

## Том VIII. № 2-2016

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](http://www.H-ES.ru)  
E-mail: [HT-ESResearch@yandex.ru](mailto:HT-ESResearch@yandex.ru)

УЧРЕДИТЕЛЬ:  
ООО «Издательский дом Медиа Паблишер»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:  
Константин Легков

ИЗДАТЕЛЬ:  
Светлана Дымкова

ПРЕДПЕЧАТНАЯ ПОДГОТОВКА:  
ООО «H&ES Research»

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

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

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

Мнения авторов не всегда совпадают с  
точкой зрения редакции. За содержание  
рекламных материалов редакция ответ-  
ственности не несет.  
Материалы, опубликованные в журнале –  
собственность ООО «ИД Медиа  
Паблишер». Перепечатка, цитирование,  
дублирование на сайтах допускаются  
только с разрешения издателя.

ПЛАТА С АСПИРАНТОВ ЗА ПУБЛИКАЦИЮ  
РУКОПИСИ НЕ ВЗИМАЕТСЯ

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

С требованиями можно ознакомиться  
на сайте: [www.H-ES.ru](http://www.H-ES.ru).

© ООО «ИД Медиа Паблишер» 2016

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

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

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

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

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

### ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

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

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

Дизайн и компьютерная верстка: Оксана Иванова  
Системный администратор сайта: Вячеслав Косинов  
Отдел развития и рекламы: Ольга Дорошкевич, [ovd@media-publisher.ru](mailto: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  
**GONCHAREVSKY V.S.**, Ph.D., professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation,  
**KOMASHINSKIY V.I.**, Ph.D., professor  
**KIRPANEEV 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

Design and computer imposition: Oksana Ivanova, okv-ivanova@yandex.ru  
 Site's system administrator: Vyacheslav Kosinov  
 Development and advertizing department: Olga Doroshkevich, ovd@media-publisher.ru, tel.: 8(916) 951-55-36

# H&ES RESEARCH

Vol. VIII. No. 2-2016

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](http://www.H-ES.ru)  
 E-mail: [HT-ESResearch@yandex.ru](mailto: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](mailto:HT-ESResearch@yandex.ru). The requirements are available on the website: [www.H-ES.ru](http://www.H-ES.ru).

© «Media Publisher», LLC 2016

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

[WWW.H-ES.RU](http://WWW.H-ES.RU)

 HES\_Research  HES-Research  
 club55425245

## Huawei представила платформу Any Media Giga Access Platform для гигабитных сетей

Компания Huawei представила платформу Any Media Giga Access Platform, позволяющую операторам в полном объеме использовать различные средства доступа в существующих сетях, чтобы быстро запускать гигабитные сверхширокополосные (Gigaband) сети с единой архитектурой, программным обеспечением и управлением.

Широкополосные домашние сети переходят с уровня 100 Мб/с на уровень 1 Гб/с по мере развития телевидения сверхвысокой четкости (4K), технологий виртуальной реальности, голографических изображений и прочих новых услуг, требующих высокой пропускной способности. Полностью оптическая сеть – это идеальный инструмент для создания гигабитной сети (Gigaband). Однако в некоторых регионах использование только оптоволокна для создания гигабитных сетей требует огромных инвестиций и приобретения коммуникационных коридоров (ROW), а также продолжительного времени для запуска. Этот компромисс предполагает, что период окупаемости этих инфраструктурных инвестиций растягивается. Платформа Huawei Any Media Giga Access Platform поддерживает работу сетей на базе оптоволоконных, медных, коаксиальных кабелей, комбиниру-

ванных фиксированных и мобильных сетей. Новаторские технологии, использованные при создании этой платформы, прокладывают дорогу для наступления эры гигабитных сетей.

«Впечатляющие темпы развития видео сверхвысокой четкости, технологий виртуальной реальности, «умного дома» и прочих услуг переводят широкополосные сети с уровня 100 Мб/с на уровень 1 Гб/с», - отметил Чжа Цзюнь, президент подразделения фиксированных сетей компании Huawei. Платформа Huawei Any Media Giga Access Platform позволяет в полной мере использовать ресурсы сетей на базе медных, коаксиальных и оптоволоконных кабелей, тем самым помогая операторам быстрее реализовать свои гигабитные программы. Компания Huawei по-прежнему находится в авангарде благодаря своим технологическим инновациям и своему вкладу в производственную цепочку».

Будучи мировым лидером в области создания технологий сверхширокополосных сетей, компания Huawei регулярно представляет новые разработки, дающие успешные результаты. В сфере оптоволоконных технологий компания Huawei продала свыше 100 миллионов устройств FTTH ONT, что соответствует лидирующей рыночной доле, и помогла повысить скорость

проникновения FTTH-технологий. В области сетей на базе медного кабеля Huawei была первой компанией, которая провела коммерческие эксплуатационные испытания технологии G.fast в Швейцарии, а недавно завершила эксплуатационные испытания технологии G.fast в Соединенном Королевстве. В секторе сетей на базе коаксиального кабеля компания Huawei представила решение DOCSIS 3.1 D-CCAP, которое первым прошло тестирование CableLabs, а также коммерческое тестирование и эксплуатационные испытания в Дании и Новой Зеландии. Решение Huawei по конвергенции фиксированной и мобильной связи помогает клиентам увеличить пропускную способность для улучшения взаимодействия с пользователем и повышения безопасности сети.

В дополнение к гигабитным сверхширокополосным каналам платформа Huawei Giga Access Platform обеспечивает достаточную пропускную способность для работы «умного дома», полностью оптических сетей (all-optic campus), мониторинга качества видео-услуг U-vMOS, управления виртуальным доступом и прочих аналитических сервисов. Компания Huawei предоставляет операторам возможности создания более согласованных гигабитных предложений.



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>МАТЕМАТИКА</b>	
Математическая модель инфокоммуникационной системы специального назначения <b>Легков К.Е.</b>	6
Обнаружение и оценка экстремальных особенностей пространства поиска эвристическими алгоритмами <b>Нейдорф Р.А., Черногоров И.В., Ярахмедов О.Т., Полях В.В.</b>	16
<b>ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ</b>	
Задание границ области дрейфа метрологических характеристик бортовых измерительных систем космических аппаратов <b>Новиков А.Н., Пузанков С.В.</b>	26
О построении геометрической модели местности по стереопаре аэрокосмических снимков <b>Хрущ Р.М., Гринь А.Н., Соловьев А.В.</b>	32
<b>РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ</b>	
Анализ методов защиты от несанкционированного доступа беспроводных каналов связи робототехнических систем <b>Жук А.П., Осипов Д.Л., Гавришев А.А., Бурмистров В.А.</b>	38
Логико-лингвистический подход к моделированию электромагнитной обстановки на основе гибридных автоматов <b>Деев В.В., Кудрявцев А.М., Копичев О.А.</b>	43
Модель атмосферных и промышленных помех, адаптированная к условиям эксплуатации приемной радиоэлектронной аппаратуры <b>Строганова Е.П., Немыкин А.А.</b>	48
<b>ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ</b>	
Основы поддержки процессов организационного управления системами специального назначения <b>Буренин А.Н., Легков К.Е., Боговик А.В.</b>	54
Ситуационный подход к управлению организационно-техническими системами при планировании операции <b>Ямпольский С.М., Костенко А.Н.</b>	62
Оценка эффективности стеганографического скрытия цифровых водяных знаков в видеопоследовательностях за счет дифференциальной разности энергий областей изображения <b>Шелухин О.И., Олейникова Т.В.</b>	70
Анализ и синтез перспективной системы электронного документооборота Министерства обороны Российской Федерации <b>Елисеев Н.И.</b>	76
<b>ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ</b>	
Анализ работы алгоритмов защиты информации на основе самомодифицирующегося кода с применением стеговложения <b>Штеренберг С.И.</b>	86

# CONTENTS

---

## MATHEMATICS

- 6 **Legkov K.E.**  
A mathematical model of the infocommunication system  
of special purpose
- 16 **Neydorf R.A., Chernogorv I.V.,  
Yarakhmedov O.T., Polyakh V.V.**  
Detection and evaluation extreme features of heuristic  
algorithm search space

## INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

- 26 **Novikov A.N., Puzankov S.V.**  
Task of drift area borders of metrological characteristics  
spacecrafts onboard measuring systems
- 32 **Khrusch R.M., Grin A.N., Soloviev A.V.**  
About creation of geometrical model districts  
on the stereo pair of space pictures

## RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

- 38 **Zhuk A.P., Osipov D.L.,  
Gavrishev A.A., Burmistrov V.A.**  
Analysis methods of protection against unauthorized access  
wirelessly robotic systems
- 43 **Deev V.V., Kudryavtsev S.M., Kopichev O.A.**  
Logiko-lingvistichesky the approach to modelling of the electromagnetic  
situation on the basis of hybrid automat
- 48 **Stroganova E.P., Nemykin A.A.**  
Model atmospheric and industrial interference, adapted  
to the operating conditions of the admission of electronic equipment

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

- 54 **Burenin A.N., Legkov K.E., Borovik A.V.**  
The base of support processes of organizational control systems  
for special purposes
- 62 **Yampolsky S.M., Kostenko A.N.**  
Situational approach to the management of organizational  
and technical systems during operation planning
- 70 **Sheluhin O.I., Oleynikova T.V.**  
Evaluating the effectiveness of hiding digital watermark  
in video sequences due to the energy difference between  
the discrete cosine transform coefficients
- 76 **Eliseev N.I.**  
Analysis and synthesis perspective electronic document management system  
of the Russian Federation Defense Ministry

## PUBLICATIONS IN ENGLISH

- 86 **Shterenberg S.I.**  
Analysis works algorithms information protection on the basis  
of self-modifying code with hidden embedding

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Легков**

**Константин Евгеньевич,**

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

**Ключевые слова:**

автоматизация; радиотехника;  
комплексы; приборные интерфейсы;  
линейные алгоритмы.

АННОТАЦИЯ

Изучение процесса функционирования инфокоммуникационной системы приходится производить без наблюдения за ней (возможно только наблюдение за элементами ее или макетами ее фрагментов с фиксацией количественных характеристик при проведении натурного эксперимента на реально существующей аппаратуре и оборудовании, на основе которой будет создаваться система). Однако возможны случаи, когда требуется построить содержательное описание процессов функционирования системой, для которых соответствующие аппаратура и оборудование пока реально не существуют, а только создается, имеются только в виде проектов, технической документации. В этих случаях для составления содержательного описания процесса используются накопленный опыт и результаты наблюдения за процессами функционирования аналогичных или похожих сетей и информационных систем с учетом особенностей новой системы. Помимо сведений, непосредственно характеризующих процессы и явления в инфокоммуникационной системе, в содержательное описание включаются дополнительные материалы, к которым относятся различные структуры, архитектуры и схемы.

В целом инфокоммуникационная система представляет собой совокупность баз данных, средств обработки информации, взаимодействующих информационных и телекоммуникационных сетей и множество терминалов пользователей. При этом доступ к информационным ресурсам системы реализуется посредством услуг нового типа, получивших название санкционированных инфокоммуникационных услуг. Предполагается, что они будут преобладать в инфокоммуникационной системе специального назначения уже в ближайшем будущем. Большое влияние на требования к инфокоммуникационным услугам оказывает процесс конвергенции, приводящий к тому, что они становятся доступными пользователям вне зависимости от способов доступа.

Концепция создания инфокоммуникационной системы во многом опирается на системные и технические решения, уже разработанные международными организациями стандартизации. Так, взаимодействие серверов в процессе предоставления услуг предполагается осуществлять на базе протоколов, специфицированных IETF (MEGACO), ETSI (TIPHON), Форумом 3GPP2 и т.д. Для управления услугами будут использоваться протоколы H.323 (H.325), SIP и подходы, применяемые в интеллектуальных сетях связи. Особенности инфокоммуникационных систем, с точки зрения управления ими, является то, что они будут состоять из большего числа разнотипных компонентов, а не из сравнительно небольшого количества менее разнообразных крупных коммутационных устройств, как во многих существующих сетях. Кроме того, в сетях инфокоммуникационной системы будет поддерживаться большее число интерфейсов, чем в существующих сетях, разные системы сигнализации и более высокая пропускная способность. Всё это ведёт к необходимости пересмотра принципов и подходов традиционного сетевого управления при управлении такой системой по всему спектру задач управления.

Известно, что на основе только содержательного описания системы невозможно создать математическое описание или ее математическую модель. Этапу создания математического описания непосредственно предшествует подэтап разработки так называемых формализованных схем. Некоторые исследователи относят этот подэтап непосредственно к этапу создания математической модели. Однако, выделение этого подэтапа в отдельный, считается целесообразным.

### Методика формирования модели инфокоммуникационной системы

Так как в качестве основной цели создания инфокоммуникационной системы (ИКС) является представление разнообразных инфокоммуникационных услуг требуемого качества должностным лицам органов управления (ДЛ ОУ) и комплексам средств автоматизации (КСА) автоматизированной системы управления (АСУ), тов качестве базовой логической модели ее может быть взята многоуровневая функциональная архитектура [1–5]. При этом (и в этом состоит принципиально новый подход к формированию модели ИКС) предлагается ИКС представить трехуровневой мульти-сетевой моделью, каждый уровень которой задается вполне определенной сетью услуг, предоставляющей фиксированные услуги конкретного уровня ИКС: инфраструктурного, промежуточного и базового [5]. При таком подходе каждая уровневая сеть услуг ИКС ВН может быть описана графами  $G(Y_A, H_b)$ ,  $G(J_A, E_b)$  и  $G(R_A, Q_b)$ , представляющих собой сетевую модель соответственно сети услуг инфраструктурного, промежуточного и базового уровней ИКС.

Выделенные в ИКС уровневые инфраструктурные, промежуточные и базовые сети услуг целесообразно рассмотреть как определенные ее архитектурные компоненты: инфраструктурный (ИК), промежуточный (ПК) и базовый (БК), которые фактически определяют функционирование всей ИКС в условиях различных случайных и преднамеренных воздействий противника, характеризуя такое важное ее свойство как устойчивость, определяющее возможность функционирования ИКС с требуемыми качественными показателями в условиях комплекса воздействий противника для различных условий обстановки.

С учетом того, что ИКС имеет основное предназначение в предоставлении ДЛ ОУ и КСА АСУ определенного комплекса инфокоммуникационных услуг, то целесообразно ее представить следующей формализованной схемой, отражающей данный аспект (рис. 1).

Для каждого уровня модели (рис. 1), общая интенсивность требований на получение услуг уровня является суммой интенсивностей частных требований на определенные  $(i, j, k)$  услуги, т. е.:

$$\Lambda_{IL} = \sum \lambda_{IL}(i), \Lambda_{MWL} = \sum \lambda_{MWL}(j), \Lambda_{BL} = \sum \lambda_{BL}(k). \quad (1)$$

Вместе с тем, особенности функционирования ИКС как многоуровневой мультисетевой системы [5],



Рис. 1. Формализованная схема ИКС, отражающая ее сервисный аспект

приводят к тому, что интенсивность, поступающих на ИКС требований на обслуживание от ДЛ ОУ и КСА АСУ  $\Lambda_{TR}$  для любых условий оперативной обстановки будет меньше, чем суммарная интенсивность требований в модели (рис. 1), т. е.:

$$\Lambda_{TR} < \Lambda_{ICN} = \Lambda_{IL} + \Lambda_{MWL} + \Lambda_{BL} = \sum \lambda_{IL}(i) + \sum \lambda_{MWL}(j) + \sum \lambda_{BL}(k). \quad (2)$$

Само значение интенсивности выходного потока обслуженных требований (т. е. требований, которым был предоставлен соответствующий сервис ИКС) составит соответственно для инфраструктурного, промежуточного и базового уровней:

$$B_{IL} = \Theta_{IL}(\Lambda_{IL}), B_{MWL} = \Theta_{MWL}(\Lambda_{MWL}), B_{BL} = \Theta_{BL}(\Lambda_{BL}). \quad (3)$$

где  $\Theta_{IL}, \Theta_{MWL}, \Theta_{BL}$  – функции, задающие модель соответственно инфраструктурного, промежуточного и базового компонента ИКС.

Однако, трехуровневая мультисетевая модель ИКС (рис. 1), характерна для идеальных условий, когда на ИКС не оказывают влияние возмущающие и управляющие воздействия. Поэтому ее необходимо развить в направлении более детального анализа данного аспекта, таким образом в работе получены следующие уровневые формализованные схемы (рис. 2–4).



Рис. 2. Формализованная схема инфраструктурного компонента ИКС, отражающая его сервисный аспект, комплекс воздействий на него и процессы управления

Для формализованных схем (рис. 2–4) в качестве модели соответствующего компонента ИКС уже не будет выступать соответствующая простая функция, а для ее реализации необходима векторная функция  $Z_{IL}^{Sery}, C_{MWL}^{MWL Sery}, H_{BL}^{BL Sery}$  соответственно для инфраструктурного, промежуточного и базового компонент ИКС:



Рис. 3. Формализованная схема промежуточного компонента ИКС, отражающая его сервисный аспект, комплекс воздействий на него и процессы управления

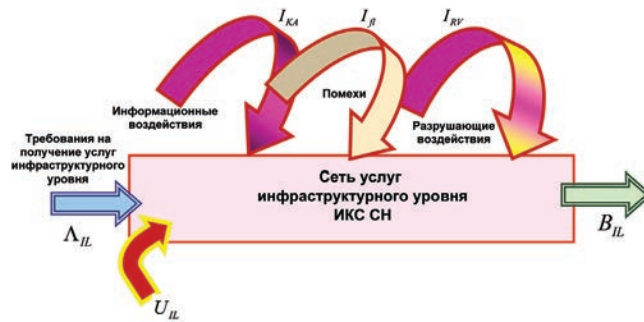


Рис. 4. Формализованная схема базового компонента ИКС, отражающая его сервисный аспект, комплекс воздействий на него и процессы управления

$$B_{IL} = Z_{IL}^{ILSery}(\Lambda_{IL}, U_{IL}, I_{fl}, I_{RV}, I_{KA}), \quad (4)$$

$$B_{MWL} = C_{MWL}^{MWLSery}(\Lambda_{MWL}, U_{MWL}, Z_{fl}, Z_{RV}, Z_{KA}), \quad (5)$$

$$B_{BL} = H_{BL}^{BLSery}(\Lambda_{BL}, U_{BL}, V_{fl}, V_{RV}, V_{KA}). \quad (6)$$

Полученные выше формализованные схемы и выражения (4)–(6) позволяют непосредственно подойти к построению математической модели.

Предложено, что она должна включать математическую модель потоков требований, поступающих на каждый уровень ИКС [1,2], математическую модель воздействий на каждый уровень ИКС, математическую модель устойчивости компонент и ИКС в целом [3,4], а также математические модели компонент ИКС.

### Математическая модель воздействий на уровне инфокоммуникационной системы

Весь комплекс воздействий на каждый уровень и каждый компонент ИКС предложено [5] разделить на информационные воздействия (сетевые и системные атаки), помехи и разрушающие воздействия.

В работе предложено задавать воздействия следующим образом.

Информационные воздействия на каждый уровень ИКС целесообразно задавать случайным потоком атакующих воздействий [5, 6], имеющим свои особенности для каждого уровня, связанные как со спецификой предоставляемых услуг, так и «заинтересованностью» нарушителя нанести ощутимый урон именно той группе предоставляемых сервисов, которые он считает наиболее важными для нашей стороны при проведении той или иной операции. Второй фактор можно только прогнозировать, основываясь на комплексе (в том числе разведывательной) информации.

Помехи целесообразно задать уровнем сигналов средств радиоподавления противника, которыми он располагает и которые могут быть применены с учетом расположения объектов ИКС, на которые могут быть применены эти средства (естественно, что в подавляющем большинстве компонентами ИКС для применения помех будут различные радиосредства, средства беспроводного доступа и т.д.). Хотя не следу-

ет совсем исключать возможности воздействия помех и на проводные, серверные и ПЭВМ компоненты ИКС.

Разрушающие воздействия от любого поражающего оружия предложено задать матрицей воздействий, каждый элемент которой определяют вероятность поражения (выведения из строя) того или иного элемента уровня или уровневого компонента.

В соответствии с принятыми решениями, комплекс воздействий на инфраструктурный уровень ИКС-Сможет быть задан:

$$I_{KA} = I_d(t)$$

где  $I_d(t)$  – случайный поток атак на элементы инфраструктурного компонента ИКС.

Учитывая особенности и номенклатуру предоставляемых инфраструктурным компонентом ИКС услуг, а также возможные (прогнозируемые) средства по реализации комплекса атак, потенциальное количество задействованных средств, их удаленность от узлов предоставления услуг ИКС, их защищенность средствами обеспечения безопасности можно предположить, что случайный поток атакующих воздействий будет носить тип рекуррентного потока с запаздыванием, которое определяется достаточно большими ресурсами злоумышленника на проведение информационной разведки элементов инфраструктурного компонента, т. е.:

$$P_k(I_{KA}, \Delta t) = \int_0^{\Delta t} P_{k-1}(I_{KA}, \Delta t - x) dF_{IL}(I_{KA}, x). \quad (8)$$

$$m_{IL}(\Delta t) = \int_0^{\Delta t} [1 + m_{IL}(\Delta t - x_{IL})] dF_{IL}(x_{IL}) = F_{IL}(\Delta t) + \int_0^{\Delta t} m_{IL}(\Delta t - x_{IL}) dF_{IL}(x_{IL}) \quad (9)$$

Воздействия помех на инфраструктурный компонент целесообразно задать множеством

$$I_{fl} = \{I_{fl}^{pr}, I_{fl}^{opt}, I_{fl}^r\}, \quad (10)$$

где  $I_{fl}^{pr}, I_{fl}^{opt}, I_{fl}^r$  – уровни помех, воздействующих соответственно на проводные, оптические и радио линии и каналы инфраструктурного компонента ИКС.



Разрушающие воздействия на инфраструктурный компонент заданы симметричной диагональной матрицей вида:

$$P_{ILRV} = \left\| P_{b,r}^{IL} \right\|, \quad (11)$$

где  $P_{b,r}^{IL}$  – вероятность поражения соответствующего элемента инфраструктурного компонента ИКС.

Соответственно для промежуточного и базового компонент модели воздействий на них также можно задать аналогично инфраструктурному компоненту, с тем отличием, что случайный поток атак для промежуточного компонента ИКС в силу конечного числа средств противника, которые он сможет разместить и применить против элементов этого компонента и особенностью самих услуг данного уровня, носящих достаточно общий характер, будет иметь модель типа потока Бернулли.

Для базового уровня с учетом особенностей предоставляемых услуг и наличия достаточно большого числа пространственно распределенных сетей разного рода и достаточно большого числа потенциально возможных средств воздействий, случайный поток информационных воздействий будет близок пуассоновскому потоку.

С учетом вышесказанного для промежуточного и базового компонент ИКС модели воздействий будут иметь следующий вид:

$$Z_{KA} = Z_d(t) \quad (12)$$

$$f_A^{MWL}(t) = \begin{cases} (\Delta t_{AMWL})^{-1}, & \text{при } 0 \leq t < \Delta t_{AMWL} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (13)$$

$$P_k^{AMWL}(\Delta t_{AMWL}) = G_k^r \left( \frac{\Delta \tau}{\Delta t_{AMWL}} \right)^r \left( 1 - \frac{\Delta \tau}{\Delta t_{AMWL}} \right)^{k-r} \quad (14)$$

$$Z_{\beta} = \{Z_{\beta}^{pr}, Z_{\beta}^{opt}, Z_{\beta}^r\}. \quad (15)$$

$$P_{MWLRV} = \left\| P_{b,r}^{MWL} \right\|. \quad (16)$$

$$V_{KA} = V_d(t) \quad (17)$$

$$P_A^{BL} \{N_A^{BL}(t, \tau) = k\} = \frac{(\alpha_A^{BL})^k e^{-\alpha_A^{BL}}}{k!} = \frac{(\lambda_A^{BL} \tau)^k e^{-\lambda_A^{BL} \tau}}{k!}. \quad (18)$$

$$V_{\beta} = \{V_{\beta}^{pr}, V_{\beta}^{opt}, V_{\beta}^r\}. \quad (19)$$

$$P_{BLRV} = \left\| P_{b,r}^{BL} \right\|. \quad (20)$$

### Математическая модель инфокоммуникационной системы специального назначения

В соответствии с ранее разработанным методическим подходом к формализации описания функционирования архитектурных уровней ИКС [5], рассматривая

процессы обслуживания потоков требований, поступающих на каждый элемент уровня компонента, можно представить его в виде совокупности двухполюсных виртуальных сетей (элементов) обслуживания (рис. 5).



Рис. 5. Двухполюсный элемент обслуживания уровня компонента ИКС

Два узла предоставления услуг (УПУ) уровня компонента, представляющие собой два полюса элемента уровня сети, соединены между собой одним виртуальным каналом (ВК). К каждому УПУ подключено некоторое количество пользователей услуг со средствами различных типов. Особенности сети услуг состоят в том, что замыкания внутреннего трафика не существует и для двухполюсного элемента уровня сети в целом  $N_1 + N_2 = N$ , где  $N_1$  и  $N_2$  – количество пользователей, подключенных соответственно к УПУ 1 и УПУ 2.

В соответствии с теорией входящего потока [5, 7], группу пользователей, с учетом отсутствия замыкания трафика, можно заменить некоторой интенсивностью входящей нагрузки  $\rho = \sum_{i=1}^N (\rho_{ai} / 2)$  или  $\rho_a = \rho_{ai} = const$ ,  $\rho = N\rho_a / 2$  или некоторой интенсивностью входящего потока,  $\lambda = \rho\mu$ . Предполагаем, что  $\lambda = \lambda(m, j) = const$  на протяжении интервала рассмотрения постоянна. Соответственно будет постоянна в течение этого интервала и вся величина  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda(m, j)}{\mu(m, j)} = const$ .

В целях упрощения также не будем применять индексы соответствующего уровня и элемента уровня.

Вначале предположим, что УПУ идеальны, т.е. обладают бесконечной производительностью и идеальной устойчивостью:  $C_{зц} \rightarrow \infty$ ,  $k_{гц} \rightarrow 1$ , где  $C_{зц}$  – эксплуатационная производительность УПУ, а  $k_{гц}$  – его коэффициент готовности.

В этом случае стохастическая модель двухполюсного элемента обслуживания уровня компонента ИКС может быть представлена [5, 8, 9] в виде стохастической сети (рис. 6).

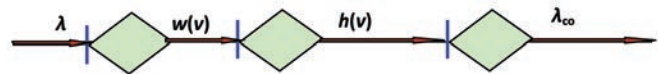


Рис. 6. Стохастическая модель двухполюсного элемента уровня компонента ИКС

На двухполюсный элемент обслуживания уровня компонента поступает входящий поток требований на обслуживание интенсивностью  $\lambda$  (рис. 6). Учитывая свойства ИКС на выходе элемента показан поток

своевременно обслуженных требований с интенсивностью  $\lambda_{CO}$ , совокупность которых составит интенсивности  $B_{IL}, B_{MWL}, B_{BL}$  соответственно для инфраструктурного, промежуточного и базового уровней ИКС.

Введем ограничения на законы распределения случайных величин, характеризующих процессы обслуживания требований, т.е. будем считать законы распределения всех случайных величин (поступления требований, обслуживания, исправной работы с требуемым качеством, восстановления после нарушений функционирования и несвоевременного обслуживания или старения с соответствующими интенсивностями  $\lambda, \mu, c, d$  и  $\nu$ ) следующими:

$$\left. \begin{aligned} A(t) &= 1 - e^{-\lambda t}, \\ B(t) &= 1 - e^{-\mu t}, \\ C(t) &= 1 - e^{-ct}, \\ D(t) &= 1 - e^{-dt}, \\ Z(t) &= 1 - e^{-\nu t}, \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

При этом элемент обслуживания уровня компонента ИКС интерпретируется системой массового обслуживания с ограниченной очередью (временем ожидания при дообслуживании прерванных требований, т.е. рассматриваемый элемент относится, в соответствии с символикой Кендалла [5, 8, 9], к классу сетей типа  $M|\bar{1}|r_{\infty}|d_1$ .

В элементе уровня сети типа  $M|\bar{1}|r_{\infty}|d_1$  протекают два основных процесса

(рис. 6): процесс ожидания обслуживания со случайным временем  $t_{\omega}$  и процесс обслуживания со случайным временем  $t_c$ . В силу адаптивности случайное время обслуживания требования  $t_v$  будет равно сумме:

$$t_v = t_{\omega} + t_c \quad (22)$$

В соответствии с моделью (рис.6) и выражением (22) целесообразно применить преобразование Лапласа-Стилтьеса [5, 8, 9], а в силу его мультипликации вероятность своевременного обслуживания требования для рассматриваемой модели составит

$$Q = \omega(\nu) h(\nu), \operatorname{Re}(\nu) \geq 0 \quad (23)$$

где  $\omega(\nu)$  – преобразование Лапласа-Стилтьеса функции распределения времени ожидания  $t_{\omega}$ ;  $h(\nu)$  – преобразование Лапласа-Стилтьеса функции распределения времени непосредственного обслуживания требования  $t_c$ ;  $\operatorname{Re}(\nu) \geq 0$  – ограничение, заключающееся в том, что выражение (23) справедливо только при условии  $\nu \geq 0$ .

Вместе с тем, в реально функционирующей ИКС в различных условиях воздействия среды, протекают другие процессы, связанные с отказами, другими деструкциями и восстановлением. Допустим, что все процессы пересчитаны в эквиваленты для виртуального канала.

Если в некоторый момент  $T$  виртуальный канал освободится и за время  $t$  новые требования не поступа-

ют, то с вероятностью  $P(t) < 1$  элемент выйдет из строя в промежутке  $[T, T+t]$ .

Пусть  $P(t) = 1 - e^{-et}$ ,  $e > 0, t \geq 0, e = 1/T_{\text{по}}$ , а  $e$  – интенсивность исправной работы при отсутствии нагрузки и при условии, что  $T_{\text{по}} = T_e, P(t) = C(e) = 1 - e^{-et}$ .

Вышедший (выведенный принудительно) из строя виртуальный канал восстанавливается и время его восстановления есть случайная величина с функцией распределения  $F(t)$ , причем  $F(0) < 1$ .

