгоритм идентификации информативных телеметрируемых параметров в групповом телеметрическом сигнале реальных объектов контроля, основными элементами которого являются приведение телеметрируемых параметров к нулевому среднему, нормирование значений телеметрируемых параметров, непрерывное вейвлет-преобразование телеметрируемых параметров с заданной шкалой масштаба, вычисление среднего значения полученных вейвлет-коэффициентов. Результаты применения данного алгоритма к телеметрическим сигналам показывают возможность его использования для автоматизированного анализа.

В соответствии с Договором СНВ-3, заключенным между Российской Федерацией и США в 2010 году, продолжается сокращение носителей и боезарядов триады СНС: наземных МБР, баллистических ракет подводных лодок (БРПЛ) и стратегических бомбардировщиков.

В настоящее время в США происходит развитие ракетных вооружений по следующим направлениям:

- заканчивается срок службы подводных лодок, оснащенных БРПЛ, и начались разработки подводных лодок нового поколения;

- модернизируются МБР и БРПЛ с целью повышения оперативности управления, точности наведения и т.п.;

- продолжаются испытания ракет по программе ПРО.

В результате модернизации совершенствуются характеристики средств доставки ядерного оружия, являющихся объектами контроля (ОК). Доработки таких элементов, как система управления, исполнительные органы управления, состав, структура и методы закладки твердого топлива в ступени, оптимизация трассы полета позволяют значительно увеличить боевые возможности ОК. Реализация указанных тенденций по модернизации сопровождается интенсивным проведением испытательных и контрольных пусков модернизированных или новых ОК.

Конечной целью контроля пусков ОК является определение направлений производимой модернизации и получение оценок достигнутых в ходе модернизаций характеристик [1].

Наиболее информативным источником сведений о характеристиках ОК и направлениях их модернизации является телеметрическая информация (ТМИ). В частности, в качестве источника сведений выступают определенные телеметрируемые параметры (ТМП) ОК, называемые информативными (ИТМП). Под идентификацией ИТМП понимается определение наличия и расположения в кадре значений искомого ТМП определенного типа (например, ускорения, приращений скорости и т.д.) [2].

Исходя из того, что в зависимости от целей испытательного пуска ОК программа телеизмерений может быть изменена, определение структуры, параметров ГТС и идентификация ИТМП являются важными задачами, так как требуют от эксперта значительных временных затрат, которые в ряде случаев недопустимы.

Анализ показал, что функциональные ИТМП имеют тесную связь с циклограммой полета. Более того, в моменты смены этапов циклограммы – на характерных участках полета (ХУП), графики изменения значений ИТМП во времени имеют характерную форму (далее – характер поведения), повторяющуюся от пуска к пуску и отличную от форм графиков других ТМП. Следовательно, характер поведения ИТМП во времени на ХУП может быть использован для идентификации.

Каждый функциональный ИТМП является временным рядом (ВР), то есть представляет собой совокупность отсчетов (измерений) некоторой физической величины, взятых в различные моменты времени. Обычно, решение задачи идентификации ВР осуществляется с помощью статистических, корреляционных, дифференциальных, частотных, экспертных методов анализа.

Однако, в настоящее время не предложены методы, позволяющие автоматизированно осуществлять идентификацию функциональных ИТМП с высокой результативностью. Одним из перспективных направлений решения данной задачи является вейвлет-анализ ТМИ, обеспечивающий высокие результаты определения существенных изменений в исследуемом ВР и хорошую локализацию таких изменений во времени. Основной особенностью вейвлет-анализа является использование в качестве базиса при преобразовании функций типа маленькой волны – вейвлетов. В отличие от базисов, используемых при преобразовании Фурье – бесконечных гармонических функций, вейвлеты имеют компактный носитель, чем и обусловлены хорошие результаты локализации изменений ВР. Под носителем понимается интервал значений аргумента, на котором значения функции отличны от нуля.

В настоящее время разработаны и используются в различных областях науки большое количество вейвлетов, существует обширная классификация вейвлетов и им подобных функций. Самыми распространенными среди них являются вейвлеты Хаара, Мейера, Батла-Лемарье, Добеши, Шеннона-Котельникова и т.д. Каждый из вейвлетов обладает набором свойств, определяющих его возможности по локализации в частотной и временной областях изменений исследуемого сигнала определенного вида.

Каждый вейвлет $\varphi_k(x)$ обладает следующими признаками [3]:

- локализация. Каждый вейвлет $\varphi_k(x)$ имеет компактный носитель, то есть значения данной функции отличны от нуля на ограниченном интервале. Данное свойство обеспечивает существование интегралов, которые необходимы для вычисления коэффициентов преобразования. Функция $\varphi_i(x)$ отличается от функции $\varphi_{i+1}(x)$ масштабом, то есть длиной носителя. При этом носители имеют общее начало;

- нулевое среднее. Необходимым признаком вейвлета является условие:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi_k(t) dt = 0 \quad (1)$$

- конечная энергия. Для каждого вейвлета должно выполняться условие:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\varphi_k(t)|^2 dt < \infty \quad (2)$$

Формально, семейство функций типа маленькой волны $\{\varphi_k(x)\}$, образующих базис, должно обладать следующим свойством: для любой точки $x_0 \in R$ существует функция семейства $\varphi_k(x)$, носитель которой содержит точку x_0 . Данное свойство будет выполнено, если наряду с функциями $\varphi_k(x)$ в базис будут входить и их сдвиги по оси Ox , то есть функции вида $\varphi_k(x-n)$ для любых целочисленных $n \in Z$;

- среди функций семейства существуют такие, которые имеют сколь угодно большую частоту колебаний, то есть сколь угодно малый носитель.

Для обеспечения возможности учета несоответствия длительностей процессов, ведущих к появлению характерных форм графиков ИТМП на ХУП, и длительности

эталонного, целесообразно использовать непрерывное вейвлет-преобразование [3, 4]. Непрерывное вейвлет-преобразование можно получить, если в обобщенном выражении для вейвлета:

$$\psi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \psi(2^j x - k), \quad (3)$$

разрешить числам j и k принимать непрерывные значения. Тогда получим семейство функций:

$$\psi_{a,b}(x) = \sqrt{a} \psi(ax - b), \quad (4)$$

зависящее от двух непрерывных параметров a и b . При этом правильнее будет использовать следующее параметрическое семейство функций:

$$\Psi_{ab}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right), \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0. \quad (5)$$

Параметр a – это масштабный коэффициент, определяющий длительность ненулевого интервала (носителя) текущего вейвлета из семейства, а параметр b определяет сдвиг по оси O_x .

Тогда непрерывное вейвлет-преобразование определяется формулой:

$$C_{a,b} = W[f](a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt, \quad (6)$$

где $x(t)$ – сигнал;

$\Psi_{a,b}(t)$ – подмножество семейства вейвлетов $\psi_{j,k}(t)$, используемое в данном преобразовании.

Применительно к идентификации ВР сигнал $x(t)$ является дискретным, заданным выборкой значений $\{x_k\}$, следовательно в качестве $x(t)$ можно взять кусочно-постоянную функцию, принимающую значения x_k на промежутках $t \in [k\Delta t, (k+1)\Delta t]$. Тогда $x_k = x(k\Delta t)$.

Параметр сдвига b «пробегаёт» значения выборки с шагом Δt , то есть $b = n\Delta t$, $n = 1:lx$, где lx – объем выборки. Значения масштабного параметра a также дискретны.

Наибольшее значение коэффициент $C_{a,b}$ примет в случае, когда форма графика ТМП совпадет с формой графика вейвлета, характеризуемого определенным масштабом и сдвигом по оси аргумента (времени). В таком случае при анализе ТМП на ХУП упомянутые выше общеизвестные вейвлеты будут иметь низкую эффективность, так как характерное поведение ТМП на ХУП является специфическим. Тогда для идентификации ИТМП на ХУП предлагается подход, заключающийся в том, чтобы в качестве базиса при вейвлет-преобразовании использовался вейвлет, сформированный из фрагмента того же ИТМП, идентифицированного ранее, – эталонный ВР.

Длины эталонных ВР ИТМП, включающих в себя характерное поведение на ХУП, для разных ИТМП различны и соответствуют, как правило, единицам секунд полета ОК. В общем случае эталонные ВР выбираются экспертом.

Для синтеза семейства вейвлетов необходимо аппроксимировать эталонный ВР f [5], заданный на интервале $[a,b]$ и разбитый на N кусочно-непрерывных постоянных функций ρ_i , $t = 1..N$. Исследования показали, что достаточные результаты дает метод наименьших квадратов. Аппроксимация эталонного ВР осуществляется с использованием линейной комбинации вида:

$$\psi = \sum_{i=1}^N \alpha_i \rho_i, \quad (7)$$

где α_i – корректирующий коэффициент, $t = 1..N$.

Функция ψ должна удовлетворять условиям $\psi \in L^1 \cap L^2$ и $t\psi \in L^1$. Кроме того, интеграл функции ψ должен быть равен нулю, что приводит к следующей зависимости:

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i R_i = 0, \quad (8)$$

где $R_i = \int_a^b \rho_i(t) dt$.

Вектор $\alpha = \{\alpha_i\}_{i=1}^N$ и, соответственно, функция $\psi = \sum_{i=1}^N \alpha_i \rho_i$ образуют решаемую линейную систему.

В качестве примера, для идентификации одного из наиболее информативных ТМП – модуля ускорения ОК, эталонным был выбран фрагмент, соответствующий моменту отделения маршевой ступени и запуска следующей ступени ОК. На рис. 1 показан фрагмент ИТМП, содержащего характерное поведение на ХУП, которое в разных пусках меняется очень слабо. Длительность фрагмента соответствует четырем секундам полета ОК.

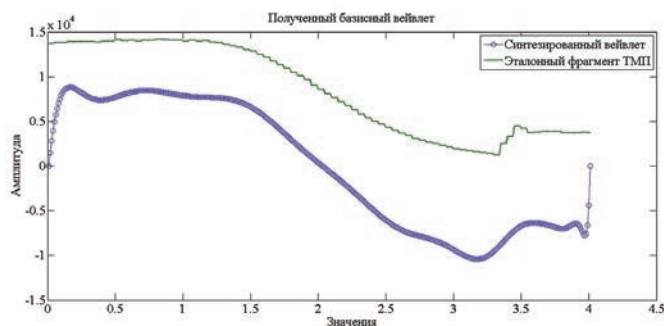


Рис. 1. Эталонный фрагмент ТМП и синтезированный методом наименьших квадратов вейвлет

При анализе набора демультиплексированных из ГТС телеметрических каналов в первую очередь решается задача разделения на сигнальные и функциональные ТМП, каналы субкоммутаторов, поскольку методы обработки и анализа кластеров данных каналов существенно отличаются. В данном случае задача выделения из общего набора телеметрических каналов функциональных ТМП решается статистическими методами.

При идентификации функциональных ИТМП в реальных ГТС существует ряд допущений:

- искомый ИТМП установленного формата представления присутствует в ГТС;
- вероятность ошибки на бит при приеме радиотелеметрических сигналов позволяет получить семантический доступ к данным (искажения в ТМП могут быть отфильтрованы);
- вскрыта циклограмма полета ОК;
- частоты дискретизации эталонного ВР и анализируемых ВР должны совпадать;

– существует набор эталонных ВР для ИТМП на различных ХУП для синтеза на их основе семейств вейвлетов.

Последнее допущение обусловлено тем фактом, что контролирующая сторона может получать доступ к радиосигналам не на всей траектории полета ОК.

Алгоритм идентификации информативных функциональных ТМП на основе вейвлет-анализа включает в себя следующие этапы:

Этап 1. Формирование шкалы масштаба. Так как для различных пусков длина ВР, содержащего характерное поведение ИТМП на ХУП, может отличаться от длины эталонного ВР, то целесообразно использовать непрерывное вейвлет-преобразование, позволяющее производить анализ на различных масштабах. При этом шкала масштаба выбирается в диапазоне $\pm 15\%$ от длительности эталонного ВР. То есть если длительность эталонного ВР соответствует 3 секундам (300 отсчетов при частоте дискретизации 100 Гц), то шкала масштаба должна включать значения от 255 до 345.

Этап 2. Начало цикла по набору N функциональных ТМП, $n = 1: N$, где n – номер ТМП.

Этап 3. Формирование исследуемого ВР.

На данном этапе необходимо выполнить следующие операции:

– выбор исследуемого фрагмента очередного ТМП.

На данном этапе производится выборка отсчетов в окрестностях момента смены этапов циклограммы полета. В условиях априорной неопределенности рекомендуется формировать выборку большего объема за счет расширения рассматриваемого интервала в обе стороны. На практике для представленного выше синтезированного вейвлета (эталонный фрагмент – 4 с) была сформирована выборка с первым отсчетом за 4 секунды до момента отделения 1 ступени и с последним отсчетом через 4 с после;

– формирование исследуемого ВР из выбранного фрагмента ТМП с учетом формата представления данных;

– фильтрацию исследуемого ВР при наличии ошибок. Наилучшими свойствами по устранению небольшого количества ошибок и наименьшему влиянию на характер поведения ТМП обладает медианная фильтрация.

Этап 4. Обработка исследуемого ВР.

На данном этапе необходимо выполнить следующие операции:

– приведение к нулевому среднему. Наличие данного этапа обусловлено тем, что интеграл вейвлета ψ равен нулю,

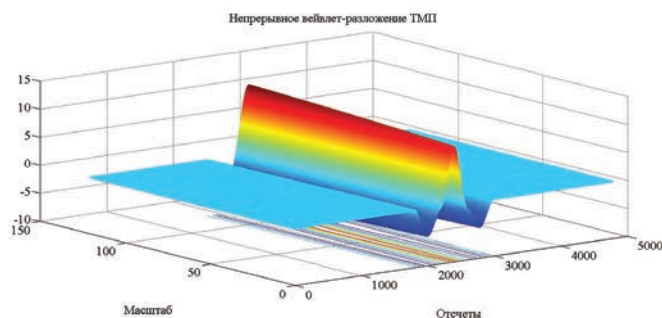


Рис. 2. Непрерывное вейвлет-преобразование текущего ТМП

а различные фрагменты ТМП могут иметь среднее значение отличное от нуля, что приводит к невозможности сравнивать результаты вейвлет-преобразования для различных ТМП;

– дополнение начала и конца исследуемого ВР нулями.

Так как вейвлет имеет компактный носитель, то для предупреждения появления всплесков в вейвлет-коэффициентах на границах исследуемого фрагмента целесообразно добавление нулевых участков;

– нормирование значений исследуемого ВР. Так как различные ТМП имеют разные динамические диапазоны, то результаты вейвлет-преобразования для них также оказываются разными и, как следствие, несравнимыми. Для устранения данного фактора служит нормирование, то есть приведение всех ТМП к одному динамическому диапазону.

Этап 5. Непрерывное вейвлет-преобразование исследуемого ВР очередного функционального ТМП в соответствии с (6).

В результате непрерывного вейвлет-преобразования получаем матрицу вейвлет-коэффициентов размерностью $a \times b$. Пример графического представления получаемой матрицы приведен на рис. 2.

Этап 6. Вычисление среднего значения полученных на этапе 5 вейвлет-коэффициентов:

$$m_n = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b C_{i,j}}{ab} \quad (9)$$

Данное выражение вычисляется для каждого исследуемого ВР и несет в себе характеристику соответствия поведения выбранного интервала ТМП эталонному ВР, то есть характерному поведению на ХУП. С помощью такой операции в цикле формируется вектор $M_{(N)}$.

Этап 7. Переход к началу цикла – этапу 2.

Этап 8. Получение номера n исследуемого ВР, которому соответствует максимальное значение вектора $M_{(N)}$. При условии, что среди исследуемых ТМП существует искомый ИТМП, параметр n с вероятностью не хуже 0,95 и будет таким.

Для экспериментальной проверки предложенной методики использовался набор из 53 реальных функциональных ТМП. Результаты работы предложенной методики представлены в виде графика значений вектора $M_{(N)}$ на рис. 3. Из рисунка видно, ТМП № 47 соответствует максимальное значение $M_{(N)}$, то есть ТМП № 47 идентифицирован как модуль ускорения.

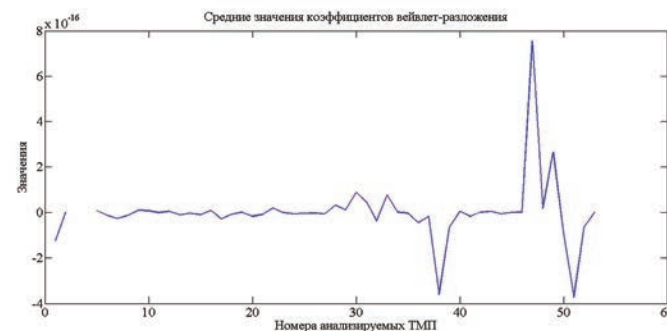


Рис. 3. Графическое представление вектора $M_{(N)}$

На современной ЭВМ для данного набора ТМП длительность расчетов составила 15 с, что говорит о возможности применения алгоритма для оперативной идентификации функциональных ИТМП.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет автоматизированно идентифицировать ИТМП в условиях априорной неопределенности относительно структуры и параметров ГТС.

Литература

1. Дяченко С.И., Каргин В.А., Скороходов Я.А. Общий алгоритм оценивания летных испытаний баллистических ракет США в условиях действия Договора о мерах по дальнейшему сокращению и ограничению СНС // Сборник трудов Всероссийской НТК «Теоретические и прикладные

проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения». Ч. II. Т. 3. СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2014. С. 376–382.

2. Андреев А.М., Федоренко М.Ю. Алгоритм идентификации старших и младших разрядов составляющих ускорения в групповом телеметрическом сигнале в условиях априорной неопределенности // Сборник алгоритмов и программ прикладных задач / под ред. О.М.Степанюка. СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2014. Вып. 31. С. 230–237.

3. Павлов А.Н. Методы анализа сложных сигналов. Саратов: Научная книга, 2008. 120 с.

4. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2014. 628 с.

5. Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G., Poggi J.-M. (eds.) Wavelets and their Application. London: ISTE, 2007. 352 p.

Для цитирования:

Андреев А.М., Федоренко М.Ю. Алгоритм идентификации информативных телеметрируемых параметров на основе вейвлет-анализа // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 39–43.

ALGORITHM INFORMATIVE TELEMETERED PARAMETERS IDENTIFICATION TECHNIQUE BASED ON WAVELET ANALYSIS

Andrey M. Andreev,
St. Petersburg, Russia

Mikhail Y. Fedorenko,
St. Petersburg, Russia, fedorenko.mihail_spb@mail.ru

Abstract

The monitoring of ballistic missile launches on the US rocket ranges is a very urgent task in the context of the Treaty on Measures for the Further Reduction and Limitation of Strategic Offensive Arms (START-3). The purpose of monitoring is to determine the direction of ongoing upgrades and flight and technical characteristics evaluation. Transmitted from the objects of control (OC) telemetry information is the most informative source in conditions of a priori uncertainty about the test characteristics. During the monitoring informative telemetered parameters (ITMP) are analyzed. In some cases, the positions of the TMP values in the frame of the generic telemetric signals are unknown. Therefore the search for and identification of functional TMP is an important and complex task.

Typically, the functionality ITMP have a close relationship with OC flight program. In the moments of flight program phases change, graphics of ITMP have a characteristic shape (hereinafter - the behavior). Consequently, ITMP behavior can be used for identification. The approach to identifying functional ITMP in the OC generic telemetry signals consists in the use reference wavelet as a basis of next TMP wavelet decomposition. The reference wavelet formed from a fragment of the earlier identified ITMP. The technique of forming a reference wavelet is shown. Synthesis of wavelet approximation is performed by least squares fragment previously identified TMP.

An algorithm for the TMP identification in a generic telemetry signals of real OC is developed. The main elements of algorithm are bringing to zero the average TMP, TMP standardization of values, continuous wavelet transform, calculation of the average values obtained wavelet coefficients. The results of applying this algorithm to the telemetry signals indicate the possibility of its use for automated analysis.

Keywords: wavelet analysis; telemetered parameters; identification; flight sequence diagram; wavelet synthesis.

References

1. Dyachenko S.I., Kargin V.A., Skorohodov Ya.A. Obshchij algoritm ocenivaniya letnyh ispytaniy ballisticheskikh raket SSHA v usloviyah dejstviya Dogovora o merah po dal'nejshemu sokrashcheniyu i ogranicheniyu SNS [General algorithm for estimating the flight tests of the USA ballistic missiles under the Treaty on Measures for the Further Reduction and Limitation of Strategic Offensive Arms]. Sbornik trudov Vserossijskoj NTK «Teoreticheskie i prikladnye problemy razvitiya i sovershenstvovaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya voennogo naznacheniya». CH.II. T. 3. St.-Peterburg, Voenno-Kosmicheskaya Akademiya Imeni A.F.Mozhajsogo, 2014. Pp. 376–382. (In Russian).

2. Andreev A.M., Fedorenko M.Yu., Stepanyuka O.M. (Ed.) Algoritm identifikacii starshih i mladshih razryadov sostavlyayushchih uskoreniya v gruppovom telemetricheskom signale v usloviyah apriornoj neopredelennosti [Identification algorithm of senior and junior ranks of the acceleration components in the group telemetric signals in conditions of a priori uncertainty]. Sbornik algoritmov i programm prikladnyh zadach. St.-Peterburg, Voenno-Kosmicheskaya Akademiya Imeni A.F.Mozhajsogo, 2014. Issue 31. Pp. 230–237. (In Russian).

3. Pavlov A.N. Metody analiza slozhnyh signalov [перевод названия]. Saratov, Nauchnaya kniga, 2008. 120 p. (In Russian).

4. Smolencev N.K. Osnovy teorii vejvletov. Vejvlety v MATLAB [The basics of wavelet theory. Wavelets in Mallab]. Moscow, DMK Press, 2014. 628 p. (In Russian).

5. Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G., Poggi J.-M. (eds.) Wavelets and their Application. London, ISTE, 2007. 352 p.

Information about authors:

Andreev A.M., Ph.D., associate professor, leading researcher, Military Space Academy;

Fedorenko M.Y., chief laboratory – senior researcher, Military Space Academy.

For citation:

Andreev A.M., Fedorenko M.Y. Algorithm informative telemetered parameters identification technique based on wavelet analysis. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 39–43.

ОРГАНИЗАЦИЯ АНОНИМНОГО ДОСТУПА К УДАЛЕННЫМ РЕСУРСАМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-ПРОКСИ

Галкин

Алексей Сергеевич,

сотрудник академии Федеральной
службы охраны России
г. Орел, Россия

Архипов

Павел Андреевич,

сотрудник академии Федеральной
службы охраны России
г. Орел, Россия

Маркин

Дмитрий Олегович,

сотрудник академии Федеральной
службы охраны России
г. Орел, Россия,
admin@nikitka.net

АННОТАЦИЯ

При решении ряда задач возникает необходимость использования удаленного доступа к информационным ресурсам сети Интернет в условиях сохранения анонимности. Такие задачи могут возникать при проведении оперативно-розыскных мероприятий, осуществления операций под прикрытием, а также реализацию права на «тайну переписки» и активно обсуждаемое в настоящее время на государственном уровне праве граждан «на забвении» с сохранением в тайне персональных данных пользователей сети Интернет, а также других сведений, которые в той или иной степени могут затрагивать личную жизнь пользователей (информацию о посещаемых адресах, пользовательских именах и паролях, поисковых запросах и т.п.). Для обеспечения условий сохранения анонимности доступа к информационным ресурсам в настоящее время существуют технические решения, основанные на использовании анонимных сетей. Как правило, данные сети построены на основе прокси-серверов, однако в ряде случаев целесообразно использовать технологии веб-прокси. В работе рассмотрены основные понятия и классификация анонимных сетей, актуальных на сегодняшний день. Предложен концептуальный подход для реализации системы анонимного доступа к удаленным ресурсам на основе технологии веб-прокси. Показаны преимущества веб-прокси в отличие от классических прокси-серверов, наличие которых может быть существенно при построении анонимной сети. Приведена структурная схема типовой сети, обеспечивающей анонимный доступ к удаленным ресурсам на основе веб-прокси. Предложен подход по реализации концепции активных данных и терминальных программ для реализации задач самонастройки с использованием анонимной сети на базе веб-прокси.

Ключевые слова:

анонимная сеть; веб-прокси;
самонастройка; активные данные;
терминальные программы; луковая
маршрутизация; чесночная
маршрутизация.

Современные условия удаленного доступа к информационным ресурсам позволяют говорить о том, что при обращении к сервисам на промежуточных узлах следования данных, в информационных log-файлах провайдеров услуг связи, а также удаленных базах данных и программном обеспечении, остается множество «следов» такого обращения. Сложившаяся ситуация влечет за собой установления негласного тотального наблюдения за всеми пользователями глобальной сети, причем не со стороны организаций, которые могут иметь на то государственные полномочия, а со стороны производителей и поставщиков программного обеспечения и оборудования. Данное положение дел в определенной мере является недопустимым.

Необходимость находиться в сети анонимно без идентификации личности и местоположения может быть вызвана разными причинами, такими как: объективные потребности специальных служб во время проведения оперативно-розыскных и профилактических мероприятий; осуществление операций под прикрытием и внедрением своих информаторов и агентов в преступные сообщества; реализация права на «тайну переписки» и активно обсуждаемого в настоящее время на государственном уровне права граждан «на забвение» с сохранением в тайне персональных данных пользователей сети Интернет, а также других сведений, которые в той или иной степени могут затрагивать личную жизнь пользователей (информацию о посещаемых адресах, пользовательских именах и паролях, поисковых запросах и т.п.).

В специальных системах связи анонимные сети предоставляют широкие возможности для обеспечения сеанса связи и удаленного доступа к информационным ресурсам без разглашения местонахождения, а также принадлежности к определенной специальной категории пользователей, при этом не оставляя никаких следов использования информационных ресурсов, и обращения к промежуточным узлам сети.

Основой для построения анонимных сетей являются прокси-серверы, представляющие собой службу в компьютерных сетях, которая является промежуточным звеном между пользователем и удаленным информационным ресурсом. Классическая схема предоставления доступа к удаленному информационному ресурсу с использованием прокси-сервера представлена на рис. 1.

При организации анонимной сети вместо одного прокси-сервера между компьютером пользователя и удален-



Рис. 1. Схема предоставления доступа к удаленному информационному ресурсу с использованием прокси-сервера

ными информационными ресурсами находится сеть прокси-серверов. Прокси-серверы различаются по типу. Их классификация представлена на рис. 2.



Рис. 2. Классификация прокси-серверов по типу

HTTP/HTTPS – наиболее распространенный тип прокси-серверов, использующие номера портов HTTP-протокола: 80, 8080. Такие прокси-серверы могут, как скрывать IP-адрес пользователя и использование прокси, так и сообщать реальный IP-адрес клиента и использование им прокси-сервера.

SOCKS-прокси – прокси-сервер, который полностью передает запрос пользователя к ресурсу, не искажая и не добавляя никакой информации, по отношению к серверу, на котором расположен ресурс, SOCKS прокси является клиентом, что полностью делает пользователя, запросившего ресурс, анонимным.

FTP-прокси – предназначен для работы с файловым менеджером.

CGI-прокси или анонимайзер – веб-прокси, который позволяет анонимно перемещаться с одной web-страницы на другую. Пользователь указывает адрес анонимайзера, а после адрес ресурса, к которому необходимо получить доступ.

Управление анонимной сетью может быть как централизованным, так и децентрализованным, и может выполнять как узконаправленные задачи, так и предоставлять доступ к широкому перечню услуг. Классификация анонимных сетей по типу управления представлена на рис. 3.