Пусть  $F(t) = 1 - e^{-\varphi t}$ ,  $\varphi > 0, t \geq 0, \varphi = 1/T_{\text{по}}$ , а  $\varphi$  – интенсивность восстановления деструкций при отсутствии нагрузки. При этом преобразования Лапласа-Стилтьеса функций распределения времени исправной работы, времени восстановления отказов при отсутствии нагрузки и времени исправной работы сети при входящем потоке с интенсивностью  $\lambda$  составят соответственно

$$\gamma(\nu) = \int_0^{\infty} e^{-\nu t} dC(t) = \frac{c}{(\nu + c)}. \quad (24)$$

$$\varphi(\nu) = \int_0^{\infty} e^{-\nu t} dD(t) = \frac{d}{(\nu + d)}. \quad (25)$$

$$e(\lambda) = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dC(t) = \frac{c}{(\lambda + c)}. \quad (26)$$

Поскольку

$$\frac{(1 - \lambda h_1) \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\nu}{\lambda} \right) \left( 1 - \frac{c}{\lambda + c} \right) - \frac{c}{\lambda + c} \frac{d}{d + \nu} \right]}{\frac{1}{\lambda} \left[ \nu - \lambda + \lambda h(\nu) \right] \left\{ 1 - \frac{c}{\lambda + c} + \lambda \frac{c}{\lambda + c} \frac{1}{d} \right\}} = \quad (27)$$

$$= \frac{(1 - \lambda h_1) \nu \left[ 1 + \frac{c}{d + c} \right] k_r}{\nu - \lambda + \lambda h(\nu)}.$$

то получаем:

$$w(\nu) = \frac{(1 - \lambda h_1) \nu \left[ 1 + c / d + c \right] k_r}{\nu - \lambda + \lambda h(\nu)}. \quad (28)$$

Первые начальные моменты, получаемые из преобразований Лапласа-Стилтьеса будем соответственно обозначать с индексом 1.

Пусть  $P_{kn}$  – вероятность того, что  $n$ -е требование, покидая элемент уровня компонента ИКС после окончания обслуживания, оставляет в нем  $k$  требований,  $k \geq 0, n \geq 0$ .

При этом возможно воспользоваться производящей функцией вида:

$$P_n(Z) = \sum_{k=0}^{\infty} P_{kn} Z^k; \quad |z| \leq 1$$

Тогда функция распределения  $W_n(t)$  времени ожидания начала обслуживания для требования с номером  $n$ , определится через преобразование Лапласа-Стилтьеса  $w(\nu)$  этой функции распределения.

Будем считать, что в начальный момент элемент уровня компонента исправен, готов начать обслуж-

живание и его начальное состояние характеризуется набором чисел  $P_{k0}$ ,  $k \geq 0$ , а  $P_{k0}$  – вероятность того, что в начальный момент находится  $k$  требований,  $k \geq 0$ .

На основании этого представляется возможным определить  $P_n(Z) = \sum_{k>0} P_{kn} Z^k$ ;  $|z| \leq 1$  для  $P(1) = 1$ .

$P_n(Z)$ ,  $W_n(t)$  и  $Q$  для  $n \geq 0$  могут быть определены по следующим выражениям:

$$|P_n(Z) - P_n(0) + P_n(0)R(Z)| h(\lambda - \lambda Z), |Z| \leq 1; \quad (30)$$

$$P_n(Z) = \omega_n(\lambda - \lambda Z)h(\lambda - \lambda Z), |Z| \leq 1; \quad (31)$$

$$V_n(v) = \omega(v)h(v), \operatorname{Re}(v) \geq 0. \quad (32)$$

В выражениях (30) – (32):

$$R(Z) = Z \frac{1 - e(\lambda)}{1 - e(\lambda)\varphi(\lambda)} + e(\lambda) \frac{\varphi(\lambda - \lambda Z) - \varphi(\lambda)}{1 - e(\lambda)\varphi(\lambda)}; \quad (33)$$

$$h(v) = \int_0^{\infty} e^{-vt} P|\varphi(v), t| dB(t); \quad (34)$$

$$\int_0^{\infty} e^{-vt} P(\chi, t) dt = \frac{1}{v} \frac{1 - \gamma(v)}{1 - \chi\gamma(v)}. \quad (35)$$

При  $n \rightarrow \infty$  справедливы:

$$\lim P_n(Z) = P(Z),$$

$$\lim W_n(t) = W(t), \quad (36)$$

$$\lim V_n(t) = V(t) = Q,$$

Если  $\lambda h_1 \geq 1$ , то  $P(Z) = 0$ ,  $W(t) = 0$ ,  $V(t) = Q = 0$ , а если  $\lambda h_1 < 1$  и  $\varphi_1 < \infty$ , то:

$$P(Z) = \frac{1 - R(Z)}{h(\lambda - \lambda Z) - Z} P(0)h(\lambda - \lambda Z),$$

$$|Z| \leq 1; P(Z) = \sum_{k \geq 0} P_k Z^k, P_k > 0, k \geq 0, P(1) = 1,$$

$$\text{где } P(0) = \frac{(1 - \lambda h_1) |1 - e(\lambda)\varphi(\lambda)|}{1 - e(\lambda) |1 - \lambda\varphi_1|}.$$

Осуществив ряд преобразований, получим:

$$h(v) = v \frac{\mu(v+d)}{(v+d)(v+\mu) + cv}. \quad (37)$$

$$\omega(v) = \frac{(1 - \lambda h_1) \{1 - (1 - v/\lambda)[1 - g(\lambda)] - g(\lambda)\varphi(v)\}}{[h(v) - 1 + v/\lambda][1 - g(\lambda) + \lambda g(\lambda)\varphi_1]} \quad (38)$$

Можно показать, что при известных  $h(v)$  и  $\omega(v)$ , вероятность своевременного обслуживания требований элементом уровня ИКС составит:

$$P_{L\text{elem}} = \frac{\mu k_r - \lambda}{\mu k_r - \lambda + p \left[ 1 + \frac{\mu k_r k_{II}}{p k_r + d} \right]}. \quad (39)$$

Действительно, т.к.

$$h_1 = -\frac{d}{dv} h(v) \Big|_{v=0} = \frac{1}{\mu k_r}. \quad (40)$$

То вероятность  $P_{L\text{elem}}$  своевременного обслуживания требований составит:

$$P_{L\text{elem}} = \frac{(1 - \lambda h_1) \left[ v + c \left( 1 + \frac{d}{c+d} \right) \right] k_r}{v - \lambda [1 - h(v)]} \times \frac{\mu(v+d)}{(v+d)(v+\mu) + cv} = \frac{\mu k_r - \lambda}{\mu k_r - \lambda + v \left[ 1 + \frac{\mu k_r k_{II}}{v k_r + d} \right]}. \quad (41)$$

Функция распределения времени обслуживания требований в рассматриваемом элементе уровня ИКС может быть определена из соотношения (41) с помощью известных преобразований операционного исчисления.

Так момент  $k$ -го порядка равен

$$M[t_v^k] = (-1)^k \frac{d^k [Q(v)]}{dv^k [Q(0)]} \Big|_{v=0}. \quad (42)$$

Учитывая, что  $Q(0) = 1$ , можно получить выражение для расчета среднего времени обслуживания требований ( $T_v$ ) как начального момента от  $Q(v)$ :

$$-\frac{d}{dv} \left[ \frac{Q(v)}{Q(0)} \right] \Big|_{v=0} = -\frac{dQ(v)}{dv} = -\frac{d}{dv} \left( \frac{\mu_3 - \lambda}{\mu_3 - \lambda + v} \right) = \frac{1}{\mu_3 - \lambda} \left( 1 + \frac{\mu_3 k_{II}}{d} \right). \quad (42)$$

Таким образом, среднее время обслуживания требований и среднее время ожидания в очереди составят соответственно:

$$T_v = \frac{1}{\mu_3 - \lambda} \left( 1 + \frac{\mu_3 k_{II}}{d} \right). \quad (44)$$

$$T_w = T_v - (1/\mu_3 + \mu_3 k_{II} T_{II}) / (\mu_3 - \lambda) - 1/\mu_3 = (\rho_3 + \mu_3 k_{II} T_{II}) / (\mu_3 - \lambda). \quad (45)$$

Естественно, для того чтобы вся ИКС работала качественно, требуется, чтобы своевременное обслуживание всех требований выполнялось с вероятностью не ниже требуемой, а для этого необходимо (считаем, что выполняется условие простой вложенности и независимости процессов функционирования уровней), чтобы

$$Q_{ICS} = \left( \prod_{i=1}^{N_{IL}} Q_{IL}(i) \right) \left( \prod_{j=1}^{N_{MWL}} Q_{MWL}(j) \right) \left( \prod_{k=1}^{N_{BL}} Q_{BL}(k) \right) \geq Q_{TP} \quad (46)$$

где  $Q_{IL}(i)$ ,  $Q_{MWL}(j)$ ,  $Q_{BL}(k)$  – соответственно вероятности своевременного обслуживания требования  $i$ -го класса ( $i$ -го требования) инфраструктурного уровня ИКС,  $j$ -го требования промежуточного уровня ИКС,  $k$ -го требования базового уровня ИКС.

При этом среднее время обслуживания требований в ИКС составит

$$T_{ICS} = \frac{\eta_{IL}}{N_{IL}} \sum_{i=1}^{N_{IL}} T_{IL}(i) + \frac{\eta_{MWL}}{N_{MWL}} \sum_{j=1}^{N_{MWL}} T_{MWL}(j) + \frac{\eta_{BL}}{N_{BL}} \sum_{k=1}^{N_{BL}} T_{BL}(k), \quad (47)$$

где  $\eta_{IL} + \eta_{MWL} + \eta_{BL} = 1$ ;

$N_{IL}, N_{MWL}, N_{BL}$  – соответственно общее число требований на обслуживание для инфраструктурного уровня, промежуточного уровня и базового уровня ИКС за определенный период функционирования ИКС;

$$T_{IL}(i) = \frac{1}{\mu_{3IL}(i) - \lambda_{IL}(i)} \left( 1 + \frac{\mu_{3IL}(i) k_{\Pi IL}}{d_{IL}} \right),$$

$$T_{MWL}(j) = \frac{1}{\mu_{3MWL}(j) - \lambda_{MWL}(j)} \left( 1 + \frac{\mu_{3MWL}(j) k_{\Pi MWL}}{d_{MWL}} \right),$$

$$T_{BL}(k) = \frac{1}{\mu_{3BL}(k) - \lambda_{BL}(k)} \left( 1 + \frac{\mu_{3BL}(k) k_{\Pi BL}}{d_{BL}} \right) -$$

соответственно среднее время обслуживания  $i$ -го требования инфраструктурного уровня ИКС,  $j$ -го требования промежуточного уровня ИКС,  $k$ -го требования базового уровня ИКС.

При этом дисперсия времени обслуживания требований находится как второй центральный момент от  $Q(v)$ , т.е.:

$$D(t_v) = \frac{d^2}{dv^2} \left[ \frac{Q(v)}{Q(0)} \right]_{v=0} - T_v^2 = T_v^2 + \frac{2k_{\Gamma} k_{\Pi} T_{\Pi}^2 \mu_3}{\mu_3 - \lambda}. \quad (48)$$

Для оценивания среднего значения и дисперсии числа требований удобно воспользоваться производящей функцией (вида  $P(Z) = \sum_{k=0}^{\infty} Z^k P_k$ ):

$$P(Z) = (\mu_3 - \lambda) / \left[ -\lambda Z + \frac{\mu_3(\lambda - \lambda Z + d)}{(\lambda - \lambda Z)k_{\Gamma} + d} \right]. \quad (49)$$

Начальные моменты первого и второго порядков рассматриваемой случайной величины, а именно количества требований в секунду, определяются путем дифференцирования производящей функции:

$$L_1 = P'(1) = \lambda M[t_v]. \quad (50)$$

$$L_2 = P'(1) + P''(1) = \lambda M[t_v] + \lambda^2 M[t_v^2]. \quad (51)$$

При этом количество требований составит  $L_1$ , а его дисперсия равна  $L_2 - L_1^2$ .

Тогда среднее количество требований и дисперсия будут соответственно равны

$$L_v - L_1 = \lambda M[t_v] = \frac{\rho}{k_{\Gamma} - \rho} \left( 1 + \frac{\mu_3 k_{\Pi}}{d} \right). \quad (52)$$

$$D(L_v) = L_2 - L_v^2 = \left[ \frac{\rho}{k_{\Gamma} - \rho} \left( 1 + \frac{\mu_3 k_{\Pi}}{d} \right) \right]^2 + \frac{\rho}{k_{\Gamma} - \rho} \left( 1 + \frac{\mu_3 k_{\Pi}}{d} \right) + \frac{2\lambda^2 k_{\Gamma}^2 T_{\Pi}^2 k_{\Pi}}{k_{\Pi} - \rho}. \quad (53)$$

А среднее количество требований, находящихся в очереди составит

$$L_q = \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) P_n = \sum_{n=1}^{\infty} n P_n - \sum_{n=1}^{\infty} P_n = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n - \sum_{n=0}^{\infty} P_n + P_0 = L_v - 1 + P_0. \quad (54)$$

Используя выражения для вероятности и для значения  $L_v$ , можно получить значение  $L_q$ :

$$L_q = \frac{\rho}{k_{\Gamma} - \rho} \left( 1 + \frac{\mu_3 k_{\Pi}}{d} \right) - 1 + (1 - \lambda h_1) \frac{1 - e(\lambda)}{1 - e(\lambda) + \lambda e(\lambda) \varphi} = \frac{\rho}{k_{\Gamma} - \rho} \left( 1 + \frac{\mu_3 k_{\Pi}}{d} \right) - 1 + k_{\Pi} - \rho = \frac{\rho}{k_{\Gamma} - \rho} \left( 1 + \frac{\mu k_{\Gamma} k_{\Pi}}{d} \right) - \rho - k_{\Pi}. \quad (55)$$

Преобразуя (55) можно получить более удобное соотношение:

$$L_q = \frac{\rho^2}{k_{\Gamma} - \rho} + k_{\Pi} \left[ \frac{\rho}{k_{\Gamma} - \rho} \left( 1 - \frac{\mu_3}{d} \right) - 1 \right]. \quad (56)$$

Дисперсия числа требований, находящихся в очереди

$$D(L_q) = \sum_{n=1}^{\infty} (n-1 - L_q)^2 P_n. \quad (57)$$

После подстановки соответствующих значений и некоторых преобразований получаем

$$D(L_q) = 2L_v^2 - L_q^2 (2 - \rho) - L_q + k_{\Pi} \left( L_q^2 + \frac{2\lambda^2 k_{\Gamma}^2 T_{\Pi}^2}{k_{\Gamma} - \rho} \right) \quad (58)$$

Таким образом, разработанная математическая модель ИКС СН, как объекта управления, позволяет получить выражения для основных вероятностно-временных характеристик функционирования ИКС СН в различных условиях воздействия среды.

### Выводы

Принципиально новый подход к формированию модели ИКС СН состоит в том, что предлагается ИКС представить трехуровневой мультисетевой моделью, каждый уровень которой задается вполне определенной сетью услуг, предоставляющей фиксированные услуги

конкретного уровня: инфраструктурного, промежуточного и базового. Выделенные в ИКС СН уровневые сети услуг целесообразно рассмотреть как определенные ее архитектурные компоненты: инфраструктурный, промежуточный и базовый, которые фактически определяют функционирование всей ИКС СН в условиях различных случайных и преднамеренных воздействий, характеризуя такое важное ее свойство как устойчивость, которое определяет возможность функционирования ИКС СН с требуемыми качественными показателями в условиях комплекса воздействий на нее для всех этапов функционирования.

Предложено представить процессы, протекающие на каждом из трех функциональных уровней (в уровне компоненте) ИКС СН в виде соответствующих процессов обслуживания. При этом, каждый элемент инфраструктурного, промежуточного или базового уровня, связанный с обработкой информации и предоставлением соответствующего сервиса, представлен моделью обслуживания, описываемой системой дифференциальных уравнений для вероятностей состояния модуля обслуживания уровня компонента.

#### Литература

1. Легков К.Е., Буренин А.Н. Проблемы математического описания потоков управляющей информации в процессе управления современной инфокоммуникационной сетью специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 10. С. 43–46.
2. Буренин А.Н., Легков К.Е., Левко И.В. Вопросы организации и модели функционирования современных

инфокоммуникационных сетей // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 70–79.

3. Легков К.Е., Буренин А.Н. Обустойчивости управления серверным оборудованием современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 12. С. 47–50.

4. Буренин А.Н., Легков К.Е., Умаров А.Б., Борисов А.Ю. К вопросу моделирования функционирования современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 1. С. 52–58.

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

6. Буренин А.Н., Легков К.Е. Вопросы безопасности инфокоммуникационных систем и сетей специального назначения: основные угрозы, способы и средства обеспечения комплексной безопасности сетей // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 3. С. 46–61.

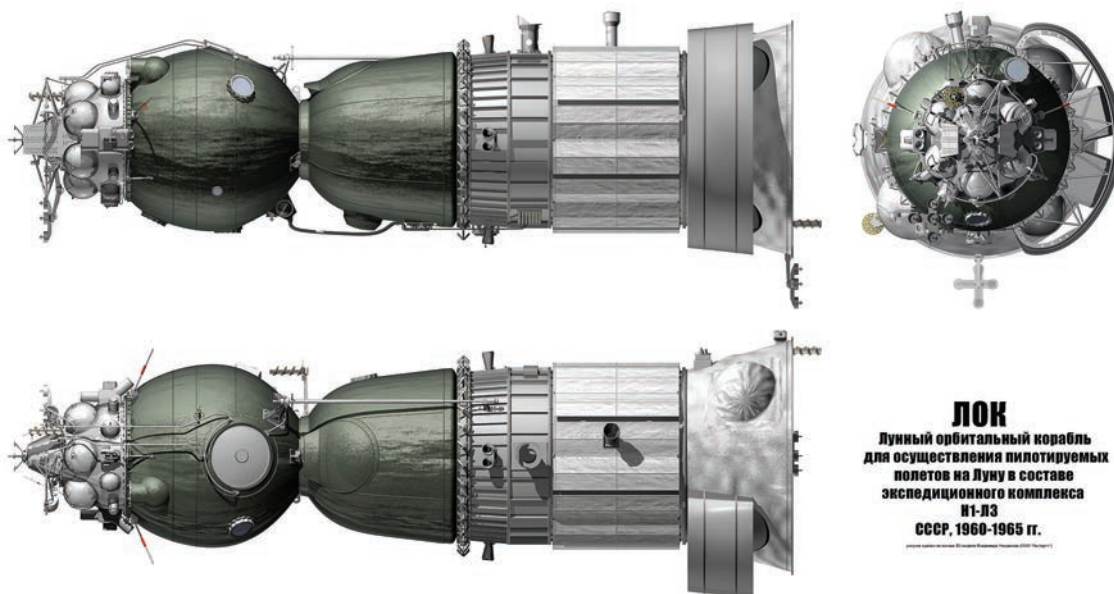
7. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1982. 552 с.

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

9. Буренин А.Н., Легков К.Е. Методические подходы к формализации и управления инфокоммуникационными системами и сетями специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 5. С. 64–67.

#### Для цитирования:

Легков К.Е. Математическая модель инфокоммуникационной системы специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 6–14.



**ЛОК**  
 Лунный орбитальный корабль  
 для осуществления пилотируемых  
 полетов на Луну в составе  
 экспедиционного комплекса  
 Н1-Н3  
 СССР, 1960-1965 гг.

## A MATHEMATICAL MODEL OF THE INFOCOMMUNICATION SYSTEM OF SPECIAL PURPOSE

**Legkov Konstantin Evgenyevich,**  
St. Petersburg, Russian, constl@mail.ru

### Abstract

The study of the functioning of the infocommunication system is carried out without observation of her. Only observation for her elements, models of her fragments, natural experiment on real equipment are possible. Sometimes, we want to build a meaningful description of processes of functioning of the system, for which relevant hardware and equipment while not exist really and is only created, exist only in the form of projects, technical documentation. In these cases, to compose a meaningful description of the process the accumulated experience and observation of processes of functioning of similar networks and information systems with the new system are used. In addition to the information directly describing the processes and phenomena in infocommunication system, a meaningful description include additional materials: various patterns, architecture and schemes.

Infocommunication system is a set of databases, tools for information processing, information and telecommunication networks and a number of user terminals. Thus, the access to system information resources is implemented through the services of a new type, called authorized infocommunication services. It is supposed that they will prevail in the infocommunication system of special purpose in the near future. A great impact on the requirements for info-communication services has a process of convergence, leading to the fact that they become available to users regardless of the access methods. The concept of creating an ICT system is largely based on system and technical solutions, which has been developed by international organizations of standardization. It is planned, that the interaction of servers in the service delivery has been process on the basis of the protocols specified by the IETF (MEGACO), ETSI (TIPHON), the Forum, 3GPP2, etc. For services management will be used protocols N. 323 (N. 325), SIP and approaches used in intelligent networks. Features of infocommunication systems is that they are composed of a large number of diverse components and not from a relatively small number of less variety of large switching devices, as in many existing networks. In addition, in networks of infocommunication systems will be supported by a larger number of interfaces than in existing networks, different alarms and higher throughput. All this leads to the need

of revision of the principles and approaches of traditional network management.

**Keywords:** functioning; infocommunication networks of a special purpose; information influence; management; architectural construction.

### References

1. Legkov K.E., Burenin A.N. Problems of mathematical description of flows of management information in the management of modern communication network of the special setting // T-Comm. 2014. Vol. 8. No. 10. Pp. 43–46. (In Russian).
2. Burenin A.N., Legkov K.E., Levko V.I. Questions of the organization and models of functioning of modern infocommunication networks // H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 70–79. (In Russian).
3. Legkov K. E., Burenin A. N. About the sustainability management of server equipment of modern communication networks // T-Comm. 2014. Vol. 8. No. 12. Pp. 47–50. (In Russian).
4. Burenin A.N., Legkov K.E., Umarov B.A., Borisov A.Y. the problem of modeling the functioning of modern communication networks of the special setting // H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 1. Pp. 52–58. (In Russian).
5. Burenin A.N., Legkov K.E. Sovremennye infokommunikatsionnye sistemy i seti. Osnovy postroeniya i upravleniya transliteratsiya nuzhna [Modern infocommunication systems and networks. Fundamentals of construction and management]. Moscow, Media Publisher Publ., 2015. 348 p. (In Russian).
6. Burenin A.N., Legkov K.E. security of infocommunication systems and networks: the main threats, the ways and means of ensuring comprehensive network security // H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 3. Pp. 46–61. (In Russian).
7. Venttsel' E.S. Issledovanie operatsii [Operations research]. Moscow, Sovetskoe radio, 1982. 552 p. (In Russian).
8. Zakharov G.P. Metody issledovaniya setei peredachi danykh [Research methods of data networks]. Moscow, Radio i svyaz', 1982. 208 p. (In Russian).
9. Burenin A.N., Legkov K.E. Methodological approaches to formalize management infocommunication systems and networks of special purpose // H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 5. Pp. 64–67. (In Russian).

### Information about authors:

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

### For citation:

Legkov K.E. A mathematical model of the infocommunication system of special purpose. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 6–14. (In Russian).

www.glonass-forum.ru

www.navitech-expo.ru



МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
**НАВИГАЦИОННЫЙ  
ФОРУМ**

8-я международная  
выставка

**НАВИТЕХ**

10–13 МАЯ 2016

ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»  
МОСКВА

В одни сроки  
с выставками  
**«СВЯЗЬ»**  
и **«СТЛ»**

В РАМКАХ «РОССИЙСКОЙ НЕДЕЛИ  
ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»



РЕКЛАМА 12+

Организатор форума

Оператор форума

Стратегический партнер форума

Организатор выставки



# ОБНАРУЖЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВА ПОИСКА ЭВРИСТИЧЕСКИМИ АЛГОРИТМАМИ

## Нейдорф

### Рудольф Анатольевич,

д.т.н., профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем  
Донского государственного технического университета,  
г. Ростов-на-Дону, Россия,  
gap\_pro@mail.ru

## Черногоров

### Иван Владимирович,

аспирант Донского государственного технического университета,  
г. Ростов-на-Дону, Россия,  
hintavr@gmail.com

## Ярахмедов

### Орхан Тахир оглы,

аспирант Донского государственного технического университета,  
г. Ростов-на-Дону, Россия,  
orhashka@gmail.com

## Полях

### Виктор Васильевич,

аспирант Донского государственного технического университета,  
г. Ростов-на-Дону, Россия,  
silvervpolyah@gmail.com

## Ключевые слова:

оптимизация; экстремум;  
многоэкстремальность; поисковая оптимизация, кластеризация;  
эвристические методы; метод роящихся частиц; муравьиный алгоритм;  
эволюционно-генетический подход.

## АННОТАЦИЯ

Исследуется проблема поискового выявления и оценки экстремумов на поверхностях со сложной структурой. Главное внимание уделяется оценке эффективности решения задач поисковой оптимизации многоэкстремальных объектов, сложность которых существенно выше сложности одноэкстремальных задач. Авторы придерживаются мнения, что наиболее актуальным инструментом для нахождения всех экстремумов исследуемого объекта, как глобальных, так и локальных, являются эвристические методы. В связи с этим большое место в работе занимает рассмотрение трех наиболее известных, исследованных и востребованных на сегодняшний день эвристических методов: алгоритма роящихся частиц, муравьиного алгоритма и эволюционно-генетического алгоритма. В каждом из этих алгоритмов помимо общеизвестных и ставших классическими поисковых конструкций и инструментов были использованы свои оригинальные специфические подходы по обнаружению, идентификации и количественной оценке оптимумов. Эти подходы объединяет необходимость осуществления предметно обусловленной и предельно эффективной кластеризации данных. Исследования показали, что каждый метод принципиально может обеспечить обусловленные предметной областью применения необходимые или заданные, как качественные, так и точностные составляющие решения экстремальной задачи. Под качественной составляющей понимается процент обнаруженных экстремумов исследуемой поверхности, а под точностной – близость получаемых количественных оценок реальным значениям. При этом показано, что, благодаря применяемым модификациям, решение может быть осуществлено с использованием приемлемого ресурса времени. Исследование всех трех методов ведется поисковым анализом тестовых функций Растригина и предложенных авторами новых тестовых  $\lambda$ -функции. Результатом проведения экспериментов явилось обнаружение всех экстремумов в исследуемых областях тестовых функций. Данный факт говорит о том, что все три алгоритма пригодны для решения задач, которые характеризуются многоэкстремальностью. Приведены наилучшие результаты, которые были получены по каждому из методов, и время, которое было затрачено на их получение. Методы показали приблизительно идентичные поисковые свойства, и могут применяться исследователями, исходя как из предметной сущности решаемых задач, так и из личных предпочтений и имеющегося опыта.



## Введение

Современные проблемы борьбы с чрезвычайными ситуациями, внутренними и внешними угрозами и пр. часто связаны с необходимостью поиска, обнаружения и оценки неких угроз различного свойства (спрятанные наркотики, взрывчатые вещества, замаскированные цели и т.п.). Предположим, результаты обнаружения этих объектов и оценки уровня их опасности могут быть представлены как некоторой моделью поверхности в пространстве соответствующей размерности, рельеф, который отражает этот уровень. Тогда задача оценки угрожающей ситуации можно свести к теоретическому исследованию этой поверхности, в частности, нахождению локальных и глобальных экстремумов, отражающих количество, общий уровень угроз и их максимум. Иными словами, приходится решать сложную задачу поисковой оптимизации [1]. Характерно, что в этом случае необходимо отыскания и оценки всех значимых экстремумов, а большинство известных на сегодня методов оптимизации разработано и эффективно используется для нахождения одного экстремума, чаще всего, глобального. Такое несоответствие возникающих задач и существующих методов обуславливает актуальность разработки и исследования новых или модифицированных специфических методов, адекватных этим задачам. Скорее всего, такие методы нецелесообразно искать в классе детерминированных подходов. Последние слишком чувствительны к знакопеременности и разрывности функций отклика в континуальных факторных пространствах, или же реализуются NP-полными алгоритмами в дискретных пространствах. Поэтому для решения реальных оптимизационных задач все чаще стремятся применять методы из группы методов, получивших название «эвристических». Эти методы наиболее перспективны и для решения многоэкстремальных (МЭ) задач [1–3].

## Постановка задачи

В свете сказанного необходимо исследовать наиболее распространенные методы эвристической поисковой оптимизации (ЭПО) в среде МЭ задачи, адекватной указанной проблемной области. Целью исследования должна быть оценка возможности получения полной картины экстремальности поверхности поиска, включая общее количество экстремумов и нахождение значений каждого из них. Иными словами, каждым из исследуемых методов нужно осуществить многоэкстремальный поиск (МЭП). В задачи МЭП входит также оценка точности и временного ресурса, как вычисления значений экстремумов, так и нахождение их координат.

В связи с этим первым этапом исследований должен быть либо выбор адекватной задаче МЭ тестовой функции (ТФ), либо ее разработка. Такая функция должна послужить общей для всех методов средой решения МЭ задач.

## Многоэкстремальная тестовая функция Растригина

Из распространенных и результативных тестовых функций для отладки и исследования методов ЭПО являются функции Розенброка, Химмельблау, Растригина. Функция, предложенная в 1974 году Леонардом Растригиным [4], демонстрирует неограниченную многоэкстремальность. Уравнение тестовой функции Растригина (ТФР) имеет вид:

$$R(x) = A * n + \sum_{i=1}^n [x_i^2 - A * \cos(2 * \pi * x_i)], \quad (1)$$

где  $A$  – выбираемый исследователем под задачу коэффициент.

Независимо от  $A$  глобальный минимум этой функции  $-f_{\min}^{gl}(0)=0$ . Вид ее двумерного варианта представлен на рис. 1.

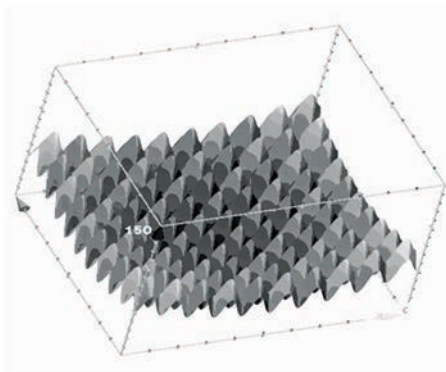


Рис. 1. Структура функции Растригина

Нахождение глобального минимума этой функции представляет собой весьма трудную задачу. Это связано с неограниченной областью поиска и неограниченным количеством локальных минимумов, на которых большинство алгоритмов зацикливается. Выделение и оценка локальных экстремумов является еще более неординарной и сложной задачей.

## Специализированная тестовая многоэкстремальная функция

Недостатком ТФР как тестовой функции является ее регулярность. Достаточно развитый адаптивный алгоритм может легко уловить период чередования экстремумов. Поэтому авторами разработана тестовая функция, в которой можно исключить периодичность появления экстремумов в факторном пространстве.

Другим недостатком ФР и других МЭ ТФ является их аналитичность. Отсутствие недифференцируемых или плохо дифференцируемых областей значительно облегчает работу алгоритма по оценке структуры исследуемой поверхности. Реальный поиск угроз затрудняется тем, что они обычно координатно различимы только вблизи. Наличие ощутимой кривизны поверхности на удалении от экстремума облегчает его отыскание. Поэтому экстремум в ТФ должен быть

максимально приближен к импульсной форме, а его окрестность – минимально искривлена.

В связи со сформулированными требованиями универсальная МЭ ТФ сконструирована на основе разработанной одним из авторов для целей аппроксимации специальной «мультипликативно выделяющей функции» (МВФ) [5]. Математическая модель такой двумерной МЭ ТФ имеет вид

$$\lambda(x, y, S) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \cdot \lambda_k^x(x, x_{k-1}, x_k, \varepsilon) \cdot \lambda_k^y(y, y_{k-1}, y_k, \varepsilon), \quad (2)$$

где  $\alpha_k$  – коэффициент, эмулирующий величину экстремума, а для  $z \in \{x, y\}$

$$\lambda_k^z(z, z_{k-1}, z_k, \varepsilon) = \frac{\left[ z - z_{k-1} + \sqrt{(z - z_{k-1})^2 + \varepsilon^2} \right] \cdot \left[ z_k - z + \sqrt{(z_k - z)^2 + \varepsilon^2} \right]}{4 \cdot \sqrt{[(z - z_{k-1})^2 + \varepsilon^2] \cdot [(z_k - z)^2 + \varepsilon^2]}}. \quad (3)$$

Здесь  $S = \{x_{k-1}, x_k, y_{k-1}, y_k, \varepsilon\}$  – множество настроечных параметров ТФ:  $z_{k-1}, z_k$  – начальные и конечные координаты импульса-экстремума для  $x$  и  $y$ ;  $\varepsilon$  – параметр настройки крутизны фронтов импульса.

На рис. 2 изображены два варианта  $\lambda$ -функции ( $\lambda$ -Ф), эмулирующей согласно (2) за счет свойств двумерное пространство с тремя минимумами (отображающими, например, угрозы) и пятью максимумами, которые могут моделировать противодействия. Вариант на рис. 2а получен для  $\varepsilon = 2$  и может использоваться как начальный отладочный тест, т.к. пространство окрестности каждого экстремума сильно искривлено и позволяет оценивать направления движения к экстремумам. На рис. 2б изображена поверхность для жесткого теста с импульсными экстремумами при  $\varepsilon = 0,1$ .

### Исследование многоэкстремальных тестовых функций алгоритмом роящихся частиц

Как сущность алгоритма роящихся частиц (АРЧ), так и основания для его использования в задачах

ЭПО хорошо известны [6–9]. Канонический вариант АРЧ (см. [6]) был значительно переработан авторами [10, 11]. В результате сконструирована и исследована его модификация для решения задач МЭП.

Модель механического движения (ММД) частиц в модифицированном алгоритме представлена следующей системой уравнений:

$$X_{ti} = X_{(t-\Delta t)i} + \vec{V}_{(t-\Delta t)i} * \Delta t, \quad (4)$$

$$\vec{V}_{ti} = \vec{V}_{(t-\Delta t)i} + \vec{A}_{(t-\Delta t)i} * \Delta t, \quad (5)$$

$$\vec{A}_{ti} = \vec{A}_{pi} + \vec{A}_{tri}, \quad (6)$$

$$\vec{A}_{pi} = \vec{A}_{pi}^G + \vec{A}_{pi}^L + \vec{A}_{pi}^C, \quad (7)$$

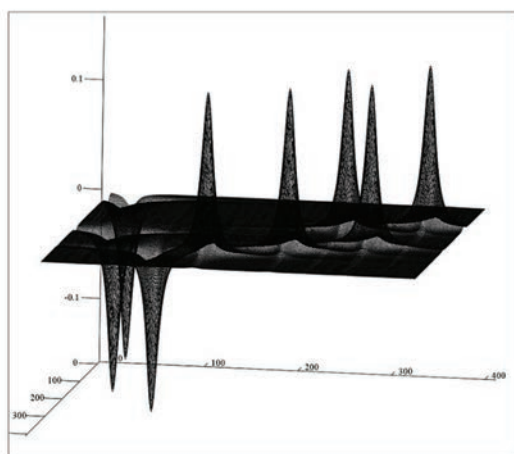
$$\vec{A}_{pi}^Q = \vec{G}_Q * m_i * m_3 / (r^2 + \varepsilon), \quad Q \in \{G, L, C\}, \quad (8)$$

$$\vec{A}_{tri} = -\mu * \vec{V}_{(t-\Delta t)i}, \quad (9)$$

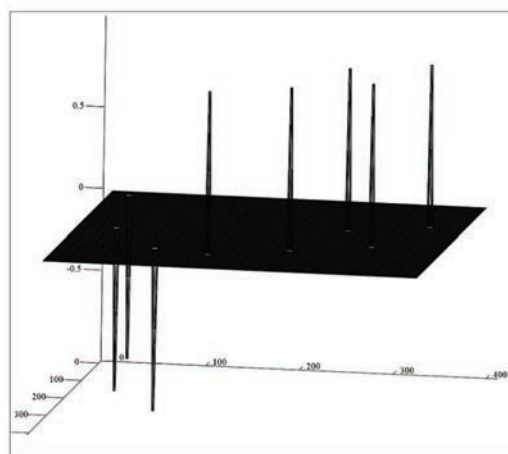
$$\lambda^\pi(\xi) = \lambda * (1 + 2 * \xi(\text{rnd}(1) - 0.5)),$$

$$\lambda^\pi(\xi) \in \{\mu, \vec{G}_Q, C_Q, An, D\}, \quad (10)$$

Здесь в (4) и (5)  $X_{t-\Delta t}$  и  $X_{ti}$  – предыдущее и текущее положения  $i$ -й частицы,  $\Delta t$  – интервал интегрирования по времени,  $\vec{V}_{t-\Delta t}$  и  $\vec{V}_{ti}$  – скорости  $i$ -й частицы в предыдущий и текущий моменты времени,  $\vec{A}_{t-\Delta t}$  – ускорение частицы в предыдущий момент времени. В формулах (6–9) использованы обозначения:  $\vec{A}_{pi}^G, \vec{A}_{pi}^L, \vec{A}_{pi}^C$  – ускорение «биологического притяжения» частиц к глобальному экстремуму, к лучшей позиции найденной частицей за всё время, к центру ближайшего кластера,  $\vec{A}_{tri}$  – замедление трением. Там же  $\vec{G}_Q$  – это аналог «биологической гравитации»,  $m_i = m_3$  – биоаналоги массы притягивающихся частиц,  $r$  – расстояние между текущим положением частицы и текущим экстремумом;  $\varepsilon$  – малая корректирующая константа ( $\varepsilon = 1E-16$ ), (устранение проблемы при  $r=0$ ),  $\mu$  – коэффициент трения. Выражение (10) задает стохастически размываемый параметр  $\lambda^\pi = (\zeta)$  (размываемые параметры выбираются пользователем ПС «под



а)



б)

Рис. 2. Тестовая  $\lambda$ -функция эмуляции трех минимумов и пяти максимумов в двумерном пространстве а)  $\varepsilon = 2$  (пологие экстремумы); б)  $\varepsilon = 0,1$  (импульсные экстремумы).

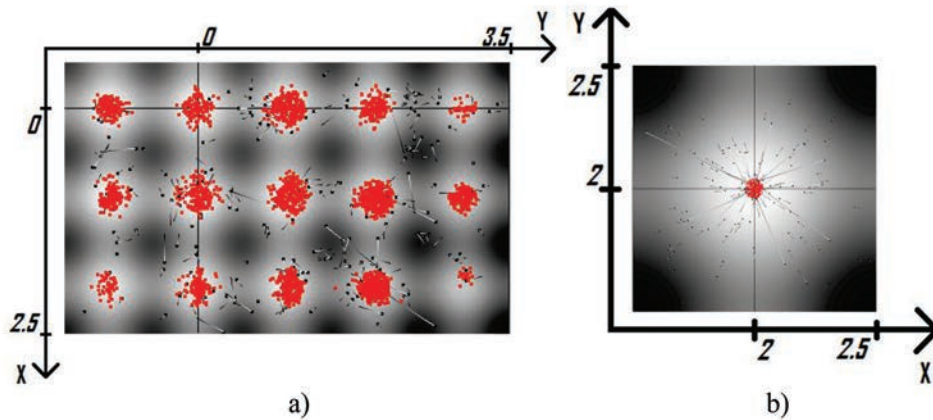


Рис. 3. Локализация областей экстремумов ТФР в ходе работы АРЧ

задачу», где  $\zeta$  – относительное отклонение искажаемого параметра от номинального значения,  $rnd(1)$  – случайное вещественное число в диапазоне  $[0, 1]$ ,  $C_Q$  – условный центр притяжения частицы,  $A_n$  – угол отражения частицы от границы рассматриваемой области,  $D$  – коэффициент диссипации (потери энергии при неупругом ударе частицы о границу).

При решении задач МЭП в алгоритме используются механизмы естественной кластеризации частиц, порождаемой и параметрически настраиваемые свойствами алгоритма:

- градиентный, основанный на действии формул (4–5) ММ, определяющих чувствительность частиц к смене знака скорости изменения оптимизируемого критерия исследуемого объекта;
- потенциальный, основанный на действии формул (5) и (7, 8), определяющих введение в ММД сил притяжения ко всем обнаруженным при роении и сканировании пространства поиска локальным экстремумам.

Проверка эффективности АРЧ МЭП на ТФР осуществлена в намеренно смещенном координатном диапазоне  $x \in [-0,5, 2,5]$ ,  $y \in [-1,5, 3,5]$ . В этой области ТФР (см. форм. (1)) имеет 15 минимумов, один из которых является глобальным. Постоянными параметрами АРЧ для всех опытов являются количество частиц  $N = 100$  и количество итераций  $K = 100$ , остальные параметры являются настраиваемыми.

На рис. 3а показана локализация областей всех экстремумов и создание соответствующих кластеров. На рисунке 3б отображена последующая итеративная идентификация одного из экстремумов в диапазоне  $(x, y) \in [1,5, 2,5]$ . После операций выделения областей экстремумов и создания соответствующих кластеров на ТФР удалось выделить все 15 областей экстремумов при временных затратах (ВЗ)  $\sim 110$  секунд. и со средней погрешностью в  $\sim 2,037\%$ . Дополнительная локализация позволила уменьшить погрешность до  $\sim 0,06\%$  при ВЗ  $\sim 60$  секунд.

Более жесткая проверка эффективности АРЧ МЭП на  $\lambda$ -Ф проведена в координатном диапазоне  $(x, y) \in [0, 100]$ . В этой области  $\lambda$ -Ф (см. форм. (2)) обладает 8 локаль-

ными экстремумами (3 минимума и 5 максимумов). В каждой группе экстремумов есть глобальный экстремум.

Для одновременного поиска как минимумов, так и максимумов  $\lambda$ -Ф частицы были поделены на две группы поиска минимумов и максимумов.

На рис. 4а показана локализация областей всех экстремумов и создание соответствующих кластеров (красные точки – кластеры угроз, синие – противодействий). На рис. 4б приводится последующая итеративная идентификация минимума (угрозы) в диапазоне  $x \in [45, 55]$ ,  $y \in [5, 15]$ .

Выделение областей экстремумов и создание соответствующих кластеров на  $\lambda$ -Ф позволило найти все 8 экстремумов со средней погрешностью в  $\sim 0,485\%$  и ВЗ  $\sim 50$  секунд. Дополнительная локализация уменьшила погрешность до  $\sim 0,00006\%$ , при ВЗ  $\sim 26$  секунд.

### Исследование многоэкстремальных тестовых функций муравьиным алгоритмом

Муравьиные алгоритмы (МА) используются во многих оптимизационных задачах [12], преимущественно относящихся к транспортно-логистическим проблемам, реализованным в виде графа [13]. В их основе лежат особенности субоптимального поведения реальных муравьев [14]. Настоящая работа опирается на классическую реализацию МА, применяемую к задачам на графах [15, 16]. Однако, в связи с неординарностью задачи многоэкстремальной оптимизации, поиск дополнен некоторыми алгоритмическими инструментами, обеспечивающими нахождение, выделение и локализацию всех найденных в зоне поиска экстремумов – МА МЭП [17].

При переходе находящийся в  $ij$ -м фрагменте  $\Phi_{ij} \in \Phi$  муравей оценивает все смежные фрагменты  $\Phi_{kl} \in \Phi$  и рассчитывает вероятности  $P_{ij}^{kl}(t)$  перехода в соседние  $kl$ -е фрагменты по формуле:

$$\forall t \in T, i \in I, j \in J, k \in \{i-1, i+1\}, l \in \{j-1, j+1\} \rightarrow P_{ij}^{kl}(t) = \begin{cases} \forall f(i, j) > f(k, l) \rightarrow Q(t, \dots); \\ \forall f(i, j) \leq f(k, l) \rightarrow 0. \end{cases} \quad (11)$$

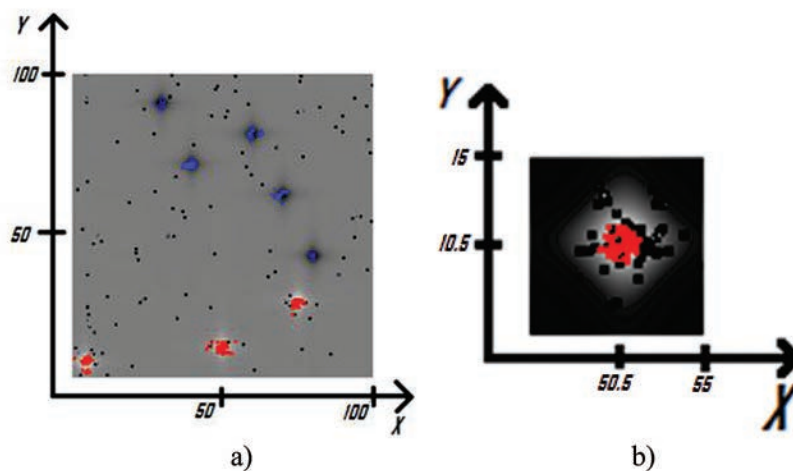


Рис. 4. Локализация областей экстремумов ЛФ в ходе работы АРЧ

Здесь  $T = \{1, 2, \dots, N\}$  – множество итераций алгоритма;  $f(*, *)$  – значение функции в центре фрагмента  $\Phi_{*,*}$ ;  $Q = Q(t, \tau_{kl}, \{\chi_q\})$  – функция количества феромона в ячейках, которая зависит от привлекаемых в используемой версии МА настроечных  $\{\chi_q\}$  и пошаговых параметров МА;  $\tau_{kl}$  – новое значение количества феромона в фрагменте  $\Phi_{kl}$ . Оно рассчитывается на каждом шаге по следующим формулам:

$$\tau_{kl} = (1 - \rho) * \tau_{kl} + \Delta\tau_{kl}, \quad (12)$$

где  $\rho \in (0; 1)$  – коэффициент испарения;  $\tau_{kl}$  – содержание феромона на участке  $\Phi_{kl}$ ;  $\Delta\tau_{kl}$  – приращение на каждой итерации, вычисляемое как

$$\Delta\tau_{kl} = \sum_{h=1}^q (K * |f(k, l) - f(i, j)|), \quad (13)$$

где  $K$  – коэффициент прироста феромона.

Нахождение и локализация экстремумов является результатом проверки условия останова. При поиске минимума, например, и  $f(k, l) > f(i, j)$ , переход во фрагмент  $\Phi_{kl}$  из фрагмента  $\Phi_{ij}$  запрещен. Таким образом,

алгоритм остановится на той итерации  $N$ , на которой все муравьи потеряют возможность перемещаться. Это будет означать, что все муравьи занимают фрагменты с наименьшим значением функции относительно соседних фрагментов, т.е. они нашли локальные минимумы с координатной точностью, определяемой размерами фрагментов.

На основе алгоритма, описанного математической моделью (11–13) разработано ПС, производящее поиск локальных и глобальных экстремумов, и оценивающее их значения. В качестве тестовых функций были использованы ТФР и предложенная в данной работе  $\lambda$ -Ф. На рис. 5 показан результат локализации экстремумов для ТФР. Для исследования выбран участок  $x \in [-0,5, 2,5]$ ,  $y \in [-1,5, 3,5]$ . Выделенная область делилась с шагом 0,05. На рис. 5а изображена начальная расстановка агентов. Уже после 7 шагов (рис. 5б) очевидно повышении концентрации агентов в областях экстремумов. Локализация завершилась после 26 шагов – рис. 5с. Таким образом, на первом этапе работы алгоритма примерно за 50 с. найдены все экстремумы.

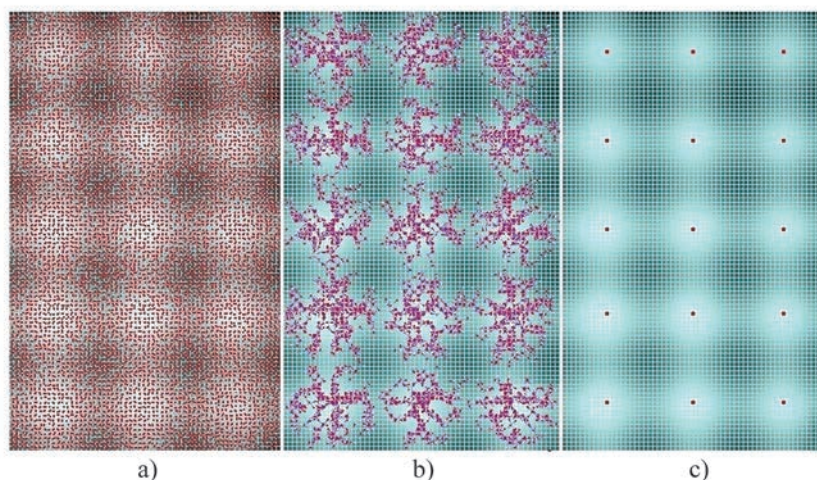


Рис. 5. Визуализация локализованных экстремумов: а) инициализация; б) 7-я итерация; с) финальный результат на 26 шаге

Для получения уточненных значений экстремумов и их координат алгоритм может применяться повторно ко всем или отдельным локализованным участкам с целью достижения заданной точности оценки величины экстремума. В результате локализация и три последовательных уточнений экстремума с координатами в точке (0;0) заняло 240 итераций и примерно 140 секунд. Полученные в результате координаты центра ячейки, в которой скопились агенты равны (0,000000025; 0,000000025), т.е. определены с ошибкой в  $2,5 \cdot 10^{-8}$ . Оценка нулевого минимума исследуемой локализованной области составила  $2,451E-13$ .

Эффективность МА проверилась также на  $\lambda$ -Ф в координатном диапазоне  $(x, y) \in [0, 100]$  с 8-ю экстремумами (5 максимумов и 3 минимума). На рис. 6 показаны некоторые этапы поиска на примере оптимизации  $\lambda$ -Ф. Видно, что уже после 30 итераций концентрация агентов в областях экстремумов повышается. Желтым цветом обозначены агенты, нацеленные на поиск максимумов, а красным – на поиск минимумов. В результате работы МА за 70 итераций выявлены все 8 экстремумов.

По итогам локализации и 3 этапов уточнения экстремума (минимума) расположенного в точке (5,5;5,5) было получена координата (5,499999; 5,499999). В данной точке значение функции равно  $F = -0,148996571608503$ , против эталонного в точке (5,5;5,5)  $F = -0,1489965716$ . Временные затраты на локализацию и 3 последовательных уточнения составили примерно 220 секунд.

#### Исследование многоэкстремальных тестовых функций эволюционно-генетическим алгоритмом

В связи с тем, что эволюционно-генетический алгоритм (ЭГА) является наиболее распространенным методом решения оптимизационных задач, целесообразно проверить его эффективность при исследовании многоэкстремальных объектов [18–19]. В связи с таким расширением функционала ЭГА нуждается в дополнительных инструментах оценки и селектирования

экстремумов, как по типу и величине, так и по координатам в факторном пространстве [20]. В качестве математического селектора найденных значений использован одновыборочный критерий Стьюдента (КС) [21]. В итоге алгоритм многоэкстремального поиска реализуется последовательным использованием ЭГА и распределении полученных в его поколениях результатов по их координатным группам с помощью КС [22–24].

Начальным этапом кластеризации является объявление наилучшей по оптимизируемому значению из всех поколений особи центром первого из формируемых алгоритмом многоэкстремального поиска (МЭП) кластера. Дальнейшим шагом алгоритма селектирования является подбор ещё двух точек с наименьшими значениями целевой функции относительно уже отобранной. Необходимостью отбора 3-х точек связана с тем, что минимум 3 точки могут дать усредненное значение группы. После этого происходит проверка отобранной группы точек на однородность. В случае если проверенная совокупность точек является однородной, продолжается отбор следующих точек с минимальным значением функции и проверка их на однородность с сформированной группой. Если значение очередной точки не вошло в уже существующую группу, то создается новая группа, в которой данная точка условно считается её центром. По окончании полного анализа полученных при помощи МЭП станет ясно, образует ли значение точки новую группу или относится к группе, которая уже сформирована.

Основной математической модели, при помощи которой можно описать предложенный подход кластеризации является последовательное сравнение средних значений группы векторов  $v = \{\Delta v = v_i - v_0 \mid i = \overline{1, n}\}$ , где  $n$  – размер группы. На основе выбранной доверительной вероятности происходит сравнение векторов и принимается решение о принадлежности или непринадлежности очередного вектора  $v$  к данной группе. Решение принимается на основе расчёта опытного значения одновыборочного критерия Стьюдента:

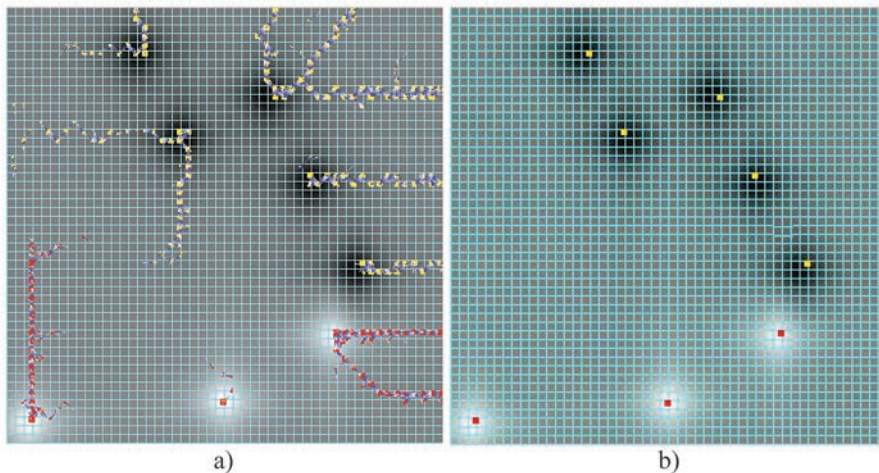


Рис. 6. Этапы локализации экстремумов ЛФ при разбиении 50x50: а) 30-я итерация; б) 70-я итерация (финальный результат)

$$t_0 = |\Delta\bar{v} - \Delta v| / S_{\{\Delta\bar{v}\}}, \quad (14)$$

где  $\Delta\bar{v}$  является средним значением длин векторов группы, с которой производится сравнение:

$$\Delta\bar{v} = \sum_{i=1}^n \Delta v_i / n, \quad (15)$$

а  $S_{\{\Delta v\}}$  – стандарт отклонения длин векторов уже обозначившегося кластера:

$$S_{\{\Delta v\}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta\bar{v} - v)^2 / (n-1)}, \quad (16)$$

$$S_{\{\Delta\bar{v}\}} = S_{\{\Delta v\}} / \sqrt{n}. \quad (17)$$

В случае, если полученное по (14–17) значение  $t_0$  не превышает табличного значения  $t_r$  при заданном параметре  $n$ -степеней свободы и выбранном уровне доверительной вероятности  $P$ , можно заключить, что  $t_0$  входит в группу объектов со средним значением которых производилось сравнение.

Для исследования тестовых функций выбрана следующая структура входных параметров ЭГА: количество поколений = 100; особей поколения = 1000; вероятность кроссинговера = 95%; вероятность мутации = 30%. Параметры рассматриваемой области функций соответствует параметрам, которые были использованы в исследованиях с применением МРЧ и МА, точность исследования = 5 знаков после запятой.

Разработанная модификация ЭГА позволила найти все 15 кластеров исследуемого фрагмента ТФР – рис. 7а. Минимальные значения каждого кластера приблизительно оценивают минимумы функции. Наименьшее отклонение от эталонного значения экстремума отмечено в точке (1,00002; 0,00031) со значением функции  $F=1,00006$  (Эталон в точке (1,0),  $F=1$ , ошибка составила  $\sim 0,01\%$ ), а наибольшее отклонение отмечено в точке (1,98795; 2,98331),  $F=12,93567$  (Эталон в точке (2;3),  $F=13$ , ошибка составила  $\sim 0,5\%$ ). На поиск затрачено  $\sim 100$  секунд.

Для повышения точности оценки можно локализовать область поиска, то есть повторно исследовать один, несколько или все из 15 кластеров [9]. На рис. 7б можно наблюдать координатную локализацию найденные значения исследуемой ТФР, которые относятся к одному из 15 обозначенных кластеров. Наиболее точный результат, который был получен в данной области находится в центре жирной черной точки. Для более точной оценки экстремального значения в данной области выделяется дополнительная область, в которой в дальнейшем проводится повторное исследование. Его результаты приведены на рис. 7с. Значение ТФР в лучшей найденной позиции (2,00051; 0,99899) = 5,00027 при эталонном значении 5. Таким образом, ошибка составила  $\sim 0,006\%$ , а временные затраты на локализацию экстремума  $\sim 80$  секунд.

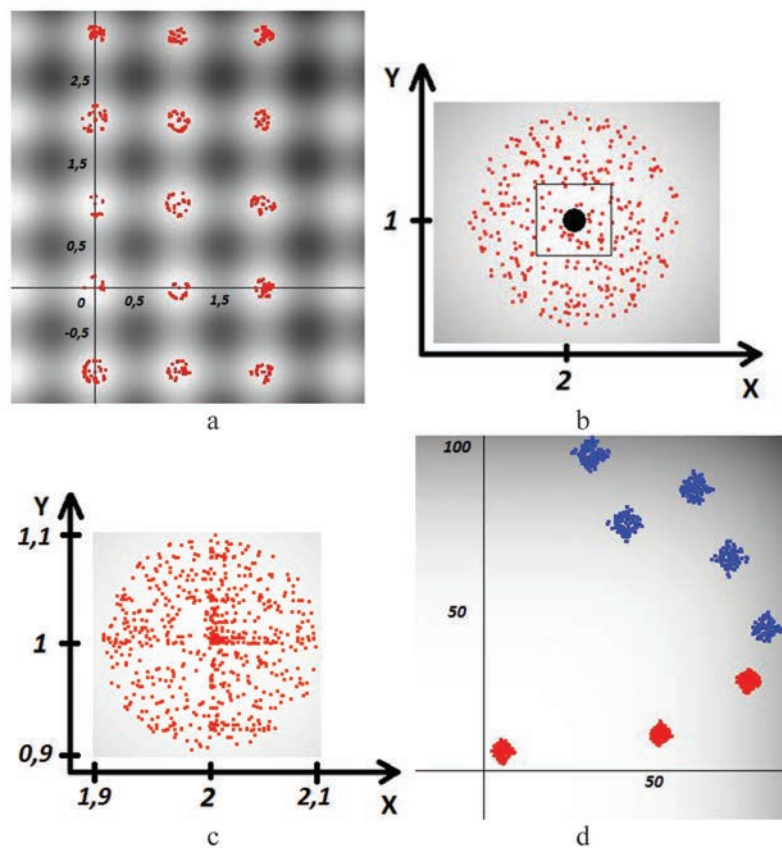


Рис. 7. Результаты исследования ТФР и  $\lambda$ -Ф

Как и в описанных ранее алгоритмах исследованию с использованием ЭГА МЭП подверглась  $\lambda$ -Ф. Для одновременного получения минимумов и максимумов к ней применен прием двойной сортировки (от минимума к максимуму и наоборот). Относительно отсортированных данных происходит одновременная кластеризация минимумов и максимумов. Стоит заметить, что одновременный поиск максимумов и минимумов, также, как и в предыдущих случаях требует больших временных затрат, нежели поиск только одного типа оптимумов. Результат исследования  $\lambda$ -Ф проиллюстрирован на рис. 7d. Сформировались 8 кластеров, в которых красными точками выделены минимумы, а синими – максимумы  $\lambda$ -Ф.

Значение лучшей найденной позиции ЛФ (5,50003; 5,50048) = -0,1489965661 (эталон F = -0,1489965716 в точке (5,5; 5,5), ошибка составила ~0,000004%). Наибольшее отклонение экстремума ЛФ в точке (50,547715; 10,701895) = -0,1473137150 (эталон F = -0,148996509 в точке (50,5; 10,5), ошибка составила ~1,13%). На исследование  $\lambda$ -Ф ЭГА МЭП затратил порядка ~150 секунд.

По окончании данного исследования, также, как и при анализе ТФР, проведена дополнительная локализация области, в которой найдено значение с наибольшим отклонением от эталонного. После выполнения уточняющего поиска в точке (50,5000225; 10,5000075) найдено значение экстремума F = -0,148996508 при эталонном значении F<sub>э</sub> = -0,148996509 в точке (50,5; 10,5). Таким образом ошибка составила ~0,0000007%. Операция дополнительной локализации заняла примерно ~50 секунд.