В *децентрализованной сети* любая машина может установить соединение с другой, а также послать ей запрос на предоставление ресурсов. Каждая машина обрабатывает запросы от других в качестве сервера, отсылая и принимая запросы, а также выполняя другие вспомогательные и административные функции. Любой участник такой сети не обязан гарантировать постоянного соединения, и может разорвать его в любой момент времени. Но при достижении определенного размера сети в ней одновременно начинают существовать множество серверов с одинаковыми функциями.

В *гибридных сетях* существуют серверы, используемые для координации работы, поиска или предоставления информации о существующих машинах сети и их статусе. Гибридные сети сочетают скорость централизованных сетей и надёжность децентрализованных благодаря схемам с независимыми серверами индексации, синхронизирующими данные между собой. При выходе из строя одного или нескольких серверов, сеть продолжает функционировать.

Узкоспециализированные сети предназначены для анонимизации определенного типа трафика, например, только HTTP или только анонимная электронная переписка.

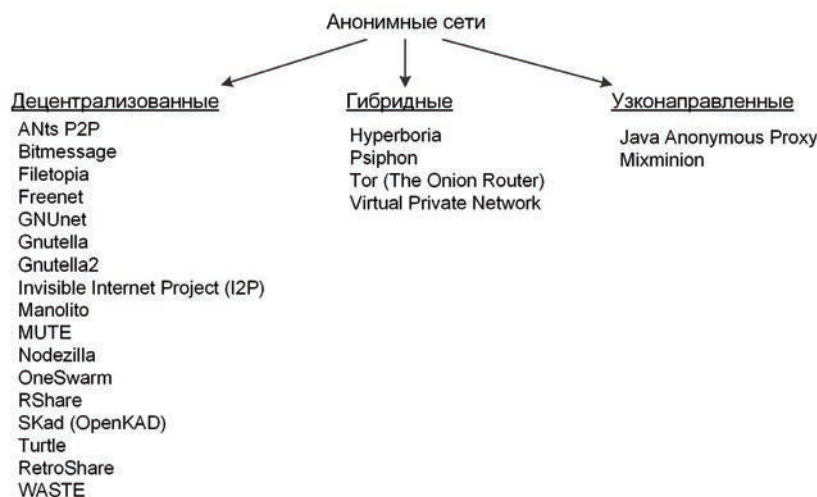


Рис. 3. Классификация анонимных сетей

Построение анонимных сетей на базе веб-прокси

Веб-прокси является отдельной категорией прокси-серверов, представляющей собой веб-приложение, установленное на веб-сервере. В основе технологии веб-прокси лежат веб-приложения, выполняемые на стороне сервера. Как правило, это Perl, Python, PHP-скрипты.

Использование веб-прокси в отличие от классических программно-аппаратных платформ имеет ряд преимуществ: установка и настройка программного обеспечения веб-прокси не требует глубоких специальных знаний и позволяет в сжатые сроки получить работоспособный прокси-сервер; существует большое количество доступных программно-аппаратных платформ – хостингов, которые могут быть использованы в качестве веб-прокси за сравнительно низкую плату или вовсе бесплатно.

может быть использована арендованная или бесплатная программно-аппаратная платформа, не требующая существенных материальных и временных затрат для развертывания.

Совокупность данных факторов предопределяет высокую доступность технологии веб-прокси, а современные технические возможности веб-серверов и серверных расширений, позволяющих обрабатывать Perl, Python, PHP и другие скрипты, предоставляют широкие возможности для разработчиков.

В настоящее время существует несколько готовых решений веб-прокси серверов, к которым относятся:

- CGIProxy (на базе CGI-скриптов и OpenSSL) [1];
- Gluye Proxy (на базе PHP) [2];
- PHPProxy (на базе PHP) [3];
- Zelune (на базе PHP);
- Cohula (на базе Java) [4].

Построение анонимных сетей на базе веб-прокси является достаточно тривиальной задачей, однако не получила широкого распространения в связи с рядом проблем, связанных с ограниченной функциональностью веб-серверов. К таким проблемам относятся:

– внесение адреса веб-сервера, на котором функционирует веб-прокси в список запрещенных, и, соответственно,

блокирование доступа к нему на уровне сети;

- низкая скорость соединения между веб-прокси и удаленными ресурсами (другими веб-прокси);
- наличие скриптов в коде удаленного информационного ресурса, которые исполняются на клиентской стороне и должны в «прозрачном» режиме передаваться через веб-прокси.

Данные ограничения в той или иной степени являются устранимыми, однако в то же время снижают привлекательность веб-прокси для массового использования.

Классическая схема доступа к удаленному информационному ресурсу посредством веб-прокси представлена на рис. 4. В данной схеме веб-прокси выступает в качестве посредника между пользователем и информационными ресурсами глобальной сети. Такой посредник позволяет решить частично задачу анонимного доступа к ресурсам или обойти ограничения локальной сети пользователя, однако он достаточно уязвим к обнаружению и блокированию как со стороны администраторов локальной сети пользователя, так и со стороны ресурсов глобальной сети.



Рис. 4. Классическая схема доступа к удаленным информационным ресурсам с использованием веб-прокси

В случае построения анонимной сети на базе веб-прокси повышается вероятность сохранения конфиденциальности доступа, а также вероятность раскрытия ее параметров. Схема доступа к удаленным ресурсам посредством анонимной сети на базе веб-прокси представлена на рис. 5.

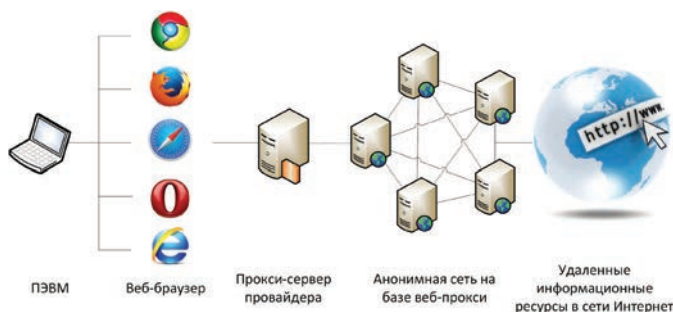


Рис. 5. Схема доступа к удаленным информационным ресурсам с использованием анонимной сети на базе веб-прокси

Для построения анонимной сети необходимо решить задачу анонимного обмена данными через компьютерные сети. Одним из решений является реализация таких технологий как: луковая и чесночная маршрутизации.

Технологии луковой и чесночной маршрутизации

Технология луковой маршрутизации [5], реализована в сети Tor [6]. Сущность луковой маршрутизации заключается в том, что каждый маршрутизатор анонимной сети удаляет слой шифрования, чтобы открыть трассировочные инструкции и отослать сообщения на следующий маршрутизатор, где все повторяется. Таким образом, промежуточные узлы не знают источник, пункт назначения и содержание сообщения. Сообщения передаются от источника к получателю через последовательность прокси-серверов, которые перенаправляют сообщение в непредсказуемом направлении. Преимущество луковой маршрутизации в том, что отпадает необходимость доверия каждому участвующему узлу сети. Даже если один или несколько узлов подвергнутся взлому, анонимное соединение все равно сможет быть установлено, достигается это за счет того, что каждое сообщение шифруется на маршрутизаторе и передается на другой.

Структура пакета сетевого уровня при передаче по анонимной сети с использованием луковой маршрутизации представлена на рис. 6.

IP заголовок для узла № 1	Зашифровано на открытом ключе (ОК) узла № 2				
	IP заголовок для узла № 2	Зашифровано на ОК узла № 3			
		IP заголовок для узла № 3	Зашифровано на ОК узла № 4		
			IP заголовок для узла № 4	Зашифровано на ОК получателя	
			IP заголовок для получателя	Данные приложения с HTTP и TCP заголовком	

Рис. 6. Структура пакета сетевого уровня при передаче по анонимной сети с использованием луковой маршрутизации

Для функционирования сети луковой маршрутизации необходима организация системы распределения криптографических ключей и, соответственно, наличие третьей доверенной стороны. Ее функции может выполнять центр сертификации, которому «доверяют» узлы анонимной сети. При этом следует заметить, что обеспечения конфиденциальности трассировочных инструкций внутри пере-

даваемых по анонимной сети данных является отдельной задачей, никак не связанной с криптографической защитой собственно самих данных.

У луковой маршрутизации есть несколько слабостей. С одной стороны, она не обеспечивает защиту против анализа синхронизации. Если злоумышленник наблюдает за относительно слабо загруженным луковым маршрутизатором, он может соединять входящие/исходящие сообщения путем просмотра того, как близко по времени они были получены и переправлены.

Луковая маршрутизация не в состоянии защитить данные, проходящие через выходные узлы, отдавая оператору полный доступ к передаваемому содержанию, и поэтому луковые сети не должны использоваться для передачи личной информации без использования конечной криптографии, такой как SSL.

При необходимости технология луковой маршрутизации может быть усилена за счет дробления пакетов и передачи их разными маршрутами. Такая технология была реализована в анонимной сети I2P [7] и является одним из расширения сети Tor.

В чесночной маршрутизации, взята за основу технология лукой маршрутизации, заключается она в том, что использование многослойного шифрования, позволяет единственному сообщению (так называемому «чесноку») содержать в себе множество «зубчиков» – полностью сформированных сообщений рядом с инструкциями для их доставки. В каждый «чеснок» в момент его формирования перед отправкой закладывается множество «зубчиков», как нашего узла, так и с чужого – транзитного. Никто не может узнать информацию о том, какой из «зубчиков» является нашим, а какой чужим транзитным сообщением, просто передающимся через нас. Такой информацией владеет только тот, кто создал «чеснок».

Структура пакета сетевого уровня при передаче по анонимной сети с использованием луковой и надстройкой из чесночной маршрутизации представлена на рис. 7.

Чесночная технология применяется тогда, когда нужно отправить зашифрованное сообщение через промежуточные узлы, у которых не должно быть доступа к этой информации.

Применение концепции активных данных и технологий терминальных программ при построении анонимной сети на базе веб-прокси

Технологии луковой и чесночной маршрутизации по созданию анонимной сети как системы защиты от раскрытия источника данных, как и любое средство защиты, обладают рядом слабых мест, поэтому продолжают совершенствоваться. Одним из направлений совершенствования таких механизмов защиты является использования концепции активных данных и так называемых терминальных программ, описанных в [8]. Активные данные, одновременно являясь терминальными программами, способны настраивать программно-определяемое оборудование, требуемое для их распространения, и могут управлять процессом своего распространения в коммуникационной среде.

Предоставление терминальным программам возможности производить активные действия как на устройствах-при-

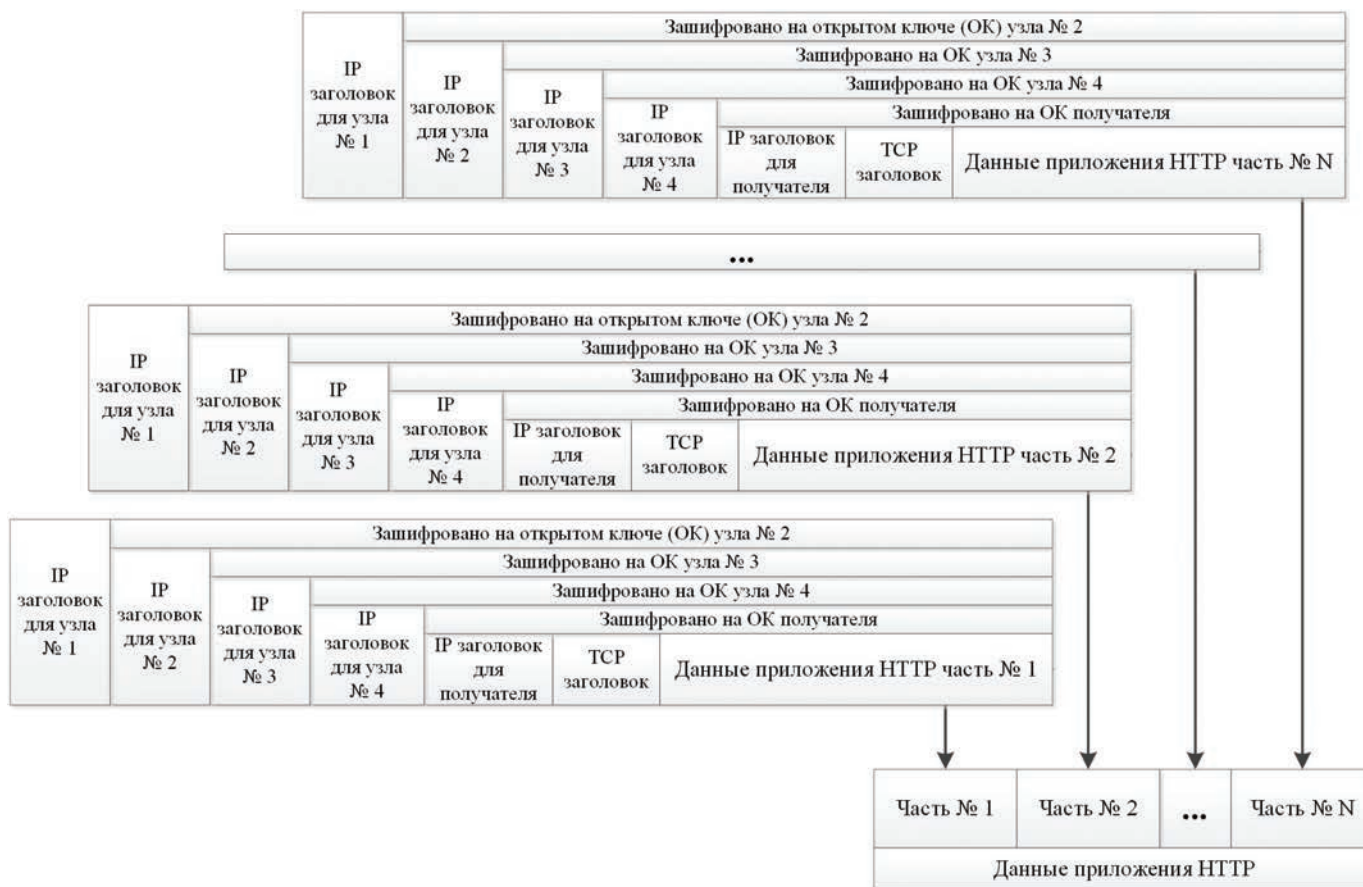


Рис. 7. Структура пакета сетевого уровня при передаче по анонимной сети с использованием луковой и надстройкой из чесночной маршрутизации

емниках, так и на всех промежуточных узлах, участвующих в процессе инфокоммуникации, расширяет возможности сетей передачи данных, делая их программно-определяемыми системами, что, в свою очередь, обеспечивает возможность динамически создавать специализированные сети передачи данных из устройств общего назначения. Одной из задач создания таких сетей является реализация функции самомаршрутизации, рассмотренной в работе [8]. Для реализации функций самомаршрутизации (функции, при которой пакет, попав на промежуточный узел сети, принимает решение о маршруте своего дальнейшего перемещения на основе текущих данных об инфокоммуникационном окружении) [8] должен предоставляться список «ближних соседей» – устройств, с которыми соединение уже установлено или может быть установлено непосредственно. Такой список может формироваться и обновляться в реальном времени за счет функции мониторинга коммуникационного ресурса.

Технологии веб-прокси являются подходящим инструментом, не требующим разработки дополнительных механизмов реализации концепции терминальных программ. Иными словами, при передаче данных по анонимной сети на базе веб-прокси в качестве полезной нагрузки в данных приложения HTTP могут быть заложены инструкции в виде скрипта. Такой скрипт, попав на i-й удаленный узел – веб-прокси, после его исполнения может решать ряд за-

дач, позволяющих существенно усилить защищенность анонимной сети, например:

- сгенерировать новый маршрут следования передаваемых данных;
- сгенерировать новый исполняемый скрипт с необходимыми функциями;
- выполнить запрос к удаленному узлу(ам) или осуществить информационный обмен со сменой протокола доступа (например, по протоколу Telnet, SSH и др.).

Таким образом, при решении задачи построения анонимной сети на базе веб-прокси может использоваться комплекс подходов, таких как луковая и чесночная маршрутизация, шифрование вложенных данных уровня приложений, исполнение вложенных данных на промежуточных узлах при реализации функций самомаршрутизации, что позволит обеспечить необходимую конфиденциальность и скрытность источника запроса. Однако в то же время необходимо решить ряд проблем, связанных с особенностями использования технологий веб-прокси, связанных в первую очередь с ограничениями, накладываемыми веб-сервером на выполнение скриптов, а также с устойчивостью соединения, которое может включать несколько промежуточных узлов. Кроме того, существенным фактором является защищенность от раскрытия параметров такой сети и надежность установленного удаленного соединения.

Литература

1. CGIProxy 2.1.14. URL: <http://www.jmarshall.com/tools/cgiproxy/> (дата обращения 08.10.2015).
2. Glype Proxy Script. URL: <https://www.glype.com/> (дата обращения 08.10.2015).
3. PHPProxy. URL: <http://sourceforge.net/projects/poxy/> (дата обращения 08.10.2015).
4. Cohula Веб-прокси Cohula – альтернатива Glype. URL: <http://cohula.com/ru/> (дата обращения 08.10.2015).
5. Patent USA US6266704 B1. Onion routing network for securely moving data through communication networks. Reed M.G., Syverson P.F., Goldschlag D.M. Declared 29.05.1998. Published 24.07.2001. Bulletin No. US 09/086,541.
6. The Tor Project, Inc. Tor Project: Anonymity Online . URL: <https://www.torproject.org/index.html.en>. (дата обращения 08.10.2015).
7. Garlic Routing Garlic Routing and "Garlic" Terminology. URL: <https://geti2p.net/en/docs/how/garlic-routing>. (дата обращения 08.10.2015).
8. Кулешов С.В., Цветков О.В. Активные данные в цифровых программно-определяемых системах // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. № 6. С. 12–19.

Для цитирования:

Галкин А.С., Архипов П.А., Маркин Д.О. Организация анонимного доступа к удаленным ресурсам на основе технологии веб-прокси // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 44–49.

ANONYMOUS ACCESS TO REMOTE RESOURCES BASED ON WEB PROXY TECHNOLOGY

Aleksey S. Galkin,
Oryol, Russia

Pavel A. Arhipov,
Oryol, Russia

Dmitriy O. Markin,
Oryol, Russia, admin@nikitka.net

Abstract

Article is devoted to possibility of realization in systems of the Solutionsome problems demands using remote access to information resources of the Internet in the conditions of anonymity preservation. Such tasks arise during carrying out operational search actions, implementation of operations under cover, and also realization of the right for "correspondence secrecy". Right for "correspondence secrecy" demands preservation in secret of Internet users personal information, and also other data which can affect users` private life. To provide information access anonymity there are some technical solutions based on using anonymous networks. As a rule, these networks construction based on proxy servers. However in some cases it is expedient to use technologies of a web proxy. This article presents development of basic concepts and classification of the anonymous networks. Conceptual approach for realization of anonymous access system to remote resources based on web proxy technology is offered. The authors completed comparative analysis of web proxy and classical proxy servers. The standard network structure of anonymous access system based on web proxy is provided. The article contains description of active data and terminal programs concept implementation for realization self-routing

using anonymous network based on web proxy.

Keywords: anonymous network; web proxy; self-routing; active data; terminal programs; onions routing; garlick routing.

References

1. CGIProxy 2.1.14. URL: <http://www.jmarshall.com/tools/cgiproxy/> (date of access 08.10.2015).
2. Glype Proxy Script. URL: <https://www.glype.com/> Access Date: 08.10.2015.
3. PHPProxy. URL: <http://sourceforge.net/projects/poxy/> (date of access 08.10.2015).
4. Cohula Web proxy Cohula. URL: <http://cohula.com/ru/> (date of access 08.10.2015).
5. Patent USA US6266704 B1. Onion routing network for securely moving data through communication networks. Reed M.G., Syverson P.F., Goldschlag D.M. Declared 29.05.1998. Published 24.07.2001. Bulletin No. US 09/086,541.
6. The Tor Project, Inc. Tor Project: Anonymity Online. URL: <https://www.torproject.org/index.html.en>. (date of access 08.10.2015).
7. Garlic Routing Garlic Routing and "Garlic". URL: <https://geti2p.net/en/docs/how/garlic-routing> (date of access 08.10.2015).
8. Kuleshov S.V., Cvetkov O.V. Active data in digital software-defined systems. Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy. 2014. No. 6. Pp. 12-19. (In Russian).

Information about authors:

Galkin A.S., employer, Academy of Federal Guard Service of Russia;
Arhipov P.A., employer, Academy of Federal Guard Service of Russia;
Markin D.O., employer, Academy of Federal Guard Service of Russia.

For citation:

Galkin A.S., Arhipov P.A., Markin D.O. Anonymous access to remote resources based on web proxy technology. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 44–49.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА С МАГНИТНОЙ СТЕНКОЙ ИЗ ГРИБОВИДНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА

Елизаров

Андрей Альбертович,

д.т.н., профессор, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Департамент электронной инженерии, г. Москва, Россия, a.yelizarov@hse.ru

Назаров

Игорь Васильевич,

к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Департамент электронной инженерии, г. Москва, Россия, inazarov@hse.ru

Кухаренко

Александр Сергеевич,

к.т.н., с.н.с., Филиал открытого акционерного общества «Объединенная ракетно-космическая корпорация» – «Научно-исследовательский институт космического приборостроения», г. Москва, Россия, alexk.05@mail.ru

Ключевые слова:

прямоугольный волновод; грибовидный метаматериал; магнитная стенка; дисперсия.

АННОТАЦИЯ

Современный этап развития микроволновой техники связан с использованием различных видов метаматериалов – композитных материалов, не существующих в природе и отличающихся отрицательными значениями диэлектрической и магнитной проницаемости, как по отдельности (SNG – single negative), так и одновременно (DNG – double negative). В последнем случае такая среда приобретает новые необычные свойства, а ее применение позволяет управлять законами дисперсии, преломления и отражения электромагнитных волн в известных электродинамических структурах.

Анизотропные свойства метаматериала оказывают различное влияние на характеристики и параметры систем в зависимости от ориентации относительно падающей волны. Так известен эффект обратного распространения волны в волноводных структурах, который происходит, когда продольная магнитная проницаемость положительна, а поперечная отрицательна. При этом на резонансной частоте элементарной ячейки метаматериала волновод поддерживает распространение обратных волн ниже граничной частоты основной моды H_{10} . В таком случае низшая частота распространения волны в волноводе, а, следовательно, возможность уменьшения его габаритных размеров, определяются возможностью создания одноосного метаматериала с отрицательной магнитной проницаемостью в заданном диапазоне частот.

В работе приведены результаты компьютерного моделирования распространения электромагнитных колебаний в стандартном прямоугольном волноводе типа R32 с поперечным сечением $72,14 \times 34,04$ мм, одна из широких стенок которого выполнена в виде магнитной стенки из грибовидного метаматериала. С помощью программных средств Ansoft HFSS ver.13 получены зависимости распределения поля при возбуждении основной моды H_{10} , характеристики комплексных коэффициентов отражения S_{11} и передачи S_{21} от частоты и диаграммы направленности излучения из конца волновода в ближней зоне.

За последние десять лет появилось большое число публикаций, посвященных теоретическому анализу, компьютерному моделированию и экспериментальному исследованию искусственных периодических структур – метаматериалов, на поверхности которых выполняются эквивалентные граничные условия, соответствующие магнитной стенке.

Идеальной магнитной стенкой называется такая стенка, на которой все тангенциальные компоненты магнитного поля и нормальные компоненты электрического поля уравниваются равными нулю.

Применительно к прямоугольному волноводу, в котором могут распространяться волны электрического и магнитного типа, и для которого характерна дисперсия фазовой скорости, наличие магнитных стенок означает, что его электрическое поле перпендикулярно горизонтальным стенкам и не зависит от координат в плоскости поперечного сечения. Основной волной такого волновода, который называют ТЕМ-волноводом, является Т-волна.

Главной проблемой создания такого ТЕМ-волновода является конструктивная реализация магнитной стенки. На практике магнитная стенка может быть выполнена на основе грибовидного метаматериала, выполненного в виде периодических ячеек, содержащих идентичные металлические элементы в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами, и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны.

Распределенные колебательные контуры метаматериала со «шляпками грибов», имеющими форму, похожую на мальтийский крест, показаны на рис. 1а. Контуры могут быть представлены эквивалентной схемой, показанной на рис. 1б, и содержащей индуктивности, образованные металлическими ножками, соединенными с экраном, и емкости, сформированные между соседними контурами. Такая конструкция представляет собой линию передачи с отрицательной дисперсией, обладающую отрицательной фазовой скоростью и положительной групповой скоростью. При изменении геометрических размеров каждый из колебательных контуров, образующих магнитную стенку из метаматериала, обладает

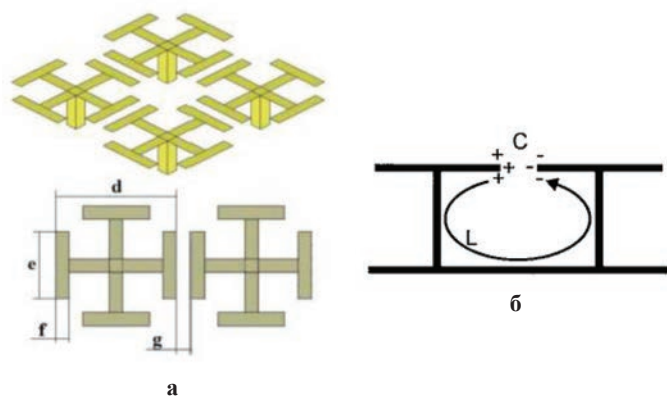


Рис. 1. Грибовидная структура со «шляпками грибов» в форме мальтийского креста (а) и образование эквивалентных индуктивности и емкости между ее соседними контурами (б); габаритные размеры отдельного контура (гриба) $d = 8$ мм, $e = 5$ мм, $g = f = 1$ мм, высота ножки гриба 6 мм

собственной добротностью $Q > 100$ и может иметь резонансную частоту от десятых долей до сотен ГГц.

Заменим рассмотренной грибовидной структурой одну из широких стенок отрезка стандартного прямоугольного волновода типа R32 с поперечным сечением $72,14 \times 34,04$ мм и критической частотой 2,079 ГГц. На рис. 2 показана модель такой магнитной стенки в программе Ansoft HFSS ver.13.

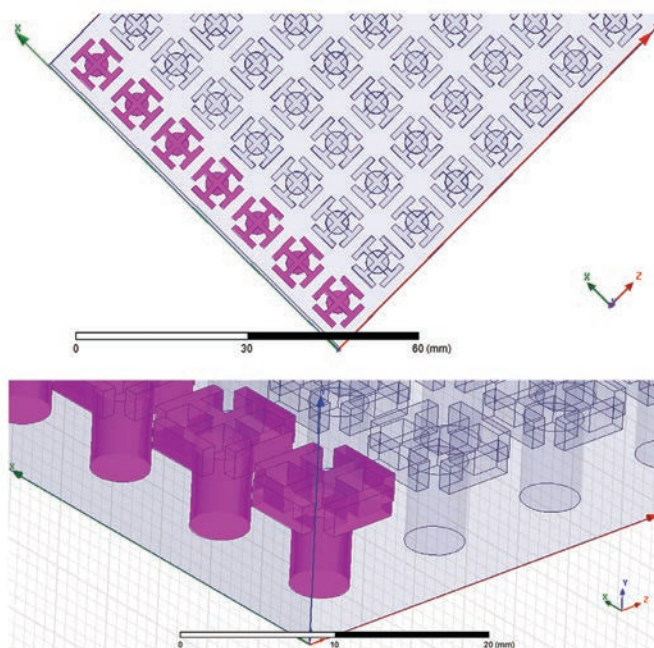


Рис. 2. Модель магнитной стенки прямоугольного волновода на основе грибовидной структуры в программе Ansoft HFSS ver.13

Результаты моделирования комплексных коэффициентов отражения S_{11} и передачи S_{21} и КСВН от частоты при возбуждении основной моды H_{10} в волноводной структуре с широкой магнитной стенкой представлены на рис. 3 (а, б).

Анализ полученных на рис. 3 (а, б) зависимостей показывает, что частота отсечки такого волновода зависит от резонансных свойств метаматериала и находится вблизи 4 ГГц, где рассматриваемая электродинамическая структура может выполнять функции волноводного режекторного фильтра, обеспечивающего затухание 21-24 дБ при ширине полосы заграждения не хуже 500 МГц.

Проанализируем далее полученные также в программе Ansoft HFSS ver.13 и показанные рис. 4 (а, б) – 6 (а, б, в), 3D-зависимости распределения поля и диаграммы направленности излучения из конца рассматриваемого волновода, полученные в ближней зоне на частотах 4,0 – 4,6 ГГц.

Результаты компьютерного моделирования 3D-характеристик распределения поля наглядно демонстрируют минимальное затухание колебаний на частоте 4,0 ГГц и его быстрый рост с увеличением частоты. Этот физический процесс подтверждается также анализом диаграмм направленности. Так на частоте 4,0 ГГц наблюдается один лепесток с максимальной интенсивностью излучения, на частоте 4,3 ГГц

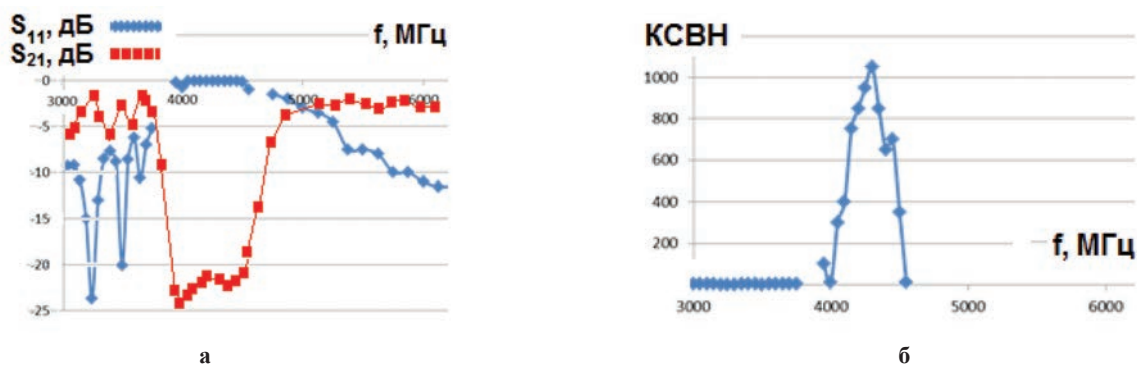
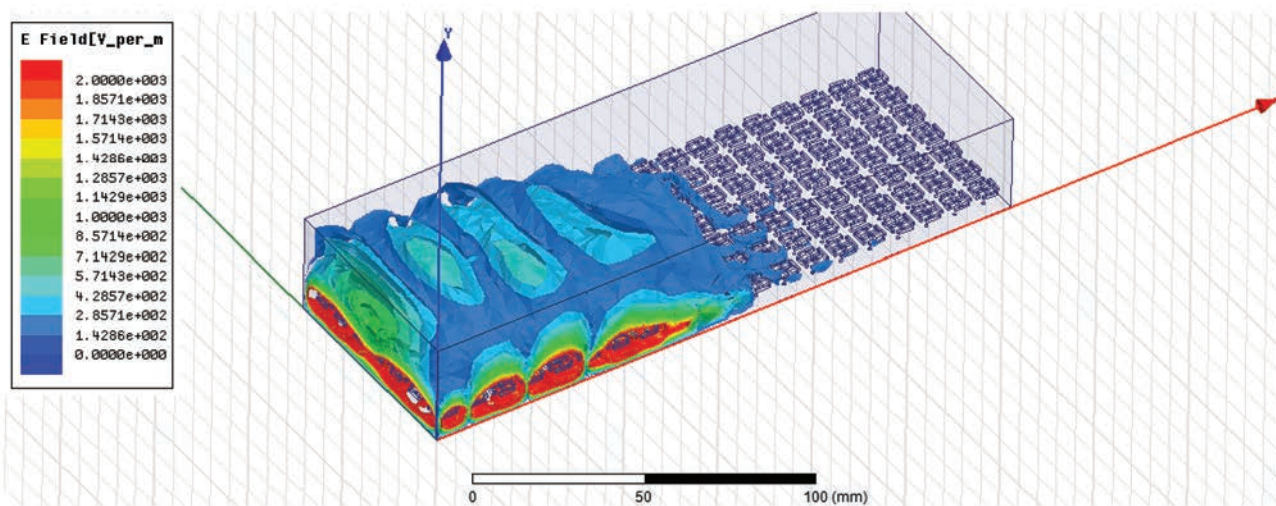
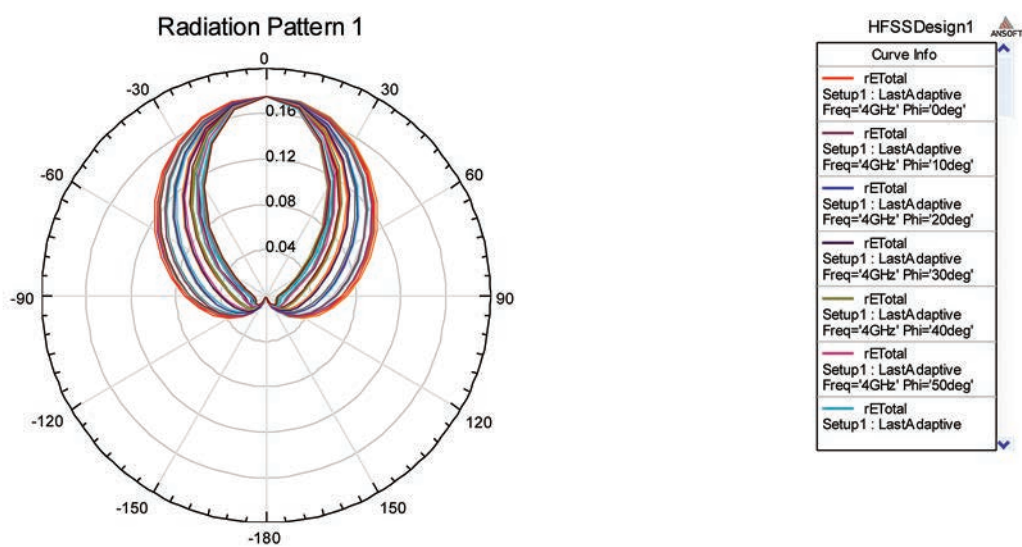


Рис. 3. Зависимости комплексных коэффициентов отражения S_{11} и передачи S_{21} (а), КСВН (б) от частоты для прямоугольного волновода с широкой магнитной стенкой

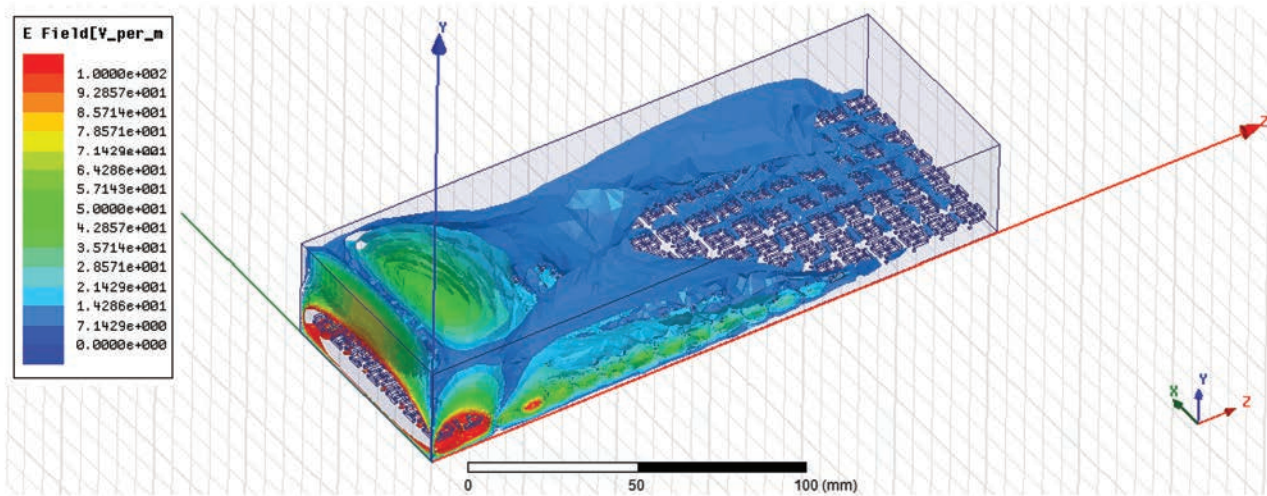


а

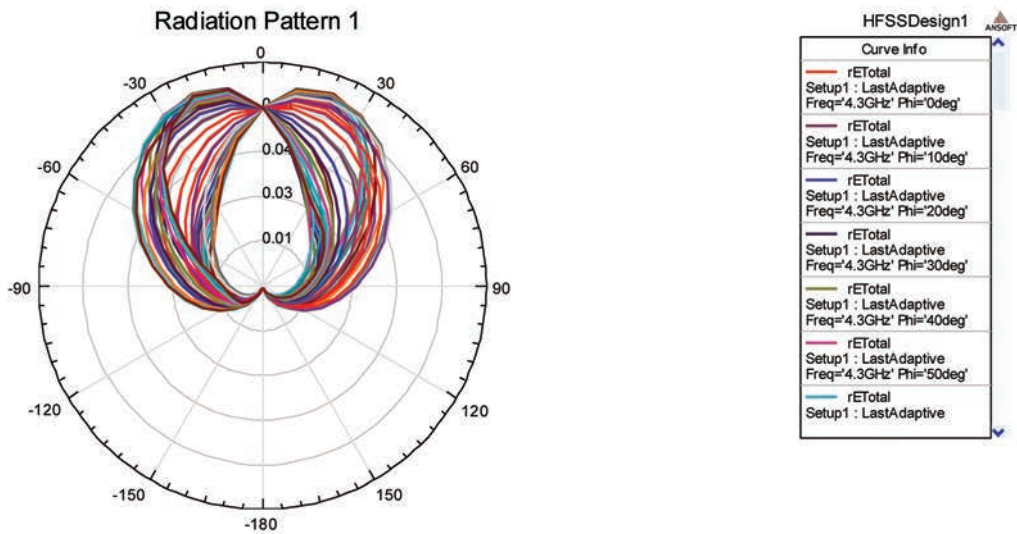


б

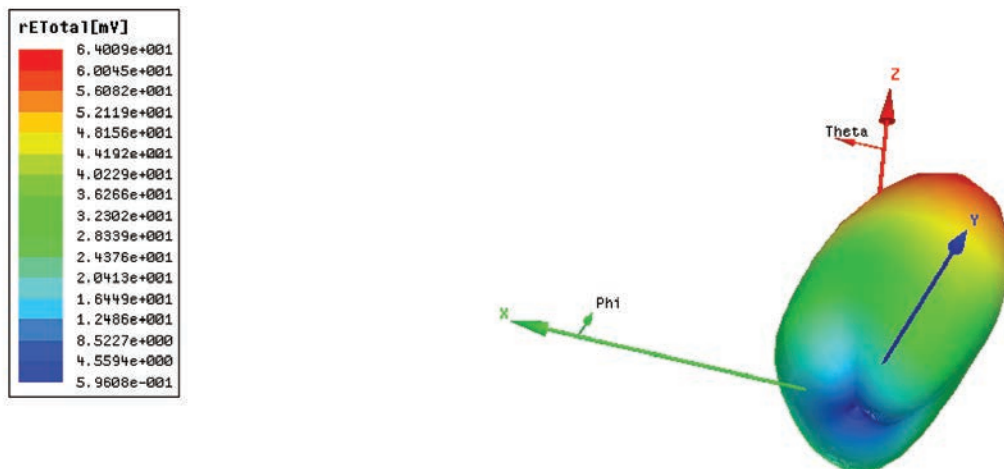
Рис. 4. 3D – характеристика распределения поля (а) и диаграмма направленности (б) излучения из конца прямоугольного волновода с широкой магнитной стенкой на частоте 4,0 ГГц



а

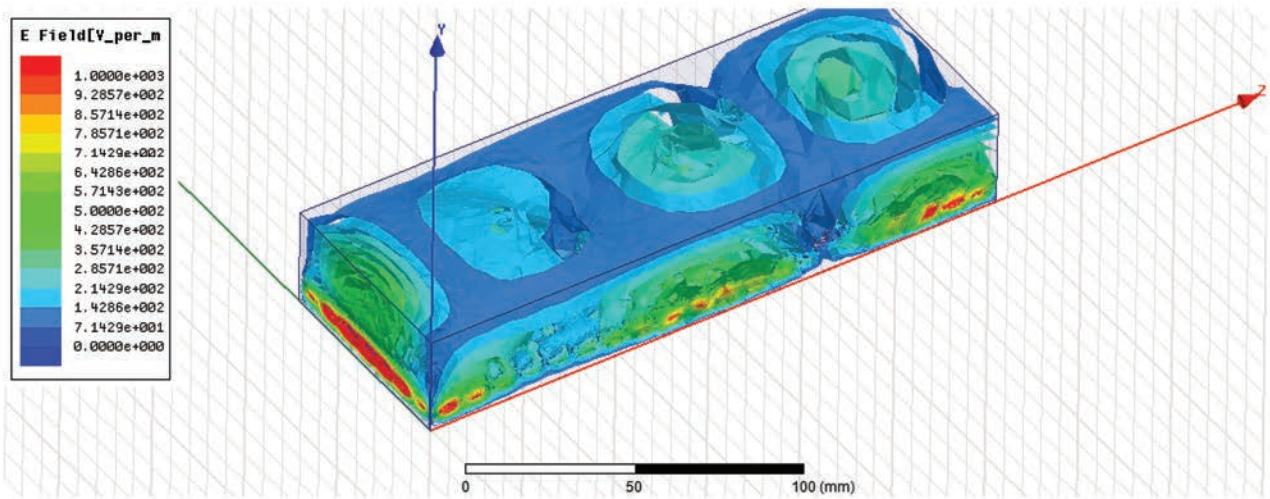


б

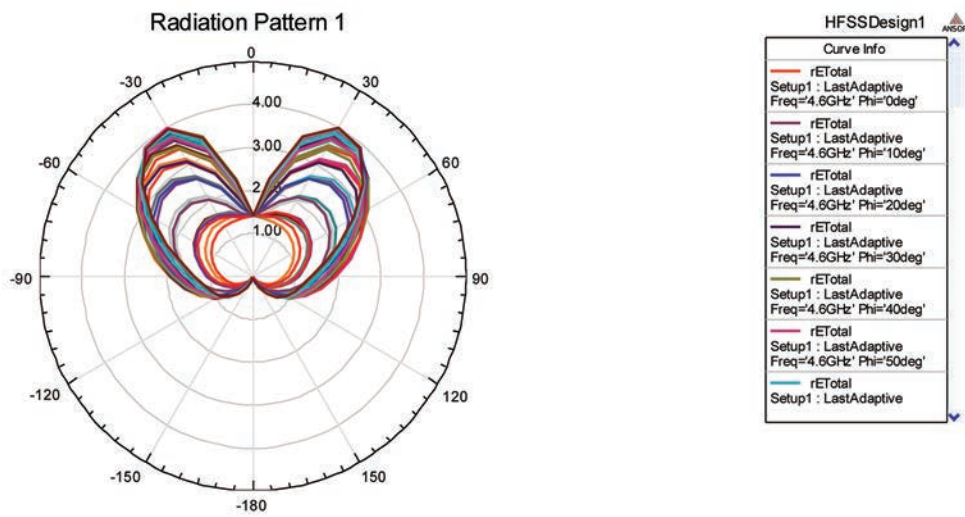


в

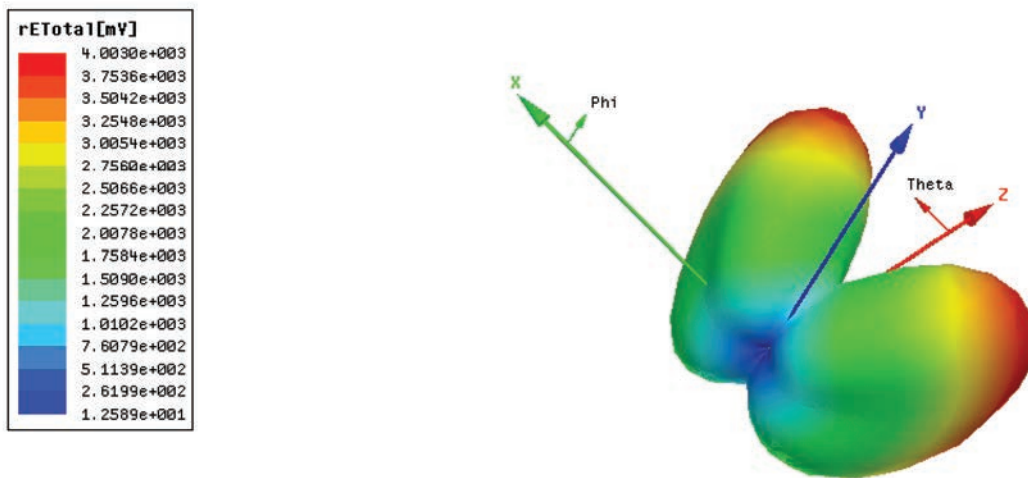
Рис. 5. 3D – характеристика распределения поля (а) и диаграммы направленности (б, в) излучения из конца прямоугольного волновода с широкой магнитной стенкой на частоте 4,3 ГГц



а



б



в

Рис. 6. 3D – характеристика распределения поля (а) и диаграммы направленности (б, в) излучения из конца прямоугольного волновода с широкой магнитной стенкой на частоте 4,6 ГГц

лепесток начинает раздваиваться, и на частоте 4,6 ГГц – получаем симметричное раздвоение лепестка, сопровождаемое разделением интенсивности излучения на две равные части.

Таким образом, проведенный анализ позволяет отметить возможности перспективных направлений использования метаматериалов в волноводной технике – во-первых, это уменьшение габаритных размеров волноводных устройств, а во-вторых, создание волноводных фильтров с улучшенными параметрами и характеристиками.

Статья подготовлена в результате проведения исследования (№ 16-01-0061) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2016–2017 гг. и с использованием средств субсидии на государственную поддержку ведущих университетов Российской Федерации в целях повышения их конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров, выделенной НИУ ВШЭ.

Литература

1. Engheta N., Ziolkowsky R. W. *Metamaterials – physics and engineering exploration*. Danvers: John Wiley & Sons Inc., 2006. 414 p.
2. Basharin A.A., Balabukha N.P., Semenenko V.N., Menshikh N.L. Petrin A. (Ed). *Metamaterial waveguides and antennas*, in “Wave propagation” / InTech. 2011. Pp. 241–266.
3. Балабуха Н.П., Башарин А.А., Семенов В.Н. Эффект обратного излучения электромагнитных волн волноводной структурой из метаматериала // Письма в ЖЭТФ. 2009. Т. 89. Вып. 10. С. 593–598.
4. Hrbar S., Bartolic J., Sipus Z. *Waveguide miniaturization using uniaxial negative permeability metamaterial* // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 2005. Vol. 53. No. 11.
5. Кухаренко А.С., Елизаров А.А. Анализ физических особенностей метаматериалов и частотно-селективных СВЧ устройств на их основе // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 5. С. 36–41.
6. Кухаренко А.С., Елизаров А.А. Методы расширения полосы заграждения СВЧ устройств на основе планарных модифицированных грибовидных структур метаматериалов // Радиотехника и электроника. 2016. Т. 61. No. 2. С. 192–198.
7. Патент РФ 2571385 С1. Развязывающий фильтр на метаматериале / Елизаров А.А., Кухаренко А.С. Заявл. 29.08.2014. Оpubл. 20.12.2015. Бюл. № 35.
8. Бойко С.Н., Елизаров А.А., Закирова Э.А., Кухаренко А.С. Исследование малогабаритного развязывающего СВЧ фильтра на метаматериале // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП – 2014: материалы Международной научно-технической конференции. Саратов, 2014. Т. 1. С. 218–225.
9. Елизаров А. А., Кухаренко А. С. Широкополосные частотно-селективные СВЧ устройства на основе планарных модифицированных грибовидных метаматериалов // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (Крым-МиКо 2015): материалы 25-й Международной Крымской конференции. Севастополь, 2015. Т. 1. С. 586–587.
10. 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: тр. II Всероссийской научной конференции. Москва, 2015. С. 45–48.

Для цитирования:

Елизаров А.А., Назаров И.В., Кухаренко А.С. Исследование прямоугольного волновода с магнитной стенкой из грибовидного метаматериала // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 50–56.



RECTANGULAR WAVEGUIDE WITH A MAGNETIC WALL OF THE MUSHROOM-SHAPED METAMATERIAL INVESTIGATION

Andrey A. Yelizarov,

Moscow, Russia, a.yelizarov@hse.ru

Igor V. Nazarov,

Moscow, Russia, inazarov@hse.ru

Alexander S. Kukharenko,

Moscow, Russia, alexk.05@mail.ru

Abstract

The current stage of development a technology is associated with the use of different types of metamaterials – composite materials that do not exist in nature and characterized by negative values of permittivity and magnetic permeability, both separately (SNG – single negative) and simultaneously (DNG double negative). In the latter case, such an environment media new unusual properties, and its application allows you to control the laws of dispersion, refraction and reflection of electromagnetic waves in electrodynamic structures known.

The anisotropic properties of a metamaterial have a different impact on the characteristics and parameters of systems depending on orientation relative to the incident wave. As well known, the reverse effect of wave propagation in a waveguide structure, which occurs when a longitudinal magnetic permeability-positive, and transverse magnetic permeability-negative. Thus at the resonant frequency of the unit cell of the metamaterial waveguide supports propagation of backward waves below the cutoff frequency of fundamental mode H₁₀. In this case, the lowest frequency wave propagation in the waveguide and, consequently, the possibility of reducing its overall dimensions are determined by the possibility of creating a uniaxial metamaterial with negative magnetic permeability in a given frequency range.

The paper presents the results of computer simulation of electromagnetic wave propagation in a standard rectangular waveguide R32 type with the cross-section 72,14×34,04 mm, one of the wide walls of which are made in the form of the mushroom-shaped metamaterial magnetic wall. Using software Ansoft HFSS ver.13 the dependences of the field distribution during simulation of the fundamental mode H₁₀, the characteristics of the complex reflection coefficient S₁₁ of the frequency and the directional diagram from the end of the waveguide in the near zone are obtained.

Keywords: rectangular waveguide; mushroom-shaped metamaterial; magnetic wall; dispersion.

References

1. Engheta N., Ziolkowsky R.W. Metamaterials – physics and

engineering exploration. Danvers, John Wiley & Sons Inc., 2006. 414 p.

2. Basharin A.A., Balabukha N.P., Semenenko V.N., Menshikh N.L., Petrin A. (Ed). Metamaterial waveguides and antennas, in "Wave propagation". InTech. 2011. Pp. 241–266.

3. Balabukha N.P., Basharin A.A., Semenenko V.N. The effect of backward radiation of electromagnetic waves from the waveguide structure of the metamaterial. JETP Letters. 2009. Vol. 89. No. 10. Pp. 593–598. (In Russian).

4. Hrabar S., Bartolic J., Sipus Z. Waveguide miniaturization using uniaxial negative permeability metamaterial. IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 2005. Vol. 53. No. 11. (In Russian).

5. Kukharenko S.A., Yelizarov A.A. Analysis of the physical features of metamaterials and frequency-selective microwave devices based on them. T-Comm. 2015. Vol. 9. No. 5. Pp. 36–41. (In Russian).

6. Kukharenko S.A., Yelizarov A.A. Methods for Extension of the Rejection Band of Microwave Devices on the Basis of Planar Modified Mushroom-Shaped Metamaterial. Journal of Communications Technology and Electronics. 2016. Vol. 61. No. 2. Pp. 204–210. (In Russian).

7. Patent RF 2571385 C1. Decoupling filter on metamaterial. Yelizarov A.A., Kukharenko S.A. Declared 29.08.2014. Published 20.12.2015. Bulletin No. 35 p. (In Russian).

8. Boyko S.N., Yelizarov A.A., Zakirova E.A., Kukharenko A.S. Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya APEP – 2014: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Proceedings APEDE-2014 conference]. Saratov, 2014. Vol. 1. Pp. 218–225. (In Russian).

9. Yelizarov A.A., Kukharenko S.A. SVCh-tehnika i telekommunikatsionnye tekhnologii (KryMiKo 2015): materialy 25-y Mezhdunarodnoy Krymskoy konferentsii [Crimean conference "Microwave and telecommunication technology (CriMiCo 2015)"]. Sevastopol, 2015. Vol. 1. Pp. 586–587. (In Russian).

10. Yelizarov A.A., Kukharenko S.A. Problemy SVCh-elektroniki MIEM NIU VShE – "Innovatsionnye resheniya" Keysight Technologies: trudy II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. [Proceedings II Russian scientific conference "Problems of Microwave Electronics" MIEM HSE – "Innovative solutions" Keysight Technologies]. Moscow, 2015. Pp. 45–48. (In Russian).

Information about authors:

Yelizarov A.A., Ph.D., professor, National Research University "Higher School of Economics";

Nazarov I.V., Ph.D., associate professor, National Research University "Higher School of Economics";

Kukharenko A.S., Ph.D., head researcher, Branch of "United Rocket and Space Corporation" "Institute of Space Device Engineering".

For citation:

Yelizarov A.A., Nazarov I.V., Kukharenko A.S. Rectangular waveguide with a magnetic wall of the mushroom-shaped metamaterial investigation. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 50–56.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ПОТОКОВ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Козин

Игорь Александрович,

к.т.н., доцент, докторант
Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
garry-spb@yandex.ru

Ключевые слова:

аэрокосмическая система мониторинга;
гиперспектральные данные;
спектральный образ; спектральный
канал; метод максимального
правдоподобия; метод вейвлет
преобразования.

АННОТАЦИЯ

При использовании гиперспектральной оптико-электронной аппаратуры современных аэрокосмических систем мониторинга появляются возможности «обмена» пространственного разрешения на спектральное и автоматизированного распознавания объектов наблюдения по спектральным признакам. Гиперспектральные данные характеризуются большими объемами и, вследствие ограниченной пропускной способности радиоканалов передачи информации и производительности автоматизированных рабочих мест тематической обработки видеоданных, не позволяющими реализовать их оперативную передачу, обработку и анализ. Методы решения проблемы: Объемы гиперспектральной информации можно минимизировать за счет выбора наиболее информативных спектральных каналов. В результате такой оптимизации формируются выборки снимков, полученных в различных наиболее информативных спектральных каналах, которые при размерности, существенно более низкой, чем число каналов гиперспектральной системы, обеспечивают качественное решение задачи тематической обработки. Математически задача выбора наиболее информативных спектральных каналов для пикселя гиперспектрального датчика формулируется как задача обнаружения координат изменения свойств дискретного спектрального образа, описываемого совокупностью спектральных составляющих. Совокупность составляющих дискретного спектрального образа в области анализа рассматривается как последовательность независимых случайных гауссовских величин с дисперсией и кусочно-постоянным средним, которое скачкообразно изменяется при переходе от одной дискретной координаты к другой. Представлено решающее правило алгоритма решения поставленной задачи с использованием методов статистического оценивания в виде решающей статистики для обнаружения и оценки максимального правдоподобия координаты (спектрального канала) изменения свойств (скачков, разладки) анализируемого процесса. Последовательное применение данного алгоритма к выборке значений спектральных составляющих позволяет определить номера наиболее информативных спектральных каналов. Предложено использование свойств вейвлет-преобразования для обнаружения координат изменения свойств дискретного спектрального образа. Основными операциями обработки сигналов при обнаружении их локальных свойств (особенностей) является анализ вейвлет-коэффициентов малых масштабов и определение интервала корреляции функции, описывающей сигнал. Применение предложенных методов сокращения избыточности гиперспектральных видеоданных позволит обеспечить согласование информационной производительности гиперспектральной аппаратуры с пропускной способностью радиоканалов передачи информации и информационной производительностью автоматизированных рабочих мест тематической обработки. Практическое использование предложенных методов, демонстрирует их работоспособность и позволяет получить выигрыш в вероятности распознавания по сравнению с выбором спектральных каналов простым равномерным «прореживанием» данных.