### Литература

1. Floudas C.A., Pardalos P.M. Encyclopedia of Optimization. 2nd ed. New York: LCC Springer Science+Business Media. 2009. 4646 p.
2. Математическая энциклопедия: в 5 т. / под ред. Виноградов И.М. М.: Советская энциклопедия, 1984. Т. 4. С. 135–140.
3. Strongin R.G. Algorithms for multi-extremal mathematical programming problems employing the set of joint space-lling curves // Global Optimization. 1992. Vol. 2. Pp. 357–378.
4. Растрингин Л.А. Системы экстремального управления. М.: Наука, 1974. 316 p.
5. Neydorf R. Bivariate “Cut-Glue” Approximation of Strongly Nonlinear Mathematical Models Based on Experimental Data // SAE International Journal of Aerospace. 2015. No. 8(1). Pp. 47–54.
6. Clerc M., Kennedy J. The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multi-dimensional complex space // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. Vol. 6. No. 1. Pp. 58–73.
7. Mendes R., Kennedy J., Neves J. The fully informed particle swarm: simpler, maybe better // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2004. No. 8(3). Pp. 204–210.
8. Нейдорф Р.А., Деревянкина А.А. Методология решения многоэкстремальных задач модифицированным методом роящихся частиц // Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства: тр. IX междунар. науч.-техн. конф. Ростов-н/Д.: ИЦ ДГТУ, 2010. С. 328–330.
9. Нейдорф Р.А., Деревянкина А.А. Решение многоэкстремальных задач методом делящихся роев // Вестник ДГТУ. 2010. Т. 10. № 4(47). С. 492–499.
10. Нейдорф Р.А., Черногоров И.В. Параметрическая настройка алгоритма поисковой оптимизации методом роящихся частиц с использованием планирования эксперимента // Международный Научный Институт «Educatio». 2015. Т. 4. № 2(9). С. 44–49.
11. Нейдорф Р.А., Черногоров И.В. Параметрическое исследование алгоритма роящихся частиц в задаче поиска глобального экстремума // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-28: сб. трудов XXVIII междунар. науч. конф.: в 12 т. / под общ. ред. А.А. Большакова. Саратов, Ярославль, Рязань, Москва. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2015. Т. 3. С. 75–80.
12. Liu X., Fu H. An effective clustering algorithm with ant colony // Journal of Computers. 2010. Vol. 5. No. 4. Pp. 598–605.
13. Dorigo M., Gambardella L.M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 1997. Vol. 1. No. 1. Pp. 53–66.
14. Кажаров А.А., Курейчик В.М. Муравьиные алгоритмы для решения транспортных задач // Теория и системы управления. 2010. № 1. С. 30–43.
15. Нейдорф Р.А., Ярахмедов О.Т. Статистическое исследование оптимизационных свойств решения классическим муравьиным алгоритмом задачи коммивояжера // Международный Научный Институт «Educatio». 2015. № 4(11). С. 141–144.
16. Нейдорф Р.А. Ярахмедов О.Т. Исследование возможностей оптимального решения задачи коммивояжера параметрически оптимизированным муравьиным алгоритмом // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-28: сб. трудов XXVIII Междунар. науч. конф.: в 12 т. / под общ. ред. А.А. Большакова. Саратов, Ярославль, Рязань, Москва. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2015. Т. 6. С. 50–54.
17. Pang C.Y., Liu H., Li X., Wang Y.-F., Hu B.-Q. Apply Ant Colony Algorithm to Search All Extreme Points of Function // 5th IEEE Conf. on industrial Electronics and Applications, Taichung, Taiwan 15-17 June 2010. Curran Associates, Inc., 2010. Pp. 1516–1521.
18. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Состояние. Проблемы. Перспективы // Теория и системы управления. 1999. № 1. С. 144–160.
19. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / под ред. В.М. Курейчика. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 320 с.
20. Shreves R. Drupal Search Engine Optimization. Birmingham: Packt Publ. Ltd, 2012. 101 p.
21. Student. The probable error of a mean // Biometrika.

1908. Vol. 6. No. 1. Pp. 1–25. URL: <http://www.dcsience.net/Student-t-1908.pdf> (дата обращения: 15.10.2015).

22. Полях В.В., Нейдорф Р.А. Исследование многоэкстремальных зависимостей с использованием эволюционно генетического метода и одновыборочного критерия Стьюдента // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-28: сб. трудов XXVIII Междунар. науч. конф.: в 12 т. Саратов, Ярославль, Рязань, Москва. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2015. Т. 6. С. 83–88.

23. Полях В.В., Нейдорф Р.А. Локализация областей поиска эволюционно-генетического алгоритма при решении задач многоэкстремального характера // Международный союз ученых «Наука. Технологии. Производство». 2015. № 6. Ч. 2. С.18–22.

24. Нейдорф Р.А., Полях В.В. Метод многоэкстремального поиска с использованием эволюционно-генетического алгоритма и выборочного критерия Стьюдента // Инновационная наука. 2015. Т. 1. № 3. С. 135–140.

#### Для цитирования:

Нейдорф Р.А., Черногоров И.В., Ярахмедов О.Т., Полях В.В. Обнаружение и оценка экстремальных особенностей пространства поиска эвристическими алгоритмами // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 16–25.

#### DETECTION AND EVALUATION EXTREME FEATURES OF HEURISTIC ALGORITHM SEARCH SPACE

**Nejdorf Rudol'f Anatol'evich,**

Rostov-on-Don, Russia, ran\_pro@mail.ru

**Chernogorov Ivan Vladimirovich,**

Rostov-on-Don, Russia, hintaivr@gmail.com

**Jarakhmedov Orkhan Takhir Ogly,**

Rostov-on-Don, Russia, orhashka@gmail.com

**Poljakh Viktor Vasil'evich,**

Rostov-on-Don, Russia, silverypolyah@gmail.com

#### Abstract

The main focus concentrate on the tasks solving problem of search optimization of multiextremal objects, whose complexity is much higher than monoextremal tasks. The authors are of the opinion that the actual tool to search all extremums of the investigated object is heuristic algorithms. In this regard, a great place in the work take place the consideration of three the most well-known and the most researched heuristics methods such as: swarming particles method, ant colony algorithm and evolutionary-genetic algorithm. In each of these methods, in addition to well-known structures, used its own specific approaches for the detection and identification of the optimum. This approach combines the need for data clustering. Each method can provide the required accuracy of the extremal tasks solving with an acceptable

time resource. Based on these three methods is carried out the research of Rastrigin test function and  $-$ function. After the experiments obtained all optimums in the researched areas of test functions. This fact suggests that all three algorithms suitable for solving the problems, which are characterized by multiextremal. The best result that obtained for each methods has showed. Also, the time that spend on their receive has noted.

**Keywords:** optimization; extremum, multiextremal; searching optimization; clusterization; heuristic methods; method swarming particles; ant algorithm; evolutionary-genetic approach.

#### References

1. Floudas C.A., Pardalos P.M. Encyclopedia of Optimization. 2nd ed. New York, LCC Springer Science+Business Media, 2009. 4646 p.
2. Vinogradov I.M. (Ed.). Matematicheskaya entsiklopediya [Mathematical encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya Entsiklopediya. 1984. Vol. 4. Pp. 135–140. (In Russian).
3. Strongin R.G. Algorithms for multi-extremal mathematical programming problems employing the set of joint space-lling curves. Global Optimization, 1992. Vol. 2. Pp. 357–378.
4. Rastrigin L.A. Sistemy ekstremal'nogo upravleniya [Systems of Extremal Control]. Moscow, Nauka, 1974. 316 p. (In Russian).
5. Neydorf R. Bivariate "Cut-Glue" Approximation of Strongly Nonlinear Mathematical Models Based on



- Experimental Data. SAE International Journal of Aerospace. 2015. No. 8(1). Pp. 47–54.
6. Clerc M., Kennedy J. The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multi-dimensional complex space. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. Vol. 6. No.1. Pp. 58–73.
  7. Mendes R., Kennedy J., Neves J. The fully informed particle swarm: simpler, maybe better. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2004. No. 8(3). Pp. 204–210.
  8. Neydorf R.A., Derevyankina A.A. Innovatsiya, ekologiya i resursosberegayushchie tekhnologii na predpriyatiyakh mashinostroeniya, aviastroeniya, transporta i sel'skogo khozyaistva, Trudy IX Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii [Proceedings of IX International Scientific and Technical Conference]. Rostov-on-Don, Donskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet Publ., 2010. Pp. 328–330. (In Russian).
  9. Neydorf R.A., Derevyankina A.A. The solution of multiextremal tasks by fissionable swarm method. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. Vol. 10. No. 4(47). Pp. 492–499. (In Russian).
  10. Neydorf R.A., Chernogorov I.V. Parametrical configuration of the search optimization algorithm by swarming particles method using experimental design techniques. Educatio. 2015. Vol. 4. No. 2(9). Pp. 44–49. (In Russian).
  11. Neydorf R.A., Chernogorov I.V. Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT-28: sbornik trudov XXVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii [Mathematical methods in technique and technologies – MMTT-28: Proceedings XXVIII International Scientific Conference]. In 12 vol. Saratov: Saratov State Technical University Publ., 2015. Vol. 3. Pp. 75–80. (In Russian).
  12. Liu X., Fu H. An effective clustering algorithm with ant colony. Journal of Computers. 2010. Vol. 5. No. 4. Pp. 598–605.
  13. Dorigo M., Gambardella L.M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 1997. Vol. 1. No. 1. Pp. 53–66.
  14. Kazharov A.A., Kureichik V.M. Ant algorithms to solve transport problems. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2010. No.1. Pp. 30–43. (In Russian).
  15. Neydorf R.A., Yarakhmedov O.T. Statistical research optimization properties of solutions of the travelling salesman problem by ant algorithm. Educatio. 2015. No. 4(11). Pp. 141–144. (In Russian).
  16. Neydorf R.A., Yarakhmedov O.T., Bol'shakov A.A. (Ed.). Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT-28: sbornik trudov XXVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii [Mathematical methods in technique and technologies – MMTT-28: Proceedings XXVIII International Scientific Conference]. In 12 vol. Saratov, Jaroslavl', Rjazan', Moscow. Saratov: Saratov State Technical University Publ., 2015. Vol. 6. Pp. 50–54. (In Russian).
  17. Pang C.Y., Liu H., Li X., Wang Y.-F., Hu B.-Q. Apply Ant Colony Algorithm to Search All Extreme Points of Function // 5th IEEE Conf. on industrial Electronics and Applications, Taichung, Taiwan 15-17 June 2010. Curran Associates, Inc., 2010. Pp. 1516–1521.
  18. Kurejchik V.M. Genetic algorithms. Condition. Problems. Prospects. Journal of Computer and Systems Sciences International. 1999. No. 1. Pp. 144–160. (In Russian).
  19. Gladkov L.A., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M. Kurejchika V.M. (Ed.). Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. 2 nd. ed. M.: FIZMATLIT, 2006. 320 p. (In Russian).
  20. Shreves R. Drupal Search Engine Optimization. Birmingham, Packt Publishing Ltd, 2012. 101 p.
  21. Student. The probable error of a mean. Biometrika. 1908. Vol. 6. No. 1. Pp. 1–25. URL: <http://www.dcsceience.net/Student-t-1908.pdf> (date of access 15.10.2015).
  22. Polyakh V.V., Neydorf R.A. Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT-28: sbornik trudov XXVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii [Mathematical methods in technique and technologies – MMTT-28: Proceedings XXVIII International Scientific Conference]. In 12 vol. Saratov, Jaroslavl', Rjazan', Moscow. Saratov: Saratov State Technical University Publ., 2015. Vol.6.Pp. 83–88. (In Russian).
  23. Polyakh V.V., Neydorf R.A. Localization search scopes evolutionary genetic algorithm for solving problems of multi nature. International Union of scientists. Science Technology Production. 2015. Vol. 2. No. 6. Pp.18–22. (In Russian).
  24. Neydorf R.A., Polyakh V.V. Method of multisearch using evolutionary genetic algorithm and sample t-test. Innovative science. 2015. Vol. 1. No. 3. Pp.135–140.

#### Information about authors:

Neydorf R.A., Ph.D., professor of the Don State Technical University;  
 Chernogorov I.V., postgraduate student of the Don State Technical University;  
 Yarakhmedov O.T., postgraduate student of the Don State Technical University;  
 Polyakh V.V., postgraduate student of the Don State Technical University.

#### For citation:

Neydorf R.A., Chernogorov I.V., Yarakhmedov O.T., Polyakh V.V. Detection and evaluation extreme features of heuristic algorithm search space. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 16–25.

# ЗАДАНИЕ ГРАНИЦ ОБЛАСТИ ДРЕЙФА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**Новиков**

**Александр Николаевич,**

к.т.н., доцент кафедры  
метрологического обеспечения  
вооружения, военной и специальной  
техники Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г.Санкт-Петербург, Россия,  
novalloll@mail.ru

**Пузанков**

**Сергей Владимирович,**

адъюнкт кафедры метрологического  
обеспечения вооружения, военной  
и специальной техники  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г.Санкт-Петербург, Россия,  
puzankov\_87@mail.ru

**Ключевые слова:**

критическая составляющая погрешности измерений; метрологический самоконтроль; функция принадлежности; бортовые измерительные системы; измерительный канал; нечеткие множества.

АННОТАЦИЯ

Методика предназначена для решения задачи априорного определения границ области допустимых значений критической составляющей погрешности измерений бортовых измерительных систем космических аппаратов этапах их создания и модернизации на основе реализации процедур экспертного оценивания значений функций принадлежности в дискретном множестве точек универсального множества и определения вида и параметров аналитической зависимости, наилучшим образом описывающей результаты экспертного оценивания. Предложенный в методике подход с использованием аппарата теории нечетких множеств позволяет при разработке структурно-алгоритмических решений для построения и использования подсистем контроля временных изменений метрологических характеристик (метрологического самоконтроля) измерительных каналов бортовых измерительных систем космических аппаратов учесть существенную неопределенность информации о деградации вышеуказанных метрологических характеристик в реальных условиях эксплуатации под воздействием внешних факторов, принимая во внимание то обстоятельство, что характер временных изменений метрологических характеристик может быть весьма разнообразным даже у измерительных каналов с однотипными измерительными модулями, и избежать присущего детерминированному подходу сужения области допустимых значений критической составляющей погрешности измерений как вследствие аппроксимации границ, так и в результате неопределенности информации об условиях эксплуатации и требованиях к характеристикам измерительных каналов (измерительных модулей) на этапах создания либо модернизации бортовых измерительных систем. Применение методики позволяет обеспечить своевременность проведения коррекции метрологических характеристик измерительных каналов бортовых измерительных систем космических аппаратов (функций преобразования и режимов работы измерительных модулей) в целях недопущения наступления метрологического отказа, снизить вероятность проведения ошибочной коррекции (в случае выполнения в автоматическом режиме) из-за влияния переходных процессов в измерительных каналах бортовых измерительных систем космических аппаратов при наличии кратковременных динамических изменений внешних дестабилизирующих факторов космического пространства, а также повысить достоверность определения величины остаточного метрологического ресурса бортовых измерительных систем космических аппаратов на основе результатов прогноза параметров дрейфа критической составляющей погрешности измерений.

## Введение

Развитие современных космических аппаратов (КА) происходит в условиях ужесточения требований к эффективности выполнения ими целевых задач, автономности, надежности и продолжительности их функционирования при ограничениях на массово-габаритные характеристики, характеристики ресурсоемкости и энергопотребления. Несмотря на существенные достижения в области космического приборостроения, удовлетворение таких противоречивых требований, предъявляемых к характеристикам КА, остается сложной научно-технической проблемой.

Анализ перспективных технологий управления космическими аппаратами (КА) различного назначения (навигационные, телекоммуникационные, метеорологические и т.д.) показал, что в настоящее время большое значение уделяется повышению уровня автономности их функционирования, что в свою очередь, создает предпосылки к повышению эффективности выполнения КА целевых задач и увеличению продолжительности их функционирования. Повышение уровня автономности требует переноса части функций наземного комплекса управления на борт КА. В первую очередь это касается задачи контроля технического состояния и проверки правильности функционирования бортового оборудования. Структура процесса контроля включает накопление и обобщение априорной информации об объекте, получения измерительной информации, что является наиболее динамичным фактором, и ее анализ с последующим принятием решения [1]. Поэтому перенос задачи контроля на борт КА предъявляет повышенные требования к этапу получения измерительной информации. Этап получения измерительной информации реализуется бортовой измерительной системой (БИС). Особенностью применения КА является постоянная изменчивость условий функционирования, что для БИС находит свое отражение в изменении измерительной обстановки, в условиях которой решается задача измерений контролируемых параметров. Под изменением измерительной обстановки будем понимать изменение условий измерений, которые приводят к появлению дополнительных погрешностей или выход из строя отдельных элементов БИС и невозможность решения измерительной задачи выбранным методом. С целью повышения эффективности использования БИС, ее необходимо оснастить подсистемой метрологического самоконтроля [2]. Реализация такой подсистемы позволит:

- контролировать метрологические характеристики (МХ) БИС в течение всего срока службы с учетом влияния внешних факторов непосредственно в условиях эксплуатации;
- оценивать скорость изменения МХ, а также прогнозировать время наступления метрологического отказа;
- планировать сроки проведения коррекции параметров измерительных каналов (измерительных модулей).

Следует отметить значительные успехи в вопросах разработки научно-методического обеспечения вне-

дрения и применения измерительных систем с метрологическим самоконтролем [3–6]. Однако, в настоящее время, одной из центральных проблем, затрудняющих активное внедрение в структуру БИС КА соответствующей подсистемы метрологического самоконтроля является недостаточно полная разработка научно-методического обеспечения, позволяющего при построении и использовании подсистем контроля временных изменений метрологических характеристик измерительных каналов бортовых измерительных систем космических аппаратов учесть неопределенность информации, характеризующей область допустимых значений критической составляющей погрешности измерений (КСПИ) [2], при выходе за пределы (границы) которой наступает метрологический отказ. Дело в том, что для определения предельных значений КСПИ ИК необходимо использовать статистические данные, полученные в ходе испытаний на надежность либо данные, полученные в результате проверок (калибровок) в реальных условиях эксплуатации. Однако, результаты испытаний на надежность, проводимые в лабораторных условиях не могут дать объективной информации о деградации МХ ИК БИС КА в реальных условиях эксплуатации под воздействием внешних факторов, при этом, характер временных изменений МХ ИК может быть весьма разнообразным даже у ИК с однотипными измерительными модулями. Задание границ области допустимых значений КСПИ ИК БИС на основе детерминированного подхода определенным образом упрощает процедуру контроля и прогнозирования изменения МХ БИС, но это преимущество получается за счет сужения области допустимых значений КСПИ как вследствие аппроксимации границ, так и в результате неопределенности информации об условиях эксплуатации и требованиях к характеристикам ИК (измерительных модулей) на этапах создания либо модернизации БИС. На практике это приводит к возрастанию затрат времени и энергии на проведение коррекции, например, при изменении функций преобразования и режимов работы измерительных модулей БИС КА в зависимости от результатов прогноза (краткосрочного тренда) поведения КСПИ.

Принимая во внимание высокую степень неопределенности информации об условиях эксплуатации элементов БИС КА и возможных изменениях требований к ним в результате проводимых модернизаций, нечеткость субъективных представлений и суждений специалистов-экспертов, представляется целесообразным применить для априорного определения границ области допустимых значений критической составляющей погрешности измерений бортовых измерительных систем космических аппаратов на этапах создания и модернизации аппарат теории нечетких множеств.

Нечёткой границей области допустимых значений КСПИ (параметра  $x$ ) будем называть нечёткое множество (НМ)  $\underline{\Delta}$ , определяемое посредством преобразования к нормальному НМ пересечения  $\underline{H}$  и  $\underline{H}_{н/р}$ :

$$\underline{\Delta} = \{ \langle x, \mu(x) \rangle \} . \quad (1)$$

Здесь  $\mu(x)$  – функция принадлежности (ФП) значения параметра  $x$  к нечеткому множеству  $\Delta$ ,

$$\mu(x) = \mu(x) \wedge \mu(x),$$

где  $\mu(x) = \mu(x) / \sup_x \mu(x)$ , причем  $\wedge$  – операция взятия (x) минимального из чисел, а  $H_p$  и  $H_{n/p}$  – нечёткие множества работоспособного и, соответственно, неработоспособного состояния ИК БИС, заданные на множестве значений параметра  $x$ .

Прогнозирование нечетких границ области допустимых значений КСПИ ИК БИС КА на этапе создания (модернизации) будет заключаться в оценивании значений функций принадлежности величины параметра  $x$  к нечеткой границе области допустимых значений КСПИ данного ИК.

Задача оценивания значений ФП  $\mu(x)$  и  $\mu(x)$  решается прямым групповым методом оценивания ФП [7], включающим два этапа:

1. Экспертное оценивание значений ФП в дискретном множестве точек универсального множества.
2. Определение вида и параметров аналитической зависимости, наилучшим образом в смысле выбранного критерия описывающей результаты экспертного оценивания.

На первом этапе прогнозирования нечетких границ области допустимых значений КСПИ ИК БИС КА производится определение значений ФП  $\mu(x)$  в точке  $x_j$  методом экспертных оценок, описанным в работе [8]. Суть метода состоит в том, что выбираются несколько возможных значений ФП из множества чисел  $[0,1]$ , включая концы интервала. Обычно число значений не превышает 10–12. Каждому из этих значений экспертами присваивается определённая оценка. Затем эти оценки обрабатываются, в результате чего определяется оценка  $\mu_p$  значения  $\mu(x)$  ФП  $H_{p(n/p)}$  в точке  $x_j$ .

Результаты определения значений  $\mu(x)$  в дискретной последовательности точек  $\{x_j\}, j = 1, J$  представляются в табличной форме (табл. 1) и являются исходными данными второго этапа оценивания ФП  $H_{p(n/p)}$

Значения  $\mu(x)$   
 $H_{p(n/p)}$

Таблица 1

Значение параметра $x$	$x_1$	$x_2$	...	$x_j$	...	$x_J$
Значение ФП $\mu(x_j)$ $H_{p(n/p)}$	$\mu_1$	$\mu_2$	...	$\mu_j$	...	$\mu_J$

Задача второго этапа прогнозирования нечетких границ области допустимых значений КСПИ ИК заключается в том, что из класса  $\Phi$  параметрических функций необходимо выбрать некоторый их подкласс  $\varphi(x; \bar{p})$  и так задать значения параметров  $\bar{p} = \langle p^1, \dots, p^m \rangle$ , чтобы функция  $\varphi(x; \bar{p})$  описывала результаты оценивания

ФП, представленные в табл. 1, наиболее оптимально в смысле выбранного критерия. В табл. 2 приведены некоторые наиболее часто используемые для описания ФП  $H_{p(n/p)}$  типы функций.

Выбор подкласса  $\varphi(x; \bar{p})$  осуществляется, как правило, либо из физических соображений о сущности исследуемой зависимости, либо непосредственно по виду данных экспертного опроса (табл. 1).

Критерием оптимальности при решении подобных задач принято считать критерий минимума суммы квадратов отклонений экспериментальных точек от сглаживающей кривой  $\varphi(x; \bar{p})$ . Параметры  $\bar{p}$  при этом определяются из условия

$$\bar{p}^* = \arg \min_{\bar{p} \in R^m} f(\bar{p}), \tag{2}$$

где  $f(\bar{p})$  минимум суммы квадратов отклонений экспериментальных точек от сглаживающей кривой  $\varphi(x; \bar{p})$ ,  $f(\bar{p}) = \sum_{j=1}^J [\mu_j - \varphi(x_j; \bar{p})]^2$ .

Задача нахождения вектора  $\bar{p}^*$  есть задача безусловной оптимизации функции  $f(\bar{p})$ . Общим методом определения  $\bar{p}^*$  является решение системы уравнений

$$\left\langle \frac{\partial f}{\partial p^1}, \frac{\partial f}{\partial p^2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial p^m} \right\rangle = 0. \tag{3}$$

Система (3) относительно легко разрешима, если функция  $\varphi(x; \bar{p})$  линейна относительно  $\bar{p}$  (табл. 2, функции № 1 и 2, а также № 3 и 4 при  $k=1$ ).

Если  $\varphi(x; \bar{p})$  нелинейна относительно параметров  $\bar{p}$  (табл. 2, функции № 5 и 8, а также № 3 и 4 при  $k \neq 1$ ), то решение системы (3) может оказаться сложным и трудоёмким. В этом случае целесообразно применять численные методы поиска экстремума  $f(\bar{p})$ .

Достаточно простым в реализации и эффективным (для функций, не имеющих «овражных» образований) является метод покоординатного спуска (Гаусса–Зейделя) [9].

К функциям принадлежности, используемым для описания границ области допустимых значений КСПИ, предъявляется ряд требований, а именно они должны:

- быть унимодальными либо монотонными;
- зависеть от небольшого количества параметров;
- хорошо поддаваться обработке на ЭВМ.

Перечисленным требованиям удовлетворяет ФП вида

$$\mu(x) = [1 + a(x - c)^b]^{-1}. \tag{4}$$

Характер функции (4) зависит от трёх параметров:  $c$  (определяет точку минимума «нечёткости»),  $a$  (размах кривой),  $b$  (поведение фронтов кривой).

В дальнейшем будем использовать три разновидности ФП (4), соответствующие следующим нечётким высказываниям:

1. « $x$  меньше  $c_1$ »:

$$\mu_{H_j}^{(1)}(x) = \begin{cases} [1 + a_1(x - c_1)^{-2}]^{-1}, & x < c_1, \\ 0, & x \geq c_1; \end{cases} \tag{5}$$

2. « $x$  больше  $c_2$ »:

Примеры функций принадлежности

№	График	Функция
1		$\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a_1, \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1}, & a_1 < x < a_2, \\ 0, & a_2 \leq x \end{cases}$
2		$\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a_1, \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 < x < a_2, \\ 1, & a_2 \leq x \end{cases}$
3		$\mu(x) = \begin{cases} 1 - ax^k, & 0 \leq x \leq \frac{1}{\sqrt[k]{a}}, \\ 0, & \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \leq x \end{cases}$
4		$\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \alpha, \\ a(x - \alpha)^k, & \alpha < x < \alpha + 1/\sqrt[k]{a}, \\ 1, & \alpha + 1/\sqrt[k]{a} \leq x \end{cases}$
5		$\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a, \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right), & a < x < b, \\ 0, & b \leq x \end{cases}$
6		$\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a, \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right), & a < x < b, \\ 1, & b \leq x \end{cases}$
7		$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq c, \\ \left[ 1 + a(x-c)^{-2} \right]^{-1}, & x > c \end{cases}$
8		$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \geq c, \\ \left[ 1 + a(x-c)^{-2} \right]^{-1}, & x < c \end{cases}$

$$\mu_{H_j}^{(2)}(x) = \begin{cases} [1 + a_2(x - c_2)^{-2}]^{-1}, & x > c_2, \\ 0, & x \leq c_2; \end{cases} \quad (6)$$

3. «x приблизительно равно c<sub>3</sub>»:

$$\mu_{H_j}^{(3)}(x) = [1 + a_3(x - c_3)^{-2}]^{-1}. \quad (7)$$

На рис.1 показана графическая интерпретация ФП (5), используемой для аппроксимации результатов опроса экспертов.

С учётом выражений (5) и (6) нечёткое множество  $\Delta$ , определяемое в соответствии с (1), описывается ФП, имеющей вид

$$\mu_{\Delta}^H(x) = \mu(x) / \max_x \mu(x), \quad (8)$$

где 
$$\mu(x) = \begin{cases} \mu_{H_{np}}^{(1)}(x), & x \leq x_M, \\ \mu_{H_p}^{(2)}(x), & x > x_M, \end{cases} \quad x_M = \arg \max_x \mu(x)$$

На рис.2 показано оценивание ФП  $\mu_{\Delta}(x)$  нижней границы поля допуска k-го измерительного канала.

Параметры (a<sub>i</sub>, c<sub>i</sub>) ФП (5), (6) и (7) определяются методом покоординатного спуска [4].

Таким образом, на основе реализации процедур экспертного оценивания значений ФП в дискретном множестве точек универсального множества и определения вида и параметров аналитической зависимости, наилучшим образом описывающей результаты экспертного оценивания, решается задача прогнозирования нечетких границ области допустимых значений КСПИ ИК БИС КА на стадии их создания и модернизации.

**Литература**

1. Баженов В.И., Осин М.И., Захаров Ю.В. Моделирование основных характеристик и процессов функционирования космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
2. Taymanov R.E., Sapozhnikova K.V. Metrological self-check and evolution of metrology // Measurement. 2010. Vol. 43. No. 7. С. 869–877.
3. Потюпкин А.Ю., Краснобацев Ф.Ф. Адаптация бортовых измерительных систем космических аппаратов к условиям измерений // Измерительная техника. 2006. № 11. С. 3–9.
4. Раннев Г.Г. Интеллектуальные средства измерений. М.: Академия, 2011. 270 с.

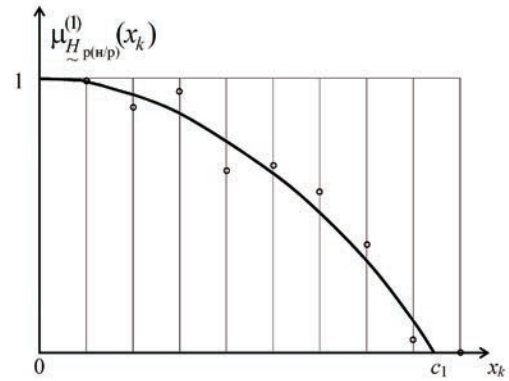


Рис. 1. Графическая интерпретация ФП (5)

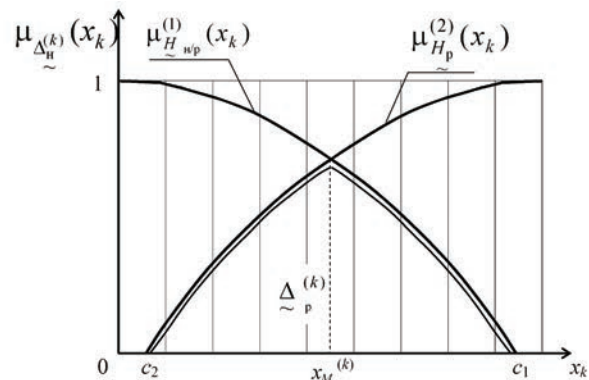


Рис. 2. Оценивание ФП нижней границы области допустимых значений КСПИ k-го ИК (модуля)

5. Грубо Е.О., Алексеев В.В., Королев П.Г. Принципы построения средств измерений с коррекцией составляющих полной погрешности // Приборы. 2010. № 7. С. 57–63.
6. Храпов Ф.И. К вопросу использования различных видов избыточности для оценки состояния измерительных систем с труднодоступными первичными измерительными преобразователями в процессе эксплуатации // Вестник метролога. 2010. № 3. С. 11–15.
7. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
8. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. 297 с.
9. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. 200 с.

**Для цитирования:**

Новиков А.Н., Пузанков С.В. Задание границ области дрейфа метрологических характеристик бортовых измерительных систем космических аппаратов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 26–31.