Аэрокосмический мониторинг является быстро развивающейся областью деятельности. Одним из его наиболее перспективных направлений является применение инновационных гиперспектральных методов и технологий. В настоящее время гиперспектральная аэрокосмическая информация применяется в интересах исследования и рационального использования природных ресурсов, охраны окружающей среды, предупреждения и ликвидации последствий природных катастроф и техногенных аварий, метеорологии и климатологии, лесного и сельского хозяйства, транспорта, городского планирования в интересах фундаментальных наук о Земле и решения задач обороны государства [1-3].

Основной отличительной особенностью гиперспектральных методов мониторинга является возможность одновременного анализа пространственного распределения и спектральных характеристик наблюдаемых объектов, процессов и явлений. При этом используется «гиперкуб» данных, состоящий из строк и столбцов, формирующих матрицу пространственного распределения яркостей I , совместно с третьей координатой λ , являющейся длиной волны регистрируемого излучения [1,3,4]. Гиперспектральные методы обладают широкими возможностями для обнаружения и распознавания различных объектов атмосферы, океана, суши, геологической среды, оценки их физико-химических свойств и определения других значимых характеристик, а также выявления их изменений. В настоящее время широкому применению гиперспектральных изображений для аэрокосмического мониторинга препятствуют отсутствие достаточного количества космических аппаратов (КА) и воздушных носителей, оборудованных гиперспектрометрами с требуемыми характеристиками, а также сложности, связанные с обработкой и интерпретацией больших потоков информации, формируемой этими приборами. В связи с этим для повышения эффективности использования гиперспектральных данных, поступающих при аэрокосмическом мониторинге, требуются более широкое применение гиперспектральных датчиков, разработка и применение новых методов, технологий, программных и высокопроизводительных технических средств обработки информации, обеспечивающих повышение быстродействия и достоверности анализа больших объемов информации при решении широкого спектра тематических задач.

Основной особенностью обработки потоков изображений, поступающих в процессе аэрокосмического мониторинга, являются большие объемы исходной информации. Это в первую очередь относится к потокам гиперспектральной информации. Проблема больших объемов гиперспектральной информации проявляется как на этапе ее передачи с борта КА или воздушного носителя на наземный пункт приема информации, так и в процессе ее последующей обработки и анализа. Так для передачи потребителям данных наблюдения в масштабе времени, близком к реальному, скорость передачи информации в радиоканале должна соответствовать скорости ее поступления от аппаратуры наблюдения. Требуемая скорость передачи информации от бортовой оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) КА наблюдения в реальном масштабе времени определяется выражением [5]

$$V_u = V_{КА} Sgb / \Delta l^2, \quad (1)$$

где $V_{КА}$ – скорость КА для заданной высоты полета $H_{КА}$; S – ширина полосы обзора; Δl – линейное разрешение на местности; g – число разрядов для цифровой передачи элемента изображения; b – число спектральных каналов. Отношение $N = \Delta S / \Delta l$ дает число элементов разрешения бортовой ОЭА в полосе обзора. Пологая, что скорость КА $V_{КА}$ соответствует первой космической скорости для круговой орбиты высотой $H_{КА}$, тогда выражение (1) для скорости потока данных, поступающих от бортовой ОЭА наблюдения, может быть преобразовано к виду

$$V_u = Ngb\sqrt{\mu/(R_3 + H_{КА})} / \Delta l, \quad (2)$$

где $\mu = 3,986 \cdot 10^5 \text{ км}^3\text{с}^{-2}$ – гравитационная постоянная, $R_3 = 6387 \text{ км}$ – радиус Земли. При согласовании размера элемента (пикселя) фоторегистрирующего устройства ОЭА с ее разрешающей способностью число элементов разрешения N определяется числом элементов в строке матричного фотоприемника.

Расчеты с использованием формулы (2) показывают, что в режиме непосредственной передачи потока видеоданных нескольких спектральных каналов от бортовой ОЭА наблюдения с линейным разрешением на местности Δl в единицы – десятки метров необходимо обеспечить скорости передачи информации в сотни Мегабит в секунду. С возрастанием требований к Δl и увеличением числа спектральных каналов требуемая скорость передачи видеоданных в реальном масштабе времени будет составлять единицы Гигабит в секунду.

Объемы регистрируемых бортовой ОЭА гиперспектральных изображений так же можно оценить с использованием выражения [1]

$$I = L_1 L_2 gb / l_1 l_2, \quad (3)$$

где L_1, L_2 – размеры сцены вдоль и поперек трассы, м; l_1, l_2 – пространственное разрешение вдоль и поперек трассы.

Расчеты по формуле (3) для современных гиперспектральных аэрокосмических систем наблюдения показывают, что объем информации, формируемой при гиперспектральной съемке в пределах одного условного кадра, может составлять от 0,4 до 5,3 Гигабайт. Подобные объемы информации формируются и другими космическими системами, а также воздушными средствами мониторинга, в состав которых входит гиперспектральная и многоспектральная аппаратура. При этом такие объемы информации непрерывно растут и при комплексном аэрокосмическом мониторинге могут достигать до 0,5 Терабайт/сутки и более [1,6].

Решение проблемы больших объемов гиперспектральной информации при ее передаче с борта носителя на наземный приемный пункт возможно за счет ее применения различных методов ее сокращения. Сокращение объема передаваемых гиперспектральных видеоданных по линиям связи с ограниченной пропускной способностью в настоящее время осуществляется, в основном, за счет применения различных методов сжатия информации [7,8]. Уменьшение требуемой скорости передачи информации при этом определяется коэффициентом сжатия видеоданных. Однако сжа-

тие видеоданных с большими значениями коэффициентов сжатия (десятки и более), сопровождается потерей качества изображений, что во многих случаях недопустимо. Известны и находят применение методы сжатия видеоданных без, такие как Adaptive Binary Optimization (ABO), GIF, JPEG, Progressive Graphics File (PGF), Portable Network Graphics (PNG), Qbit Lossless Codec, TIFF, WMPPhoto [4, 9]. Однако все методы сжатия видеоданных без потерь характеризуются невысокими значениями коэффициента сжатия (не более 3–4). Поэтому необходимо искать компромиссные способы сокращения исходного потока гиперспектральных данных, позволяющие обеспечить высокие коэффициенты сжатия и при этом сохранить их информативность с точки зрения отображения спектральных характеристик регистрируемых на гиперспектральном изображении объектов.

Процесс обработки и анализа больших потоков гиперспектральных изображений характеризуется тем, что общий объем информации и высокая корреляция значительной части каналов приводят к неоправданно высоким вычислительным затратам при использовании в тематической обработке всех каналов гиперспектрального изображения. Возникающая при этом проблема увеличения объема обучающих данных с количеством признаков неоднократно рассматривалась в литературе и получила название «проклятие размерности» [4]. Кроме того, в отечественной практике многие специалисты по тематическому дешифрированию используют, наряду с автоматическими методами обработки, визуально-интерактивный анализ, что требует выбора небольшого, но наиболее информативного подмножества каналов, по которым оператор-дешифровщик сможет визуально проводить анализ изображений.

Таким образом, указанные факторы приводят к тому, что для оперативной передачи и обработки больших потоков гиперспектральных видеоданных необходимо сокращение объемов передаваемой потребителям и обрабатываемой ими гиперспектральной информации.

Сокращения объемов гиперспектральной информации можно реализовать за счет выбора ограниченного числа наиболее информативных (с точки зрения решения задач тематической обработки) спектральных каналов. Это позволит согласовать информационную производительность аппаратуры наблюдения с пропускной способностью существующих радиоканалов передачи информации и производительностью автоматизированных рабочих мест тематической обработки видеоданных. При этом выбор спектральных каналов для оперативной передачи и обработки может осуществляться на этапе планирования съемки, непосредственно в ходе съемки с оперативной передачей данных наблюдения потребителям или в процессе анализа и обработки полного объема зарегистрированных гиперспектральных видеоданных. Во всех случаях при использовании ограниченного объема данных наблюдения, что эквивалентно их сжатию с потерями, потери не должны приводить к существенному снижению качества процессов тематической обработки данных наблюдения и распознавания объектов.

Таким образом, при тематической обработке гиперспектральных изображений по спектральным признакам

особое значение приобретает вопрос о количестве рабочих спектральных диапазонов (каналов), необходимым для надежного и быстрого распознавания объектов. Учитывая высокую информативность и коррелированность гиперспектральных данных, число спектральных каналов следует выбирать исходя из существенной спектральной размерности данных наблюдений, которая при распознавании природных объектов и техногенных объектов на фоне природной подстилающей поверхности определяется данными 6–8 наиболее информативных спектральных каналов [10, 11]. С точки зрения процедуры распознавания объектов по спектральным образам, лежащей в основе тематической обработки, под наиболее информативными спектральными каналами следует понимать спектральные каналы, которые позволяют достичь вероятности распознавания, близкой к вероятности распознавания по полному объему гиперспектральных видеоданных. Использование при распознавании объектов по спектральным признакам ограниченного числа наиболее информативных спектральных каналов, близкого к существенной размерности функций, описывающих спектральные излучательную и отражательную способность распознаваемых объектов, является одним из наиболее перспективных направлений дальнейшего развития аэрокосмических гиперспектральных систем мониторинга.

Существует два подхода к сокращению избыточности полученных многоспектральных данных [4]. Первый подход предполагает формирование системы анализируемых данных наблюдения, как некоторого линейного или нелинейного отображения (функции) множества исходных изображений, полученных в различных спектральных каналах, иными словами – синтез новых (вторичных) изображений, которые структурно или статистически отличаются от исходных изображений. Алгоритмически этот подход реализуется на основе методов проекций, главных компонент и их модификаций. Второй подход основывается на оценивании возможного вклада видеоданных каждого спектрального канала в решение поставленной задачи и выборе такой комбинации спектральных каналов, которые в совокупности наиболее эффективны в смысле выбранного критерия (например, при обеспечении достижения максимума некоторого функционала). Этот подход не предполагает создания новых изображений и, следовательно, не требует дополнительных преобразований видеоданных, поэтому ему отдается предпочтение в тех случаях, когда предполагается работа в режиме реального времени [12].

Для выбора наиболее информативных спектральных каналов при обработке данных аэрокосмических гиперспектральных систем мониторинга целесообразно использовать второй подход, не связанный с преобразованием исходных видеоданных и позволяющий выполнять распознавание наблюдаемых объектов с использованием их эталонных спектральных образов. Данный подход реализуется при спектральной выборке с выбором значений наиболее информативных спектральных каналов. При сокращении объема передаваемых данных за счет выбора значений наиболее информативных спектральных каналов осуществляется определение некоррелированных спектральных каналов,

соответствующих областям наиболее быстрого изменения (по оси частот) спектрального образа наблюдаемого объекта, имеющих наибольшее значение при корреляционном распознавании. Тем самым число спектральных каналов выбирается соответствующим существенной спектральной размерности данных наблюдений. Следует отметить, что метод спектральной выборки с выбором значений наиболее информативных спектральных каналов, как и метод спектральной выборки с объединением значений группы спектральных каналов, эквивалентен сжатию с потерями информации. Однако за счет оптимального выбора выделяемых для передачи спектральных каналов эти потери могут быть минимизированы, а коэффициент сжатия в многоспектральных системах будет достигать десятков и даже сотен.

В основе большинства алгоритмов распознавания объектов по гиперспектральным данным лежит процедура сравнения спектрального образа объекта и его эталона хранящегося в базе данных эталонов или сформированного в процессе обучения классификатора [4]. Сравнение осуществляется в соответствии с решающей, разделяющей классы, функцией, которая по конкретному вектору признаков ставит в соответствие номер класса, которому он принадлежит. Построение решающей функции не является тривиальной задачей. В настоящее время в качестве простых в реализации решающих функций используются: мера городского квартала, евклидово расстояние, мера нормированного городского блока и др. К числу классификаторов с более сложными решающими функциями, учитывающими распределения классов, относятся мера Махаланобиса, дивергенция, расстояния Бахаттачариа, Джеффриса-Матусита и др. [4,13].

Для большинства алгоритмов распознавания объектов по спектральным образам выбор наиболее информативных спектральных каналов гиперспектральной аэрокосмической системы мониторинга состоит в определении спектральных составляющих, которые при распознавании дают наибольшую корреляцию зарегистрированного спектрального образа с эталонным спектральным образом. Исходя из свойств корреляционной функции очевидно, что при корреляционном распознавании по спектральным образам наибольший вклад в величину коэффициента корреляции дают спектральные составляющие, соответствующие участкам наиболее быстрого изменения спектрального образа наблюдаемого объекта $I(\lambda)$, на которых функция, описывающая спектральный образ, имеет некоторые локальные особенности и существенные изменения в характере поведения. Такие изменения свойств при анализе временных сигналов и процессов в динамических системах получили название разладки [14]. Математически данная задача может быть сформулирована как задача обнаружения изменения свойств анализируемого процесса, и ее строгое решение с использованием методов статистической оптимизации [15] дает возможность получения оптимального (в указанном смысле) решения задачи выбора спектральных каналов для распознавания по ограниченному объему многоспектральных данных в виде решающей статистики для оценки максимального правдоподобия координат скачков с использованием модифицированного алгоритма кумулятивных сумм с настраиваемым скользящим окном [16].

В рассматриваемом случае имеем следующее правило принятия оптимального решения при оценке координаты скачка k [16]:

$$r: g_k = \max_k \sum_{m=k+1}^{k+n} I_m \begin{matrix} > \frac{H_1}{\sigma_I^2 \delta} + n\mu_{I0} + n\frac{\nu_I}{2}, \\ < \frac{H_0}{\nu_I} \end{matrix} \quad (4)$$

где μ_{I0} – среднее до скачка, μ_{I1} – среднее после скачка, σ_I^2 – дисперсия значений I_1, \dots, I_M анализируемой функции спектрального образа, M – количество спектральных каналов, δ – порог принятия решения о наличии скачка функции спектрального образа в точке с координатой k , n – размер скользящего окна $I_{k+1} \dots I_{k+n}$ в пределах которого осуществляется поиск скачка функции спектрального образа определяемый интервалом корреляции анализируемой функции спектрального образа. Последовательный анализ всех отсчетов функции описывающей анализируемый спектральный образ с использованием решающего правила (4) позволяет выявить все существенные изменения (скачки) функции спектрального образа и соответственно определить номера наиболее информативных спектральных каналов.

В развитие алгоритма обнаружения последовательности скачков анализируемой функции на основе вычисления кумулятивных сумм [16] с настраиваемым скользящим окном разработан алгоритм вейвлет преобразования спектрального образа [17] являющийся квазиоптимальным по отношению к алгоритму, основанному на анализе отношения правдоподобия. Свойства вейвлет-преобразования позволяют путем последовательного увеличения (огрубления) или уменьшения (уточнения) масштаба выявлять локальные особенности анализируемого сигнала и подразделять их по интенсивности. Тем самым обнаруживается динамика изменения сигнала в зависимости от масштаба, не всегда уловимая при анализе свойств сигнала «невооруженным глазом». Если резкие скачки (изменение гладкости функции описывающей сигнал) во многих случаях визуально легко различимы, то взаимодействие событий на мелких масштабах, перерастающие в крупномасштабные явления, визуально обнаружить очень сложно. И наоборот, сосредоточившись только на мелких деталях, можно не заметить явлений, происходящих на глобальном уровне. Основными операциями вейвлет обработки спектральных образов при обнаружении их локальных свойств (особенностей) является анализ вейвлет-коэффициентов малых масштабов и определение интервала корреляции функции, описывающей спектральный образ.

В общем виде вейвлет-преобразование функции спектрального образа можно представить в виде [18]

$$W(j, k) = \sum_{m=1}^M a_0^{-j/2} \Psi(a_0^{-j} m - k) f(m), \quad (5)$$

где $a_0 = 2$, $a_j = a_0^j$ – параметр сжатия и растяжения материнской функции вейвлета, $b_{jk} = k a_0^j$ – параметр сдвига материнской функции вейвлета, j – масштаб вейвлет-преобразования, $f(m)$ – функция, описывающая спектральный образ, $m = 1 \dots M$ – номера спектральных каналов, k – индекс параметра сдвига.

При определении наиболее информативных спектральных каналов проводится анализ вейвлет-коэффициентов $|W(j, k)|$ выбранных масштабов j_1, j_2, \dots, j_L оценка координаты λ_k наиболее информативного спектрального канала, задаваемой ее номером k в соответствии с выражением [17]

$$\tilde{k} = \arg \max_k \left| \sum_{j=1}^L |W(j, k)| \right|,$$

где L – число учитываемых масштабов. Соответственно решающее правило для оценки координаты скачка определяется выражением

$$g_k = \max_k \left| \sum_{j=1}^L |W(j, k)| \right| \geq \delta.$$

В качестве наиболее информативных выбираются те спектральные каналы, для которых абсолютные значения соответствующих их позициям вейвлет-коэффициентов $|W_j(j, k)|$ или их сочетаний, превышают уровень порога δ . При $L = 1$ анализируются вейвлет-коэффициенты одного масштаба. При этом за счет выбора модификации вейвлет-функции и анализируемого масштаба достигается уменьшение влияния шума на результаты выбора спектральных каналов.

Таким образом, применение предложенных методов сокращения избыточности гиперспектральных видеоданных позволит разрешить сложившуюся проблему и позволит обеспечить согласование информационной производительности гиперспектральной ОЭА аэрокосмических систем мониторинга с пропускной способностью радиоканалов передачи информации на наземный приемный пункт и информационной производительностью автоматизированных рабочих мест тематической обработки гиперспектральных изображений. Предложенные методы характеризуется простотой технической реализации. Практическое использование предложенных методов, демонстрирует их работоспособность и возможность настройки с хорошей повторяемостью выбора наиболее информативных спектральных каналов в областях наиболее существенных изменений анализируемых типовых спектральных образов и позволяет получить выигрыш в вероятности распознавания по сравнению с выбором спектральных каналов простым равномерным «прореживанием» данных.

Литература

1. Бондур В.Г. Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации // Исследование Земли из космоса. 2014. № 1. С. 3–17.
2. Люхин А.В., Умбиталиев А.А. Задачи космических оборонных видеoinформационных систем. Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения. 2013. Вып. 2. С. 3–14.
3. Мальцев Г.Н., Козин И.А., Данилкин А.П. Кос-

мические системы и технологии многоспектрального дистанционного зондирования Земли // Информация и космос. 2010. № 1. С. 148–158.

4. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера. 2010. 560 с.

5. Козин И.А. Передача данных дистанционного зондирования земли с космических аппаратов наблюдения // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. 2012. № 2. Ч. 3. С. 102–106.

6. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Дмитриев Е.В., Казанцев О.Ю., Персеев И.В., Щербаков М.В. Обработка данных гиперспектрального аэрокосмического зондирования // Исследование Земли из космоса. 2012. № 5. С. 3–11.

7. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображения и звука: пер. с англ. М.: Техносфера. 2004. 368 с.

8. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: пер. с англ. М.: Триумф. 2003. 336 с.

9. Motta G., Rizzo F., Storer J.A. Hyperspectral Data Compression. New York. Springer Science and Business Media Inc. 2006. 421 p.

10. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Многоспектральные оптико-электронные системы // Специальная техника. 2002. № 4. С. 56–62.

11. Дейвис Ш.М. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход. М.: Недра. 1983. 415 с.

12. Мальцев Г.Н., Козин И.А., Фатеев В.Ф. Методы выбора наиболее информативных спектральных каналов при дистанционном зондировании Земли с малых космических аппаратов // Известия вузов. Приборостроение. 2007. № 6. С. 23–31.

13. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера. 2006. 616 с.

14. Жиглявский А.А., Красковский А.Е. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники. Л.: ЛГУ. 1988. 224 с.

15. Бассвиль М., Вилски А., Банвенист А. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем: пер. с англ. М.: Мир. 1989. 280 с.

16. Козин И.А., Мальцев Г.Н. Модифицированный алгоритм обнаружения разладки случайного процесса и его применение при обработке многоспектральных данных // Информационно-управляющие системы. 2012. № 3. С. 9–17.

17. Козин И.А. Обнаружение локальных свойств анализируемых сигналов и процессов с использованием вейвлет-преобразования // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1 (74). С. 21–28.

18. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов: пер. с англ. М.: Мир, 2005. 671 с.

Для цитирования:

Козин И.А. Автоматизированная обработка и анализ больших потоков гиперспектральной аэрокосмической информации // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 57–62.

THE AUTOMATED PROCESSING AND THE ANALYSIS OF LARGE FLOWS OF THE HYPERSPECTRAL AEROSPACE INFORMATION

Igor A. Kozinov,

St. Petersburg, Russia, garry-spb@yandex.ru

Abstract

At use of hyperspectral optic-electronic equipment of modern aerospace systems of monitoring there are capabilities of "exchange" of the space permission on spectral and the automated recognition of objects of supervision to spectral signs. Hyperspectral data are characterized in great volumes and, owing to the radio channels of information transfer limited to throughput and productivity of the automated workplaces of thematic processing of the video data, not allowing realizing their operative transfer, processing and the analysis. Methods of a solution of a problem: Volumes of the hyperspectral information can be minimized at the expense of selection of the most informative spectral channels. As a result of such optimization samples of the pictures received in various most informative spectral channels which at dimension, it is essential lower, than number of channels of hyperspectral system are formed, supply the qualitative solution of a problem of thematic processing. Mathematically the problem of selection of the most informative spectral channels for pixel of the hyperspectral sensor is formulated as a problem of detection of coordinates of change of properties of the discrete spectral image described by set of spectral components. Set of components of a discrete spectral image in the field of the analysis is considered as sequence independent casual Gauss values with dispersion and a mean average which in steps changes at transition from one discrete coordinate to another. The solving rule of algorithm of the solution of a task in view with use of methods of statistical estimation in the form of the solving statistics for detection and an estimation of the maximum credibility of co-ordinate (the spectral channel) changes of properties (jumps) analyzed process is presented. Consecutive application of the given algorithm to sample of values of spectral components allows to determine numbers of the most informative spectral channels. Use of properties of wavelet-transformation for detection of co-ordinates of change of properties of a discrete spectral image is offered. The basic operations of processing of signals at detection of their local properties (features) is the analysis of wavelet-factors of small scales and definition of an interval of correlation of the function describing a signal.

Application of the offered methods of reduction of redundancy of hyperspectral video data will allow to supply the coordination of information productivity of hyperspectral equipment with throughput of radio channels of information transfer and information productivity of the automated workplaces of thematic processing. Practical use of the offered methods, demonstrates their functionability and allows to receive a prize in probability of recognition in comparison with selection of spectral channels simple uniform "thin out" data.

Keywords: aerospace system of monitoring; hyperspectral data; spectral image; spectral channel; maximum likelihood method; wavelet transformations.

References

1. Bondur V.G. Modern approaches to the treatment of large flows of hyperspectral and multispectral information. *Issledovanie Zemli*

iz kosmosa. 2014. No 1. Pp. 3–17. (In Russian).

2. Lyukhin A.V., Umbitaliev A.A. Tasks video information systems and space defense. *Voprosy radioelektroniki, ser. Tehnika teledeniya*. 2013. Vol. 2. Pp. 3–14.

3. Maltsev G.N., Kozinov I.A., Danilkin A.P. Space Systems and Technologies Interned for Multispectral Remote Sensing of the Earth. *Informatsiia i kosmos*, 2010, No. 1. Pp. 148–158. (In Russian).

4. Shovengerdt R.A. Distantionnoe zondirovanie. *Modeli i metody obrabotki izobrazheniy [Remote sensing. Models and methods of image processing]*. Moscow, Technosphere. 2010. 560 p. (In Russian).

5. Kozinov I.A. The transfer of remote sensing data from satellites observing. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Upravlenie, vychislitel'naya tehnika, informatika*. 2012. No. 2. Part 3. Pp.102–106.

6. Kozoderov V.V. Kondranin T.V., Dmitriev E.V., Kazantsev O.J., Perseus I.V. Shcherbakov M.V. Processing hyperspectral sensing. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2012. No 5. Pp. 3–11.

7. Salomon D. *Szhatie dannyh, izobrazheniya i zvuka [Data Compression, Image and Sound]*. Moscow, Technosphere. 2004. 368 p. (In Russian).

8. Miano J. *Formatyi i algoritmyi szhatiya izobrazheniy v deystvii [The formats and image compression algorithms in action]*. Moscow, Triumph. 2003. 336 p. (In Russian).

9. Motta G., Rizzo F., Storer J.A. *Hyperspectral Data Compression*. New York. Springer Science and Business Media Inc. 2006. 421 p.

10. Tarasov V.V., Yakushenkov U.G. Multispectral optoelectronic systems. *Spetsial'naya tehnika*. 2002. No 4. Pp.56–62.

11. Davis Sh.M. and others. *Distantionnoe zondirovanie: kolichestvennyiy podhod [Remote sensing: the quantitative approach]*. Moscow, Nedra. 1983. 415 p. (In Russian).

12. Maltsev G.N., Kozinov I.A., Fateev V.F. Methods of Choice of the Most Informational Spectral Channels under Remote Flexing of the Earth from Small Spacecrafts. *Izvestiia vuzov. Priborostroenie*, 2007. No. 6. Pp. 23–31 (In Russian).

13. Gonzalez R., Woods, R., Eddins S. *Digital image processing environment MATLAB*. Moscow, Tekhnosfera. 2006. 616 p.

14. Zhigliavskii A.A., Kraskovskii A.E. *Obnaruzhenie izmeneniia svoystv signalov i dinamicheskikh sistem [Detection of the Change-Point in Random Processes in Problems of Radio Engineering]*. Leningrad, LGU Publ., 1988. 224 p. (In Russian).

15. Basseville M., Vilski A., Banveniste A., at al. *Detection of Abrupt Changes in Signals and Dynamical Systems*. New York, Springer-Verlag, 1985. 278 p.

16. Kozinov I.A., Maltsev G.N. Modified Algorithm of the Detection of Abrupt Changes in Casual Process and its use for Processing of Multispectral Data. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2012. No. 3. Pp. 9–17 (In Russian).

17. Kozinov I.A. Detection of the local properties of the analyzed signal and processes using wavelet transform. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*. 2015. No. 1 (74). Pp. 21–28. (In Russian).

18. Mallat S.A. *Wavelet tour of signal processing*. Paris, Academic Press, 1999. 671 p.

Information about authors:

Kozinov I.A., Ph.D., doctoral student, Military Space Academy.

For citation:

Kozinov I.A. The automated processing and the analysis of large flows of the hyperspectral aerospace information. *H&ES Research*. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 57–62.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРЯЖЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ПРОГРАММНОМ УРОВНЕ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ШЛЮЗОВ

Королев

Александр Сергеевич,

главный специалист Акционерного общества «Научно-исследовательский институт точных приборов»,
г. Москва, Россия,
alexander.s.korolev@yandex.ru

Ключевые слова:

автоматизированная система;
информационно-техническое взаимодействие;
модульные программные средства;
обмен электронными документами;
транспортный протокол.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена задача информационно-технического взаимодействия автоматизированных систем на программном уровне в части, касающейся транспортного сопряжения. Показано различие между информационными и транспортными протоколами передачи данных, являющихся априорной информацией для решения данной задачи, а также предложен подход, при котором сопряжение существующих автоматизированных систем осуществляется без их модификации, но с использованием новой автоматизированной системы сопряжения, представленной распределенным комплексом программных и аппаратных средств.

Кратко описана внутренняя структура автоматизированной системы сопряжения, перечислены основные ее подсистемы. Введено понятие шлюза транспортного сопряжения, являющегося программной реализацией транспортного протокола передачи данных. Показан алгоритм функционирования шлюза и его место среди других компонентов. Обоснован выбор модульной архитектуры для построения таких шлюзов.

Предложен новый подход к организации модульных программных средств, в основе которого лежит снятие ограничений на входные и выходные параметры программ, содержащиеся в этих модулях, что позволяет автоматически формировать межмодульные каналы передачи данных. Введено понятие микроядра, дано его математическое описание и разработана программа реализация, позволяющая создавать модульные программные средства в рамках предложенного подхода.

Для управления модульными приложениями в ручном и автоматическом режимах разработан программный комплекс контроля и управления функционированием микроядра, позволяющий изменять структуру этих приложений в режиме реального времени. Разработанный комплекс обладает универсальностью: он может быть использован для интеграции процесса управления любыми программными средствами.

Рассмотрен алгоритм автоматического формирования и изменения шлюзов на уровне отдельных модулей в зависимости от состояния транспортных систем и команд системного администратора на изменение графа подключений автоматизированных систем между собой.

Таким образом, применение микроядра для построения транспортных шлюзов позволяет повысить отказоустойчивость и адаптивность автоматизированной системы сопряжения в целом, а также сделать процесс разработки новых шлюзов более эффективным, что подтверждено в ходе испытаний. Результаты работы позволили обеспечить обмен электронными документами между автоматизированными системами, которые не имеют общих информационных и транспортных протоколов взаимодействия.

Введение

Для решения различных прикладных задач, работа над которыми ведется в Акционерном обществе «Научно-исследовательский институт точных приборов» и других организациях, было создано и внедрено множество автоматизированных систем (АС) специального назначения. В качестве результатов работы таких систем нередко выступают документы, представленные в электронной форме, при этом в процессе эксплуатации часто возникает необходимость обмена документами между системами.

Поскольку автоматизированные системы создавались в разное время различными коллективами разработчиков, перед которыми не ставилась задача сопряжения систем между собой, электронные документы зачастую имеют несовместимые форматы как с точки зрения их содержания, так и формы их представления. Например, в одной автоматизированной системе документы могут быть представлены в формате на основе языка разметки XML [1], а в другой – в бинарном формате собственной разработки.

Ситуацию осложняет тот факт, что до настоящего времени нет единого общепринятого способа доставки данных на прикладном сетевом уровне из одной автоматизированной системы в другую. Например, одна система может принимать и отправлять электронные документы только по электронной почте, а другая – только через сервер файлового обмена FTP.

Не исключена также ситуация, при которой сопрягаемые системы подключены к независимым сетям передачи данных, не имеющим общих межсетевых шлюзов, что исключает возможность прямого подключения по протоколам семейства TCP/IP.

Актуальность темы обусловлена тем, что решение задачи сопряжения автоматизированных систем требует соз-

дания дополнительных программных средств, способных учитывать особенности сопрягаемых АС на логическом и системном уровнях.

1. Автоматизированная система сопряжения

Логический и системный уровни взаимодействия АС можно иначе формулировать как информационное и транспортное сопряжение соответственно. Информационное сопряжение с некоторой автоматизированной системой определяется *информационным* протоколом (ИП) функционирования этой системы – совокупностью принятых в ней формализованных правил формирования и обработки электронных документов.

Технические вопросы приема и передачи документов через какое-либо программное средство объединим в понятие *транспортного* протокола (ТП) функционирования автоматизированной системы, который описывает транспортное сопряжение с этой системой.

Блоки данных, передаваемые по транспортному протоколу, будем называть транспортными пакетами. Например, транспортный пакет, передаваемый по электронной почте представляет собой электронное письмо, у которого адреса отправителя и получателя указаны в формате электронной почты, а передаваемый документ оформлен в виде вложения. При этом в документе могут быть указаны, например, фамилии отправителя и получателя уже в соответствии с информационным протоколом передачи.

На рис. 1 изображены две автоматизированные системы АС₁ и АС₂, которые работают по разным информационным и транспортным протоколам. Эти протоколы являются априорной информацией в задаче сопряжения систем и не подлежат изменению. Мы не имеем права и возможности изменять эти системы и вмешиваться в их работу, т. к. они сданы в эксплуатацию и находятся на дежурстве.

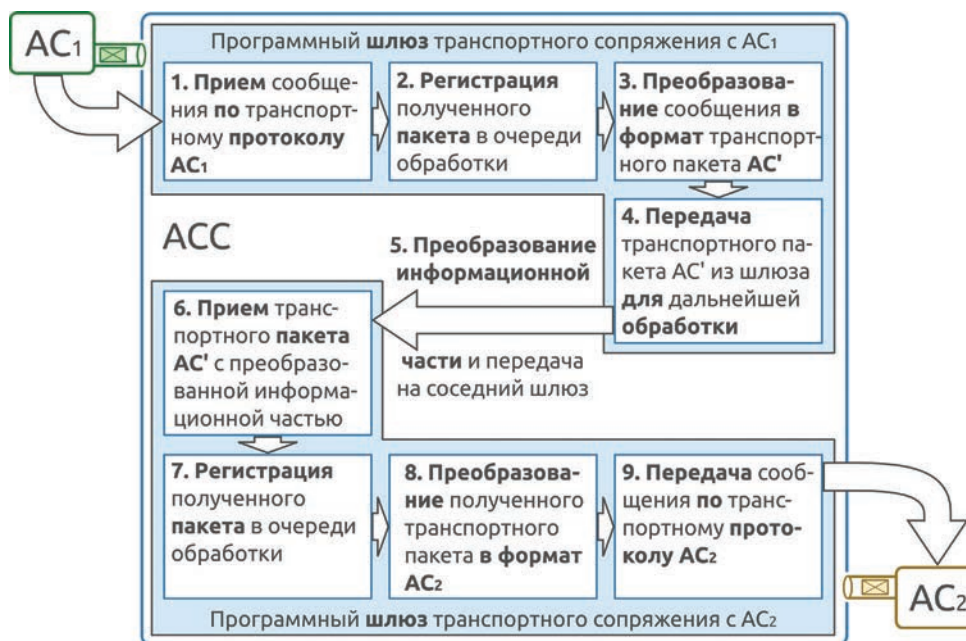


Рис. 1. Алгоритм работы шлюзов транспортного сопряжения

Поскольку при заданных условиях передача данных между системами напрямую невозможна, необходимо добавить новый элемент структуры – автоматизированную систему сопряжения (АСС), которая, используя только информацию о протоколах сопрягаемых систем, способна обеспечить информационное и транспортное сопряжение. Другими словами, если информационные и транспортные протоколы задают соответственно множества электронных документов и транспортных пакетов, то АСС отображает множество документов и транспортных пакетов одной системы во множество документов и транспортных пакетов другой.

Если сопрягаемые автоматизированные системы подключены к независимым каналам передачи данных, то может потребоваться несколько экземпляров АСС. В таких случаях АСС становится распределенной и должна обеспечивать транзитную передачу данных.

2. Элементы внутренней структуры АСС

АСС включает в себя ряд подсистем, которые обеспечивают обработку, промежуточное хранение, маршрутизацию и передачу электронных документов, ведение журнала сбоев и нештатных ситуаций, контроль и управление функционированием комплекса в целом и др.

Структура связей между всеми сопрягаемыми автоматизированными системами представлена в виде графа, который хранится в базе управляющих данных, являющейся частью АСС. В случае наличия нескольких маршрутов передачи электронных документов внутри распределенного комплекса АСС используется алгоритм Дейкстры [2] для поиска кратчайшего пути. Подсистема АСС, реализующая этот алгоритм с учетом специфики каналов связи, названа сервером маршрутизации. Наконец, обмен данными между подсистемами осуществляется средствами системы локального транспорта (СЛТ), которая позволяет использовать для адресации логические адреса, которые не привязаны явно к сетевым адресам.

Перечисленные подсистемы не могут быть эффективно реализованы в рамках единого программного приложения в силу специфики предметной области. Для взаимодействия с сопрягаемыми системами элементы АСС нередко работают на нескольких физических и виртуальных серверах, находящихся под управлением различных операционных систем, а также подключенных к независимым сетям передачи данных.

Таким образом, мы приходим к необходимости создания программных средств сопряжения в виде распределенной системы [3], в которой отдельные подсистемы становятся самостоятельными программными приложениями, взаимодействующими между собой посредством локальной вычислительной сети. Такая архитектура позволяет повысить адаптивность и отказоустойчивость комплекса в целом, так как замена или выход из строя одного из элементов не нарушит работу других.

С другой стороны, важно избежать многократной разработки и дублирования программного кода, отвечающего за одни и те же функции в нескольких подсистемах [4]. Например, реализацию сетевого взаимодействия подсистем

между собой следует представить в виде программной библиотеки или подключаемого модуля [5].

3. Модульные шлюзы и микроядро

Традиционные способы разбиения программных средств на модули, как правило, предполагают выделение центральной части приложения – ядра, которое обладает априорной информацией о том, какие модули могут быть к нему подключены и как они могут взаимодействовать между собой.

В ходе исследования было установлено, что если ядро приложения вместо использования априорной информации о модулях может вычислить все необходимые параметры модулей автоматически в процессе работы, то получаемые при этом программные средства обладают новыми свойствами, имеющими практическую и теоретическую значимость. По аналогии с терминами, принятыми в теории операционных систем, указанную центральную часть модульных программ предложено назвать микроядром.

Проиллюстрируем данный подход на примере подсистем приема, передачи и преобразования транспортных пакетов, которые будем называть шлюзами транспортного сопряжения или просто шлюзами. Заметим, что шлюз сопряжения с некоторой автоматизированной системой должен быть реализован в соответствии с транспортным протоколом этой системы, т. е. именно внутри шлюза должно быть реализовано транспортное сопряжение.

Перед разбиением шлюза на модули покажем упрощенный алгоритм передачи документа из AC_1 в AC_2 (рис. 1). На первом этапе осуществляется прием транспортного пакета из AC_1 , после чего производится его регистрация в очереди обработки. Когда очередь обработки доходит до этого сообщения, происходит преобразование во внутренний формат транспортного пакета АСС, а также передача полученного в ходе преобразования транспортного пакета другим компонентам АСС, которые выполняют промежуточное хранение, маршрутизацию и преобразование информационной части. Шаги с первого по четвертый образуют шлюз сопряжения с AC_1 .

После преобразования информационной части документа начнется отправка в систему AC_2 , т. е. произойдет зеркальная последовательность действий, подготавливающих и отправляющих данный документ через шлюз сопряжения с AC_2 . В разных шлюзах присутствуют как одинаковые компоненты, так и специальные, учитывающие особенности информационного и транспортного протоколов той системы, с которой осуществляется сопряжение. Все эти компоненты, которые выделены в отдельные модули, состоят из подпрограмм, каждая из которых выполняется в ответ на какое-либо событие. Например, передача транспортного пакета начинается в тот момент, когда его преобразование завершено.

Таким образом, для разбиения шлюза на модули необходимо определить все необходимые подпрограммы и события и разделить их по модулям таким образом, чтобы при возникновении события в одном модуле подпрограмма в другом модуле начинала бы свое выполнение.

Опишем данный принцип более строго. Пусть P – это множество всех возможных подпрограмм, которые могут выполняться в шлюзе сопряжения, а E – множество всех событий, которые могут приводить к выполнению этих подпрограмм. Тогда модуль шлюза M – это набор элементов (P', E', p_0) , где P' и E' – подмножества множеств P и E соответственно, а p_0 – стартовая подпрограмма модуля ($p_0 \in P'$).

Введем также множество X – алфавит такой, что $X = \{a, b, \dots, z, A, B, \dots, Z, (,), [,], *, _ , \&\}$. Символом алфавита X называют любой его элемент, а цепочкой над алфавитом – произвольную последовательность символов. Множество всех цепочек над алфавитом X обозначают символом X^* [6].

Два отображения $\text{sig}_e: E \rightarrow X^*$ и $\text{sig}_p: P \rightarrow X^*$ позволяют получить из элементов множества событий и элементов множества подпрограмм соответственно их сигнатуры – цепочки над алфавитом X , которые однозначно идентифицируют каждое событие и каждую подпрограмму, а также их входные параметры.

Если шлюз сопряжения состоит из модулей $M_1 = (P_1, E_1, p_{01}), M_2 = (P_2, E_2, p_{02}), \dots, M_n = (P_n, E_n, p_{0n})$, то имеет место отношение R подключения подпрограмм и событий, которое является подмножеством декартова произведения объединения множеств подпрограмм и объединения множества событий:

$$R \subseteq (P_1 \cup P_2 \cup \dots \cup P_n) \times (E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_n), \quad (1)$$

$$R = \{(p, e) | \text{sig}_p(p) = \text{sig}_e(e)\}.$$

Таким образом, микроядро, являясь программной реализацией отношения (1) для набора подключенных модулей способно обеспечивать связи между ними, получая множества событий и подпрограмм каждого модуля уже в процессе работы.

В рамках данного исследования такое микроядро было разработано на языке программирования C++ с применением средств мета-объектной системы, входящей в состав набора библиотек Qt [7]. Данное микроядро способно выполнять только анализ подключаемых к нему модулей и построение соответствующей матрицы для отношения R как в начальный момент времени после запуска, так и в каждый последующий момент времени, позволяя добавлять новые или удалять имеющиеся модули. Важным свойством разработанной программы является возможность неявного выполнения подпрограмм в нескольких модулях параллельно в отдельных вычислительных потоках [8].

Теперь покажем структуру модульного шлюза (рис. 2), построенного на основе синтеза тех данных, которые хранятся в модулях. При этом алгоритм работы остался прежним. Полученный документ извлекается из транспортного пакета и сохраняется на жестком диске, после чего документ регистрируется в очереди.

Заметим, что транспортный пакет во внутреннем формате АСС, который должен сформировать шлюз, состоит из передаваемого документа и транспортного файла, внутри которого указан ряд параметров, таких как код документа, адреса отправителя и получателя в различных форматах, идентификаторы взаимодействующих автоматизированных систем и другие данные.

Когда очередь обработки доходит до полученного сообщения, модуль обработки транспортных пакетов заполняет необходимые поля транспортного файла, после чего происходит отправка пакета в другие компоненты АСС.

4. Адаптивные модульные шлюзы

Возможность составлять шлюзы и другие программные средства из отдельных модулей позволяет более эф-

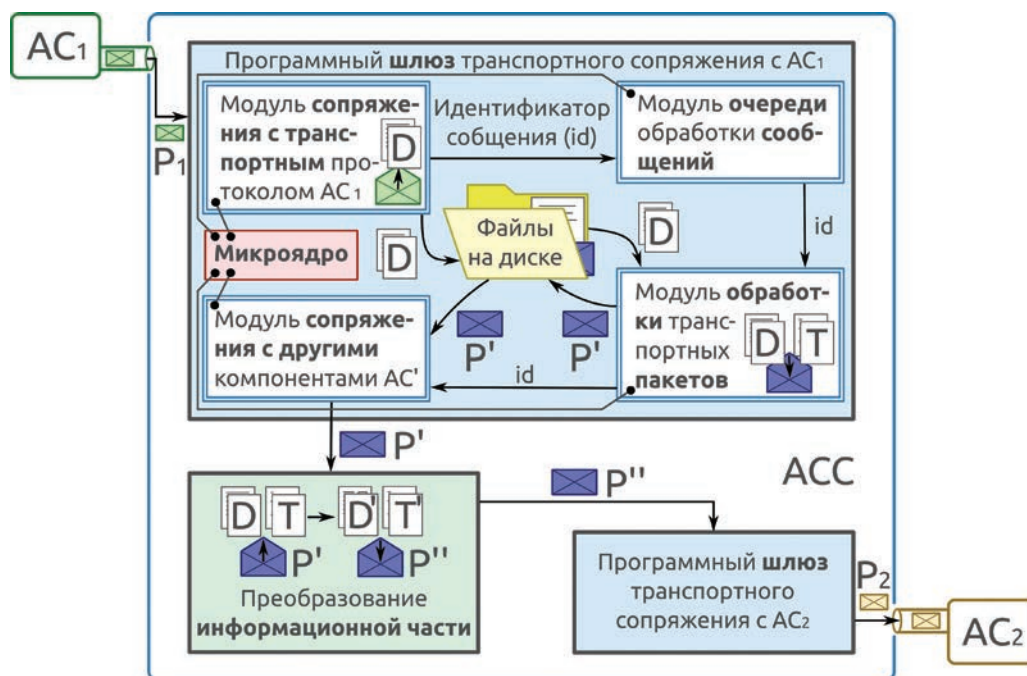


Рис. 2. Алгоритм работы шлюзов транспортного сопряжения

эффективно разделять задачи между разработчиками АСС, что приводит к сокращению времени, необходимого на их разработку. Однако более важным преимуществом предложенного подхода является тот факт, что набор модулей, из которых состоит та или иная программа, можно изменять прямо во время ее работы, а, значит, дает возможность создавать адаптивные программные средства, способные изменять свою функциональность в зависимости от условий эксплуатации.

Для внесения изменений в модульную структуру программ на основе микроядра необходима система управления ими. В рамках исследования такая система была разработана. В ее состав вошел веб-сервер администрирования, который предоставляет администратору системы веб-интерфейс для создания и изменения модульных приложений. Кроме этого, на каждом компьютере, где запускаются модульные шлюзы, в фоновом режиме должен работать диспетчер – программное средство, которое способно принимать и выполнять команды из различных источников (в т. ч. от веб-сервера) на создание, удаление и модификацию этих шлюзов.

Следует заметить, что программная реализация модулей допускает наличие набора структурированных параметров в формате JSON [1]. Веб-сервер, получая от диспетчеров информацию о структуре этих параметров, автоматически формирует графический интерфейс для их отображения и редактирования. Поэтому совокупность веб-сервера и всех подключенных к нему диспетчеров можно рассматривать в качестве системы контроля и управления функционированием (КУФ) модульных приложений.

Из предложенной структуры КУФ следует, что допускается создание модульных программ на основе микроядра, которые транслируют свои собственные параметры

в параметры какого-либо другого программного комплекса. Это позволяет связать в одно целое процесс просмотра и изменения настроечных параметров произвольных программных средств в едином интегрированном веб-интерфейсе администрирования.

В тех случаях, когда связь между автоматизированными системами может осуществляться с использованием нескольких транспортных систем одновременно, реализация всех соответствующих транспортных протоколов может быть объединена в едином многоканальном шлюзе (рис. 3). На рисунке изображен пример четырехканального шлюза, состоящего из микроядра и нескольких одновременно функционирующих модулей. Внешние адаптеры являются группой модулей, отвечающих за отправку и прием транспортных пакетов в формате сопрягаемой автоматизированной системы АС₁. Соответствующие им модули-обработчики производят преобразование транспортных пакетов из формата сопрягаемой системы во внутренний формат АСС и обратно. Внутренние адаптеры подключаются к системе локального транспорта, предоставляя четыре адреса в терминах СЛТ, на которые сервер маршрутизации может высылать сообщения. Очередь на обработку представлена модулем, который регистрирует все проходящие через шлюз электронные документы и следит за тем, чтобы в каждый момент времени адаптеры и обработчики были заняты передачей одного сообщения.

Отправка документа через любую из транспортных систем должна сопровождаться получением квитанции – отчета об успешной доставке документа в АС получателя. Анализируя размер переданного документа и время, прошедшее от начала передачи до получения квитанции, модуль, обслуживающий очередь обработки, может сформировать технологическое сообщение для сервера маршру-

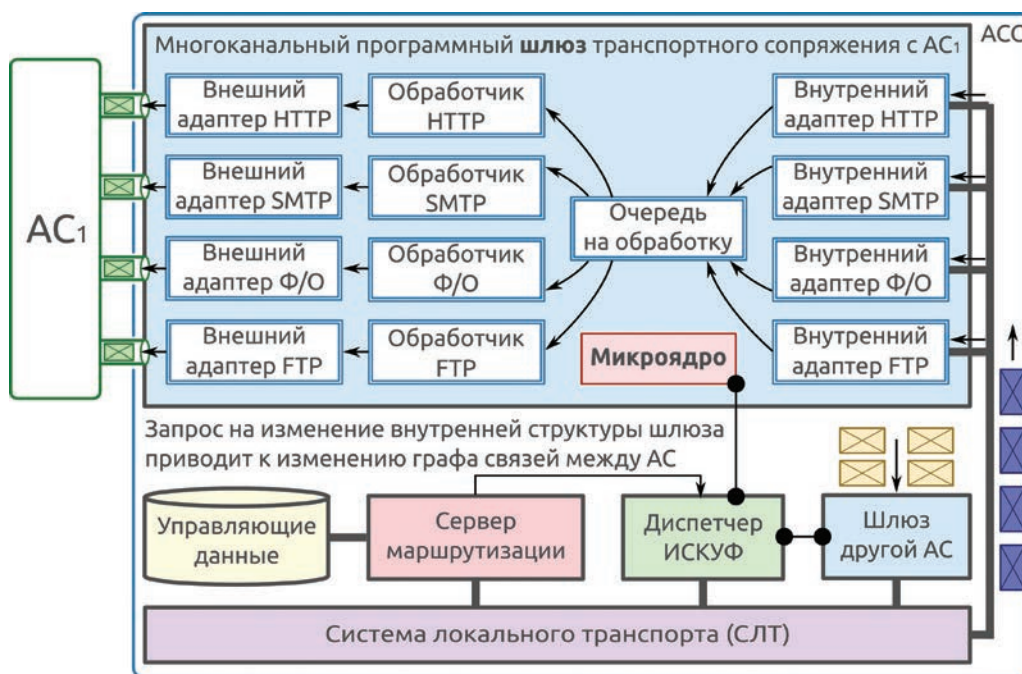


Рис. 3. Многоканальный шлюз сопряжения

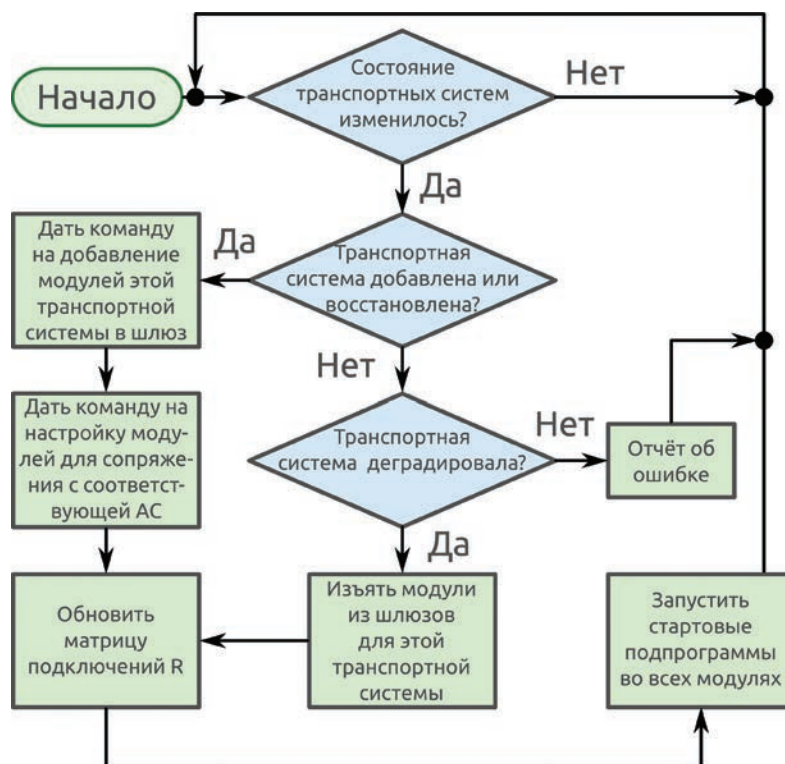


Рис. 4. Алгоритм управления шлюзами

тизации, которое будет доставлено через систему локального транспорта. Технологический пакет будет отправлен и в том случае, если квитанции об успешной доставке перестали поступать, либо внешний адаптер получил сигнал о потере связи с транспортной системой.

Получив вспомогательное сообщение, сервер маршрутизации должен внести изменения в базу управляющих данных, устанавливая коэффициент пропускной способности для соответствующей транспортной системы, который может оказаться равным нулю при потере связи. При построении маршрутов передачи последующих электронных документов сервер маршрутизации будет учитывать данные коэффициенты каждой транспортной системы.

Сервер маршрутизации АСС может выслать диспетчеру через СЛТ специальное сообщение с командой на удаление модулей, отвечающих за транспортную систему, которая перестала функционировать. Если же администратором системы в базу управляющих данных добавляется информация о новых транспортных системах, то аналогичным образом сервер маршрутизации отправит сообщение для добавления модулей в существующий шлюз, либо на создание нового шлюза, изменяя, тем самым, граф связей автоматизированных систем и динамически перестраивая маршруты передачи документов.

Автоматическая адаптация шлюзов под текущее состояние каналов и программных средств связи (рис. 4) стала возможной именно благодаря предложенной модульной структуре, основанной на микроядре. Такой подход позволяет повысить среднюю пропускную способность и отказоустойчивость сопрягающей автоматизированной

системы АСС, в т. ч. при деградации взаимодействующих систем и каналов связи.

Выводы

Предложенный подход к построению модульных программных средств отличается от известных тем, что используется микроядро – программа, которая служит для создания межмодульных связей в режиме реального времени. Данная система позволяет управлять потоками сообщений, перенаправляя и дублируя потоки, изменяя набор подключенных модулей без остановки и перезапуска микроядра.

На основе предложенного микроядра получен способ формирования модульных адаптивных шлюзов транспортного сопряжения, которые способны обеспечивать передачу электронных документов между автоматизированными системами, которые не имеют общих транспортных протоколов. При этом построение маршрута передачи каждого документа осуществляется с учетом текущего состояния каналов передачи данных.

Литература

1. Садаладж П.Дж., Фаулер М. NoSQL: новая методология разработки нереляционных баз данных: пер. с англ. М.: Вильямс. 2013. 192 р.
2. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ: пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс. 2005. 1293 с.
3. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования : пер. с англ. СПб.: Питер. 2013. 368 с.

4. Брукс Ф. Проектирование процесса проектирования: записки компьютерного эксперта: пер. с англ. М.: Вильямс. 2013. 464 с.

5. Пайлон Д., Майлз Р. Управление разработкой ПО: пер. с англ. СПб.: Питер. 2014. 464 с.

6. Ахо А.В., Лам М.С., Сети Р., Ульман Д.Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий: пер. с англ.

М.: Вильямс. 2011. 1184 с.

7. Саммерфилд М. Qt. Профессиональное программирование. Разработка кроссплатформенных приложений на C++: пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс. 2011. 560 с.

8. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ в действии. Практика разработки многопоточных программ: пер. с англ. М.: ДМК Пресс. 2012. 672 с.