## TASK OF DRIFT AREA BORDERS OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS SPACECRAFTS ONBOARD MEASURING SYSTEMS

**Novikov Alexandr Nikolaevich,**  
St. Petersburg, Russian, novalloll@mail.ru

**Puzankov Sergey Vladimirovich,**  
St. Petersburg, Russia, puzankov\_87@mail.ru

### Abstract

The technique for the solution the problem of aprioristic definition of admissible value of a critical component of measurements accuracy of spacecrafts' onboard measuring systems of the stage of developing and upgrading on the basis of execution an error the procedures of expert estimation values of accessory functions in a discrete set of points of versatile set and characteristics of the analytical dependence which describes results of expert estimation are designed. The approach offered in technique with using the device of the theory of indistinct allows when developing structural and algorithmic decisions for construction and using of subsystems of control of temporary changes of metrological characteristics (metrological self-checking) of measuring channels of onboard measuring systems of spacecrafts to consider essential uncertainty of information about degradation of the above metrological characteristics in actual practice of operation under the influence of external factors, taking into account that circumstance that the nature of temporary changes of metrological characteristics can be various even at measuring channels with the same measuring modules and to avoid inherent in the determined approach of area narrowing of admissible values of critical component of an error of measurements as owing to approximation of borders and as result of uncertainty of information on service conditions and requirements to characteristics of measuring channels (measuring modules) of stages of creation or upgrade of onboard measuring systems. Application of a technique allows to provide timeliness of carrying out correction of metrological characteristics of measuring channels of spacecraft's onboard measuring systems (functions of transformation and operating modes of measuring modules) for prevention of approach of metrological refusal, to reduce probability of carrying out wrong correction (in case of performance in the automatic mode) because of influence, of transition processes in measuring channels of spacecrafts' onboard measuring systems in the presence of short-term dynamic changes of the external destabilizing space factors, and also to increase reliability of determination of size of a residual

metrological resource of spacecrafts' onboard measuring systems on the basis of results of the forecast of parameters of drift of a critical component of an error of measurements.

**Keywords:** critical component of an error of measurements; metrological self-checking; function of accessory; onboard measuring systems; measuring channel; indistinct sets.

### References

1. Bazhenov V.I., Osin M.I., Zakharov Yu.V. Modelirovanie osnovnykh kharakteristik i protsessov funktsionirovaniya kosmicheskikh apparatov [Modeling of the main characteristics and processes of functioning of spacecrafts]. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 240 p. (In Russian).
2. Taymanov R.E., Sapozhnikova K.V. Metrological self-check and evolution of metrology. Measurement. 2010. Vol. 43. No. 7. Pp. 869–877.
3. Potyupkin A.Yu., Krasnobabtsev F.F. Adaptation of onboard measuring systems of spacecrafts to conditions of measurements. Measurement Techniques. 2006. No. 11. Pp. 3–9. (In Russian).
4. Rannev G.G. Intellektual'nye sredstva izmerenii [Intellectual measuring instruments]. Moscow, Akademiya, 2011. 270 p. (In Russian).
5. Grubo E.O., Alekseev V.V., Korolev P.G. The principles of creation of measuring instruments with correction of components of a full error. Instruments. 2010. No. 7. Pp. 57–63. (In Russian).
6. Khrapov F.I. To a question of use of different types of redundancy for an assessment of a condition of measuring systems with remote primary measuring converters in use. Vestnik metrologa. 2010. No. 3. Pp. 11–15. (In Russian).
7. Pospelov D.A. (Ed.) Nechetkie mn v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta [Indistinct sets in models of management and artificial intelligence]. Moscow, Nauka, 1986. 312 p. (In Russian).
8. Beshelev S.D., Gurvich F.G. Ekspertnye otsenki [Expert estimates]. Moscow, Nauka, 1973. 297 p. (In Russian).
9. Chetyrkin E.M. Statisticheskie metody prognozirovaniya [Statistical methods of forecasting]. Moscow, Statistika, 1977. 200 p. (In Russian).

### Information about authors:

Novikov A.N., Ph.D., associate professor of metrological support of arms, military and special technique of Military Space Academy;

Puzankov S.V., postgraduate student of themetrological support of arms, military and special technique, Military Space Academy.

### For citation:

Novikov A.N., Puzankov S.V. Task of drift area borders of metrological characteristics spacecrafts onboard measuring systems. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 26–31.

# О ПОСТРОЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ ПО СТЕРЕОПАРЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

## Хрущ

### Роман Михайлович,

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

## Гринь

### Александр Николаевич,

к.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры  
математики Военно-космической  
академии имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
al-grin1@yandex.ru

## Соловьев

### Алексей Владимирович,

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

## АННОТАЦИЯ

Предложен способ отбраковки грубо измеренных точек цифровых аэрокосмических снимков при построении по ним модели местности с использованием элементов взаимного ориентирования стереопары. Для определения элементов взаимного ориентирования используют не менее 6-ти пар одноименных (соответственных) точек стереопары снимков и решение задачи по методу наименьших квадратов последовательными приближениями. Но так как метод наименьших квадратов чувствителен к грубо измеренным точкам, то такие точки необходимо определить и исключить из вычислительного процесса. Обычно для этого после каждого приближения находят остаточные поперечные параллаксы одноименных точек на идеальной стереопаре, которые вычисляют по трансформированным ординатам таких точек, которое выполняется по элементам взаимного ориентирования стереопары снимков. Недостатком данного способа является то, что для отбраковки неточно идентифицированных точек используется погрешности только ординат соответственных точек, в то время как на их положение влияют и абсциссы. Если использовать для решения обозначенной задачи угол между нормальными к базисной плоскости, в которой находятся соответственные точки, то этот недостаток исключается. В этом и состоит сущность предложения. Для вычисления векторов нормалей к базисной плоскости используют координаты соответственных точек и координаты второго центра проекции (базиса проектирования). Так как результатом векторного произведения каждого из двух векторов на вектор базиса являются нормали к базисной плоскости, в которой они находятся, то обе нормали должны быть параллельны друг другу, а угол между ними должен равняться нулю. По отклонению значения этого угла от нуля и производится отбраковка грубо идентифицированных точек. Теоретические положения предложенного способа подтверждены результатами эксперимента, который выполнен по макетным и по реальным снимкам. В работе приведены результаты эксперимента только по макетным снимкам.

## Ключевые слова:

модель местности; элементы взаимного ориентирования; одноименные (соответственные) точки; нормаль к базисной плоскости; идентификация (отождествление); компланарность векторов.



Для построения модели местности необходимо кроме измеренных координат точек снимков, если неизвестны их элементы внешнего ориентирования, определить элементы взаимного ориентирования (ЭВЗО) стереопары. Для этого обычно измеряют плоские координаты точек снимков в 6-ти стандартно расположенных зонах стереопары, а затем решают задачу строгим способом на основе известного условия компланарности одноименных проектирующих лучей, применив метод наименьших квадратов, последовательными приближениями. При этом в каждом приближении выполняется отбраковка точек с грубыми ошибками. Сама по себе методика определения элементов взаимного ориентирования является в настоящее время довольно ординарной задачей, способ решения которой в свое время был предложен видным советским геодезистом Н.А. Урмаевым [1]. Затем способ был развит другими учеными, среди которых, пожалуй, наибольшая заслуга принадлежит А.Н. Лобанову, показавшему в частности, что 2–3 точки в каждой стандартной зоне являются оптимальным количеством для точного решения задачи определения ЭВЗО, следовательно, и для построения геометрической модели местности по стереопаре снимков [2]. Поэтому в настоящей работе основное внимание уделено не собственно построению модели местности, а определению и отбраковке грубых измерений, которые оказывают существенное влияние на точность ее построения.

Одной из самых важных составляющих ошибок измерения координат точек снимков являются ошибки их отождествления. Поэтому отождествление (идентификация) одноименных (соответственных) точек снимков стереопары является важной задачей, неточность в решении которой приводят к грубым ошибкам измерения координат точек снимков. Задачу точного отождествления стараются решить на этапе определения соответственных точек стереопары. Особенно значимым является решение данного вопроса при автоматическом выполнении фотограмметрических процессов.

Чтобы убедиться в отсутствии грубых ошибок в измеренных координатах соответственных точек, используют дополнительный контроль. Такой контроль с целью отбраковки точек с грубыми ошибками производится уже непосредственно в процессе вычисления ЭВЗО после каждого приближения. Для этого используется свойство идеальной стереопары, состоящее в том, что на идеальной стереопаре должны отсутствовать поперечные параллаксы. С этой целью трансформируют ординаты одноименных точек снимков стереопары [3]:

$$\left. \begin{aligned} y_1^0 &= -f \frac{b'_{11}x_1 + b'_{12}y_1 - b'_{13}f}{c'_{11}x_1 + c'_{12}y_1 - c'_{13}f}; \\ y_2^0 &= -f \frac{b'_{21}x_2 + b'_{22}y_2 - b'_{23}f}{c'_{21}x_2 + c'_{22}y_2 - c'_{23}f}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $y_1^0$  и  $y_2^0$  – ординаты одноименных точек снимков  $P_1$  и  $P_2$  идеальной стереопары;

$a'_{1i}, b'_{1i}, c'_{1i}$  – направляющие косинусы, вычисленные по ЭВЗО  $\alpha'_1$  и  $\kappa'_1$  левого снимка стереопары;

$a'_{2i}, b'_{2i}, c'_{2i}$  – направляющие косинусы, вычисленные по ЭВЗО  $\alpha'_2, \omega'_2$  и  $\kappa'_2$  правого фотоснимка стереопары, где  $i = 1, 2, 3$  – номера направляющих косинусов.

Остаточные поперечные параллаксы на идеальной стереопаре для каждой пары одноименных точек равны разностям трансформированных ординат соответственных точек:

$$\Delta q = y_1^0 - y_2^0. \quad (2)$$

Недостатком данного способа является то, что для отбраковки грубо идентифицированных точек используются ошибки только одной из двух координат, определяющих положение соответственных точек, – ординат. Ошибки абсцисс, которые также влияют на положение точек снимков, не участвуют в этом процессе. Устранить этот недостаток можно, применив другой способ отбраковки одноименных точек снимков стереопары.

Сущность предлагаемого способа состоит в следующем. Если одноименные точки  $a_1$  и  $a_2$  стереопары снимков  $P_1, P_2$  отождествлены безошибочно (рис.1), то они будут находиться в одной базисной плоскости, что выражается условием компланарности трех векторов, смешанное произведение которых должно равняться нулю:

$$B \cdot (m_1 \times m_2) = 0, \quad (3)$$

где  $B(X_{S_2}, Y_{S_2}, Z_{S_2})$  – вектор, задающий направление базиса в системе координат с началом в центре проекции левого снимка,  $m_1(X_1, Y_1, Z_1)$  – вектор, задающий положение точки  $a_1$  на левом снимке в этой же системе координат и вектор  $m_2(X_2, Y_2, Z_2)$ , определяющий положение точки  $a_2$  правого снимка в системе координат с началом в центре проекции  $S_2$  этого снимка.

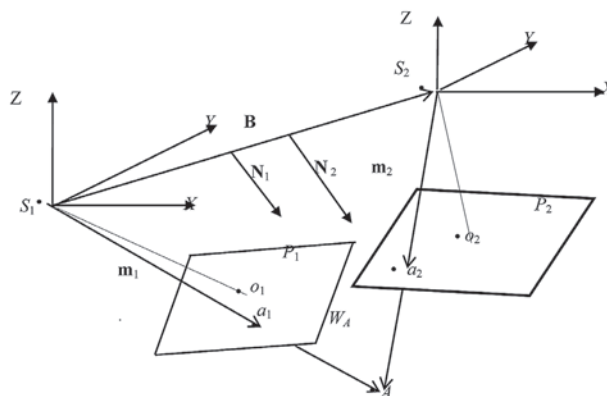


Рис. 1. Условие пересечения одноименных проектирующих лучей

Если одноименные точки отождествлены не верно, то компланарность векторов (3) будет нарушаться. Следовательно, нарушение компланарности можно использовать для отбраковки грубо идентифицированных точек.

Значение величины ошибки идентификации можно оценить следующим образом. Так как результатом век-

торного произведения каждого из двух векторов  $m_1$  и  $m_2$  на вектор базиса являются нормали к базисной плоскости, в которой они находятся, то обе нормали ( $N_1$  и  $N_2$ ) должны быть параллельны друг другу, а угол между ними, как и его тангенс, должен равняться нулю. Учитывая, что по определению скалярного произведения векторов [4]:

$$\vec{N}_1 \cdot \vec{N}_2 = |\vec{N}_1| \cdot |\vec{N}_2| \cdot \cos(\vec{N}_1, \vec{N}_2), \quad (4)$$

а векторное произведение вычисляется как

$$|\vec{N}_1 \times \vec{N}_2| = |\vec{N}_1| \cdot |\vec{N}_2| \cdot \sin(\vec{N}_1, \vec{N}_2), \quad (5)$$

то тангенс между нормальными  $N_1$  и  $N_2$ , которые должны быть коллинеарными вычисляется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{|\vec{N}_1 \times \vec{N}_2|}{\vec{N}_1 \cdot \vec{N}_2}. \quad (6)$$

Следовательно, вычисляя для каждой пары одноименных точек значение тангенса угла между нормальными, имеется возможность оценить ошибки идентификации и исключить из процесса обработки грубо определенные точки.

Векторы  $m_1$ ,  $m_2$  и вектор  $B$  ( $X_{s2}, Y_{s2}, Z_{s2}$ ) должны быть определены в системах координат с взаимно параллельными осями. Допустим, что используется внешняя система координат, а системы координат с началами в центрах проекций  $S_1$  и  $S_2$  будут иметь оси параллельные соответствующим осям этой системы координат. Если векторы  $m_1$  и  $m_2$  определены во вспомогательных системах координат (системы координат камер) соответственно левого и правого снимков, т.е.  $m_1 = [x_1, y_1, -f]^T$  и  $m_2 = [x_2, y_2, -f]^T$ , то для преобразования их необходимо использовать матрицы поворотов  $R_1$  и  $R_2$  соответственно. Применяв первую (базисную) систему элементов взаимного ориентирования, матрицы поворотов  $R_1$  и  $R_2$  будут определять повороты векторов  $m_1$  и  $m_2$  на ЭВЗО  $\alpha'_1$  и  $\kappa'_1$  для левого снимка и  $-\alpha'_2$ ,  $\omega'_2$  и  $\kappa'_2$  для второго снимка соответственно.

Если вектор базиса  $B(X_{s2}, Y_{s2}, Z_{s2})$  определен во внешней системе координат, то используя кососимметрическую матрицу

$$B = \begin{bmatrix} 0 & -B_z & B_y \\ B_z & 0 & -B_x \\ -B_y & B_x & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

найдем векторы  $N_1$  и  $N_2$ :

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= B \times m_1 = B \cdot R_1 \cdot m_1, \\ N_2 &= B \times m_2 = B \cdot R_2 \cdot m_2. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В результате получим координаты векторов  $N_1$  и  $N_2$  в системах координат с началами в точках  $S_1$  и  $S_2$  и с осями, параллельными соответствующим осям внешней системы координат.

При этом следует иметь в виду, что для базисной системы координат (первой системы ЭВЗО) кососимметрическая матрица примет вид:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -B_x \\ 0 & B_x & 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

а так как длина базиса не влияет на взаимное ориентирование снимков, то его значение может быть произвольным.

Для проверки теоретических положений, составляющих суть предложенного способа определения грубых ошибок идентификации соответственных точек, проведен ряд экспериментов, результаты которых показаны на графиках (рис. 1, 2). Для экспериментов использовалась стереопара макетных снимков с известными ЭВЗО [5]. Суть экспериментов заключалась в следующем. Так как ЭВЗО известны, то вводя ошибки координат точек снимков, представлялось возможным оценить их влияние на точность определения соответственных точек, как по остаточным поперечным параллаксам, так и по значениям углов между нормальными к базисной плоскости для каждой пары одноименных точек. Ошибки в координаты точек снимков вводились с использованием генератора случайных чисел, и их средняя квадратическая ошибка составила 0,032 мм.

На рис. 2 представлены графики остаточных поперечных параллаксов при различных вариантах введения ошибок (вариант 1 – ошибки вводились в  $x$  и  $y$ , вариант 2 – ошибки вводились в  $y$  и вариант 3 – ошибки вводились в  $x$ ). Из графиков следует, что максимальные значения в остаточных поперечных параллаксах получены при ошибках в обеих координатах (вариант 1). При ошибках только в ординатах (вариант 2), уровень ошибок остаточных поперечных параллаксов меньше, чем при совместном влиянии ошибок по  $x$  и  $y$ . График влияния ошибок абсцисс свидетельствует также об их существенном влиянии на значения остаточных поперечных параллаксов.

На рис. 3 приведены графики оценки влияния ошибок в координатах точек снимков по отклонению от нулевого значения угла  $\alpha$  (по коллинеарности нормалей к базисной плоскости). Графики свидетельствуют о том, что уровень отклонения углов  $\alpha$  от нуля будет значительно больше также при совместном влиянии ошибок абсцисс и ординат (вариант 1). В целом характер

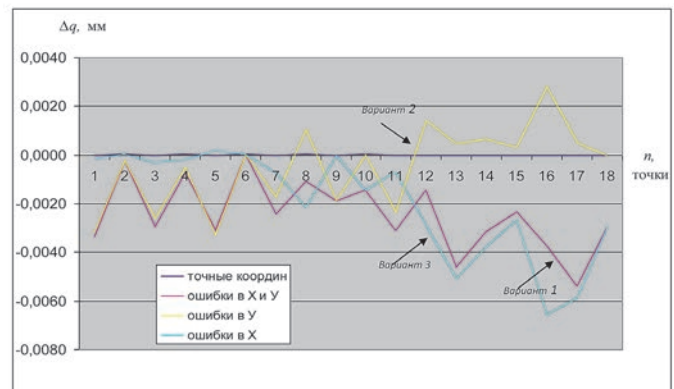


Рис. 2. Остаточные поперечные параллаксы

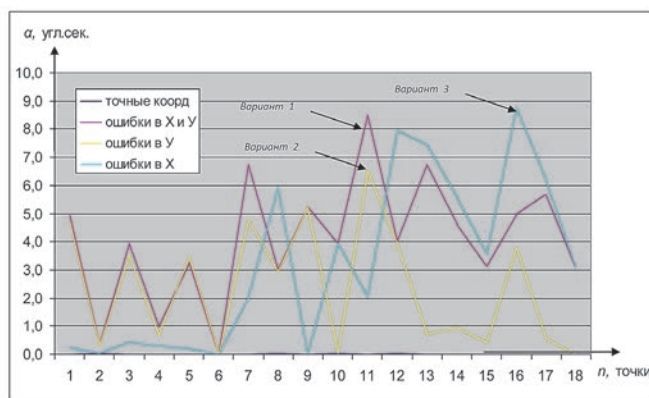


Рис. 3. Углы между нормальными

влияния на коллинеарность нормалей такой же, как и на значения остаточных поперечных параллаксов. При этом следует подчеркнуть, что в данном случае не особенно важна оценка абсолютных значений результатов от ошибок абсцисс и ординат. Из графиков видно, что в отдельных случаях они могут компенсировать взаимное влияние на конечные результаты. Здесь важно другое – предложенный способ оценки точности идентификации соответственных точек позволяет учитывать совместное влияние ошибок, как абсцисс, так и ординат точек снимков, от которых в конечном случае и зависит точность построения модели местности. Такие же

эксперименты были приведены на реальных цифровых снимках, которые показали аналогичные результаты.

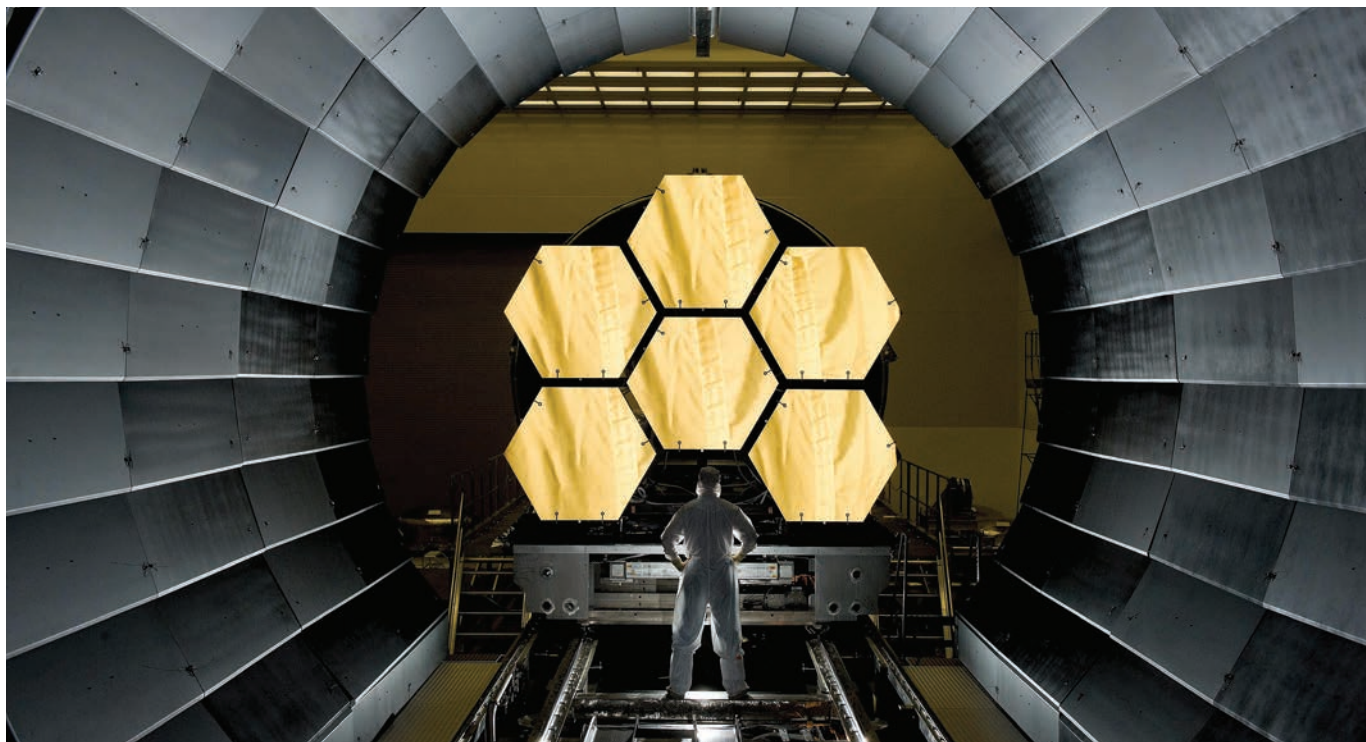
Таким образом, применив предложенный способ фильтрации одноименных точек, имеется возможность отбраковать грубо идентифицированные соответственные точки, не вычисляя при этом остаточных поперечных параллаксов. При этом способ более надежный по сравнению с использованием остаточных параллаксов, так как используются обе координаты. После отбраковки точек с грубыми ошибками, следует вычислить ЭВЗО стереопары снимков, построить геометрическую модель местности, и применить для оценки точности традиционный способ.

#### Литература

1. Урмаев Н.А. Элементы фотограмметрии. М: Геодезиздат, 1941. 220 с.
2. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М.: Недра, 1984. 552 с.
3. Хрущ Р.М. Фотограмметрия. СПб.: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2011. 542 с.
4. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Аналитическая геометрия. М.: Наука. 66 с.
5. Лобанов А.Н., Дубиновский В.Б., Лысенко Ф.Ф., Булушев М.Н., Бобряшов А.М. Аналитические модели местности и снимков (макетные снимки). М.: Недра, 1973. 96 с.

#### Для цитирования:

Хрущ Р.М., Гринь А.Н., Соловьев А.В. О построении геометрической модели местности по стереопаре аэрокосмических снимков // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 32–36.



## ABOUT CREATION OF GEOMETRICAL MODEL DISTRICTS ON THE STEREO PAIR OF SPACE PICTURES

**Khrusch Roman Mikhaylovich,**  
St. Petersburg, Russia, Chrusch@rambler.ru

**Grin Alexander Nikolaeovich,**  
St. Petersburg, Russia, al-grin1@yandex.ru

**Soloviev Alexey Vladimirovich,**  
St. Petersburg, Russia, solov19882008@mail.ru

### Abstract

In work the way of rejection of roughly measured points of digital space pictures at creation is offered of district model on them with use of elements of mutual orientation of a stereo pair. For definition of elements of mutual orientation use not less than 6 couples (corresponding) points of the same name of a stereo pair of pictures and the solution of a task of a method of the smallest squares consecutive approximations. But as the method of the smallest squares is sensitive to roughly measured points, such points need to be defined and excluded from computing process. Usually for this purpose after each approach find residual cross parallaxes of the points of the same name on an ideal stereo pair which calculate on the transformed ordinates of such points which is carried out on of elements of mutual orientation of pictures. A lack of this way is that for rejection is inexact the identified points is used errors only of ordinates of corresponding points while their situation is influenced also by abscissae. If to use for the solution of the designated task a corner between normals to the basic plane in which there are corresponding points, this shortcoming is excluded. In it the essence of the offer also consists. For calculation of vectors of normals to the basic plane use coordinates of corresponding points and coordinate of the second center of a projection (basis of

design). As on a vector of basis the normal to the basic plane in which they are are result of vector work of each of two vectors, both normals have to be parallel each other, and the corner between them has to equal to zero. On a deviation of value of this corner from zero rejection of roughly identified points is also made. Theoretical provisions of the offered way are confirmed with results of experiment which is executed on model and on real pictures. Results of experiment only on model pictures are given in work.

**Keywords:** terrain model; relative orientation (exo); the same name (respectively) the point normal to the basal plane; the identification (identification); coplanarity of vectors.

### References

1. Urmaev N.A. Elementy fotogrammetrii [Photometry elements]. Moscow, Geodezizdat, 1941. 220 p. (In Russian).
2. Lobanov A.N. Fotogrammetriya [Photometry]. Moscow, Nedra, 1984. 552 p. (In Russian).
3. Khrushch R.M. Fotogrammetriya [Photometry]. St. Peterburg, Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhaiskogo, 2011. 542 p. (In Russian).
4. Il'in V.A., Poznyak E.G. Analiticheskaya geometriya [Analytic geometry]. Moscow, Nauka. 66 p. (In Russian).
5. Lobanov A.N., Dubinovsky V.B., Lysenko F.F., Bulushev M.N., Bobryashov A.M. Analiticheskie modeli mestnosti i snimkov (maketnye snimki) [Analytical models of the district and pictures (model pictures)]. Moscow, Nedra, 1973. 96 p. (In Russian).

### Information about authors:

Khrusch R.M., Ph.D., associate professor, professor of the Military Space Academy;  
Grin A.N., Ph.D., associate professor, professor of the Military Space Academy;  
Soloviev A.V., postgraduate student of the Military Space Academy.

### For citation:

Khrusch R.M., Grin A.N., Soloviev A.V. About creation of geometrical model districts on the stereo pair of space pictures. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 32–36.



# НПЦ ИРС

Научно-производственный центр  
Информационных региональных систем

► [npcirs.ru](http://npcirs.ru)

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

## Основными направлениями нашей деятельности являются:

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

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

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

## На данный момент уже имеющиеся разработки позволяют:

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

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



**НПЦ ИРС**

Научно-производственный центр  
Информационных региональных систем

► [npcirs.ru](http://npcirs.ru)

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

# АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## Жук

**Александр Павлович,**

к.т.н., профессор,  
профессор Северо-Кавказского  
федерального университета,  
г. Ставрополь, Россия,  
alekszhuk@mail.ru

## Осипов

**Дмитрий Леонидович,**

к.т.н., доцент Северо-Кавказского  
федерального университета,  
г. Ставрополь, Россия,  
dmtrosipov@ya.ru

## Гавришев

**Алексей Андреевич,**

аспирант Северо-Кавказского  
федерального университета,  
г. Ставрополь, Россия,  
alexhx.2008@inbox.ru

## Бурмистров,

**Владимир Александрович**

аспирант Северо-Кавказского  
федерального университета,  
г. Ставрополь, Россия,  
vladalburmistrov@mail.ru

## Ключевые слова:

беспроводной канал связи;  
робототехнические системы; защита;  
несанкционированный доступ;  
хаотические широкополосные  
сигналы.

## АННОТАЦИЯ

В настоящее время для решения задач охраны территорий и объектов, решения специальных задач, а также задач ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, проведения медицинских операций все чаще находят применение роботы, оснащенные различными датчиками, средствами наблюдения, навигации и связи. В наземной робототехнике специального назначения одними из наиболее востребованных направлений являются: построение автономных роботов и дистанционное управление роботом (группой роботов) посредством оператора или при помощи запрограммированных команд, поступающих с управляющего сервера. Построение автономных роботов является достаточно сложной задачей. Дистанционное управление осуществляется за счет беспроводной системы связи, которая является одним из наиболее уязвимых элементов робототехнического комплекса, подверженных различным угрозам. К таким угрозам относятся просмотр, подмена, перехват и подавление помехами передаваемой управляющей информации. Целью статьи является обоснование необходимости применения для беспроводного канала управления робототехническим комплексом специального назначения перспективных систем связи с широкополосными сигналами. В результате анализа установлено, что наиболее распространенными методами защиты информации в беспроводных системах являются: криптографические методы защиты, VPN (виртуальные частные сети), широкополосные сигналы, изменение параметров радиосигналов (частота, мощность) и смешанные методы. Встроенные системы защиты информации (криптография, широкополосные сигналы), используемые в наиболее распространенных стандартах беспроводной связи IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, IEEE 802.16, GSM, 3G, хорошо описаны и исследованы. Однако существующий современный арсенал средств радиоэлектронного подавления данных систем беспроводной связи позволяет эффективно дестабилизировать их работу. Использование криптографических методов защиты обеспечивает защиту от просмотра и подмены информации, однако не является эффективным против перехвата информации и подавления информационного сигнала помехами. Установлено, что предпочтительным методом, обеспечивающим одновременно защиту конфиденциальности, целостности и доступности передаваемого трафика, а также повышающим защищенность информации от воздействия помех, является применение широкополосных сигналов. В качестве перспективного направления предлагается использование хаотических широкополосных сигналов. Предлагаемый подход основан на использовании перезаписываемых накопителей хаотических последовательностей, позволяющих использовать уникальные наборы хаотических сигналов. Данный подход позволит значительно увеличить защищенность беспроводного канала управления робототехническими комплексами специального назначения от дестабилизирующих факторов.

## Введение

В настоящее время для решения задач охраны территорий и объектов, решения специальных задач, а также задач ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, проведения медицинских операций все чаще находят применение роботы, оснащенные различными датчиками, средствами наблюдения, навигации и связи. В наземной робототехнике специального назначения одними из наиболее востребованных направлений являются [3]: построение автономных роботов и дистанционное управление роботом (группой роботов) посредством оператора или при помощи запрограммированных команд, поступающих с управляющего сервера.

Построение автономных роботов – это достаточно сложная задача, которая включает в себя такие области знания, как нечеткую логику, искусственный интеллект, нейронные сети и некоторые другие виды. Дистанционное управление роботом на сегодняшний день осуществляется в основном за счет использования беспроводной связи.