Для цитирования:

Королев А.С. Обеспечение информационно-технического сопряжения автоматизированных систем на программном уровне с помощью модульных транспортных шлюзов // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 63–69.

PROVIDING INFORMATION AND TECHNICAL INTERFACE OF AUTOMATED SYSTEMS AT SOFTWARE LEVEL USING THE MODULAR MEDIA GATEWAYS

Alexander S. Korolev,

Moscow, Russia, alexander.s.korolev@yandex.ru

Abstract

In this paper we consider the problem of information-technical interaction of automated systems at the program level in respect of the transport interface. Firstly, we highlight the difference between information and transport data protocols, which are a priori information for solving this problem. Secondly, there is an approach suggested, whereby the interface of existing automated systems is carried out without modifying them using a new interface automated system provided by the distributed set of software and hardware means.

Besides, the internal structure of the interface automated system is briefly described and its main subsystems are enumerated. The introduced term is a transport interface gateway, which is a software implementation of the transport data protocol. The algorithm of the functioning of the gateway and its place among other components are shown. Moreover, the choice of a modular architecture for building such gateways is justified.

Furthermore, we suggest a new approach to the organization of modular software means, which is based on the removal of restrictions on the input and output parameters of the programs contained in these modules, allowing to automatically generate inter-module data channels. The paper also introduces the notion of a microkernel and gives its mathematical interpretation. What is more, a software implementation allowing to create modular software within the proposed approach is received.

To manage modular applications in manual and automatic modes software system of operation management and control has been developed. It allows to change the structure of these applications even while they work. The obtained system is versatile and can be used for integration of management process of any software means. We have considered an algorithm of the automatic generation and

change of gateways at the level of individual modules depending on the state of transport systems and the system administrator's commands for the change of the graph of connections of automated systems among each other.

During the investigation it is predicted and confirmed that the use of the microkernel for building transport gateways lets heighten resilience and adaptability of the interface automated system as a whole, as well as make the process of developing new gateways more efficient. The results of work have enabled the exchange of electronic documents between automated systems, which do not have common information and transport protocols of interaction.

Keywords: automated system; electronic documents exchange; information-technical interaction; modular software means; transport interface.

References

1. Sadalage P.J., Fowler M. NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot . Addison-Wesley, 2012. 362 p.
2. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to Algorithms. The Mit Press, 2001. 1202 p.
3. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1994. 416 p.
4. Brooks F. The Design of Design: Essays from a Computer Scientist. Addison-Wesley, 2010. 448 p.
5. Pilone D., Miles R. Head First Software Development. O'Reilly, 2008. 477 p.
6. Aho A.V., Lam M.S., Sethi R., Ullman J.D. Compilers: principles, techniques, and tools. 2nd edition. Pearson, 2007. 1038 p.
7. Summerfield M. Advanced Qt Programming: Creating Great Software with C++ and Qt. Addison-Wesley, 2010. 554 p.
8. Williams A. C++ concurrency in Action. Practical multithreading. 2012. 672 p. Manning Publications, 2009. 337 p.

Information about authors:

Korolev A.S., chief specialist, Joint-Stock Company "Research Institute of Precision Instruments".

For citation:

Korolev A.S. Providing information and technical interface of automated systems at software level using the modular media gateways. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 63–69.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОДСИСТЕМАМИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Легков

Константин Евгеньевич,

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

Буренин

Андрей Николаевич,

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

АННОТАЦИЯ

Основой современных систем управления и связи различных министерств и ведомств, предназначенных, в соответствии с законом Российской Федерации «О связи» для нужд обороны, обеспечения безопасности и правопорядка, являются инфокоммуникационные системы и сети специального назначения, появившиеся в результате протекающих процессов конвергенции информационных систем органов управления и телекоммуникационных сетей. Функционирование инфокоммуникационных систем специального назначения с высокими показателями качества невозможно без создания высокоорганизованной адаптивной системы управления. Инфокоммуникационные сети специального назначения, с точки зрения системы управления, представляют собой сложное сочетание линий, каналов и трактов передачи информации, коммутационного и серверного оборудования, к эксплуатации которых предъявляются достаточно жесткие требования, обуславливающие нормальные режимы работы потребителей информационных и телекоммуникационных услуг в различной обстановке, в т.ч. при чрезвычайных ситуациях. Инфокоммуникационные системы по своему функциональному назначению делятся на две подсистемы: информационную, включающую инфраструктурный и промежуточный уровень системы, и телекоммуникационную, включающую базовый уровень системы. Наиболее важной подсистемой с точки зрения автоматизированной системы управления является информационная, также являющаяся информационной основой Единого информационного пространства специального назначения.

В работе с учетом основных особенностей организации, принципов построения и условий функционирования современных информационных систем специального назначения приведены предложения по автоматизации процедур управления ими в условиях их функционирования в сложной обстановке, характеризующейся широким применением разного рода воздействий высокой интенсивности. Показано, что при создании системы оперативного управления информационной подсистемой, обеспечивающей требуемый уровень качества обслуживания пользователей в условиях интенсивных воздействий, требуется, наряду с применением соответствующего эффективного метода в контуре управления информационной подсистемы, также организация оптимальных процедур автоматизации процессов управления.

В настоящее время известен целый ряд методов управления, предназначенных для использования в системах управления инфокоммуникациями, функционирующими в условиях сложной обстановки, в которой существует достаточно высокая вероятность серьезных деструктивных изменений сети, приводящих к невозможности применения традиционных методов управления. Среди этих методов выделяется метод управления сетью, основанный на способе интеллектуального зондового управления, для успешной реализации которого необходимо провести анализ и синтез процедур автоматизации процессов в контурах автоматизированной системы управления инфокоммуникационной системы специального назначения.

Ключевые слова:

система управления; информационная подсистема; воздействия; подсистемы чрезвычайного управления; зондовый поиск.

Введение

Как известно 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 [2–5]. Ясно, что функционирование ИКС СН с высокими качественными показателями невозможно без создания высокоорганизованной адаптивной системы управления (СУ).

Сама ИКС, с точки зрения СУ, представляют собой сложное сочетание линий, каналов и трактов передачи информации, коммутационного и серверного оборудования, к эксплуатации которых предъявляются достаточно жесткие требования, обуславливающие нормальные режимы работы потребителей информационных и телекоммуникационных услуг в различной обстановке, в т.ч. при чрезвычайных ситуациях. При этом наиболее повреждаемыми элементами при чрезвычайных ситуациях являются линии связи, каналы и тракты передачи информации, а при информационных воздействиях – оборудование узлов и центров сети (коммутационное, серверное). Поэтому первостепенное значение имеют действия оперативного персонала ПУ и служб эксплуатации по предотвращению повреждений и реализации информационных воздействий, по восстановлению после аварий и разрушений, а также созданию удовлетворительных условий работы оборудования узлов, восстановлению линий связи, каналов и трактов передачи информации. ИКС по своему функциональному назначению делятся на две подсистемы: информационную, включающую инфраструктурный и промежуточный уровень ИКС, и телекоммуникационную, включающую базовый уровень ИКС. Наиболее важной подсистемой с точки зрения автоматизированной системы управления специального назначения (АСУ СН) является информационная подсистема (ИПС), также являющаяся информационной основой Единого информационного пространства специального назначения (ЕИП СН).

Предложения по автоматизации процедур управления ИПС в условиях функционирования в сложной обстановке

При создании АСУ ИКС с функциями эксплуатации и восстановления, появляется возможность принятия более эффективных решений для ликвидации аварийных режимов, последствий информационных и разрушающих воздействий, для чего необходима разработка соответствующего математического и программного обеспечения АСУ для анализа происходящих процессов при повреждении линий, каналов, трактов или оборудования узлов и центров, изменения их работы под действием информационных воздействий (в т.ч. при блокировании их работы), а также для выдачи соответствующих рекомендаций по предотвращению ситуаций, способствующих развитию или усугублению деструктивных изменений в ИПС.

Для обеспечения требуемого уровня устойчивости функционирования ИПС должны применяться все необходимые меры и средства повышения надежности программно-аппаратных средств узлов, линейного и каналаобразующего оборудования.

Среди системотехнических решений по обеспечению устойчивости функционирования и восстановления ИПС при ликвидации последствий информационных и разрушающих воздействий, в случае сбоев и отказов в работе и при чрезвычайных ситуациях, целесообразно выделить три основные группы решений:

- связанные с многоплановым резервированием программных средств (резервные копии операционных систем и другого программного продукта), созданием и хранением резервных средств коммуникаций, резервных серверов, резервных источников питания, которые могут быть в случае необходимости подключены вместо вышедшего (выведенного) из строя оборудования;

- связанные с созданием функционально избыточных структур ИПС (резерв производительности серверов, коммутаторов и маршрутизаторов, мультиплексоров, резерв пропускной способности каналов и трактов) и функциональных возможностей их использования при необходимости организации физических или логических подключений пользователей органов управления и ПУ к функционально дублирующим средствам, каналному ресурсу, используемым в процессе функционирования ИПС;

- связанные с организацией качественного управления ИПС, обеспечивающего устойчивое ее функционирование в условиях выхода и выведения из строя комплексов и средств, а также в условиях проведения активных информационных воздействий на средства ИПС.

Первые две группы системотехнических решений достаточно изучены, широко применяются на практике и теоретически проработаны.

Третья группа представляет наиболее трудно реализуемую составляющую всех системотехнических решений [6], т.к. предполагает выработку достаточно сложных процедур управления, основанных на данных оперативного мониторинга состояния ИПС с обоснованным выбором процедур сбора, обработки и оценки параметров. При этом общая схема организации управления в условиях интенсивных воздействий и ликвидации последствий компьютерных атак (КА), при сбоях и отказах в работе оборудования и при функционировании в чрезвычайных ситуациях может быть пояснена рис. 1.

Схема предусматривает применение способов управления ИПС, основанных на разработанных эффективных стратегиях, учитывающих специальное назначение ИПС и обеспечивающих повышенные требования по устойчивости и безопасности самих процедур управления. При этом, очевидно, что в чрезвычайных ситуациях, в условиях массированного применения КА, при значительной структурной деградации самой ИПС потребуются принятие срочных управляющих воздействий, позволяющих ИПС оставаться в работоспособном состоянии.

Поэтому в контурах СУ целесообразно заложить процедуры чрезвычайного управления для решения всех задач

как по восстановлению структуры ИПС и ликвидации последствий КА, так и по восстановлению максимально возможного уровня работоспособности оборудования, компонент и всей подсистемы в целом.



Рис. 1. Схема организации управления в условиях интенсивных воздействий на ИПС

Процедуры чрезвычайного управления должны обеспечить непрерывность функционирования ИПС в переходный период и обеспечить приемлемый уровень качества предоставляемых услуг пользователям органов управления.

Понятно, что в случае значительных деструктивных изменений в ИПС способы прямого управления [7, 8] не только не обеспечивают требуемое качество функционирования, а просто не гарантируют работоспособность ИПС [9]. В этом случае возможно применение различных поисковых способов [10, 11]. Однако, характерные для них низкая информативность поисковых запросов, существенная нагрузка сетей ИПС управляющей информацией, положительно коррелированной с пользовательской нагрузкой, приводит к низкой эффективности такого управления. Поэтому в [6] был предложен метод управления ИПС, основанный на использовании интеллектуальных поисковых зондов – способ интеллектуального зондового управления (СИЗУ), у которого отсутствует целый ряд недостатков поисковых методов и присутствует свойство, характеризующее его достаточно высокую информативность, позволяющую осуществлять эффективное управление подсистемой даже в условиях существенных деструктивных изменений.

Учитывая специфику метода ИЗУ, при его реализации в контуре реальной АСУ следует особое внимание уделить анализу процедур управления, определяющих его поисковый характер [6].

В процессе функционирования ИПС в чрезвычайных ситуациях под воздействием информационных и разрушающих воздействий, происходят процессы выхода из строя (отказы), как отдельных элементов и единиц оборудования сети, так и целых комплексов программно-аппаратных средств.

В связи с непосредственным влиянием отказавшего оборудования на качественные показатели функционирования ИПС, все мероприятия по управлению в чрезвычайных ситуациях должны осуществляться по возможности в реальном масштабе времени и с максимально возможным участием средств автоматизации (специальное программное обеспечение АСУ) в части процедур тестирования, диагностики и ло-

кализации деструктивных изменений. При этом прикладные процессы управления ИПС, на основе информации о состоянии оборудования и программно-аппаратных комплексов, полученной в результате «зондирования» (обслуживание журналов регистрации, выполнение действий по обнаружению неработающего оборудования, выполнение диагностических тестов для обнаружения и идентификации деструктивных изменений), локализируют и анализируют деструктивные изменения для обоснованного осуществления управляющих действий, обеспечивающих максимально возможное восстановление функционирования всех подсистем ИПС.

Большое количество элементов и связей в ИПС исключает возможность «подетальной» проверки ее во время функционирования в чрезвычайных ситуациях. При этом ограниченная живучесть средств и комплексов ИПС, подверженность их различным воздействиям нарушителей и противника, приводит к необходимости проведения тестирующих текущих сетевых зондовых испытаний, целью которых является выделение с возможно большей точностью мест отказа или расстройки того или иного элемента, фрагмента или целых компонентов ИПС, а задачи поиска и выделения источников отказа или расстройки ИПС решаются средствами зондовой диагностики (зондового «распознавания») на основе проведения зондовых сетевых испытаний. Затем производится анализ и сопоставление результатов зондовых испытаний, на основе которого строится стратегия управления ИПС.

Следовательно, обязательным элементом задачи управления ИПС в чрезвычайных ситуациях является техническая зондовая диагностика – совокупность рациональных способов распознавания состояния элементов, компонентов и ИПС в целом с целью выявления отказавших (не выполняющих или не полностью выполняющих свои функции) компонентов, комплексов и подсетей, позволяющих на основе учета их структурных и вероятностных характеристик, построить оптимизированные по критериям времени или стоимости способы поиска источников отказов.

К задачам зондовой диагностики можно отнести:

- определение наиболее информативных сетевых зондовых испытаний элементов, компонентов, комплексов и подсетей ИПС;
- определение рациональной последовательности контроля работоспособности ИПС;
- поиск отказавших или измененных элементов, комплексов, компонентов, подсетей ИПС;
- выбор и формирование схем зондового контроля в ИПС;
- рациональное разделение ИПС на контролируемые зоны;
- автоматизация процессов контроля ИПС.

Следует учитывать, что элементы, компоненты, комплексы и сети ИПС с точки зрения рассматриваемой задачи управления имеют свойство транзитивности, заключающееся в том, что если в одном из элементов, компонентов, комплексе или сети, в последовательной цепи или сходящейся их последовательности, произошел отказ, то симптомы отказов появляются на всех следующих за отказавшим элементах, компонентах, комплексах и сетях.

В целом действия по поиску измененного элемента, компонента, комплекса, сети ИПС состоят в основном из аль-

тернативных (избирательных) операций – зондовых испытаний в различных точках подсистемы. Испытания, по зонам контроля располагаются в ординарной последовательности, которую можно назвать последовательностью поиска. Последовательность поиска завершается выделением отказавшего элемента, компонента, комплекса или сети.

Особенностью последовательности поиска является разветвление ее в каждом испытании. После разветвления испытания в последовательности поиска изменяются, так как в зависимости от результата испытания дальнейший контроль проводится в различных точках ИПС.

Совокупность всех разветвлений образует ветвящуюся структуру, носящую название дерева логических возможностей. Число различных ветвей дерева логических возможностей равно числу различных возможных отказов и изменений в контролируемой ИПС.

От первого зондового испытания к каждому отказу будут различные по содержанию испытаний последовательности поиска.

Каждая последовательность поиска имеет два количественных параметра (рис. 2):

– число испытаний в последовательности k_i ;

– суммарная длительность или трудоемкость последовательности испытаний $T_i = \sum_{k=1}^{k_i} t_k$, а t_k — длительность (трудоемкость) i -го испытания.



Рис. 2. Схема организации управления в условиях интенсивных воздействий на ИПС

Так как виды испытаний в ИПС в различных последовательностях поиска различаются, то суммарные длительности последовательностей могут оказаться не равными друг другу, а числа испытаний в последовательностях поиска зависят от формы дерева логических возможностей и также могут оказаться не равными друг другу.

Поэтому дерево логических возможностей можно оценить двумя критериями (рис. 3):

– средним числом испытаний в последовательности поиска любого отказа;

– средней длительностью последовательности поиска.

Так как вероятности отказов или изменения состояний различных элементов, компонентов, комплексов или сетей ИПС в общем случае отличаются друг от друга, то в качестве

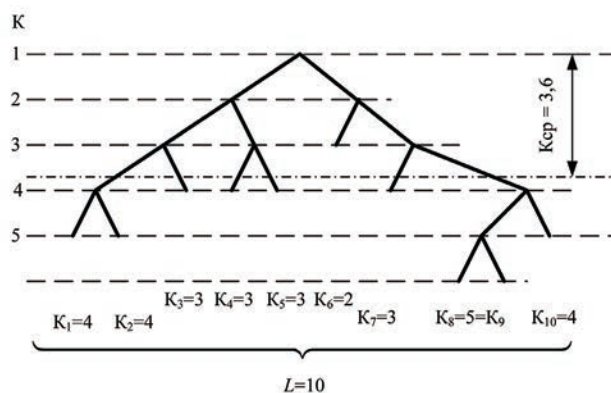


Рис. 3. Совокупность последовательностей зондового поиска

средних значений можно использовать математические ожидания длины и длительности последовательности поиска.

При этом целесообразно исходить из следующих соображений: если i -й элемент (компонент, комплекс) является источником отказа компонента (комплекса, подсети) с вероятностью $p(H_{i/x})$, то с этой же вероятностью реализуется i -я последовательность поиска, приводящая к этому элементу (компоненту, комплексу).

Следовательно, если известны все длины и длительности последовательностей поиска и их вероятности, то математическое ожидание длины последовательности поиска выразится как

$$k_b = \sum_{i=1}^L p(H_{i/x}) k_i \quad (1)$$

Математическое ожидание длительности поиска

$$T_b = \sum_{i=1}^L p(H_{i/x}) T_i = \sum_{i=1}^L p(H_{i/x}) \sum_{k=1}^{k_i} t_k \quad (2)$$

Величина L обозначает число различных возможных отказов в ИПС в чрезвычайных ситуациях.

В частном случае, если вероятности $p(H_{i/x})$ равны для всех отказов (изменения состояний) или неизвестны, то математические ожидания вырождаются в средние значения.

Если

$$p(H_{i/x}) = p(H_x) = \frac{1}{L} \quad (3)$$

то

$$k_b = \sum_{i=1}^L \frac{1}{L} k_i = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L k_i = k_{cp} \quad (4)$$

$$T_b = \sum_{i=1}^L \frac{1}{L} T_i = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L T_i = T_{cp} \quad (5)$$

Длины последовательности поиска k_p , k_{cp} , k_b целесообразно назвать глубиной зондового поиска.

Так как элементы, компоненты, комплексы, сети ИПС связаны друг с другом, то возникновение отказа в одном из них проявляется в искажении выходных данных или прекращении действия ряда других. Это может служить основой для поиска. Поэтому можно считать, что отказы в ИПС также связаны друг с другом и образуют структурную модель – ориентированный граф.

Часть этой модели, непосредственно связанная с входными элементами, компонентами, комплексами ИПС, представляет собой структурную или функциональную модель, в которой элементы (компоненты, комплексы, сети) считаются источниками информационных обрывов и связаны между собой в естественных последовательностях.

Другая часть модели связи «отказов» представляет собой совокупность элементов (компонентов, комплексов, сетей) ИПС, которые являются источниками перегрузок (неправильной работы). Элементы этой части связаны между собой в направлении, противоположном естественному распространению потоков информации в ИПС.

Модель взаимосвязи элементов (компонентов, комплексов, подсетей) ИПС по информационным «обрывам» и перегрузкам задается пространством поиска. Представление этого пространства в форме ориентированного графа дает возможность точно определить координату каждого источника «отказов» и связь его с другими возможными источниками. Таким образом, пространством поиска в задачах зондовой диагностики является вся ИПС, не смотря на то, что изменение, воздействие или атака направлена на определенный ее сегмент или АСУ. Это пространство может быть представлено в форме ориентированного графа $G(E,T)$, который определяет связи между элементами сети (вершины E графа). Но так как сигналами «отказов» являются элементы (компоненты, комплексы, сети) ИПС, то граф одновременно показывает взаимозависимость между признаками нормальной работы и симптомами отказов.

В процессе проведения любого зондового испытания пространство поиска делится на две независимые в смысле «отказов» части. Последовательное деление пространства поиска за конечное число шагов приводит к элементарному участку пространства поиска. Этим элементарным участком и является элемент (компонент, комплекс, сеть) ИПС – источник отказа.

Отсюда следует, что дерево логических возможностей, формирующееся при поиске «неисправности» под воздействием различных факторов, имеет прямую связь с пространством поиска. Эта связь особенно ярко проявляется для бинарных деревьев (рис. 4).

Здесь пространство поиска содержит $L=8$ элементов с одним входным и одним выходным элементами (компонентами, комплексами, сетями) ИПС. Штриховыми линиями обозначены точки разделения пространства на независимые в смысле отказов участки. Ответвление влево происходит при отрицательном результате испытания, ответвление вправо – при положительном результате. Вариант а) показывает последовательный поиск от входа к выходу ИПС, вариант б) – поиск путем разделения пространства поиска на равные по числу элементов части. Оба варианта приводят к любому элементу. Деревья а) и б) различаются по форме, что вызывает разницу в величинах k_{cp} .

Дерево логических возможностей представляет собой ветвящуюся геометрическую структуру обычно с одной входной вершиной и L выходными вершинами. Оно является геометрическим аналогом логических функций. Поэтому деревья логических возможностей целесообразно

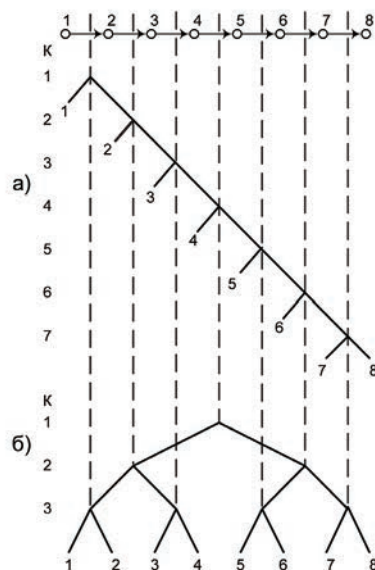


Рис. 4. Два возможных варианта разбиения ИПС

применять во всех случаях, когда требуется на основании логических умозаключений прийти к одному из нескольких возможных решений.

Любой процесс принятия решения при управлении можно представить в виде дерева логических возможностей. При поиске отказавшего элемента (компонента, комплекса, сети) ИПС принимается решение о замене, восстановлении или ремонте одного из элементов (компонентов, комплексов, сетей) ИПС на основании зондовых испытаний и логического сопоставления их результатов. Процесс зондовых испытаний ИПС и логического анализа их результатов входит в процедуры управления как главная составная часть.

Деревья логических возможностей характеризуются следующими параметрами:

- число различных ветвей L ;
- число единичных выборов n ;
- модули единичных выборов m ;
- длины ветвей k_i ;
- суммарная и средняя длины ветвей (K_{Σ} и k_{cp}).

Параметры дерева логических возможностей имеют прямую связь с формой дерева, которая влияет на среднее число зондовых испытаний, ведущих к отказавшему элементу. Поэтому надо отыскать дерево такой формы, чтобы среднее число испытаний в последовательности поиска было минимальным или минимально возможным. Поэтому параметры деревьев логических возможностей формируют с позиций получения дерева с минимальным средним.

Для любого дерева логических возможностей имеет место математическая связь между параметрами, которая выражается формулой:

$$L(m,n) = (m-1)n+1. \quad (6)$$

В частности, когда все единичные выборы в дереве бинарные, т.е. $m = 2$, то $L(2,n) = n+1$.

С точки зрения задачи поиска отказавших элементов (компонентов, комплексов, сетей) ИПС, деревья логических возможностей можно разделить на три вида.

Варианты последовательного перебора. Их форма может быть самой различной, но в каждом из таких деревьев имеются ветви длины $k_{\max} = n$. Это означает, что всякое испытание, если его проводить в порядке, заданном этим деревом, отделяет от пространства поиска только один элемент (компонент, комплекс, сеть) ИПС.

Деревья, разделяющие пространство поиска на равные или близкие по числу элементов части. Отличительной особенностью таких деревьев является точное или приближенное равенство длин всех ветвей.

Деревья, занимающие промежуточное по форме положение между последовательным перебором и разбиениями на равные по числу элементов подмножества. Их формы являются комбинациями последовательного перебора и разбиений на равные части.

Если L кратно числу 2, то бинарные деревья логических возможностей имеют наиболее совершенную форму. В частности, длина ветви дерева, отображающего разбиение на равные части, точно равна

$$k = k_{\text{cp}} = \log_2 L. \quad (7)$$

Если вероятности событий в замкнутой системе из L событий равны друг другу, то количество информации, получаемой при распознавании любого из этих сообщений (факт отказа), численно равно энтропии перед началом испытаний и равно числу дискретных испытаний, т.е.

$$H(k, L) = \log_2 L = k. \quad (8)$$

С точки зрения теории информации каждый отказ в ИПС есть некоторое сообщение. Его символами являются зондовые испытания, входящие в последовательность зондового поиска. Перед началом зондовых испытаний ИПС при поиске неисправности существует неопределенность относительно того, в какой части ее находится отказавший элемент (компонент, комплекс, сеть) ИПС. Если вероятности отказов элементов (компонентов, комплексов, сетей) ИПС одинаковы, то эта неопределенность (энтропия) равна

$$H(k, L) = \log_2 L. \quad (9)$$

Таким образом, после проведения в среднем k зондовых испытаний энтропия становится равной нулю, так как к этому моменту отказавший или работающий не нормально элемент (компонент, комплекс, сеть) ИПС будет локализован и неопределенность относительно положения его будет устранена.

Среднее число зондовых испытаний, приходящихся на одну ветвь дерева, зависит от формы дерева. Так деревья, отображающие разбиение на равные части, имеют минимальную среднюю длину последовательности поиска:

$$k_{\text{cp min}} = \frac{1}{L} \left\{ \sum_{i=1}^{L-1} [\log_2 i] + 2(L-1) \right\}$$

Деревья, являющиеся вариантами последовательного перебора при поиске отказа в ИПС, имеют максимальную величину средней длины последовательности поиска:

$$k_{\text{cp max}} = \frac{1}{L} \left\{ C_{L-1}^2 + 2(L-1) \right\}$$

Для деревьев, промежуточных по форме, имеет место двойное неравенство:

$$k_{\text{cp min}} < k_{\text{cp}} < k_{\text{cp max}}. \quad (12)$$

Деревья логических возможностей отображают различные алгоритмы диагностических процедур, содержательная сторона которых связана с конкретными видами сетей в составе ИПС.

При равенстве вероятностей отказов элементов (компонентов, комплексов, сетей) ИПС друг другу испытания следует выбирать таким образом, чтобы ИПС по возможности разбивалась на равные или максимально близкие по числу элементов (компонентов, комплексов, сетей) части. Для этого целесообразно применять следующий порядок:

– точки испытаний выбирать по индексам предшествования графа ИПС;

– первое испытание необходимо выбирать на выходе элемента (компонента, комплекса, сети) ИПС, имеющих индекс $i_1 = \frac{L}{2}$;

– при всех последующих выборах каждую часть ИПС рассматривать как отдельную сеть;

– в каждой части ИПС точку испытания выбирать в том же порядке, что и при первом выборе.

При соблюдении такого порядка формируется дерево минимальной формы или возможно близкое к нему по форме. Средняя длина последовательности зондового поиска становится минимальной или минимально возможной.