Беспроводной канал связи является одним из наиболее уязвимых элементов робототехнического комплекса. Несанкционированный доступ (просмотр, подмена, перехват и подавление помехами), направленный на нарушение работы робота, может привести к критическим последствиям. По этой причине анализ методов защиты от угроз информационного обмена в беспроводном канале управления робототехнических систем специального назначения является актуальной задачей.

Целью статьи является обоснование необходимости применения для беспроводного канала управления робототехническим комплексом специального назначения перспективных систем связи с широкополосными сигналами.

Задачами статьи являются:

- анализ методов защиты беспроводного канала управления робототехническим комплексом специального назначения от дестабилизирующих факторов;
- разработка предложений по повышению защищенности беспроводного канала связи робототехнического комплекса от воздействия дестабилизирующих факторов.

## Основная часть

Анализ источников показал, что в настоящее время методы защиты каналов беспроводной связи робототехнических систем специального назначения целесообразно разделить на следующие группы:

- криптографические;
- VPN (виртуальные частные сети);
- широкополосные сигналы;
- изменение параметров радиосигнала (частота, мощность);
- смешанные методы.

Проведем анализ отмеченных методов с точки зрения целесообразности их использования при управлении робототехническими комплексами специального назначения.

Рассмотрим криптографические методы защиты информации. Известна методика защиты управляющего оптического канала группы роботов с помощью алгоритмов вычисления многозначно-логических функций, задаваемых в рамках дискретной  $k$ -значной алгебры Аллена-Живона. Кроме того, данная методика применяется для защиты памяти робота от несанкционированного доступа в случае взлома аппаратного устройства. Данный подход мало проработан, поэтому он может при соответствующей проработке использоваться в рассматриваемой предметной области<sup>1</sup>. Известен метод улучшения стандартной системы безопасности беспроводной сети стандарта IEEE 802.11, основанный на алгоритме WEP и алгоритме SPEKE, позволяющий одновременно производить шифрование данных, аутентификацию сторон и обмен ключами. Отличительной чертой данного усовершенствованного способа является распространение защиты радиоканала на охранных роботов, основными атаками на которые являются просмотр и подмена трафика, и которым предлагаемый способ успешно может противостоять<sup>2</sup>. В работе [4] описывается роботизированная транспортная платформа, предназначенная для дистанционной работы в условиях боевых действий. Защита радиоканала осуществляется с помощью криптографических преобразований. В работе [7] предлагается использовать метод преобразования информационных потоков, основанный на матричном умножении в поле  $GF(2)$  для защиты радиоканала робототехнического комплекса. Реализация данного преобразования не требует перестройки оборудования и программного обеспечения, хорошо согласуется с кодированием и декодированием сообщений, обеспечивает обнаружение и исправление ошибок, возникающих в канале связи, а также решение задач распределенного доступа. Известен способ удаленного управления роботом для диагностики ядерных объектов на атомных электростанциях в условиях повышенной радиационной опасности через IEEE 802.11. Данный способ направлен, в первую очередь, на решение проблемы замирания и многолучевого распространения сигнала в изогнутых туннелях<sup>3</sup>. В работе [10] рассматривается промышленный робот, применяемый в тяжелых условиях, например, Крайнего Севера или Арктики для действий, которые несут потенциальный вред для человека (ликвидация чрезвычайных последствий, разбор завалов, сложные погодные условия). В качестве каналов связи могут использоваться распространенные стандарты связи IEEE 802.15.1, IEEE 802.11, IEEE 802.15.4.

Общим недостатком применения криптографических методов защиты является сложность аппаратной реализации при увеличении размерности ключа,

<sup>1</sup> Разработаны новые методы защищенного кодирования информации // АНИ «ФИАН-информ». URL: <http://www.fian-inform.ru/priborostroenie/item/323-rabotany-novye-metody-zashchishchennogo-kodirovaniya-informatsii>

<sup>2</sup> Успенский А.Ю. Защита информации в радиоканалах мобильных робототехнических комплексов: автореферат дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2006. 29 с.

<sup>3</sup> Ramvijas Nattanmai Parasuraman Wireless communication enhancement methods for mobile robots in radiation environments, PhD Thesis, The Technical University of Madrid, Spain, 2014, 194 p.

а также значительная задержка по времени, возникающая при реализации процедуры шифрования-расшифрования сообщений.

Рассмотрим использование VPN (виртуальные частные сети) для решения задачи защиты беспроводных каналов связи. Известно использование роботов для решения медицинских задач, в которых для защиты радиоканалов управления от несанкционированного доступа (НСД) предлагается использовать защищенное VPN соединение<sup>4</sup>.

Основным недостатком использования VPN является его дороговизна. Кроме того, VPN присущи недостатки аналогичные криптографическим методам защиты.

Рассмотрим использование широкополосных сигналов (ШПС). В работе [1] исследуется задача удаленного управления наземными роботами в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007–2013 гг.». В результате исследований было установлено, что использование универсальных радиомодемов УКВ-диапазона для передачи данных с использованием сигнально-кодовых конструкций на основе OFDM-модуляции, работающих в диапазоне частот 100–500 МГц, обеспечивает надежную защищенную передачу информации в экстремальных условиях (многолучевое распространение сигнала, эффект Доплера, замирание сигнала) с возможностью увеличения зоны покрытия за счет ретрансляторов сигнала. Однако, влияние преднамеренных помех и НСД к радиоканалу пока исследовано не было. Известен мобильный робот-разведчик «Инженер», который обладает стереозрением и может поднимать видеокамеру на уровень 130 см. Данный робот использует псевдослучайную перестройку частоты (ППРЧ) радиоканала для защиты сжатых видеоданных от перехвата и подавления преднамеренными помехами. В настоящее время данный робот проходит полевые испытания<sup>5</sup>. В работе [8] предлагается использовать шифрование пакетов с использованием нелинейных динамических систем (НДС) с хаотической динамикой. Шифрование данных на стороне сервера осуществляется их сложением с хаотическим сигналом. На стороне робота производится обратная операция. В том случае, когда хаотические сигналы, вырабатываемые на обеих сторонах, синхронизированы, происходит восстановление зашифрованной информации. Ключом к защищенным пакетам будет служить набор управляющих параметров, при которых выполнялось формирование хаотической последовательности. В качестве недостатка можно указать недостаточную защищенность от НСД, так как набор используемых хаотических сигналов ограничен и может стать известным третьим лицам в результате наблюдений за радиоканалом. Известно применение мобильного робота для функционирования

в экстремальных условиях при локализации чрезвычайных происшествий. В системе управления в качестве сигналов используются фазоманипулированные сигналы. Отличительной чертой данного подхода является использование в качестве приемного устройства шумоподобного сигнала спинного эхо-процессора, обеспечивающего помехоустойчивую связь робота с оператором. За счет использования данной системы передачи информации повышается защищенность радиоканала от НСД<sup>6</sup>.

ШПС обладают следующими общими преимуществами: высокой помехоустойчивостью и защищенностью от НСД, возможностью борьбы с многолучевостью и интерференцией сигнала. К общим недостаткам систем передачи информации с ШПС можно отнести сложность приема-передающей аппаратуры, необходимость наличия устойчивой синхронизации, малый объем используемых последовательностей, а также наличие внутрисистемных помех.

Рассмотрим использование изменения параметров радиосигнала (частота, мощность) как метода защиты беспроводного канала от НСД. В работе [6] описывается система управления боевой роботизированной платформой. Указывается, что благодаря данному способу, в том числе, возможно, перестраивать параметры радиоканала (частота, режим канала), мощность излучения и параметры маскировки данных. Перестройка параметров радиоканала и мощности излучения без дополнительных средств защиты не является эффективным методом защиты от НСД и помех.

Рассмотрим смешанные методы защиты. Известен подход для удаленного управления роботом через беспроводное подключение 3G с помощью специально разработанного программного обеспечения, которое позволяет снизить количество передаваемой информации для устойчивости канала связи с роботом. В качестве метода защиты применяются криптография и широкополосные сигналы<sup>7</sup>. В работе [9] предлагается для повышения защищенности радиоканала робототехнических средств использовать мобильные ретрансляторные центры (МРЦ). МРЦ позволяют создавать защищенные VPN соединения с использованием ресурсов спутниковой связи, систем сотовой связи (GPRS/GSM, 3G) и систем беспроводной передачи данных IEEE 802.16. В качестве метода защиты применяются VPN, криптография и широкополосные сигналы.

К характерным недостаткам для криптографических методов, методов VPN и методов применения широкополосных сигналов следует добавить изначальное предназначение сетей IEEE 802.16, GSM, 3G для решения задач информационного обмена широкого круга пользователей, что может вызывать сложности их применения в специальных целях.

<sup>4</sup>To make a robot secure: an experimental analysis of cybersecurity threats against teleoperated surgical robots // Cornell University library. URL: <http://arxiv.org/abs/1504.04339>.

<sup>5</sup>Сжатие видеопотока для ППРЧ связи мобильных роботов. URL: [http://vpk.name/news/128791\\_szhatie\\_videopotoka\\_dlya\\_pprch\\_svyazi\\_mobilnyih\\_robotov.html#prettyPhoto](http://vpk.name/news/128791_szhatie_videopotoka_dlya_pprch_svyazi_mobilnyih_robotov.html#prettyPhoto).

<sup>6</sup>Страхолис А.А., Олейников В.Т., Петренко А.Н. Прием сигналов ВИМ-ШПС в системе дистанционного управления роботом-оператором. URL: <http://conf.mirea.ru/CD2013/pdf/p4/1.pdf>.

<sup>7</sup>«Ортоног» продемонстрировали ученым. URL: [http://vpk.name/news/97774\\_ortonog\\_prodemonstrirovali\\_uchenyim.html](http://vpk.name/news/97774_ortonog_prodemonstrirovali_uchenyim.html).



### Результаты анализа

Как видно из приведенного анализа, широкое распространение в качестве каналов беспроводной связи наземных роботов специального назначения получили стандарты передачи информации IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, IEEE 802.16, GSM, 3G. Встроенные системы защиты информации (криптография, широкополосные сигналы), используемые в упомянутых стандартах, хорошо описаны и исследованы, но в специальных целях их применение неэффективно, поскольку связано с появлением существенных недостатков.

Для повышения защищенности информационного обмена в роботизированных комплексах необходима разработка принципиально новых систем связи оператора (сервера) с роботом, обеспечивающих скрытые и помехозащищенные режимы приема и передачи сигналов [3].

Применение криптографии, как способа защиты, обеспечивает защиту от просмотра и подмены трафика, однако данный метод неэффективен при перехвате информации и подавлении информационного канала преднамеренными помехами.

Эффективным методом, обеспечивающим одновременно защиту от просмотра, подмены, перехвата и наложения помех, выступают широкополосные сигналы. В источнике [5] описано использование широкополосных сигналов для систем связи наземных роботов стран-участниц блока НАТО. Данные системы связи должны отвечать следующим требованиям:

- широкая полоса пропускания;
- скрытность;
- помехозащищенность;
- противодействие несанкционированному доступу.

Рассмотренные выше методы защиты каналов беспроводной связи на основе применения широкополосных сигналов могут быть применены, однако они обладают следующими недостатками: незначительное количество последовательностей, отсутствие возможности периодической смены используемых сигналов.

По мнению авторов, перспективным направлением в защите беспроводного канала управления от НСД является использование хаотических широкополосных сигналов. Предлагаемый подход основан на использовании перезаписываемых накопителей хаотических последовательностей, позволяющих использовать уникальные наборы хаотических сигналов [2]. Данный подход позволит значительно увеличить защищенность беспроводного канала управления робототехническими комплексами специального назначения, как от несанкционированного доступа, так и от воздействия помех.

### Выводы

Таким образом, в данной статье был проведен анализ методов защиты беспроводного канала связи робототехнических систем от несанкционированного доступа, в результате которого было установлено, что:

- широкое распространение в управлении наземными роботами специального назначения получили каналы бес-

проводной связи стандартов IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, IEEE 802.16, GSM, 3G, которые сравнительно легко подавляются средствами радиоэлектронной борьбы;

- эффективным методом одновременной защиты как от НСД, так и от помех, является применение широкополосных сигналов;
- основными недостатками ШПС являются незначительное количество последовательностей и отсутствие возможности периодической смены используемых сигналов;
- в качестве перспективного направления, позволяющего уменьшить недостатки систем с ШПС, предлагается использование перезаписываемых накопителей хаотических последовательностей, позволяющих использовать уникальные наборы хаотических сигналов.

### Литература

1. Гугалов К.Г. Оборудование беспроводной передачи информации для наземных робототехнических комплексов // Технологии и средства связи. 2013. № 3. С. 14–15.
2. Патент РФ 2326500. Когерентная система передачи информации хаотическими сигналами / Баркетов С.В., Жук А.П., Сазонов В.В., Авдеенко С.И., Жук Е.П., Лохов В.И., Голубь Ю.С. Заявл. 16.08.2006. Опубл. 10.06.2008. Бюл. № 16. 6 с.
3. Корсунский В.А., Наумов В.Н. Перспективы развития военных мобильных робототехнических комплексов наземного базирования в России // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 10. С. 29–37.
4. Патент РФ 2506157. Роботизированная транспортная платформа / Громов В.В., Липсман Д.Л., Мосалев С.М., Рыбкин И.С., Сеницын Д.И., Фуфаев Д.А., Хитров В.А. Заявл. 06.11.2012. Опубл. 10.02.2014. Бюл. № 2. 10 с.
5. Сердюк П.Е., Слюсар В.И. Средства связи с наземными роботизированными системами: современное состояние и перспективы // Электроника: наука, технология, бизнес. 2014. № 7 (139). С. 66–79.
6. Патент РФ 2544740. Система управления боевой роботизированной платформой / Громов В.В., Липсман Д.Л., Мосалев С.М., Рыбкин И.С., Сеницын Д.И., Фуфаев Д.А., Хитров В.А. Заявл. 26.11.2013. Опубл. 20.03.2015. Бюл. № 8. 10 с.
7. Скуратов В.В. Матричное умножение над полем GF(2) в защите беспроводных каналов систем управления робототехническим комплексом // Информационно-управляющие системы. 2013. № 4. С. 88–90.
8. Сычев В.А. Способ централизованного управления группой роботов по общему каналу // Материалы междунар. науч.-техн. конф. – БГУИР, Минск, 18-19 марта 2014: в 2 ч. Минск: БГУИР, 2014. Ч. 1. С. 304–305.
9. Цариченко С.Г. Экстремальная робототехника в МЧС России – задачи и перспективы // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. 2012. № 4(28). С. 97–105.
10. Patent US9132551. Teleoperated industrial robots / Zhang B., Staab H., Wang J., Zhang G.Q., Boca R., Choi S., Fuhlbrige T.A., Kock S., Chen H. Declared 08.11.2013. Published 05.06.2014. 6 p.

**Для цитирования:**

Жук А.П., Осипов Д.Л., Гавришев А.А., Бурмистров В.А. Анализ методов защиты от несанкционированного доступа беспроводных каналов связи робототехнических систем // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 38–42.

## ANALYSIS METHODS OF PROTECTION AGAINST UNAUTHORIZED ACCESS WIRELESSLY ROBOTIC SYSTEMS

**Zhuk Aleksandr Pavlovich,**

Stavropol, Russia, alekszhuk@mail.ru

**Osipov Dmitrii Leonidovich,**

Stavropol, Russia, dmtrosipov@ya.ru

**Gavrishev Aleksei Andreevich,**

Stavropol, Russia, alexxx.2008@inbox.ru

**Burmistrov Vladimir Aleksandrovich,**

Stavropol, Russia, vladalburmistrov@mail.ru

### Abstract

Nowadays, to solve the problems of protection of territories and objects, special tasks and tasks of disaster management, conduct medical operations are increasingly being used robots equipped with different sensors, surveillance, navigation and communication. The ground robotics, special purpose among the most popular destinations are: the construction of autonomous robots and remote control robot (a group of robots), by the operator or by means of pre-programmed commands from the control server. The construction of autonomous robots is quite a challenge. Remote control is performed by a wireless communication system, which is one of the most vulnerable elements of the robotic system, subject to various threats. Such threats include viewing, substitution, interception and jamming transmit control information. The aim of the article is to study the need for a wireless control channel robotic system perspective, special purpose communications systems with spread spectrum signals. The analysis found that the most common methods of information security in wireless systems are cryptographic methods of protection, VPN (virtual private network), spread spectrum signals, changing the radio signal (frequency, power) and mixed techniques. Embedded information protection system (cryptography, spread spectrum signals) used in the most common wireless communication standards IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, IEEE 802.16, GSM, 3G, well characterized and studied. However, there are modern arsenal of jamming data wireless communication systems can effectively destabilize their work. The use of cryptographic methods of protection provides protection against spoofing and view information, but is not effective against interception and jamming. It was found that the preferred method of providing at the same time protecting the confidentiality, integrity and availability of data traffic, and increases the security of information on the impact of interference is the use of spread spectrum signals. As a promising area of proposed use of chaotic spread spectrum signals. The proposed approach is based on rewritable drives chaotic sequences, allowing the use of a unique set of random signals. This approach will signifi-

cantly increase the security of the wireless channel control robotic systems, special purpose of destabilizing factors.

**Keywords:** wireless link; robotic systems; protection; unauthorized access; chaotic spread spectrum signals.

### References

1. Gugalov K.G. Equipment wireless data transmission for terrestrial robotic systems. Communication Technologies & Equipment. 2013. No. 3. Pp. 14–15. (In Russian).
2. Patent RF 2326500. Kogerentnaja sistema peredachi informacii haoticheskimi signalami [Coherent data transmission system using random signals]. Barketov S.V., Zhuk A.P., Sazonov V.V., Avdeenko S.I., Zhuk E.P., Lokhov V.I., Golub' J.S. Declared 16.08.2006. Published 10.06.2008. Bulletin No. 16. 6 p. (In Russian).
3. Korsun'kiy V. A., Naumov V. N. Prospects of development of military mobile robotic ground-based complexes in Russia. Engineering Journal: Science and Innovation. 2012. No. 10. Pp. 29–37. (In Russian).
4. Patent RF 2506157. Robotizirovannaja transportnaja platforma [Robot transport platform]. Gromov V.V., Lipsman D.L., Mosalev S.M., Rybkin I.S., Sinit'syn D.I., Fufaev D.A., Khitrov V.A. Declared 06.11.2012. Published 10.02.2014. Bulletin No. 2. 10 p. (In Russian).
5. Serduk P.E., Slusar V.I. Means of communications with terrestrial robotic systems: state-of-art and future directions. Electronics: science, technology, business. 2014. No. 7. Pp. 66–79. (In Russian).
6. Patent RF 254470. Sistema upravlenija boevoj robotizirovannoj platformoj [Management system of battle robotic platform]. Gromov V.V., Lipsman D.L., Mosalev S.M., Rybkin I.S., Sinit'syn D.I., Fufaev D.A., Khitrov V.A. Declared 26.11.2013. Published 20.03.2015. Bulletin No. 8. 10 p. (In Russian).
7. Skuratov V.V. Matrix multiplication above a GF(2) field to protect wireless channels of robotic complex control systems. Information and Control Systems. 2013. No. 4. Pp. 88–90. (In Russian).
8. Sychev V.A. Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija – BGUIR [International Scientific Conference – BGUIR]. In 2 pt. Minsk: BGUIR, 2014. Pt. 2. Pp. 304–305.
9. Carichenko S. G. Extreme robotics in the Russia's Ministry of emergency situations – challenges and perspectives. Safety & Fire technique. 2012. No. 4(28). Pp. 97–105.
10. Patent US 9132551. Teleoperated industrial robots. Zhang B., Staab H., Wang J., Zhang G.Q., Boca R., Choi S., Fuhlbrigge T.A., Kock S., Chen H. Declared 08.11.2013. Published 05.06.2014. 6 p.

### Information about authors:

Zhuk A.P., Ph.D., professor, professor of the North-Caucasus Federal University;

Osipov D.L., Ph.D., associate professor of the North-Caucasus Federal University;

Gavrishev A.A., Burmistrov V.A., postgraduate students of the North-Caucasus Federal University.

### For citation:

Zhuk A.P., Osipov D.L., Gavrishev A.A., Burmistrov V.A. Analysis methods of protection against unauthorized access wirelessly robotic systems. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 38–42.

# ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ АВТОМАТОВ

**Деев**

**Владимир Викторович,**

д.т.н., профессор,  
старший преподаватель  
кафедры технологий  
и средств комплексной обработки  
и передачи информации  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
val-rusanowa@yandex.ru

**Кудрявцев**

**Александр Михайлович,**

д.т.н., профессор кафедры  
радиоэлектронной разведки  
и радиоэлектронной борьбы  
Военной академии связи  
имени Маршала Советского  
Союза С.М. Буденного  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
alex.23.zauer@yandex.ru

**Копичев**

**Олег Андреевич,**

адъюнкт кафедры радиоэлектронной  
разведки и радиоэлектронной борьбы  
Военной академии связи  
имени Маршала Советского  
Союза С.М. Буденного  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
kopicheff@gmail.com

**Ключевые слова:**

электромагнитная обстановка;  
радиоэлектронное средство;  
непрерывно-дискретная система;  
гибридный автомат, гибридная система;  
сценарий.

АННОТАЦИЯ

Системы производственных и социально-экономических отношений характеризуются активным применением средств радиосвязи различного назначения. Увеличение количества служб радиосвязи, загруженность и ограниченность радиочастотного спектра как природного ресурса вызывают необходимость его эффективного использования. Представлена общая методика имитации электромагнитной обстановки, под которой понимается совокупность электромагнитных излучений, формируемых множеством мобильных объектов, с установленными радиоэлектронными средствами, объединенных в системы: связи, передачи данных, радиотехнического обеспечения, навигации и т.д. Оценка электромагнитной обстановки ведется службами радиомониторинга в интересах распределения радиочастотного спектра, частотно-территориального и территориально-энергетического планирования. Основные параметры электромагнитной обстановки, такие как интенсивность, мощность и плотность излучения, определяются функционированием множества мобильных объектов с установленными радиоэлектронными средствами. Однако, ее динамику в точке приема, выраженную в изменении количества и мощности излучения множества мобильных объектов с установленными радиоэлектронными средствами в полном объеме невозможно выразить количественными характеристиками. Имитация пространственно-временного и частотно-энергетического функционирования мобильных объектов с установленными радиоэлектронными средствами во многом определяется качественными показателями. Предлагаемый авторами подход предполагает разработку моделей мобильных объектов с установленными радиоэлектронными средствами и математическое описание различных режимов их работы и пространственного размещения. Особенности функционирования радиоэлектронного средства рассматриваются с позиции непрерывно-дискретных (гибридных) систем и в формализованном виде представлены гибридным автоматом. Под гибридным автоматом понимается система переходов, в которой каждой вершине соответствует область пространства состояний системы, характеризующая ее непрерывное поведение между событиями, приводящими к их смене. Рассмотренная обобщенная модель радиоэлектронного средства на мобильном объекте, смена режимов и условий работы которого определяются дискретными переходами, имитация применяемых радиосигналов описывается непрерывными процессами. Размещение в пространстве, общее количество радиоэлектронных средств, изменение режимов и параметров их работы предлагается описывать на основе логико-временного сценария, представляющего причинно-следственную сеть, в которой последовательность вершин, трактуется как последовательность действий, которые необходимо реализовать на пути к конечной цели.

Системы производственных и социально-экономических отношений характеризуются активным применением систем радиосвязи различного назначения. Увеличение количества различных служб радиосвязи, загруженность и ограниченность радиочастотного спектра (РЧС) как природного ресурса диктуют необходимость его эффективного использования.

Решение этой задачи предполагает наличие инструмента оценки электромагнитной обстановки (ЭМО). В рамках статьи под ЭМО понимается совокупность электромагнитных излучений, формируемых множеством мобильных объектов, с установленными радиоэлектронными средствами (МО РЭС), объединенных в системы: связи, передачи данных, радиотехнического обеспечения, навигации и т.д., а также источниками помех естественного происхождения.

Оценка ЭМО осуществляется службами радиомониторинга в интересах контроля использования и распределения РЧС, а также различными организациями в сфере радиосвязи для частотно-территориального и территориально-энергетического планирования в условиях высокой абонентской плотности.

ЭМО характеризуется количеством, мощностью, пространственно-территориальной плотностью излучений и интенсивностью естественного фона. В точке приема ЭМО представляет групповой радиосигнал в форме аддитивной смеси электромагнитных полей с высокой спектральной и временной плотностью [1].

Существующие аппаратно-программные средства позволяют формировать модели радиосигналов различных типов и применять их для имитации работы МО РЭС в различных режимах радиоизлучения. Основные параметры ЭМО, такие как интенсивность, мощность и плотность излучения, определяются функционированием множества МО РЭС. Однако, динамику ЭМО в точке приема, выраженную в изменении количества и мощности излучения множества МО РЭС в полном объеме невозможно выразить количественными характеристиками. Имитация пространственно-временного и частотно-энергетического функционирования мобильных объектов с установленными РЭС во многом определяется качественными показателями, связанными с процессами в социально-экономической и производственной сферах деятельности государства [2].

Особенности функционирования и характеристики основных состояний МО РЭС могут быть описаны на основе логико-временного сценария [3]. Сценарий представляет собой причинно-следственную сеть, в которой последовательность вершин, трактуется как последовательность действий, которые необходимо реализовать на пути к конечной цели [4].

Сценарий определяет последовательность изменения параметров функционирования МО РЭС, формирующих единую электромагнитную обстановку, в зависимости от состояния и деятельности объектов экономической и социально-производственной сферы. С позиции математического описания функциональ-

ных свойств объекта исследования, радиоэлектронное средство характеризуется совокупностью дискретных и непрерывных состояний. К дискретным состояниям можно отнести изменение режимов работы, непрерывные процессы включают непосредственную работу радиоэлектронных средств на излучение радиосигналов. Такое непрерывно-дискретное поведение характерно для многих систем автоматического управления, в которых имеются непрерывный объект управления и дискретное устройство управления (контроллер). Системы, имеющие как непрерывные, так и дискретные аспекты поведения называются гибридными (также используются термины «непрерывно-дискретные системы», «системы с переменной структурой», «событийно-управляемые») [5].

К современным методам моделирования непрерывно-дискретных систем относятся математические схемы на основе гибридных автоматов. Часть переменных гибридного автомата и соответствующих им состояний описываются дифференциальными уравнениями или аналитическими функциями. Гибридный автомат представляется ориентированным графом, вершинам которого сопоставляются качественные состояния системы и приписываются непрерывные действия, которые выполняются пока данное состояние является текущим.

Гибридной системой называется следующая конструкция:

$$H = \{S, X, E, F, P, Z, \lambda\} \quad (1)$$

$S$  – конечное множество состояний (локаций);

$X = \{X_d, X_c\}$  – конечное множество вещественных переменных, где  $X_d$  – множество дискретных переменных  $X_d = \{X_d \in \mathfrak{X} \cup Bool \mid i = 1..n_d\}$ ,  $X_c = \{X_c \in \mathfrak{X} \mid i = 1..n_c\}$ , где  $X_c$  – множество непрерывных переменных;

$E$  – конечное множество дуг.

$e = (s, a, P_e, \lambda^{(e)}, s') \in E$ , где  $s, s' \in S$  – исходная и целевая локация для дуги  $e$ ,  $a \in \Sigma$ ,  $\Sigma$  – алфавит меток переходов (алфавит событий);

$F$  – оператор локального поведения внутри каждой локации (система дифф. включений, дифф. уравнений или аналитических функций)

$P$  – множество логических предикатов над  $X$ , описывающих условия перехода по дугам  $E$ ,  $P = \{p_i(t, X_d) \in Bool \mid i = 1..m_p\}$ ;

$Z$  – множество предикатов над  $X$ , описывающих область значений переменных  $X$  в локациях  $s \in S$ ,  $Z = \{z_i(t, X_c) \in \mathfrak{X} \mid i = 1..m_z\}$ ;

$\lambda$  – множество начальных значений переменных множества  $X$  для каждой локации.

Состояние гибридной системы определяется вектором значений переменных  $x \in X$  и локацией  $s \in S$ , к которой этот вектор относится (т.е.  $P_s(x) = True \rightarrow S$ ). Поэтому состоянием гибридной системы называется пара  $(s, x)$ ,  $s \in S$ ,  $x \in X$ . Моделирование глобального поведения системы переходов заключается в построении множества вычислений цепочек пар  $(s_i, t_i)$ .

Представим модель функционирования МО РЭС в виде ориентированного графа переходов состояний ги-

бридного автомата  $G=\{S;E\}$ , изображенного на рис. 1. Множеству вершин графа  $S$  соответствуют состояния, характеризующиеся непрерывными процессами – режимами радиоизлучения радиоэлектронных средств. Дуги  $E$  графа определяют условия перехода между вершинами и в рамках гибридной схемы являются дискретными мгновенными событиями.

Характеристики современных радиоэлектронных средств позволяют использовать несколько стандартов радиосвязи, в том числе режимы автоматической установки связи. На рис. 1 представлен обобщенный вариант модели функционирования МО РЭС, предполагающий наличие нескольких режимов работы.

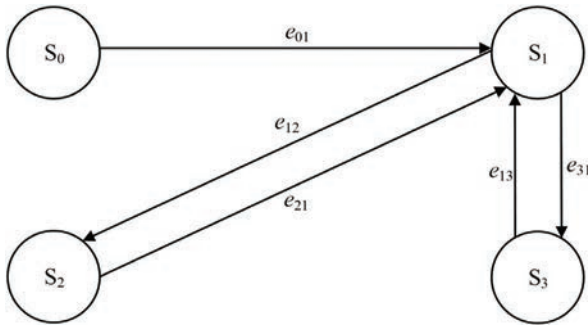


Рис. 1. Модель функционирования МО РЭС

$S_0$  – начальное состояние РЭС – выключено.

Каждое из состояний  $S_1, S_2$  и  $S_3$  может быть конечным.

$S_1$  – режим автоматической установки связи.

$S_2$  – стандарт радиосвязи 1.

$S_3$  – стандарт радиосвязи 2.

Множество дуг  $E = \{e_{01}, e_{12}, e_{21}, e_{13}, e_{31}\}$ .

Алфавит меток переходов состояний автомата  $\Sigma = \{a_{01}, a_{12}, a_{21}, a_{13}, a_{31}\}$ , элементы переменных  $X_d = \{\chi_r^k, \Omega_1, \Omega_2\}$ .

Переход из состояния в состояние по дугам определяется истинностью предиката

$$p_{01}(t, X_{d01}, a_{01}) = true: S_0 \rightarrow S_1;$$

$$p_{12}(t, X_{d12}, a_{12}) = true: S_1 \rightarrow S_2;$$

$$p_{21}(t, X_{d21}, a_{21}) = true: S_2 \rightarrow S_1;$$

$$p_{13}(t, X_{d13}, a_{13}) = true: S_1 \rightarrow S_3;$$

$$p_{31}(t, X_{d31}, a_{31}) = true: S_3 \rightarrow S_1.$$

Фазовая траектория автомата  $G$  в пространстве состояний  $S \times T$  представляет собой последовательный процесс, в котором дискретные события перехода из одного состояния в другое осуществляются мгновенно. В каждом состоянии время протекает непрерывно. Таким образом, модельное (гибридное) время состоит из отрезков, в которых непрерывное течение времени сменяется дискретными отсчетами. Все отрезки пронумерованы и представляют некоторую упорядоченную последовательность. Локальное дискретное время позволяет упорядочивать мгновенные действия. На рис. 2 графически представлен пример модельного времени.

В момент  $t$  система находится в начальном состоянии  $S_0$  не содержащем никаких действий. При выполнении условий истинности предиката  $p_{01}(t, a_{01}) = true$

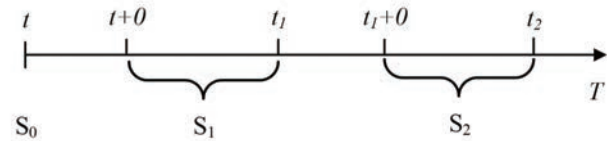


Рис. 2. Модельное время

происходит мгновенная смена  $t=0$  состояний автомата  $S_0 \rightarrow S_1$ . Состоянию  $S_1$  соответствует непрерывный процесс на интервале  $[t+0; t_1]$ . Если состоянию не приписано никакого непрерывного отображения, то все переменные сохраняют свои значения. Переменная  $t$  изменяется независимо (это принципиальное отличие от обычного конечного автомата) и выполняются непрерывные действия [5].

В состояниях  $S_1, S_2$  и  $S_3$  поведение системы характеризуется непрерывными процессами, каждому из которых соответствует конкретный вид излучения (стандарт радиосвязи), сформированного на основе имеющихся имитаторов радиосигналов. Параметры такого состояния представлены выражением:

$$u(t) = (\chi(t), \xi(t)) \in u^i \subset m_i^k \times m_i^k, t \in t^i \subset T \quad (2)$$

$\chi(t) \in m_i^k = \{\chi_1^i, \dots, \chi_n^i\} \in X_i$  – индекс применяемого режима (вида) радиоизлучения, принимает дискретные значения.

$\xi(t) \in m_i^k \in X_i$  – вектор непрерывнозначных параметров (ширина частотного спектра, скорость передачи, мощность излучения).

$u^k$  – бинарное отношение на множествах значений  $m_{\chi}^k, m_{\xi}^k$  определяющее связь  $\chi$  и  $\xi$ .

Для описания режимов работы МО РЭС, соответствующих состояниям гибридного автомата с непрерывным поведением, составляются дифференциальные уравнения. Индекс  $\chi$  определяет режим излучения и его параметры в уравнениях для  $\xi$ , в соответствии с которыми реализуется определенная структура уравнений, имеющая общий вид [3]:

$$\frac{\partial \xi(t)}{\partial t} = V_{\chi}(\xi, t) + W_{\chi}(\xi, t)m(t) \quad (3)$$

$V_{\chi}(\xi, t), W_{\chi}(\xi, t)$  – преобразующие функционалы, определенные режимом радиоизлучения.

$m(t)$  – центрированный вектор параметров режима излучения (каждое  $\chi \in m_{\chi}^k$  определяет подмножество  $m_{\xi}^k \subset m^k$  значений  $\xi$ , т.е. зависимость изменения параметров  $m_{\xi}^k$  радиоизлучения от  $m_{\chi}^k$  индекса режима излучения).

В рассмотренном подходе формирования модели МО РЭС, имитация физических характеристик их излучений осуществляется включением существующих моделей радиосигналов в локальные позиции гибридного автомата, по схеме представленной выражением (2,3). В рамках модели задаются основные параметры излучения МО РЭС на основе сценария развития ЭМО. Для объединения отдельных МО РЭС в состав систем связи используются правила композиции гибридных автоматов.

Переход между состояниями определяется двумя правилами:

дискретный переход при фиксированном времени выполняется при условии  $p_n(t, X_{dn}, a_n) = true: S \rightarrow S_n$ ;

$$\frac{(s_0, a_n, p_n(t_n, X_{a_n}, a_n), s_n) \in e_n, p(X_{a_0})=T, X_m \in \lambda^{(n)}(X_{a_0})}{(s_0, X_{a_0}) \xrightarrow{a} (s_1, X_{a_1})} \quad (4)$$

временной переход – увеличение времени внутри локации с преобразованием непрерывных переменных (время относительное)

$$\frac{X_t = F_i(X_{e_0}, t), \forall t', 0 \leq t' \leq t, Z_i(F_i(X_{e_0}, t'))}{(s_0, X_{e_0}) \xrightarrow{t} (s_1, X_{e_1})} \quad (5)$$

Кроме последовательной смены основных режимов функционирования МО РЭС, сценарий предусматривает изменение пространственного положения источника радиоизлучения. Пространственно-временное размещение МО РЭС на картографической основе осуществляется в соответствии с составленной или сформированной по случайному закону распределения схемой их перемещения.

На рис. 3 вершины неориентированного связного графа соответствуют фиксированным пунктам в пространстве, а ребра маршрутам перемещения. МО РЭС  $r_q \in R$ , может выполнять ряд действий:  $\mu_1(x)$  – фиксировать местоположение  $x$ ;  $\mu_2(l)$  – выбирать маршрут следования  $l=(1..6)$ ,  $\mu_3(l, v)$  – двигаться по маршруту  $l$  со скоростью  $v$ . Для определения логики пространственного перемещения МО РЭС задаются предикаты:  $B(r_q, x)$  – РЭС находится в пункте  $x$ ,  $O(r_q, l)$  –  $q$ -ым МО РЭС выбрано направление по маршруту  $l$ ,  $M(r_q, l)$  – РЭС движется по маршруту  $u$ .

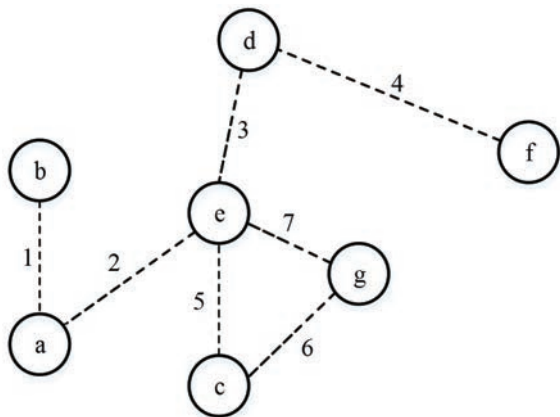


Рис. 3. Вариант схемы перемещения МО РЭС

Истинность предикатов определяется их соответствием рассматриваемым вариантам поведения РЭС:

$$\mu_1(l) \rightarrow B(r_q, x); \mu_2(l) \rightarrow O(r_q, l); \mu_3(l, v) \rightarrow M(r_q, l, v) \quad (6)$$

Возможные действия МО РЭС по изменению своего местоположения представляются в виде следующих схем:

$$\Omega_1 = B(r_q, x) \wedge O(r_q, l) \rightarrow M(r_q, l, v) \wedge \neg \wedge \neg B(r_q, x) \rightarrow B(r_q, y) \wedge \neg B(r_q, x) \quad (7)$$

$$\Omega_2 = B(r_q, x) \wedge O(r_q, l) \wedge M(r_q, l, v) \rightarrow \rightarrow B(r_q, y) \wedge \neg M(r_q, l, v) \wedge \neg B(r_q, x) \quad (8)$$

Исходя из структуры предусловия и следствия, предикатная схема (7) подразумевает имитацию движения МО РЭС с конечным значением скорости, схема (8) целесообразна при мгновенном изменении местоположения.

Выражения (7, 8) тождественны и применяются для описания перемещения модели МО РЭС в пространстве. Время и условия достижения конечного пункта движения закладываются в сценарии развития обстановки и также могут быть выражены в виде предикатных схем.

В рассмотренном подходе формирования модели МО РЭС, установленного на мобильном объекте, имитация физических характеристик излучения радиоэлектронного средства осуществляется включением существующих моделей радиосигналов в локальные позиции гибридного автомата, по схеме представленной выражением (3). В рамках модели задаются основные параметры излучения и пространственно-временного размещения МО РЭС (выражения 4, 5) на основе сценария развития ЭМО. Для объединения отдельных РЭС в состав систем связи используются правила композиции гибридных автоматов.

Данный подход позволит изучить взаимное влияние и электромагнитную совместимость множества радиоэлектронных средств в условиях загруженности РЧС. На основе моделей МО РЭС возможно изучение и определение технических возможностей функционирования систем мобильного радиосервиса при высокой абонентской плотности на ограниченных территориях.

**Литература**

1. Желнин С.Р., Чельшев В.Д. Основы построения цифровых радиоприемных устройств. Научно-практические и методические материалы. СПб.: ВАС, 2011. 184 с.
2. Заика П.В., Копичев О.А. Имитационное моделирование радиоэлектронной обстановки на основе агрегативного подхода // Радиотехника, электроника и связь: сб. докладов III Междунар. науч.-технической конф., Омск, 6-8 октября 2015. Омск: Омский научно-исследовательский институт приборостроения, 2015. С. 207–212.
3. Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. М.: Радиотехника, 2004. 432 с.
4. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с.
5. Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 240 с.

**Для цитирования:**

Деев В.В., Кудрявцев А.М., Копичев О.А. Логико-лингвистический подход к моделированию электромагнитной обстановки на основе гибридных автоматов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 43–47.

### LOGIKO-LINGVISTICHESKY THE APPROACH TO MODELLING OF THE ELECTROMAGNETIC SITUATION ON THE BASIS OF HYBRID AUTOMAT

**Deev Vladimir Viktorovich,**

St. Petersburg, Russia, val-rusanowa@yandex.ru

**Kudryavtsev Aleksandr Mikhailovich,**

St. Petersburg, Russia, alex.23.zauer@yandex.ru

**Kopichev Oleg Andreevich,**

St. Petersburg, Russia, kopicheff@gmail.com

#### Abstract

System of production and socio-economic relations are characterised by active use of radio communications for various purposes. The increase in the number of Radiocommunication services, the workload and the limited radio spectrum as a natural resource causes the need for its effective use. The article presents General methods for simulation of electromagnetic environment, which is understood as the totality of electromagnetic radiation, generated by a large number of mobile objects, with established radio-electronic means, are combined in the system: communication, data communication, electronic security, navigation, etc. Assessment of electromagnetic environment is conducted by the radio monitoring services in the interests of radio spectrum allocation, frequency-territorial and territorial and energy planning. Basic parameters of electromagnetic environment, such as intensity, power and density of radiation are determined by the functioning of multiple mobile objects with the established electronic means. However, its dynamics at the point of reception, expressed as a change in the number and radiated power of a plurality of mobile objects with established radio-electronic means in full it is impossible to Express quantitative characteristics. Simulation of spatio-temporal and frequency-energy performance of a mobile object with mounted radio-electronic means is largely determined by the quality indicators. The offered approach involves the modelling of mobile objects with the established electronic means and the mathematical description of the various modes of their operation and spatial distribution. Features of functioning of radio-electronic means are considered from the perspective of continuous-discrete (hybrid) systems and formalized presents a hybrid machine. Under a hybrid automaton is a system of navigation in which each vertex corresponds to a region of the state space of the system, describing continuous behavior between events, leading to their shift. Considered a generalized model

of radio-electronic means on a mobile object, changing modes and conditions determined by the discrete transitions, the simulation of the applied radio signals is described by continuous processes. Location in space, the total number of radio-electronic means, change modes and parameters of their work are encouraged to describe on the basis of logico-temporal scenario representing a causal network in which a sequence of vertices interpreted as a sequence of actions that must be implemented towards the ultimate goal.

**Keywords:** electromagnetic situation; radio-electronic means; continuous and discrete system; hybrid automat; hybrid system; scenario.

#### References

1. Zhelnin S.R., Chelyshev V.D. Osnovy postroeniya tsifrovyykh radiopriemnykh ustroystv. Nauchno-prakticheskie i metodicheskie materialy [Bases of creation of digital radio intakes. Scientific and practical and methodical materials]. St. Petersburg, Voennaya akademiya svyazi, 2011. 184 p. (In Russian).
2. Zaika V.P., Kopichev O.A. Radiotekhnika, elektronika i svyaz': Sbornik dokladov III Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii [The collection of reports of III International scientific-technical conference "Radio engineering, electronics and communication"], Omsk, October 6–8, 2015. Omsk, Omskiy nauchno-issledovatel'skiy institut priborostroeniya Publ., 2015. Pp. 207–212. (In Russian).
3. Radziyevsky V.G., Sirota A.A. Teoreticheskie osnovy radioelektronnoi razvedki [Theoretical bases of radio-electronic intelligence]. Moscow, Radiotekhnika, 2004. 432 p. (In Russian).
4. Pospelov D.A. Logiko-lingvisticheskie modeli v sistemakh upravleniya [Logic and linguistic models in control systems]. Moscow, Energoizdat, 1981. 232 p. (In Russian).
5. Kolesov Y.B. Ob"ektno-orientirovannoe modelirovanie slozhnykh dinamicheskikh sistem [Object-oriented modeling of difficult dynamic systems]. St. Peterburg, Sankt-Peterburgskii Gosudarstvennyi Politekhnikeskii Universitet Publ., 2004. 240 p. (In Russian).

#### Information about authors:

Deev V.V., Ph.D., professor, senior lecturer of the Military Space Academy;  
Kudryavtsev S.M., Ph.D., professor of the Military Academy of Signal Communications;  
Kopichev O.A., postgraduate student of the Military Academy of Signal Communications.

#### For citation:

Deev V.V., Kudryavtsev S.M., Kopichev O.A. Logiko-lingvistichesky the approach to modelling of the electromagnetic situation on the basis of hybrid automat. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 43–47.

# МОДЕЛЬ АТМОСФЕРНЫХ И ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПОМЕХ, АДАПТИРОВАННАЯ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИЕМНОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

**Строганова**

**Елена Петровна,**

д.т.н., профессор Московского  
технического университета связи  
и информатики,  
г. Москва, Россия,  
stroganovaep@gmail.com

**Немыкин**

**Андрей Александрович,**

старший преподаватель кафедры  
метрологии, стандартизации  
и измерения в инфокоммуникациях  
Московского технического  
университета связи и информатики,  
г. Москва, Россия,  
mtuci@mtuci.info

## Ключевые слова:

помехи; статистическое моделирование;  
имитационная модель; гауссовский  
шум; импульсная характеристика.

АННОТАЦИЯ

Известные принципы статистического моделирования негауссовых помех, предполагают использование четырехмерного совместного распределением амплитуды и фазы, которое к тому же, как правило, неизвестно, что представляет значительные трудности при их реализации на практике. В данной работе статистическое моделирование квазиимпульсных помех типа атмосферных и промышленных предлагается производить путем формирования реализации импульсной составляющей помехи на основе распределений длительности выбросов помехи и интервалов между ними, полученных в рамках аналитической модели квазиимпульсных помех, с последующим заполнением интервалов между выбросами гауссовским коррелированным шумом. В качестве аналитической модели импульсной составляющей квазиимпульсной помехи выбрана логарифмически нормальная модель, обеспечивающая хорошее совпадение с экспериментальными данными при описании характеристик выбросов атмосферных и промышленных помех в декаметровых и метровых диапазонах и легко согласующаяся с экспериментальными данными.

Построение имитационной модели квазиимпульсной помехи производится с использованием аппроксимации выбросов огибающей помехи экспоненциальными импульсами (прямоугольными треугольниками в логарифмической системе координат). Основанием для выбора такой аппроксимации является экспоненциальный вид огибающей импульсной характеристики одиночного колебательного контура, используемого обычно в качестве избирательной цепи приемника.

Реализация импульсной составляющей помехи формируется в системе координат с логарифмической шкалой по оси ординат путем расстановки на оси времени выбросов огибающей помехи, имеющих вид прямоугольных треугольников по нескольким уровням, статистика пересечения которых полагается известной. Расстановка производится, начиная с самого верхнего уровня и заканчивая уровнем ближайшим к фоновому с интервалом 8–10 децибел. Длительность формируемых реализаций ограничивается лишь объемом памяти используемой при моделировании вычислительной техники.

Достоинством предлагаемого способа моделирования квазиимпульсных помех является возможность адаптации модели к условиям эксплуатации приемной радиоэлектронной аппаратуры от условий радиоприема: географического района, времени года и времени суток (для атмосферных помех), высоты точки приема (для промышленных помех), а также от частотного диапазона и полосы пропускания приемного устройства (для обоих видов помех).



Известные принципы статистического моделирования негауссовых помех [1], предполагают использование четырехмерного совместного распределения амплитуды и фазы, которое к тому же, как правило, неизвестно, что представляет значительные трудности при их реализации на практике. В данной работе статистическое моделирование квазиимпульсных помех типа атмосферных и промышленных предлагается производить путем формирования реализации импульсной составляющей помехи на основе распределений длительности выбросов помехи  $W_d(x)$  и интервалов между ними  $W_i(x)$ , полученных в рамках аналитической модели квазиимпульсных помех, с последующим заполнением интервалов между выбросами гауссовским коррелированным шумом. В качестве аналитической модели импульсной составляющей квазиимпульсной помехи выбрана логарифмически нормальная модель [2], обеспечивающая хорошее совпадение с экспериментальными данными при описании характеристик выбросов атмосферных и промышленных помех [3] в ДКМВ и МВ диапазонах и легко согласующаяся с экспериментальными данными через параметр  $V_d$ , характеризующий степень импульсности помехи [4,5].

Построение имитационной модели квазиимпульсной помехи производится с использованием аппроксимации выбросов огибающей помехи экспоненциальными импульсами (прямоугольными треугольниками в логарифмической системе координат). Основанием для выбора такой аппроксимации является экспоненциальный вид огибающей импульсной характеристики одиночного колебательного контура, используемого обычно в качестве избирательной цепи приемника.

Реализация импульсной составляющей помехи формируется в системе координат с логарифмической шкалой по оси ординат путем расстановки на оси времени выбросов огибающей помехи, имеющих вид прямоугольных треугольников по нескольким уровням, статистика пересечения которых ( $W_d(x)$ ,  $W_i(x)$ ) полагается известной. Расстановка производится, начиная с самого верхнего уровня и заканчивая уровнем ближайшим к фоновому с интервалом 8–10 дБ. Длительность формируемых реализаций ограничивается лишь объемом памяти используемой при моделировании вычислительной техники.

Длительность очередного выброса импульсной составляющей помехи  $\Delta t_0$  на текущем уровне  $E_0$  определяется с помощью метода Монте-Карло на основании распределения длительностей  $W_d(x)$  выбросов на данном уровне. Затем производится пересчет этой длительности в длительность импульса  $\Delta t$  на уровне среднеквадратического отклонения (СКО) фоновой составляющей помехи  $\sigma_\phi$  по формуле:

$$\Delta t = \Delta t_0 + (E_0 - \sigma_\phi) / K, \quad (1)$$

в которой время нормировано относительно величины  $1/B$ ; где  $B$  – полоса пропускания приемника, а  $E_0$  и  $\sigma_\phi$  – относительно СКО помехи  $\sigma_{\Pi} = [(\bar{E}^2)/2]^{1/2}$ . В

(1)  $K$  – тангенс угла наклона гипотенузы к лежащему на оси времени основанию прямоугольного треугольника, аппроксимирующего в логарифмическом масштабе выбросы огибающей помехи, численно равный коэффициенту затухания экспоненциального импульса, который, в свою очередь, равен эффективной ширине полосы его спектра [6], совпадающей с полосой пропускания приемника  $B$ .

Координаты начала ( $t_n$ ) и конца ( $t_k$ ) импульса заносятся двумерный массив, длина которого равна числу выбросов огибающей помехи в формируемом временном интервале. Расстояние между выбросами на текущем уровне определяется на основании распределения интервалов между выбросами огибающей помехи  $W_i(x)$ .

После завершения расстановки выбросов на очередном уровне аналогичным образом производится заполнение промежутков между выбросами предыдущего уровня. При этом по формуле  $M = K\Delta t_0$  определяется пиковое значение очередного формируемого на текущем уровне выброса и в случае, если  $M$  больше предыдущего уровня, то поскольку выбросы, пересекающие этот уровень, уже сформированы, импульс аннулируется, а на его месте формируется следующий. Таким образом, после заполнения последнего самого нижнего уровня получается опирающаяся на фоновый уровень последовательность выбросов импульсной составляющей огибающей помехи.

Необходимые для формирования импульсной составляющей квазиимпульсной помехи аналитические выражения распределений длительностей выбросов огибающей помехи  $W_d(x)$  и интервалов между ними  $W_i(x)$  для фиксированного уровня огибающей помехи  $E_0$  были получены в рамках логарифмически нормальной модели [2] для односвязной (марковской) последовательности примыкающих друг к другу аппроксимирующих (опорных) импульсов [7]. Выражения для распределений имеют вид:

$$W_d(k t_0) = 1 - \rho_{++}^k, \quad (2)$$

$$W_i(k t_0) = 1 - \rho_{-}^k, \quad (3)$$

где  $\rho_{++} = K [R_0, \alpha(E_0)] / \rho_+$ ,

$$\rho_{-} = (1 - 2\rho_+ + \rho_+ \rho_{++}) / (1 - \rho_+), \quad \rho_+ = F[-\alpha(E_0)],$$

$$R_0 = R(t_0) = 1 + (1/\sigma) \ln [B_e(t_0)/B_e(0)],$$

$$\alpha(E_0) = \sigma + 1/\sigma^2 \ln [E_0/B_e^{1/2}(0)],$$

а  $\sigma$  определяется выражением [8]

$$\sigma \cong \begin{cases} 0,87V_d^{1/2} & \text{– для промышленных помех,} \\ 0,57V_d^{1/2} & \text{– для атмосферных помех,} \end{cases} \quad (4)$$

где

$$V_d = 20 \lg[(\bar{E}^2)^{1/2} / \bar{E}] = 20 \lg[\sqrt{2} \sigma_n / \bar{E}], \quad (5)$$

$\sigma_n = (\bar{E}^2)^{1/2} / \sqrt{2}$  – СКО, а  $\bar{E}$  – среднее значение огибающей квазиимпульсной помехи.

В (3) приняты следующие обозначения:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (6)$$

$$K(x, y) = \frac{1}{2\pi(1-x^2)^{1/2}} \int_y^\infty \int_y^\infty \exp\left[-\frac{u^2 + v^2 - 2xuv}{2(1-x^2)}\right] du dv - \quad (7)$$

табулированные функции Лапласа и Крампа [9],  $B_e(t)$  – корреляционная функция огибающей помехи,  $t_0$  – длительность опорного импульса,  $V_d$  – параметр импульсности помехи.

Для того чтобы аппроксимирующая последовательность импульсов была марковской, длительность аппроксимирующих импульсов  $t_0$  выбирается из условия [10]  $\tau_k \gg t_0$  или  $1/B \gg t_0$ , где  $\tau_k$  – интервал корреляции процесса на выходе приемника. При вычислениях было принято  $t_0 = 0,1/B$ .

Вычисление специальных функций  $F(x)$  и  $K(x, y)$  требует больших затрат машинного времени. Воспользовавшись аппроксимацией функции  $F(x)$  из [9]:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(\sum_{n=1}^5 a_n \lambda^n\right), \quad \text{где } \lambda = \frac{1}{1+\rho x}, \quad (8)$$

$$\rho = 0,2316419, \quad a_1 = 0,31938153, \quad a_2 = -0,35636378, \\ a_3 = 1,781477, \quad a_4 = -1,821256, \quad a_5 = 1,33302744,$$

позволяющей аппроксимировать  $F(x)$  с точностью не хуже  $1,7 \cdot 10^{-7}$ , и разложением в ряд подынтегрального выражения в  $K(x, y)$  [9], получим выражение

$$K(x, y) = \int_y^\infty \int_y^\infty \sum_{n=0}^\infty \frac{x^n}{n!} F(u)^{(n+1)} F(v)^{(n+1)} du dv, \quad (9)$$

в котором мы ограничимся первыми 10 членами ряда. Учитывая связь производных функции Лапласа с полиномами Эрмита

$$F(x)^{(n+1)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} (-1)^n H_n(x) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right), \quad (10)$$

выражение для  $\rho_{++}$  можно представить в виде удобном в вычислительном отношении

$$\rho_{++} = \frac{q^2}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\alpha(E_0^2)}{2}\right] \left[1 + \frac{1}{q^2} \sum_{n=1}^{10} \frac{R_0^n}{n!} H_{(n-1)}^2 \alpha(E_0)\right], \quad (11)$$

где

$$q = \exp\sum_{n=1}^5 \alpha_n \lambda^n, \quad \lambda = \frac{1}{1+\rho\alpha(E_0)}. \quad (12)$$

Энергетический спектр огибающей импульсной составляющей помехи, как это принято в [2], аппроксимируется прямоугольным треугольником с основанием

$B$ , где  $B$  – полоса пропускания приемника. При этом выражение для  $R_0$  в (2), (3) и (10) примет вид

$$R_0 = 1 - 0,033/\sigma^2. \quad (13)$$

Таким образом, при известных типе помехи, действующей в канале связи (атмосферная, индустриальная), параметре импульсности помехи  $V_d$ , полосе пропускания приемника  $B$ , получаемых в рамках логарифмически нормальной модели распределения длительностей выбросов огибающей помехи  $W_d(x)$  и интервалов между ними  $W_i(x)$  описанные выше процедуры позволяют сформировать огибающую импульсной составляющей квазиимпульсной помехи. Ее фаза принимается постоянной внутри выброса и распределенной равномерно в различных выбросах.

Фоновая составляющая представляет собой гауссовскую помеху с дисперсией, определяемой по формуле [8]

$$\sigma_\phi^2 = c \frac{\bar{E}^2}{2}, \quad (14)$$

где  $c = \begin{cases} 10^{-0,13V_d} & \text{для индустриальной помехи,} \\ 10^{-0,20V_d} & \text{для атмосферной помехи.} \end{cases}$

Она заполняет интервалы между выбросами импульсной компоненты. При этом в отличие от последней, формируемой заранее, отсчеты фоновой составляющей вычисляются непосредственно в процессе моделирования.

В силу случайного характера расстановки выбросов огибающей и других погрешностей моделирования помехи возможно некоторое отклонение ее параметров от заданных величин. Поэтому при заполнении массива, описывающего импульсную составляющую помехи, накапливаются также данные, необходимые для корректировки параметров формируемой реализации. Значение дисперсии для реализации помехи, полученной в результате моделирования, определяется по формуле

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{2T} \left[ \sum_i \left( \frac{K^2 \Delta t_i^3}{3} + K \Delta t_i^2 \sigma_\phi + \Delta t_i \sigma_\phi^2 \right) + 2 \Delta t_\phi \sigma_\phi^2 \right], \quad (15)$$

где  $T$  – длительность реализации помехи;  $\Delta t_\phi$  – суммарное время действия фоновой компоненты;  $\Delta t_i$  – длительность  $i$ -го выброса огибающей помехи на уровне  $\sigma_\phi$ . Суммирование в формуле (15) производится по всем выбросам реализации помехи. По условиям моделирования  $\sigma_{11}^2 = 1$ . В случае отклонения от этой величины корректируется значение  $\sigma_\phi$ . Затем вычисляется значение параметра импульсности  $V_d$  по формуле

$$V_d = 20 \lg \left\{ \sqrt{2} \sigma_n T / \left[ \sum_i \left( \frac{K \Delta t_i^2}{2} + \Delta t_i^2 \sigma_\phi \right) + \Delta t_\phi \bar{E}_\phi \right] \right\}, \quad (16)$$

где  $\bar{E}_\phi = \sigma_\phi 10^{-0,1049}$  – среднее за время  $\Delta t_\phi$  значение огибающей фоновой составляющей.

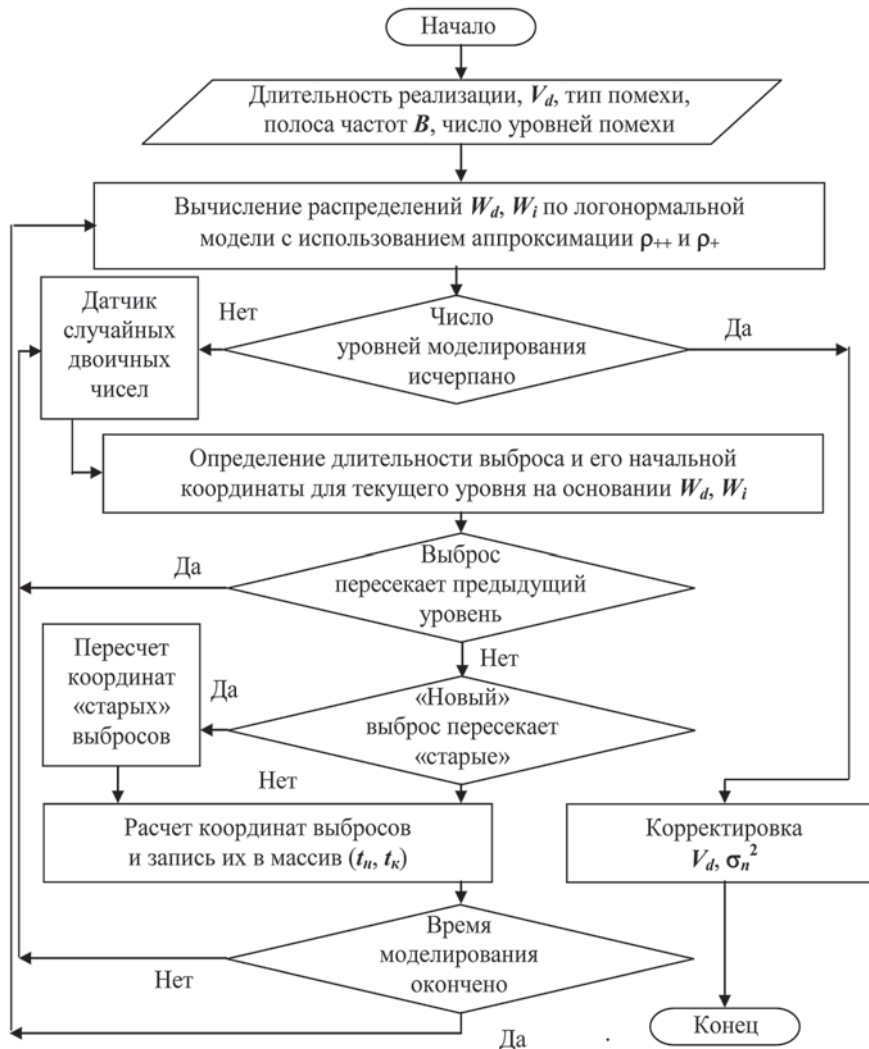


Рис. 1. Алгоритм формирования импульсной составляющей помехи

Процесс формирования отсчетов импульсной составляющей помехи, алгоритм которого представлен на рис.1, начинается после того как массив, описывающий ее, будет заполнен и сводится к просмотру всех моментов выборки в пределах реализации помехи.