Если вероятности различных результатов зондового поиска $p(H_{i_k})$ оказываются неравными друг другу, то энтропия перед началом поиска равна

$$H(k, L) = - \sum_{i=1}^L p(H_{i_k}) \log_2 p(H_{i_k})$$

Для того чтобы средняя длина последовательности зондового поиска при неравных вероятностях $p(H_{i_k})$ стала минимальной, необходимо, чтобы выполнялось приближенное равенство вида: $k_i \approx -\log_2 p(H_{i_k}), \forall i = 1, 2, \dots, L$, а это означает, что длина оптимизированных по вероятностям последовательностей зондового поиска отказов в ИПС связана обратной зависимостью с вероятностями отказов элементов (компонентов, комплексов, сетей) ИПС, к которым они ведут.

Поэтому при построении процедур зондового поиска отказов в ИПС важно построение формальных планов или программ поиска отказавшего элемента (компонента, комплекса, сети). Причем выбирают такой план, который бы минимизировал среднюю длину последовательности зондового поиска.

Заключение

Таким образом, в статье приведены предложения по автоматизации процедур управления ими в условиях их функционирования в сложной обстановке, характеризующейся широким применением разного рода воздействий высокой интенсивности. Доказано, что при создании системы оперативного управления ИПС, обеспечивающей требуемый

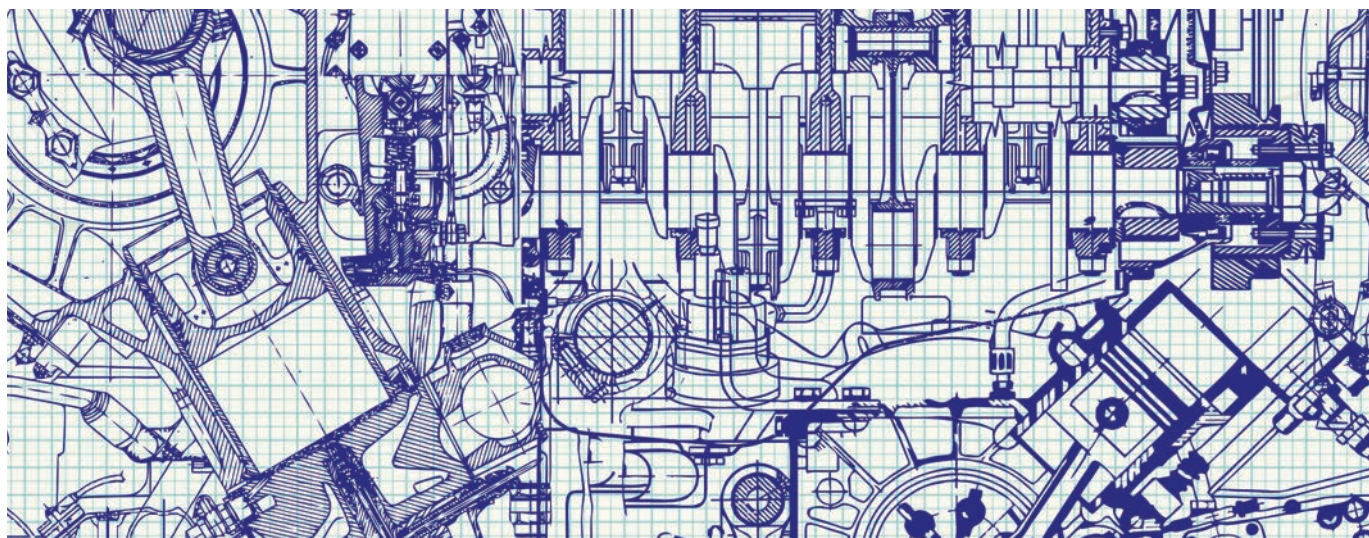
уровень качества обслуживания пользователей в условиях интенсивных воздействий, требуется, наряду с применением соответствующего эффективного метода в контуре управления ИПС, также организация оптимальных процедур автоматизации процессов управления. Известен целый ряд методов управления, предназначенных для использования в системах управления инфокоммуникациями, функционирующими в условиях сложной обстановки, в которой существует достаточно высокая вероятность серьезных деструктивных изменений сети, приводящих к невозможности применения традиционных методов управления. Среди этих методов выделяется метод управления сетью, основанный на способе интеллектуального зондового управления, для успешной реализации которого необходимо провести анализ и синтез процедур автоматизации процессов в контурах автоматизированной системы управления инфокоммуникационной сети специального назначения.

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 17.09.2016).
2. Буренин А.Н., Легков К.Е. Инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: Медиа Паблишер. 2015. 348 с.
3. Буренин А.Н., Легков К.Е. Уровни управления инфокоммуникационными сетями в условиях сетевых конфликтов // Новые информационные технологии в системах связи и управления: тр. XIII Российской научно-технической конференции, Калуга, 5 июня, секция 1. Калуга: Ноосфера, 2014. С. 181–183.
4. Легков К.Е., Буренин А.Н. Модели организации информационной управляющей сети для системы управления современными инфокоммуникационными сетями // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2012. Т. 4. № 1. С. 14–16.
5. Легков К.Е. К вопросу организации процессов управления инфокоммуникационными сетями специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2014. Т. 6. № 5. С. 34–40.
6. Легков К.Е., Буренин А.Н. Организация оперативного управления инфокоммуникационными сетями специального назначения в условиях интенсивных воздействий. // Электросвязь. 2015. № 7. С. 29–33.
7. Лазарев В.Г., Фоломеев А.К. Методы динамического управления потоками информации на сетях АТМ // Электросвязь. 2004. № 12. С. 24–28.
8. Ершов В.А., Ершова Э.Б. Динамическая маршрутизация в широкополосной мультисервисной АТМ-сети // Электросвязь. 2004. № 2. С. 16–18.
9. Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. М.: Связь и бизнес, 2003. 384 с.
10. Лазарев В.Г., Саввин Н.Г. Сети связи, управление, коммутация. М.: Связь, 1973. 264 с.
11. Лазарев В.Г. Электронная коммутация и управление в узлах связи. М.: Связь, 1974. 271 с.

Для цитирования:

Легков К.Е., Буренин А.Н. Автоматизация процедур управления информационными подсистемами инфокоммуникационных систем специального назначения в условиях интенсивных воздействий // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 70–77.



AUTOMATION OF CONTROL PROCEDURES OF INFORMATION SUBSYSTEMS OF SPECIAL PURPOSE INFOCOMMUNICATION SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF INTENSIVE INFLUENCES

Konstantin E. Legkov,
St. Petersburg, Russia, constl@mail.ru

Andrey N. Burenin,
St. Petersburg, Russia, konferencia_asu_vka@mail.ru

Abstract

The basis of modern control and communication systems of various ministries and departments, designed in accordance with the law of the Russian Federation "On communication" for the needs of defense, security, legal order, are infocommunication systems and networks for special purposes, resulting from occurring convergence processes of information systems of control organs and telecommunication networks. Functioning of infocommunication and information systems for special purposes with high levels of quality is impossible without the creation of a highly organized adaptive control system. Infocommunication network for special purposes, in terms of control system, represent a complex mix of lines, channels and transmission paths of information, switching and server equipment. Strict requirements are imposed on their utilization. This requirements contribute to the normal modes of consumers of information and telecommunications services in a variety of settings, in including in emergency situations. Infocommunication system in turn in accordance to their functions are divided into two subsystems: information subsystem, including infrastructure and an intermediate level of the system, and telecommunication subsystem, including basic level. The most important subsystem in terms of automated control system is the information system, which is also an informational basis of a Common information space for special purposes. In this paper, taking into account the main features of the organization, principles of construction and operating conditions of modern special purpose information systems are suggestions to automate control procedures in terms of their operation in a difficult environment characterized by extensive use of various kinds of high-intensity exposures. It is shown that the establishment of an operational control system of information subsystem, providing the required level of user experience in terms of severe exposure, is required, along with the use of an appropriate and effective method in the information subsystem control loop, as the organization of optimal control of process automation procedures.

Currently, a number of known control methods for use in infocommunications control systems, operating in a complex environment. In this environment there is a fairly high probability of serious disruptive network changes that lead to the inability to use traditional control methods. Among these methods network control, method based on the process of probe intelligent control is allocated, for the successful implementation of which is necessary to carry out the analysis and synthesis of the automation of processes in the circuits of the automated control system of special purpose of info-communication system.

Keywords: control system; information subsystem; influences; extreme control subsystems; probe search.

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 17.09.2016). (In Russian).
2. 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).
3. Burenin A. N., Legkov K. E. Urovni upravleniya infokommunikatsionnymi setyami v usloviyakh setetsentricheskikh konfliktov. [Levels of control of the infocommunication networks in conditions of network-centric conflicts]. Trudy XIII Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Novye informatsionnye tekhnologii v sistemakh svyazi i upravleniya" [Proceedings of the XIII Russian scientific-technical conference "New information technologies in the communication and control systems"], Kaluga, June 5, section 1. Kaluga, Noosphere Publ., 2014. Pp. 181–183. (In Russian).
4. Legkov K.E., Burenin A.N. Models of the organization of the information managing director of a network for management system the modern infocommunication networks. H&ES Research. 2012. Vol. 4. No. 1. Pp. 14–16. (In Russian).
5. Legkov K.E. To a question of the organization of administrative processes by infocommunication networks of a special purpose. H&ES Research. 2012. Vol. 6. No. 1. Pp. 34–40. (In Russian).
6. Legkov K.E., Burenin A.N. Organization of operational management infocommunication networks of the special purpose in the conditions of intensive influences. Telecommunications and Radio Engineering. 2015. No. 7. Pp. 29–33. (In Russian).
7. Lazarev V.G., Folomeev A.K. The methods of dynamic control of information flows on the ATM networks. Telecommunications and Radio Engineering. 2004. No. 12. Pp. 24–28. (In Russian).
8. Ershov V.A., Ershova E.B. The dynamic routing in the broadband multiservice ANM network. Telecommunications and Radio Engineering. 2004. No. 2. Pp. 16–18. (In Russian).
9. Dymarskiy Ya.S., Krutyakova N.P., Yanovskiy G.G. Upravlenie setyami svyazi: printsipy, protokoly, prikladnye zadachi [The control of telecommunication networks: principles, protocols, applied problems]. Moscow, Svyaz' i biznes, 2003. 384 p. (In Russian).
10. Lazarev V.G., Savvin N.G. Seti svyazi, upravlenie, kommutatsiya [Telecommunication networks, control, switching]. Moscow, Svyaz', 1973. 264 s. (In Russian).
11. Lazarev V.G. Elektronnaya kommutatsiya i upravlenie v uzlakh svyazi [Electronic switching and control in the telecommunication centers]. Moscow, Svyaz', 1974. 271 p. (In Russian).

Information about authors:

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

For citation:

Legkov K.E., Burenin A.N. Automation of control procedures of information subsystems of special purpose infocommunication systems in the conditions of intensive influences. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 70–77.

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Соловьев

Сергей Вениаминович,

к.т.н, начальник управления

Государственного научно-исследовательского испытательного института проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю России,
г.Воронеж, Россия,
sersol@mail.ru

Мамута

Владимир Владимирович,

научный сотрудник Государственного научно-исследовательского испытательного института проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю России,
г.Воронеж, Россия,
zolton007@mail.ru, priveten@yandex.ru

Ключевые слова:

банк данных угроз безопасности информации; уязвимости программного обеспечения; угрозы безопасности информации; веб-приложения; нейронные сети.

АННОТАЦИЯ

Количество информационных систем различного назначения растет с каждым годом. Одним из обязательных этапов формирования требований к защите информации, содержащейся в информационной системе, является определение актуальных угроз безопасности информации, реализация которых может привести к нарушению безопасности информации в информационной системе, и разработка на этой основе модели угроз безопасности информации, включающей описание возможных уязвимостей применяемого в информационной системе программного обеспечения. ФСТЭК России ведет банк данных угроз безопасности информации, содержащий перечень угроз безопасности информации и сведения об уязвимостях программного обеспечения. На сегодняшний день информация об угрозах безопасности информации в сформированном банке данных существуют отдельно от сведений об уязвимостях, в связи с чем поиск угроз безопасности информации, актуальных для конкретной информационной системы, в банке данных необходимо производить вручную, что является весьма трудоемкой задачей, зависящей от масштаба информационной системы. Для автоматизации процедуры получения сведений об актуальных для информационной системы угрозах безопасности информации на основе данных об уязвимостях программного обеспечения, входящего в состав информационной системы, предлагается использовать аппарат нейросетевых технологий. В качестве исходных данных для обучения нейронных сетей предлагается использовать сведения об уязвимостях программного обеспечения, накопленные в банке данных. В результате выполненной работы прошел успешную апробацию предложенный метод выявления актуальных для информационной системы угроз безопасности информации на основе сведений об уязвимостях программного обеспечения. Эмпирическим путем установлена оптимальная топология нейронной сети. Разработан прототип программного продукта, решающий проблему установления связей между угрозами безопасности информации и уязвимостями программного обеспечения в банке данных угроз безопасности информации. Предложены перспективные направления развития в предметной области: создание прикладных нейронных сетей, совершенствование их топологий, а также разработка и дальнейшее совершенствование процедур их обучения.

Проблема анализа и оценки угроз безопасности информации, обрабатываемой в информационных системах (далее - ИС), в настоящее время приобрела особую актуальность. Это связано, в первую очередь, с выявлением все большего числа уязвимостей программного обеспечения, применяемого в ИС. Количество известных уязвимостей в настоящее время оценивается десятками тысяч [1]. Статистика обнаружения уязвимостей по данным NVD (национальной базы уязвимостей США) приведена на рис. 1. Задача исследования уязвимостей программного обеспечения (далее - ПО), применяемого в ИС различного назначения, становится актуальней с каждым годом, что обусловлено ростом зависимости безопасности жизнедеятельности населения большинства стран от безопасности функционирования неуклонно возрастающего числа ИС.

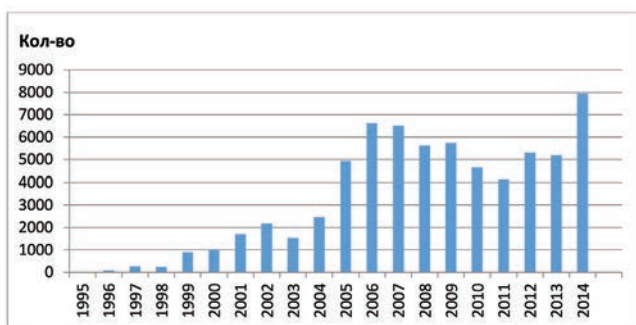


Рис. 1. Статистика количества найденных уязвимостей по годам

Под уязвимостью программного обеспечения (далее – уязвимость) понимается свойство ПО, обуславливающее возможность реализации угрозы безопасности информации (далее – угроза) с использованием этой уязвимости. Под угрозой понимается совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность нарушения безопасности информации.

Особенно активно работа по выявлению уязвимостей проводится за рубежом. В частности, в США сбор данных об уязвимостях, их систематизация и учет осуществляются как органами государственной власти, так и частными компаниями, которые ведут базы данных с открытым и ограниченным доступом. К таким базам относятся CVE (общепринятый словарь уязвимостей, формируется корпорацией MITRE), NVD (национальная база уязвимостей США, поддерживается национальным институтом стандартов и технологий США), OSVDB (открытая база данных уязвимостей, создана тремя некоммерческими организациями и ведется волонтерами со всего мира), BID (BugtraqID – коммерческая база данных уязвимостей с платным доступом), Secunia (платная база данных уязвимостей датской компании Secunia), ICS-CERT (база данных уязвимостей ПО систем управления, созданная и поддерживаемая Департаментом национальной безопасности США) и др.

По заказу Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России) совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и организациями сформирован и введен в эксплуатацию

с 1 марта 2015 года банк данных угроз безопасности информации (далее – Банк данных) [3]. Доступ к Банку данных осуществляется через сеть «Интернет» (адрес: bdu.fstec.ru).

Разработанный Банк данных предназначен для систематизации и поддержания в актуальном состоянии в рамках единой базы данных сведений о выявленных уязвимостях и угрозах наиболее характерных для государственных систем, информационных систем персональных данных и автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, а также о типах и возможностях источников угроз (возможностях нарушителей по эксплуатации уязвимостей) при решении задач:

анализа и выявления уязвимостей ИС на этапах создания и эксплуатации ИС;

разработки и поддержания в актуальном состоянии программных средств контроля (анализа) защищенности информации в ИС;

разработки систем защиты информации от несанкционированного доступа;

оценки соответствия (включая работы по сертификации) средств технической защиты информации, применяемых в ИС и др.

По состоянию на октябрь 2015 года Банк данных содержит сведения более чем о 12000 уязвимостях и перечень из 182 угроз. Сведения об уязвимостях в Банке данных включают довольно обширную информацию об уязвимом ПО и условиях эксплуатации уязвимостей (по каждой уязвимости дается её описание по 20 полям). Информация об угрозах, включенных в состав Банка данных, представляет собой обобщенный перечень основных угроз, потенциально опасных для ИС. Перечень угроз составлен на основе анализа зарубежных наработок в области описания угроз безопасности информации, таких как CAPEC (англ. Common Attack Pattern Enumeration and Classification – перечень и классификация общеизвестных схем атак), WASC-TC (англ. Web Application Security Consortium Threat Classification – классификация угроз консорциума по безопасности веб-приложений), а также отечественных базовых моделей угроз безопасности информации по ряду направлений [2, 4, 5].

При построении модели угроз для конкретной ИС для определения возможных угроз проводится её анализ как объекта защиты. Рассматриваются основные источники угроз, потенциальные уязвимости компонентов ИС и возможные способы их реализации [2, 3].

Угрозы представляют собой совокупность обобщенных классов возможных источников угроз, уязвимостей программного и аппаратного обеспечения, способов реализации угроз, объектов воздействия (носителей защищаемой информации) и возможных деструктивных действий, которые эти угрозы могут оказать на ИС [2, 3]. Реализованный функционал Банка данных позволяет осуществлять поиск угроз в Банке данных по сведениям об источниках угроз, последствиям реализации (нарушение конфиденциальности, целостности, доступности), а также по их названиям.

Поиск уязвимостей в Банке данных реализован по большинству полей описания уязвимостей. Таким образом,

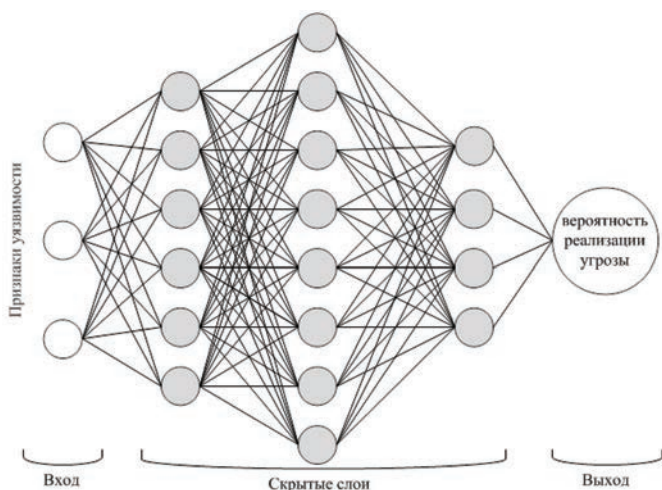


Рис. 2. Оптимальная топология нейронной сети

обладая перечнем программного обеспечения, установленного на конкретной ИС, при помощи Банка данных можно получить сведения об известных уязвимостях программного обеспечения, входящего в состав ИС. Полный перечень записей об уязвимостях, имеющихся в Банке данных, также доступен для загрузки в виде файла.

Располагая сведениями об уязвимостях конкретной ИС можно определить актуальные для нее угрозы, реализация которых зависит от уязвимостей. На сегодняшний день сведения об угрозах в Банке данных существуют отдельно от записей об уязвимостях. Это связано с большой трудоёмкостью работ по установлению прямых связей между ними. Таким образом, в настоящее время поиск угроз, актуальных для конкретной ИС, в Банке данных необходимо производить вручную, что является весьма трудоёмкой задачей, зависящей от масштаба ИС.

В связи с этим актуальной является задача разработки методов и средств автоматизации установления связей между угрозами и уязвимостями.

Для того, чтобы установить, может ли повлечь эксплуатация уязвимости какую-либо угрозу, необходимо произвести анализ значений совокупности признаков этой уязвимости, сравнив их с соответствующими значениями «эталонных» примеров признаков уязвимостей. Такие «эталонные» примеры можно получить методом экспертной оценки сведений об уязвимостях, накопленных в Банке данных, осуществив из него специальные выборки данных по определенным критериям.

Для каждой угрозы записи об уязвимостях в Банке данных можно условно разделить на два класса (группы): уязвимости, эксплуатация которых может повлечь её реализацию, и уязвимости, эксплуатация которых не влияет на реализацию данной угрозы. Таким образом, необходимо решать задачу классификации «свой-чужой» для каждой уязвимости ИС по отношению к каждой угрозе. Для автоматизации этого процесса предлагается использовать методы искусственных нейронных сетей. Обучение нейронных сетей предлагается

производить на примерах, полученных в результате осуществления специальных выборок данных об уязвимостях [10, 11].

Для каждой угрозы, реализация которой зависит от наличия в ИС уязвимостей, необходимо создать нейронную сеть с количеством входов, равным выбранному количеству признаков уязвимостей и одним выходом, на котором будет формироваться вероятность реализации этой угрозы.

Подготовка нейронной сети является довольно трудоёмким процессом который включает реализацию обучающих выборок с примерами уязвимостей, подбор конфигурации сети, выбор функций активации нейронов, обучение сети и другие процедуры. Для проверки предлагаемого метода автоматизации процесса определения угроз, которые может повлечь реализация уязвимости, было принято решение реализовать его на примере угроз, актуальных для веб-приложений. Такое решение связано с интенсивным ростом популярности этого вида программного обеспечения. На сегодняшний день большинство настольных офисных приложений имеют аналог, работающий через веб-браузер, крупные организации все активнее используют разнообразные веб-приложения – официальные сайты компаний, системы управления ресурсами предприятий, системы электронного документооборота, системы управления проектами и задачами, электронные торговые площадки, системы дистанционного банковского обслуживания, порталы государственных услуг и прочие. Уязвимости в веб-приложениях становятся одним из основных векторов атак на ИС [6].

С целью составления списка угроз, актуальных для веб-приложений, был проведен анализ публикаций российских и иностранных компаний, занимающихся исследованием безопасности веб-приложений, в сети «Интернет». За основу для составления указанного перечня угроз был взят постоянно актуализируемый список OWASP Top 10 сообщества OWASP, в котором перечислены наиболее опасные виды уязвимостей в веб-приложениях. Этот список считается лучшей практикой устранения уязвимостей веб-приложений, на него ссылаются большинство организаций, занимающихся тестированием веб-приложений на предмет уязвимостей [7, 8]. Также были использованы результаты ежегодных исследований российской компании Positive Technologies, посвященные анализу данных, полученных при проведении работ по анализу защищенности веб приложений и обзору наиболее распространенных уязвимостей [9]. Далее представлен перечень угроз из Банка данных, для которых были созданы и обучены нейронные сети:

УБИ.006: Угроза внедрения кода или данных;

УБИ.015: Угроза доступа к защищаемым файлам с использованием обходного пути;

УБИ.017: Угроза доступа/перехвата/изменения HTTP cookies;

УБИ.041: Угроза межсайтового скриптинга;

УБИ.042: Угроза межсайтовой подделки запроса;

УБИ.140: Угроза приведения системы в состояние «отказ в обслуживании»;

УБИ.175: Угроза «фишинга».

С целью создания, настройки и конфигурирования нейронных сетей был разработан программный модуль для Бан-

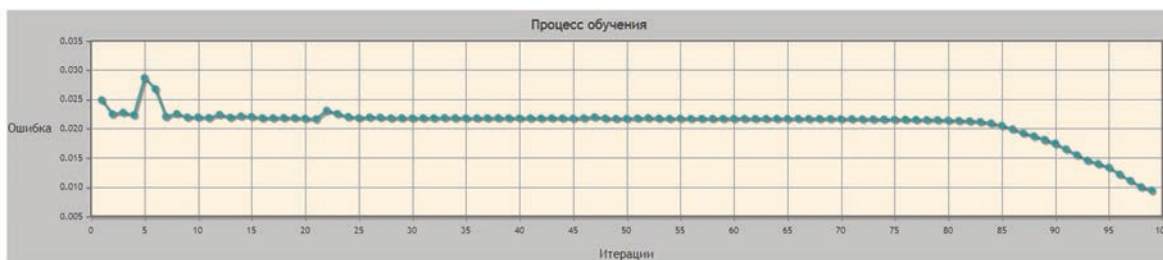


Рис. 3. График обучения нейронной сети

ка данных, позволяющий создавать нейронные сети с произвольным количеством нейронов во входном, выходном и скрытых слоях, выбирать количество итераций обучения сети с возможностью вывода ошибки после каждой итерации. Реализована возможность выбора функций активации нейронов скрытых слоёв и выходного слоя, а также прочий функционал предусматривающий, в том числе, вывод графика обучения (вывод ошибки после каждого цикла обучения) для контроля за процессом обучения нейронной сети.

Указанная функциональность разработанного модуля обусловлена необходимостью подбора оптимальных параметров при создании сетей для каждой из угроз. Однако эмпирическим путем установлено, что для большинства из созданных нейронных сетей оптимальной является топология, представленная на рис. 2. Обучение нейросетей такой топологией происходило за минимальное количество итераций с минимальными значениями среднеквадратичной ошибки после каждой итерации.

В качестве входных параметров нейронной сети используются формализованные значения признаков уязвимостей, получаемые из записей об уязвимостях, содержащихся в Банке данных. На выходе сети формируется числовое значение вероятности реализации угрозы, для которой создана данная нейронная сеть.

Для проверки предложенного метода при обучении нейросетей было использовано три признака уязвимостей: класс уязвимости, тип ошибки и тип программного обеспечения. Формирование обучающих выборок реализовано посредством формирования SQL-запросов к базе данных Банка данных. Для каждой угрозы сформированы выборки двух типов: примеры уязвимостей, эксплуатация которых может повлечь реализацию этой угрозы и уязвимостей, эксплуатация которых на реализацию данной угрозы не влияет.

На рис.3 представлен график обучения нейронной сети для угрозы УБИ.006: Угроза внедрения кода или данных.

После обучения нейронная сеть и обучающая выборка сохраняются в файлы. Далее для проверки возможности реализации какой-либо из угроз, для которых созданы нейронные сети, на вход подаются формализованные признаки уязвимости. При вызове программы формируется массив нейронных сетей, каждая из которых запускается с переданными значениями на входе. В результате работы программы пользователь получает отсортированный по значению вероятности список угроз, реализация которых возможна при на-

личии в ИС уязвимости, признаки которой были переданы.

В результате выполненной работы прошел успешную апробацию предложенный метод выявления актуальных для ИС угроз. Получен прототип программного продукта решающий проблему установления связей между угрозами и уязвимостями в банке данных угроз безопасности информации. Перспективными направлениями развития в предметной области являются создание прикладных нейронных сетей, совершенствование их топологий, а также разработка и дальнейшее совершенствование процедур их обучения.

Литература

1. National Vulnerability Database (NVD). URL: <https://nvd.nist.gov/> (дата обращения 16.10.2015).
2. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных // Утверждена заместителем директора ФСТЭК России 15 февраля 2008 г.
3. Соловьев С., Мамута В. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2015621561. Банк данных угроз безопасности информации «UBI 1.0».
4. Common Attack Pattern Enumeration and Classification (CAPEC). URL: <https://capec.mitre.org> (дата обращения: 20.10.2015).
5. The Web Application Security Consortium (WASC). URL: <http://www.webappsec.org/>, (дата обращения 12.10.2015).
6. Positive Technologies. Уязвимости веб-приложений: ситуация не улучшается. URL: <http://habrahabr.ru/company/pt/blog/268779/> (дата обращения: 16.10.2015).
7. IBM developerWorks. Проверьте ваши приложения на уязвимости из списка OWASP Top 10 за 2013 год. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/se-owasp-top10/> (дата обращения: 15.10.2015).
8. Статистика уязвимостей веб-приложений (2014 г.). URL: http://www.ptsecurity.ru/lab/analytics/WEB_APP_VULNERABILITY_2014.A4.RUS.242465.14.OCT.2015.pdf (дата обращения: 16.10.2015).
9. Welcome to OWASP the free and open software security community. URL: https://www.owasp.org/index.php/Main_Page (дата обращения: 20.10.2015).
10. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. М.: Финансы и статистика. 2004. 176 с.
11. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели. Воронеж: Изд-во Воронежского госуд. ун-та, 1999. 76 с.

Для цитирования:

Соловьев С.В., Мамута В.В. Применение аппарата нейросетевых технологий для определения актуальных угроз безопасности информации информационных систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 78–82.

USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES APPARATUS FOR DETERMINATION OF THE ACTUAL INFORMATION SECURITY THREATS FOR INFORMATION SYSTEMS

Sergey V. Solovyov,
Voronezh, Russia, sersol@mail.ru

Vladimir V. Mamuta,
Voronezh, Russia, zolton007@mail.ru

Abstract

The number of information systems for various purposes is growing every year. One of obligatory stages of formation of requirements to protection of information contained in the information system is the identification of relevant threats to information security, the implementation of which may lead to violation of information security in the information system, and development on this basis of model of threats of information security, including a description of possible vulnerabilities used in the information system software. The FSTEC of Russia maintains a database of security threats to information containing the list of threats to the security of information and information about software vulnerabilities. To dayte information about the threats to the security of information in the data Bank, there are formed separately from information about the vulnerability, the search for threats to information security, relevant to a particular information system, the database must be done manually, which is a very time consuming task, depending on the scale of the information system. To automate the procedure of obtaining information relevant to information systems threats to information security on the basis of the data about the vulnerabilities of the software that is part of the information system, it is proposed to use the apparatus of neural networks. As input data for training neural networks is proposed to use information about the software vulnerabilities accumulated in the data Bank. As a result of the work performed has been successfully tested the proposed method to identify relevant for information system threats of information security on the basis of information about software vulnerabilities. Empirically determined the optimal topology of a neural network. Developed a prototype software product that solves the problem of establishing links between threats to information security and software vulnerabilities in the data security threats information. Suggested promising directions of development in the subject area: applied neural networks, the improvement of their topologies, as well as the development and further improvement of procedures of their learning.

Keywords: the database of threats to information security; software vulnerabilities; threats to information security; web applications; neural networks.

References

1. National Vulnerability Database (NVD). URL: <https://nvd.nist.gov/> (date of access 16.10.2015).
2. Bazovaja model' ugroz bezopasnosti personal'nyh dannyh pri ih obrabotke v informacionnyh sistemah personal'nyh dannyh [The basic model of threats to the security of personal data during processing in personal data information systems] // Utverzhdena zamestitelem direktora FSTEK Rossii [Approved by the Deputy Director FSTEK] 15 февраля 2008 г. (In Russian).
3. Certificate of state registration of the databases No. 2015621561. Bank dannyh ugroz bezopasnosti informacii [The certificate of state registration database 2015621561 Bank data security threats information]. Solov'ev S., Mamuta V. (In Russian).
4. Common Attack Pattern Enumeration and Classification (CAPEC). URL: <https://capec.mitre.org> (date of access 20.10.2015).
5. The Web Application Security Consortium (WASC). URL: <http://www.webappsec.org/> (date of access 12.10.2015).
6. Positive Technologies. Ujazvimosti veb-prilozhenij: situacija ne uluchshaetsja [Vulnerabilities web applications: the situation is not improving]. URL: <http://habrahabr.ru/company/pt/blog/268779/> (date of access 16.10.2015). (In Russian).
7. IBM developerWorks. Prover'te vashi prilozhenija na ujazvimosti iz spiska OWASP Top 10 za 2013 god [Check your applications for vulnerabilities from the OWASP Top 10 for 2013]. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/se-owasp-top10/> (date of access 15.10.2015). (In Russian).
8. Statistika ujazvimostej veb-prilozhenij (2014 g.) [Statistics of vulnerabilities in web applications (2014)]. URL: http://www.ptsecurity.ru/lab/analytics/WEB_APP_VULNERABILITY_2014.A4.RUS.242465.14.OCT.2015.pdf (date of access 16.10.2015).
9. Welcome to OWASP the free and open software security community. URL: https://www.owasp.org/index.php/Main_Page (date of access 20.10.2015).
10. Barskij A.B. Nejronnye seti: raspoznavanie, upravlenie, prinyatie reshenij [Neural networks: recognition, management, decision making]. Moscow, Finansy i statistika, 2004. 176 p. (In Russian).
11. Zaencev I.V. Nejronnye seti: osnovnye modeli [Neural networks: basic models]. Voronezh, Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet Publ. 1999. 76 p. (In Russian).

Information about authors:

Solovyov S.V., Ph.D., the Head of Department of FAI "SSRTI PTSI FSTEC of Russian Federation";
Mamuta V.V., the researcher of FAI "SSRTI PTSI FSTEC of Russian Federation".

For citation:

Solovyov S.V., Mamuta V.V. Using neural network technologies apparatus for determination of the actual information security threats for information systems. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 78–82.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИХ ПОСТРОЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Степанов

Михаил Федорович,

д.т.н., профессор Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия, mfstepanov@mail.ru

Степанов

Андрей Михайлович,

к.т.н., с.н.с. Института проблем точной механики и управления Российской академии наук, г. Саратов, Россия, ripkilobyte@gmail.com

Михайлова

Любовь Сергеевна,

к.т.н., доцент Электростальского политехнического института Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ), г. Электросталь, Россия lsmixx@rambler.ru

Пименова

Ольга Николаевна

студентка Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия,

Ключевые слова:

интеллектуальные системы управления; принципы построения интеллектуальных систем; автоматическое решение задач; планирование решения задач; нейросетевой вычислитель.

АННОТАЦИЯ

Показана необходимость применения самоорганизующихся систем управления как развитие теории функциональной системы П.К. Анохина. Сформулирована проблема координации управления совокупностью возможно взаимодействующих систем управления. Особенностью проблемы координации является необходимость коррекции целей управления локальных систем с учетом изменяющихся условий. Предложен подход к решению проблемы на основе применения интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления. Отличительной особенностью интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления является наличие возможности автоматической коррекции (построения) цели управления на основе анализа текущего процесса управления. Встроенные средства интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления для идентификации моделей объекта и внешней среды позволяют учитывать особенности текущих условий управления. Совокупность моделей объекта управления, внешней среды и целей управления определяет задачу управления. Проблема осложняется большим разнообразием возможных компонентов задачи управления (моделей объекта управления, внешней среды, целей управления). Для решения конкретной задачи необходимо осуществлять планирование действий по решению конкретных задач управления, используя заданный базис проектных операций. Вычислительная сложность методов решения задач планирования действий не позволяет их использовать в системах оперативного управления. Необходимы средства, обладающие свойством массового параллелизма. Показана необходимость применения планирующих искусственных нейронных сетей в интеллектуальной системе автоматического синтеза закона управления. Сформулированы принципы построения интеллектуальных систем автоматического управления. Предложена структура интеллектуальной системы управления. Разработана структура нейросетевого вычислителя управляющего воздействия (нейроконтроллера) интеллектуальной системы управления. Приведена схема интеллектуальной системы автоматического управления с нейроконтроллером. В состав интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления входит интеллектуальная система автоматического решения задач синтеза системы автоматического управления, обеспечивающая построение закона управления, адекватного текущей ситуации управления. Построена система автоматизации построения и исследования интеллектуальных систем автоматического управления – моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления. Она позволяет проводить исследования не только автономных, но и совокупности взаимосвязанных интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления множеством различных объектов.

1. Постановка задачи

В теории автоматического управления известны следующие фундаментальные принципы управления [1], [2]: принцип разомкнутого (программного) управления; принцип компенсации (управление по возмущению); принцип обратной связи (управление по отклонению).

В зависимости от вида формирования управляющего воздействия системы автоматического управления (САУ) могут быть подразделены на следующие основные типы [3]:

1) системы автоматической стабилизации (системы автоматического регулирования). В таких системах управляющие воздействия представляют собой заданные постоянные величины (уставки);

2) системы программного управления. В них управляющие воздействия являются известными функциями времени (изменяются по программе);

3) следящие системы. В них управляющие воздействия представляют собой заранее неизвестные функции времени.

Расширение сфер применения автоматического управления, нарастающее усложнение объектов управления в сочетании с ужесточением требований к точности и качеству управления привели к противоречию с традиционными подходами к построению систем управления. В соответствии с известным в кибернетике «законом необходимого разнообразия» [4] структура управляющего устройства должна соответствовать структуре управляемого объекта. Все больше в сферу автоматического управления входят все более сложные объекты, которые в реальности никогда не являются чисто детерминированными или чисто случайными, а всегда комбинированными. Как следствие, наиболее совершенные системы управления «... в сложных задачах должны быть детерминированно – самоорганизующимися. Определение оптимального соотношения и взаимодействия детерминированной и самоорганизующейся части ... является сейчас главной проблемой технической кибернетики» [5].

В 1935 г. П.К. Анохин применил разработанный им системный подход к изучению и пониманию функций живого организма, опираясь на предложенную им же оригинальную теорию функциональной системы [6]. Однако слабое развитие информационной технологии и техники не смогли вызвать к жизни фундаментальные результаты П.К. Анохина по системной организации функций живого организма. Поэтому системы управления в этот период строились в основном с использованием априорных сведений об окружающей среде, понятие цели вырождалось в решение задачи отработки системой некоторого программного сигнала и лишь иногда вводились некоторые элементы адаптации систем к тем или иным изменяющимся условиям.

Практически всю интеллектуальную часть работы выполнял человек, сводя функционирование системы управления к реализации фиксированных алгоритмов, выработанных им. Реальная ситуация требует других подходов к созданию систем управления. В действительности изменяется окружающая среда, изменяются характеристики собственного состояния системы. Учесть эти изменения априори практически невозможно.

Появление микропроцессоров высокой производитель-

ности с большой емкостью памяти, возможность организации компьютерных сетей, появлением многоядерных процессоров, допускающих реализацию параллельных вычислений, с одной стороны, и необходимость обработки значительных массивов информации, применения базы знаний для формирования целенаправленной деятельности – с другой, привели к созданию интеллектуальных систем [7]. Источником возмущающего воздействия для интеллектуальной системы является окружающая среда, а функционирование системы должно обеспечить в конечном итоге компенсацию этого воздействия и привести к достижению цели управления.

Современные системы управления, как правило, функционируют во взаимодействии с другими системами, которые могут оказывать влияние на их поведение. При этом можно говорить о координированном управлении рядом объектов управления, возможно являющихся взаимосвязанными и взаимодействующими, что, скорее всего, недоступно для обнаружения локальной системе управления. Координация осуществляется посредством получения системами управления сигналов, являющихся обобщенными оценками качества управления всей совокупностью управляемых объектов с точки зрения внешнего наблюдателя, в качестве которого могут выступать как другие системы управления текущего уровня, так и системы управления более высоких уровней иерархии.

Задача: Разработка подхода к построению систем управления способных изменять характер функционирования не только на основе количественных данных об объекте управления и среде его функционирования, но и с учетом качественных оценок, с помощью которых реализуется координация целей функционирования сообщества взаимодействующих систем управления совокупностью (возможно взаимосвязанных и взаимодействующих) объектов управления.

2. Подход к построению интеллектуальных систем управления

Из вышесказанного следует, что в целом система управления должна обладать гибкой структурой, средствами модификации целей управления с учетом количественных и качественных данных об объекте управления и среде его функционирования для построения адекватного закона управления. Такие системы принято называть самоорганизующимися.

Важнейшим компонентом самоорганизующихся интеллектуальных систем управления является интеллектуальная система синтеза закона управления. Она предназначена для построения закона управления на основе модели объекта управления, среды функционирования и цели управления.

Для решения указанной проблемы целесообразно применить подход, основанный на использовании интеллектуальных систем синтеза закона управления. Такие системы для решения конкретной задачи синтеза закона управления вначале осуществляют построение плана решения задачи как упорядоченной совокупности элементарных проектных операций. Выполнение построенного плана затем и приводит к искомому закону управления. Количество элементарных проектных операций, используемых в планах решения

задач синтеза закона управления относительно невелико, поскольку они представляют собой процедуральное определение понятий теории автоматического управления. Построение плана решения задачи осуществляется на основе знаний о методах решения задач теории автоматического управления. Для этого традиционно используются средства автоматического доказательства теорем. Известно, что задачи планирования действий или автоматического доказательства теорем являются трудно решаемыми задачами, относимыми к категории NP-сложных задач. При этом наиболее перспективными являются многоуровневые системы, в которых за счет введения иерархически взаимосвязанных пространств сужаются области поиска решения задачи.

Создание многоуровневых моделей представления знаний о методах решения задач теории автоматического управления открыло путь для применения систем параллельной обработки знаний, к которым относятся и искусственные нейронные сети. Традиционно искусственные нейронные сети применяются для решения задач распознавания образов, реализации отображений и управления.

Задачи планирования обладают специфическими особенностями, не позволяющими непосредственно использовать уже существующие алгоритмы функционирования искусственных нейронных сетей. В качестве одной из таких проблем выступает необходимость представления плана решения задачи в виде некоторой конструкции, которая затем могла бы быть передана исполнительной подсистеме для выполнения, и получения, таким образом, искомого закона управления. При этом уже очевидно, что исполнительная подсистема должна реализовываться средствами традиционной вычислительной техники, поскольку создание нейронных устройств для выполнения операций с вещественными числами на современном этапе развития нейрокомпьютерной техники оказалось нерациональным. Поэтому возникла необходимость в применении специальных планирующих искусственных нейронных сетей [8].

Под самоорганизующимися интеллектуальными системами управления будем понимать системы автоматического управления, способные к самоорганизации посредством изменения закона своего функционирования, используя методы искусственного интеллекта.

Концептуально самоорганизующиеся интеллектуальные системы управления, в качестве отличительной черты, содержат интеллектуальную систему синтеза закона управления по заданной цели управления, а также средства формирования цели управления на основе информации о среде функционирования и собственных целей функционирования системы.

3. Принципы и методология построения интеллектуальных систем автоматического управления

Обобщая различные подходы к построению ИСУ, в том числе и рассмотренные выше, сформулируем принципы построения ИСУ:

а) использование априорной информации, наличие средств задания сведений: о требованиях к точности и качеству процесса управления заданным объектом; об объекте управления; о внешней среде; о наличии и составе подчинен-

ных систем управления нижележащих уровней иерархии, оценку функционирования которых следует осуществлять; о наличии и составе систем управления вышележащих уровней иерархии, получаемые оценки от которых необходимо учитывать в процессе своего функционирования;

б) использование текущей информации, возможность получения информации об окружающей среде (измерительная система) для формирования текущего значения управляющего воздействия;

с) целеполагание, формирование (модификация) цели управления на основе априорно заданных требований к точности и качеству процесса управления заданным объектом и текущего «эмоционального» состояния ИСУ;

д) самоорганизация, предусматривающая наличие и использование: средств формирования самооценки текущего состояния процесса управления как оценки соответствия параметров процесса управления имеющимся целям управления; оценок от ИСУ старших уровней иерархии; «эмоционального» состояния системы, формируемого на основе самооценки и оценок, полученных от ИСУ старших уровней иерархии; средств построения математических моделей объекта управления и внешней среды (подсистема идентификации); средств формирования структуры и параметров закона управления в соответствии с априорной и текущей информации о состоянии объекта управления, цели управления и внешней среды с помощью интеллектуальной системы синтеза, включающей: средства планирования действий по решению декларативно (непроцедурно) поставленных задач синтеза закона управления на основе имеющихся в базе знаний сведений о методах решения задач ТАУ (решающая подсистема); средства выполнения действий по решению задачи синтеза и формированию закона управления в соответствии с построенной (известной) процедурой ее решения (исполнительная подсистема).

е) стабилизация целевого состояния (стабилизирующий регулятор) объекта управления в целевом состоянии с помощью, например: средств формирования стабилизирующего управляющего воздействия в виде нечеткого (нейронечеткого) закона управления на основе априорной информации об объекте управления, цели управления и внешней среде; средств формирования стабилизирующего закона управления (интеллектуальная система синтеза) на основе методов «точного управления» в соответствии с априорной информацией об объекте управления, цели управления и внешней среде.

ф) управление в реальном масштабе времени, вычисление управляющих воздействий на объект управления (вычислитель управления) в виде: микроконтроллера, использующего программную реализацию закон управления; нейроконтроллера, реализующего в виде искусственной нейронной сети (ИНС) закон управления.

Структурный состав самоорганизующейся интеллектуальной системы автоматического управления:

- измерительная система, объединяющая все измерительные устройства, служащие для получения информации из внешней среды;

- вычислитель управляющего воздействия, осуществляющий вычисление величины управляющего воздействия на основе закона управления и данных измерительной системы;

- исполнительная система, представляющая собой совокупность исполнительных механизмов, предназначенных для осуществления реального воздействия на объект управления в соответствии с вычисленным значением управляющего воздействия;

- система формирования моделей объекта управления и среды функционирования на основе данных измерительной системы;

- интеллектуальная система синтеза закона управления, использующая в качестве исходных данных постановки задачи синтеза модели объекта управления, среды функционирования и цели управления;

- блок формирования цели управления на основе собственных целей поведения и эмоционального состояния самоорганизующейся интеллектуальной системы управления;

- блок самооценки осуществляет вычисление количественного эквивалента качественной самооценки («эмоции») поведения самоорганизующейся интеллектуальной системы автоматического управления.

Самооценка вычисляется на основе соответствия данных измерительной системы собственным целям самоорганизующейся интеллектуальной системы управления. В качестве таких собственных целей могут быть, например, соответствие результирующего поведения объекта управления поставленным целям управления, положительность качественной оценки, получаемой от систем управления старших уровней иерархии. Блок самооценки воспринимает качественные оценки, поступающие через измерительную систему от систем управления вышестоящих уровней. При получении негативных оценок ухудшается самооценка (эмоциональное состояние) системы управления и активизируется блок формирования цели управления, ужесточающий требования к точности и качеству процесса управления. Другой причиной ухудшения самооценки может быть неудовлетворительное (не соответствующее цели управления) результирующее поведение объекта управления. Причиной такого явления может быть неудовлетворительная модель объекта управления и среды функционирования. В связи с этим ухудшение самооценки активизирует и систему формирования моделей объекта управления и среды функционирования для построения уточненных моделей. В свою очередь модификация, как цели управления, так и моделей объекта управления и среды функционирования активизирует интеллектуальную систему синтеза закона управления. Построенный закон управления передается далее вычислителю управляющего воздействия, изменяя, таким образом, процесс управления заданным объектом.

С другой стороны, активно развиваемые методы нейрорегулирования направлены на использование для решения задач управления сложными объектами средств параллельной обработки информации, в качестве которых выступают искусственные нейронные сети (ИНС). При этом, как правило, используются такие особенности ИНС, как способность к обучению, высокое быстродействие и возможность выступать в роли универсального аппроксиматора, способного аппроксимировать любой закон управления с любой наперед заданной точностью. Однако применение методов нейрорегулирования не всегда приводит к успеху в связи с не-

обходимостью достаточно длительного обучения нейронной сети, что недопустимо в данной ситуации, поскольку работа производится в реальном масштабе времени.

Методология решения указанной проблемы базируется на композиции концепции интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления и методов нейрорегулирования: i) синтез закона управления с использованием средств автоматического синтеза закона управления ИССАУ; ii) реализация синтезированного закона управления с использованием ИНС (рис. 1).

При решении задачи синтеза закона управления САУ используется математическая модель объекта управления. При построении математической модели используются различные подходы:

- использование априорных сведений о конструкции объекта управления, что позволяет учесть его конструктивные особенности;

- использование методов пассивной и активной идентификации с получением экспериментальных данных о реакции объекта на известные воздействия.

Системы автоматического управления функционируют в режиме реального времени. Поэтому построение нейросетевого вычислителя интеллектуальной самоорганизующейся системы автоматического управления (ИССАУ) необходимо осуществлять в соответствии с существующими подходами к построению систем реального времени (СРВ):

- программная реализация требуемых алгоритмов на базе микропроцессора;

- программно-аппаратная реализация на базе программируемых логических интегральных схем (включая реализацию систем на кристалле).

Разрабатываемая ИССАУ должна функционировать в условиях изменения параметров объекта управления, внешней среды и целей управления, что приводит к необходимости адекватного изменения, как параметров закона управления, так и его структуры. В связи с этим необходимо снабдить разрабатываемую систему средствами реконфигурирования. Поэтому наиболее подходящей является программно-аппаратная реализация на базе программируемых логических интегральных схем.



Рис. 1. Схема ИССАУ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 15-07-99684-а).

Литература

1. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1993. 492 с.
2. Теория автоматического управления / под ред. А.А. Воронова. Ч.1. М.: Высшая школа, 1986. 362 с.
3. Методы классической и современной теории автоматического управления: в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 656 с.
4. Эшби У.Р. Введение в кибернетику: пер с англ. М.: Иностранная литература, 1959. 432 с.
5. Фельдбаум А.А. Новые принципы автоматического управления // Изв. ВУЗов СССР, Радиотехника. 1960. № 3. С. 299–308; № 4. С. 419–430.
6. Анохин П.К., Шумилина А.И., Анохина А.П. и др. Функциональная система как основа интеграции нервных процессов в эмбриогенезе // Труды V съезда физиологов СССР. 1937. С. 148–156.
7. Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. 348 с.
8. Stepanov M.F., Stepanov A.M. Application of planning artificial neural networks in solver of tasks of intellectual self-organizing automatic-control systems // Journal of Chaotic Modeling and Simulation: International Journal of Nonlinear Science. 2013. Vol. 1. Pp. 67–74.
9. Минский М. Фреймы для представления знаний. М.: Энергия, 1979. 152 с.

Для цитирования:

Степанов М.Ф., Степанов А.М., Михайлова Л.С., Пименова О.Н. Интеллектуализация автоматизированных и автоматических систем управления и методология автоматизации их построения и исследования // Научно-технологические исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 83–88.



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 ИРСИ позволяют нам качественно анализировать автоматизированные системы и разрабатывать к ним классификаторы и нормативно-справочную информацию.

INTELLECTUALIZATION OF THE AUTOMATED AND AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS AND METHODOLOGY OF AUTOMATION OF THEIR CONSTRUCTION AND RESEARCH

Mikhail F. Stepanov,

Saratov, Russia, mfstepanov@mail.ru

Andrew M. Stepanov,

Saratov, Russia, ripkilobyte@gmail.com

Lubov S. Mikhailova,

Electrostal, Russia, lsmixx@rambler.ru

Olga N. Pimenova,

Saratov, Russia

Abstract

Necessity of application self-organizing control systems as development of the theory of functional system P.K. Anokhin is shown. The problem of coordination of control is formulated for set of probably cooperating control systems. Feature of a problem of coordination is necessity of correction of the purposes of control of local systems in view of changing conditions. The approach to the decision of a problem on the basis of use intellectual self-organizing systems of automatic control is offered. Distinctive feature intellectual self-organizing systems of automatic control is presence of an opportunity of automatic correction of the purpose of control on the basis of the analysis of current control process. Built-in intellectual self-organizing systems of automatic control means for identification of plant's models and an environment allow to consider features of current conditions of control. Set of models of plant, environment and the purposes of control defines a task of control. The problem becomes complicated greater variety of possible components of a task of control (models of plant, an environment and the purposes of control). For the decision of a specific target it is necessary to carry out planning of actions for the decision of specific targets of control, using the set basis of design operations. Computing complexity of methods of the decision of tasks of planning of actions does not allow using them in systems of operative control. The means possessing an opportunity of mass parallelism are necessary. Necessity of use of planning artificial neural networks for intellectual system of automatic synthesis of the law of control is shown. Principles of construction of intellectual systems of automatic control are formulated. The structure of an intellectual control system is offered. The structure the neural calculator of operating control (neurocontroller) of intellectual control system is developed. The scheme intellectual systems of automatic control with neurocontroller is presented. Structure intellectual self-organizing systems of automatic control includes intellectual system of the automatic decision of tasks of synthesis systems of automatic control, providing construction of the law of the control adequate to a current situation of control. The system of automation of construction and research of intellectual systems of automatic control – modelling intellectual self-organizing systems of auto-

matic control is constructed. She allows carrying out researches not only independent, but also sets interconnected intellectual self-organizing systems of automatic control of set various plants.

Keywords: intellectual control systems; principles of construction of intellectual systems; the automatic decision of tasks; planning of the decision of tasks; neural calculator.

References

1. Solodovnikov V.V., Plotnikov V.N., Yakovlev A.V. Teoria avtomaticheskogo upravleniya technicheskimi sistemami [The theory of automated control of the technical systems]. Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman Publ., 1993. 492 p. (In Russian).
2. Voronova A.A. (Ed.) Teoria avtomaticheskogo upravleniya. Chast' 1. [The theory of automatic control]. Part 1. Moscow, Vysshaya shkola, 1986. 362 p. (In Russian).
3. Pupkova K.A., Egupova N.D. (Eds.). Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya [The methods of classical and modern theory of automatic control: mathematical models, dynamic characteristics and analysis of automatic control systems]. 2nd ed. Vol. 1. Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman Publ., 2004. 656 p. (In Russian).
4. Ashby W.R. An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall, 1956. 295 p.
5. Feldbaum A.A. Novye prinzipy avtomaticheskogo upravleniya [The new principles of automatic control]. Izvestiya vuzov USSR. Radiotekhnika. 1960. No. 3. Pp. 299–308, No. 4. Pp. 419–430. (In Russian).
6. Anochin P.K., Shumilina A.I., Anochina A.P. Funktsionalnaya sistema kak osnova integratsii nervnykh processov v embriogeneze. [Functional system as a basis of integration of nervous processes]. Trudy V s'ezda fiziologov SSSR, 1937. Pp. 148–156. (In Russian).
7. Pupkov K.A., V.G. Konkov. Intellectualnye systemy [Intellectual systems]. Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman Publ., 2003. 348 p. (In Russian).
8. Stepanov M.F., Stepanov A.M. Application of planning artificial neural networks in solver of tasks of intellectual self-organizing automatic-control systems. Journal of Chaotic Modeling and Simulation: International Journal of Nonlinear Science, 2013. Vol. 1. Pp. 67–74. (In Russian).
9. Minskiy M. Frames dlya predstavleniya znaniy [Frames for knowledge representation]. Moscow, Energiya, 1979. 152 p. (In Russian).

Information about author:

Stepanov M.F., Ph.D., professor, Yuri Gagarin state technical university of Saratov;
Stepanov A.M., Ph.D., The senior scientific employee, Institute of problems of exact mechanics and control of the Russian Academy of Science;
Mikhailova L.S., Ph.D., senior lecturer, Electrosteel polytechnical institute of the Moscow state machine-building university (MSMU);
Pimenova O.N., student Yuri Gagarin state technical university of Saratov.

For citation:

Stepanov M.F., Stepanov A.M., Mikhailova L.S., Pimenova O.N. Intellectualization of the automated and automatic control systems and methodology of automation of their construction and research. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 83–88.