Если момент выборки попадает в интервал между начальной ( $t_n$ ) и конечной ( $t_k$ ) координатами очередного выброса, то амплитуда помехи в этот момент времени определяется по формуле

$$A = (t_{om} - t_k) K, \quad (17)$$

где  $t_{om}$  – момент взятия отсчета, а  $A$  – измеряется в децибелах относительно СКО помехи. Фаза в отсчетной точке определяется на основе равномерного распределения и остается постоянной для всех отсчетов в пределах выброса. После нахождения амплитуды и фазы помехи в отсчетной точке формируются отсчеты квадратурных компонент помехи  $A \cos \varphi$  и  $A \sin \varphi$ . Целесообразность перехода к квадратурным компонен-

там обусловлена тем, что в современных приемных устройствах с цифровой обработкой информации, как правило, используется квадратурный выход, так как это снижает требования к производительности вычислителя, поскольку обработка высокочастотного сигнала заменяется обработкой его низкочастотных квадратурных компонент.

При попадании момента выборки в интервал между выбросами помехи формирование отсчетов квадратурных компонент фоновой составляющей помехи производится непосредственно из двух независимых нормальных процессов с дисперсией  $\sigma_{\Phi_k}^2 = \sigma_\phi^2/2$  и нормированной корреляционной функцией, которая при принятой выше аппроксимации спектра огибающей помехи в виде прямоугольного треугольника с основанием  $B$  записывается

$$r(\tau) = \frac{\sin^2(\pi B \tau)}{(\pi B \tau)^2}. \quad (18)$$

При этом математическое ожидание и дисперсия отсчетных значений квадратурных компонент фоновой составляющей помехи, которые берутся с интервалом  $\Delta t$ , определяются из выражений [11]:

$$m = r(\Delta t) x, \quad (19)$$

$$\sigma_{\Phi_k}^2 = \sigma_{\Phi}^2 [1 - r(\Delta t)^2]/2, \quad (20)$$

где  $x$  - значение квадратурной составляющей в момент выборки предыдущего отсчета.

Достоинством предлагаемого способа моделирования квазиимпульсных помех является возможность адаптации модели через параметр  $V_d$  к условиям эксплуатации приемной радиоэлектронной аппаратуры, поскольку в литературе приводятся экспериментальные данные о зависимости  $V_d$  от условий радиоприема: географического района, времени года и времени суток (для атмосферных помех), высоты точки приема (для промышленных помех), а также от частотного диапазона и полосы пропускания приемного устройства (для обоих видов помех).

#### Литература

1. Бусленко Н.П. Метод статистического моделирования. М.: Статистика, 1970. 113 с.
2. Рубцов В.Д. Выбросы огибающей атмосферного шума // Радиотехника и электроника, 1977. Т. XXII. № 1. С. 64–71.
3. Рубцов В.Д., Зайцев А.Н. О применимости логарифмически нормальной модели для вероятностного описания квазиимпульсных помех // Радиотехника и электроника. 1984. Т. XXIX. № 8. С. 1531–1535.
4. Распределение по Земному шару атмосферных помех и их характеристики: документы 10-й пленарной ассамблеи МККР. Отчет 322, Женева, 1964. М.: Связь, 1965. 80 с.
5. Disney R.T., Spaulding A.D. Amplitude and time statistics of atmospheric and man-made radio noise. Report ERL-150-ITS-98. U.S. Department of Commerce, Wash., Febr. Washington, 1970. 86 с.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988. 446 с.
7. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники, кн. 1. М.: Советское радио, 1966. 552 с.
8. Рубцов В.Д. Оптимизация приемного тракта в условиях квазиимпульсных помех // Известия вузов СССР. Радиотехника. 1979. Т. XXII. № 4. С. 102–104.
9. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / под ред. М. Абрамовица, И. Стиган; пер. с англ. М.: Наука, 1979. 832 с.
10. Тихонов В.И., Кульман Н.К. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов. М.: Советское радио, 1975. 704 с.
11. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. 724 с.

#### Для цитирования:

Строганова Е.П., Немыкин А.А. Модель атмосферных и промышленных помех, адаптированная к условиям эксплуатации приемной радиоэлектронной аппаратуры // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 48–53.



## MODEL ATMOSPHERIC AND INDUSTRIAL INTERFERENCE, ADAPTED TO THE OPERATING CONDITIONS OF THE ADMISSION OF ELECTRONIC EQUIPMENT

**Stroganova Elena Petrovna,**  
Moscow, Russia, stroganovaep@gmail.com

**Nemykin Andrey Aleksandrovich,**  
Moscow, Russia, mtuci@mtuci.info

### Abstract

Known principles of statistical modeling of non-Gaussian interference involving offering the use of four-dimensional joint distribution of amplitude and phase, which also generally unknown that presents considerable difficulties in their implementation in practice. In this work statistical modelling quasipulse type interference of atmospheric and industrial are encouraged to produce through the formation of implementation of the impulse noise component based on the distributions of durations for interference, and intervals between them, obtained in the framework of the analytical model kwasiewski interference, and then filling the intervals between the emissions of a Gaussian correlated noise. As an analytical model of impulse noise component quasiempirical selected lognormal model provides a good agreement with experimental data in describing the characteristics of atmospheric emissions and industrial noise in meter and decimeter ranges and easily consistent with the experimental data.

Building a simulation model quasiempirical interference is carried out using the approximation of the emission envelope of the interference of the exponential pulses (rectangular triangles in logarithmic coordinate system). The basis for this approximation is the exponential view of the envelope of impulse response of a single oscillating circuit commonly used as a selective receiver circuit.

Implementation of the impulse noise component is generated in the coordinate system with a logarithmic scale on the y-axis by clicking on the time axis of the emission envelope of the interference, having the form of right-angled triangles, on several levels, crossing statistics which are supposed known. The alignment is performed, starting with the top level to the level closest to the background with an interval of 8 to 10 decibels. The duration of the generated implementations is limited only by the amount of memory used in the simulation computing.

The advantage of the proposed method of modeling interference is quasianalytic is the possibility of adapting the model to the operating conditions of reception room radioelectroning equipment between the radio reception conditions: geographical area, time of year and time of day (atmospheric interference), altitude of the reception point (to industrial

noise), as well as of the frequency range and bandwidth of the receptor (for both types of interference).

**Keywords:** interference; statistical modeling; simulation model; gaussian noise; impulse response.

### References

1. Buslenko N.P. Metod statisticheskogo modelirovaniya [Method of statistical modeling]. Moscow, Statistika, 1970. 113 p. (In Russian).
2. Rubtsov V.D. Vybrosoy ogibayushchei atmosfernogo shuma [The Emissions envelope of the atmospheric noise]. Radiotekhnika i elektronika, 1977. Vol. XXII. No. 1. Pp. 64–71. (In Russian).
3. Rubtsov V.D. Vybrosoy ogibayushchei atmosfernogo shuma [On the applicability of lognormal models for veroyatnost-tion descriptions quasianalytic noise]. Radiotekhnika i elektronika. 1977. Vol. XXIX. No. 8. Pp. 1531–1535. (In Russian).
4. World distribution and characteristics of atmospheric radio noise: Documents of the 10th Plenary Assembly. International Telecommunication Union. Int. Rad. Consult. Comm. Geneva, 1964. Report 322. 68p.
5. Disney R.T., Spaulding A.D. Amplitude and time statistics of atmospheric and man-made radio noise. Report ERL-150-ITS-98. U.S. Department of Commerce, Wash., Febr. Washington, 1970. 86 p.
6. Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly [англ яз]. Moscow, Vysshaya shkola, 1988. 446 p. (In Russian).
7. Levin B.R. Teoreticheskie osnovy statisticheskoi radiotekhniki [Theoretical foundations of statistical radio engineering]. Moscow, Sovetskoe radio, 1966. p. (In Russian).
8. Rubtsov V.D. Optimizatsiya priemnogo trakta v usloviyakh kvaziimpul'snykh pomekh [Optimization of a receiving channel in terms of interference quasianalytic]. Izvestiya vuzov SSSR. Radioelektronika, 1979. Vol. XXII. No. 4. Pp. 102–104. (In Russian).
9. Abramowitz M., Stegun I.A. (Eds.). Handbook of Mathematical Functions With Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. 10th ed. New York, Dover Publ., 1972. 1060 p.
10. Tikhonov V.I., Kul'man N.K. Nelineinaya fil'tratsiya i kvazikogerentnyi priem signalov Non-linear filtration and quasi-coherent reception of signals.]. Moscow, Sovetskoe radio, 1975. 704 p. (In Russian).
11. Tikhonov V.I. Statisticheskaya radiotekhnika [Statistical radio engineering]. Moscow, Radio i svyaz', 1982. 724 p. (In Russian).

### Information about authors:

Stroganova E.P., Ph.D., professor of the Moscow Technical University of Communications and Informatics;  
Nemykin A.A., senior lecturer of the Moscow Technical University of Communications and Informatics.

### For citation:

Stroganova E.P., Nemykin A.A. Model atmospheric and industrial interference, adapted to the operating conditions of the admission of electronic equipment. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 8. Pp. 48–53.

# ОСНОВЫ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## Буренин

### Андрей Николаевич,

д.т.н., доцент, главный специалист  
АО «Научно-исследовательский  
институт «Рубин»,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
konferencia\_asu\_vka@mail.ru

## Легков

### Константин Евгеньевич,

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

## Боговик

### Александр Владимирович,

к.в.н., профессор, профессор  
Военная академия связи  
имени Маршала Советского  
Союза С.М. Буденного  
имени А.Ф. Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
konferencia\_asu\_vka@mail.ru

## Ключевые слова:

организационное управление; качество  
функционирования; система  
специального назначения;  
услуги; устройство.

## АННОТАЦИЯ

С учетом специфики построения и функционирования ведомственных систем, отвечающих за обеспечение обороноспособности, безопасности страны и за поддержание правопорядка (систем специального назначения) рассматривается состав и задачи подсистем поддержки организационного управления. На основе опыта создания и развития различных систем специального назначения показано, что являясь составной частью системы специального назначения, ее система управления оказывает существенное воздействие на принципы построения и на порядок функционирования, особенно в чрезвычайных обстоятельствах.

Вместе с тем показано, что построение самой системы специального назначения и применение органов управления во всех видах деятельности, а также алгоритмы работы должностных лиц органов управления во многом определяются автоматизированной системой управления.

В целом результативность работы органов управления при решении задач организационного управления определяется не только опытом и квалификацией самих должностных лиц органов управления, но и характеристиками комплексов средств подсистем организационного управления, основу которых может составлять подсистема поддержки процессов организационного управления, работа которой и все задачи, решаемые ей, непременно должны быть связаны друг с другом как принципом их использования, так и общностью исходных данных, а также четкой последовательностью решения. При этом, для обоснованного построения подсистем поддержки процессов организационного управления необходимо формализованное ее описание – модели подсистем поддержки процессов организационного управления.

Предложенные различные модели подсистем поддержки процессов организационного управления, не только позволяют строить ее в соответствии с требуемыми архитектурными принципами, но и количественно оценить ее основные параметры и вероятностно-временные характеристики.

В настоящее время существует общая проблема реализации основных требований к системам специального назначения, которую необходимо решать решением частных вопросов обеспечения непрерывности, оперативности, устойчивости, скрытности и качества управления, и которые, в свою очередь, в значительной мере определяются самой системой специального назначения, уровнем управленческой деятельности органов управления, уровнем повсеместного использования в процессах управления достижений науки и техники.

Интересы повышения эффективности управления системой непременно требуют развития определенных теоретических основ обоснования рационального построения и функционирования систем специального назначения. При этом обеспечение превосходства в управлении системой в разного рода операциях является комплексной проблемой, одним из аспектов которой является частная проблема организации системы управления.

Являясь составной частью системы специального назначения, система управления оказывает сильное воздействие на принципы ее построения и на порядок её функционирования в ходе проведения операций. В свою очередь, построение самой системы и применение органов управления во всех видах деятельности, а также алгоритмы работы должностных лиц (ДЛ) органов управления во многом определяются системотехническим и технологическим ядром системы управления – автоматизированной системой управления (АСУ).

Результативность работы органов управления при решении задач организационного управления определяется не только опытом и квалификацией самих должностных лиц ДЛ ОУ, но характеристиками комплексов средств подсистемы организационного управления, основу которой составляет подсистема поддержки процессов организационного управления (ПППОУ). Ее цель определяется тем, что с использованием этой подсистемы, ДЛ ОУ осуществляют реализацию автоматизированных операций перехода от общих представлений об управляемой системе к более подробной проработке как составных частей подсистемы, так и конкретной детализации всех элементов системы, чтобы создать некоторый образ – модель системы.

В этом случае работа ПППОУ и все задачи, решаемые ей, непременно должны быть связаны друг с другом принципом их использования, а также общностью исходных данных и четкой последовательностью решения.

В целом, место и роль ПППОУ в системе управления можно иллюстрировать рис. 1.

Функционирование ПППОУ определяется сущностью процессов управления системой с использованием этой подсистемы, которая заключается в реализации автоматизированных операций перехода от общих представлений о системе к детальной разработке ее составных частей, компонент и элементов, процессов, протекающих в ней, последовательной детализации элементов системы, а затем объединения их в единое целое – модель системы. Поэтому процес-

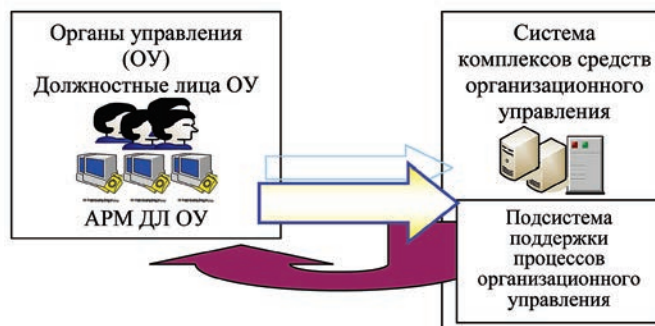


Рис. 1. Место и роль подсистемы поддержки процессов организационного управления в системе управления

сы функционирования ПППОУ и задачи, решаемые ей, должны быть связаны друг с другом единой идеологией их использования.

При использовании ПППОУ все ДЛ ОУ, работая на своих персональных АРМ, имеют возможность «манипулировать» различными объектами системы, обмениваются разнообразными данными, необходимыми для ведения процессов организационного управления, ведут неформальное общение между собой, запускают процедуры генерации и оценки вариантов решений с возможными способами использования ресурсов и т.п. При этом все требуемые данные поддерживаются как в общих, так и в локальных информационных массивах.

Компоненты ПППОУ должны непрерывно отслеживать действия каждого ДЛ ОУ и предоставлять по запросу возможные варианты решения задач планирования, помогая им в различных ситуациях.

Использование ПППОУ предполагает представление процесса организационного управления множеством операций преобразования моделей предметной области в соответствии с заданными требованиями и ограничениями, определяемыми условиями проведения операций, организации связи и условиями планирования связи с использованием фактографической информации, формальных и экспертных знаний, расчетных процедур, имитационных и аналитических моделей, прецедентов и др.

Для реализации схем автоматизированного организационного управления, ПППОУ должна представлять собой сложный многоуровневый иерархический распределенный программно-аппаратный комплекс, включающий разнообразные (имитационные, аналитические, логико-лингвистические и др.) модели системы и отдельных процессов планирования т.п. и предоставлять целый ряд сервисов поддержки, к которым можно обратиться и получить соответствующие информационные, справочные или иные требуемые услуги. Другими словами ПППОУ можно представить в виде специальной инфокоммуникационной системы и для решения задач использовать наработки, полученные в работе [1].

Организационная структура ПППОУ в значительной степени определяется организационной структурой АСУ системой, при этом соответствующие комплексы средств ПППОУ размещаются на пунктах управления, рис. 2.

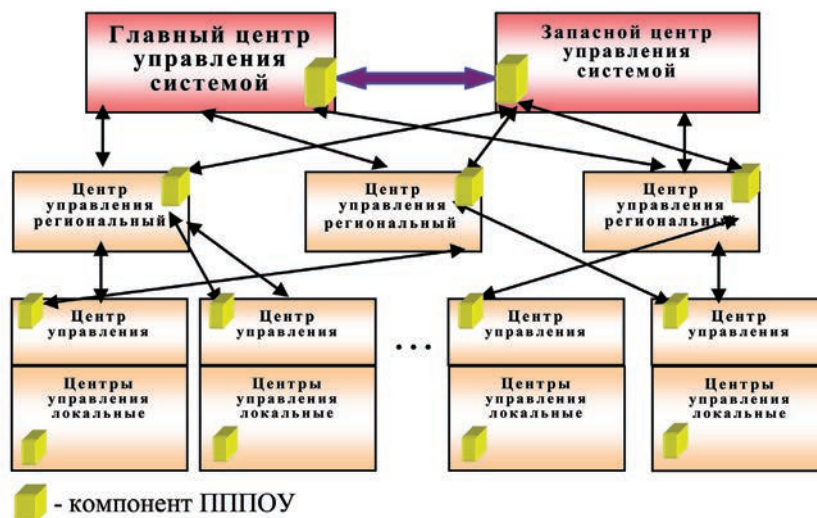


Рис. 2. Место и роль подсистемы поддержки процессов организационного управления в системе управления

**Основные показатели качества подсистемы поддержки процессов организационного управления**

Понятно, что выбор и обоснование качественных показателей функционирования ПППОУ является достаточно сложной задачей, сложность которой во многом определяется сложностью процессов организационного управления и требований со стороны ДЛ ОУ к этой подсистеме. Естественно, что показатели качества функционирования ПППОУ, характеризующие ее полезность для организации процессов управления и для ДЛ ОУ, должны быть связаны с характеристиками процессов предоставления им необходимых сервисов.

Для оценивания функционирования, выбора вариантов организации ПППОУ целесообразно ввести комплексный показатель качества ее функционирования – некоторую функцию полезности, и критерий качества функционирования, которые имеют следующий вид:

$$Q_s = Q\{P_T, P_{n_{us}}, K_{serv}, K_{in}, P_{ad}\}; Q_s \geq Q_{kp}, \quad (1)$$

где  $Q_{kp}$  – минимально допустимый уровень качества функционирования ПППОУ, характеризующий минимально допустимый уровень качества обслуживания ДЛ ОУ;  
 $P_T$  – показатель, характеризующий своевременность предоставления услуг ПППОУ всем ДЛ ОУ;  
 $P_{n_{us}}$  – показатель полноты предоставляемых ПППОУ услуг, характеризующий долю предоставляемых услуг от необходимого числа;  
 $K_{serv}$  – коэффициент комплексной готовности, характеризующий устойчивость ПППОУ;  
 $K_{in}$  – коэффициент информационной готовности, характеризующий уровень безопасности ПППОУ;  
 $P_{ad}$  – показатель адекватности (обоснованности) ПППОУ.

В соответствии с (1) функция полезности  $Q_s$  ПППОУ должна зависеть от показателя  $P_T$ , характеризующего своевременность предоставления услуг для всей номенклатуры сервисов, определяемых временем ожи-

дания  $T_{ож}$  и временем исполнения (обслуживания)  $T_{ис}$ , являющимися случайными величинами, зависимыми от интенсивностей потока заявок на предоставление сервисов  $\lambda_s$ , от производительности соответствующих комплексов средств ПППОУ, обеспечивающих сервис – величины  $B_{serv}$ , характеризующей как число одновременно обслуживаемых запросов ДЛ ОУ по получению сервиса ПППОУ, так и время обслуживания  $T_{ис}$ , задаваемое интенсивностью обслуживания  $\mu_{ис}$ .

В качестве показателя своевременности, т.е. вида функции  $T^{св}$ , обычно используется:

- либо непосредственное значение среднего времени предоставления ДЛ ОУС сервиса ПППОУ, либо относительное значение, соотношенное к допустимому значению времени предоставления сервиса;
- вероятность своевременного предоставления сервиса, т. е.  $P_c$ .

Функция полезности  $Q_{ПППОУ}$  должна также зависеть от показателей полноты предоставляемых услуг  $P_{n_{us}}$ , характеризующих отношение числа  $n_{us}$  предоставляемых ДЛ ОУ сервисов ПППОУ к общему необходимому числу сервисов  $N^{TP}_{из}$ , т.е. в качестве такого показателя целесообразно взять величину относительного числа предоставляемых услуг, показывающую степень охвата комплекса задач организационного управления контуром ПППОУ. Иногда требуется учитывать относительную важность тех или иных предоставляемых ПППОУ услуг (сервисов).

Функция полезности  $Q_s$  должна зависеть от показателей устойчивости, т.к. ПППОУ как система характеризуется конечной надежностью, живучестью, помехоустойчивостью, определяемые ее свойство – устойчивость. В качестве показателя устойчивости целесообразно использовать коэффициент комплексной готовности  $K_{serv}$ , определяемый средним временем исправной работы, учитывающим выход из строя, выведение из строя противником элементов ПППОУ, воздействие различных



помех, и средним временем восстановления, также учитывающим восстановление ПППОУ после всех перечисленных воздействий.

Функция полезности  $Q_s$  должна зависеть также от показателей безопасности, задаваемых коэффициентом информационной готовности  $K_{in}$ , имеющий тот же смысл, что и коэффициент комплексной готовности, но в условиях информационных воздействий.

Функция полезности  $Q_s$  должна зависеть и от показателей адекватности (обоснованности), учитывающих как степень адекватности применяемых в ПППОУ способов и моделей реальным процессам функционирования системы, так и степень обоснованности их применения для решения тех или иных задач организационного управления.

В целом, в качестве области изменения функции  $Q_s$  требуется взять некоторую безразмерную относительную величину  $0 < q_s \leq 1$ , связанную с временем решения задач организационного управления, т.е. с временными показателями, вероятностными показателями, вероятностно-временными показателями или показателями производительности, которые для ПППОУ вообще то связаны друг с другом, т.к. в значительной степени характеризуют своевременность предоставления услуг.

Поэтому логично в качестве базового показателя выбрать показатель своевременности и соотнести значения других показателей с базовым, применяя механизмы корректировки базового показателя в соответствии со значением других показателей, влияющих на  $Q_s$ , т.е. с показателями  $P_T$ ,  $P_n$ ,  $K_{serv}$ ,  $K_{in}$ , и  $P_{ad}$ . При этом для получения интегрального показателя полезности ПППОУС необходимо использовать методы экспертного оценивания [1, 2].

### Модель подсистемы поддержки

В архитектурном плане основой ПППОУ является ее инфокоммуникационное ядро, которое должно строиться не только в соответствии с принципами NGN-сетей, но в большей степени на основе концепции Глобальной информационной инфраструктуры (Global Information Infrastructure, GII), которая позволяет ДЛ ОУ пользоваться всеми доступными услугами инфокоммуникаций [1, 2, 4].

ДЛ органов управления могут воспользоваться услугами инфокоммуникаций ППОУ напрямую или с помощью пользовательских приложений. При этом все компоненты пользовательских приложений должны поддерживаться в ППОУ, которые, как и услуги (сервисы), должны объединяться в пакеты, чтобы создать для конкретного ДЛ требуемую сложную услугу или предоставить доступ к требуемому приложению.

Решение многочисленных задач организационного управления возможно только при наличии их достаточно корректного вербального, содержательного и, если удастся, формализованного описания с использованием определенных математических конструкций, отражающих основные параметры и законы

функционирования, существенные для достижения целей организационного управления.

Так как в качестве основной цели создания ПППОУ выступает представление ДЛ ОУ разнообразных расчетных, информационных, телекоммуникационных, офисных и других услуг требуемого качества, то в качестве базовой логической архитектурной модели может быть взята трехуровневая мультисетевая архитектура [1], каждый уровень которой задается определенной сетью услуг, предоставляющей фиксированные услуги конкретного уровня ПППОУ, рис. 3.

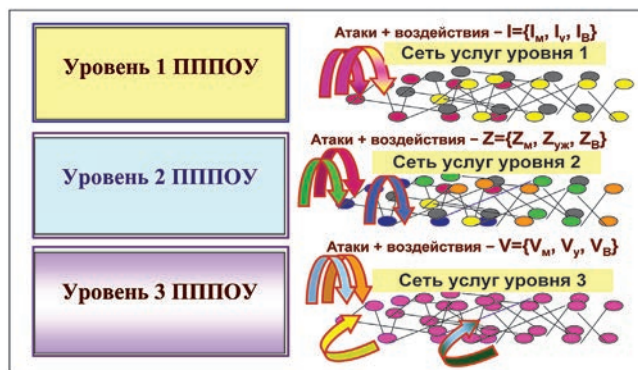


Рис. 3. Трехуровневая мультисетевая архитектурная модель ПППОУ

Такой подход, аналогичный модели взаимодействия открытых систем (ВОС), позволяет рассматривать каждый уровень (или каждую уровневую сеть) независимо от остальных, поэтому допустимо независимо рассматривать процессы предоставления ими соответствующего сервиса [1, 2, 4].

Каждая уровневая сеть услуг ПППОУ описывается графом  $G(Y_A, H_b)$ ,  $G1(J_A, E_b)$  и  $G3(R_A, Q_b)$ , представляющим собой модель соответствующей сети услуг каждого из уровней 1, 2 или 3 ПППОУ.

Выделенные в ПППОУ уровневые компоненты, соответствующие соответственно уровням 1, 2, и 3, определяют функционирование каждой уровневой сети в условиях различных случайных и преднамеренных воздействий, характеризуя такое важное ее свойство как устойчивость [3]. Тогда для моделей устойчивости ПППОУ, в плоскости уровневого ее представления, могут быть получены соответствующие выражения для вероятностей качественного функционирования уровневого компонент в условиях воздействий, соответственно для всех трех компонент ПППОУ  $P_{1L}$ ,  $P_{2L}$ ,  $P_{3L}$ . Будем считать ПППОУ устойчивой, если выполняются неравенства:

$$P_{1L} \geq P_{1LM}; P_{2L} \geq P_{2LM}; P_{3L} \geq P_{3LM}, \quad (2)$$

где  $P_{1LM}$ ,  $P_{2LM}$ ,  $P_{3LM}$  – минимально допустимые значения вероятностей качественного функционирования компонент в условиях комплекса воздействий, соответственно для 1-го, 2-го и 3-го уровней ПППОУ.

Типовая структура каждого уровня ПППОУ обычно представляется графом  $G(Y, B)$  с множеством вершин

$Y = \{y_{ij}\}$  и множеством дуг  $B = \{b_{ij}\}$ . При этом каждому элементу  $Y_i \in Y$  ставится в соответствие определенный узел предоставления услуг сети уровня (сервер соответствующей службы), а элементу  $b_{ij} \in B$  – определенная виртуальная ветвь уровневой сети (виртуальный канал передачи информации для определенного сервиса).

В силу конечной надежности и живучести комплексов и оборудования каждой уровневой сети ПППОУ ее структура не остается неизменной и будет постоянно меняться в процессе функционирования подсистемы организационного управления.

При функционировании ПППОУ процессы, протекающие на каждом из трех ее функциональных уровней, целесообразно математически задать единообразно в виде соответствующих моделей обслуживания. Иными словами, каждый элемент уровневого компонента ПППОУ должен представляться моделью обслуживания, описываемой выражениями для соответствующих вероятностей состояния модуля обслуживания:

В соответствии с этим динамические модели каждого  $i$ -го элемента компонента уровня 1,  $k$ -го элемента компонента уровня 2 и  $r$ -го элемента компонента уровня 3 ПППОУ могут быть представлены моделями модулей обслуживания, описываемых соответствующими системами уравнений [1, 5, 6].

В моделях компонент ПППОУ задающими входными процессами являются потоки требований на получение услуг с интенсивностями  $\lambda_{1c}, \lambda_{2c}, \lambda_{3c}$ , а выходными – потоки сервисных сообщений обслуживания, интенсивности которых определяются вероятностями соответствующих состояний  $P_n^{1c}, P_n^{2c}, P_n^{3c}$ .

При этом каждый уровневый поток требований будет являться суммой потоков требований на обслуживание для каждого сервиса, предоставляемого данным уровнем, т.е.

$$\lambda_{1c} = \sum_{\Xi} \lambda_{1c}(serv_{1c}). \quad (3)$$

$$\lambda_{2c} = \sum_{\Sigma} \lambda_{2c}(serv_{2c}). \quad (4)$$

$$\lambda_{3c} = \sum_Z \lambda_{3c}(serv_{3c}). \quad (5)$$

Соответствующие вероятности  $P_n^{1c}, P_n^{2c}, P_n^{3c}$  будут определяться как величиной интенсивностей запросов на сервис и интенсивностью их обслуживания, так и показателями многоканальности соответствующих серверов служб:

$$P_{n_c}^{1c} = \{P_{n_c}^{1c}(serv_{1c})\} = \{f_{1c}[\lambda_{1c}(serv_{1c}), \mu_{1c}(serv_{1c}), n_{1c}(serv_{1c})]\}. \quad (6)$$

$$P_{n_c}^{2c} = \{P_{n_c}^{2c}(serv_{2c})\} = \{f_{2c}[\lambda_{2c}(serv_{2c}), \mu_{2c}(serv_{2c}), n_{2c}(serv_{2c})]\}. \quad (7)$$

$$P_{n_c}^{3c} = \{P_{n_c}^{3c}(serv_{3c})\} = \{f_{3c}[\lambda_{3c}(serv_{3c}), \mu_{3c}(serv_{3c}), n_{3c}(serv_{3c})]\}. \quad (8)$$

Базовые показатели качества могут быть определены при рассмотрении ПППОУ в виде системы массово-

го обслуживания (или совокупности систем массового обслуживания) с разнородным потоком требований на обслуживание определенного класса: система массового обслуживания с ожиданием с ограниченным в соответствии с регламентом работы органов управления временем ожидания, на которую поступает поток разнородных требований, обслуживание которых осуществляется с разными интенсивностями, зависящими от вида сервиса.

К сожалению, строгого математического описания систем обслуживания, на которые поступают требования на обслуживание разного вида (получение услуг определенного сервиса) и, процедура обслуживания которых отличается от других, в настоящее время не имеется [5, 6].

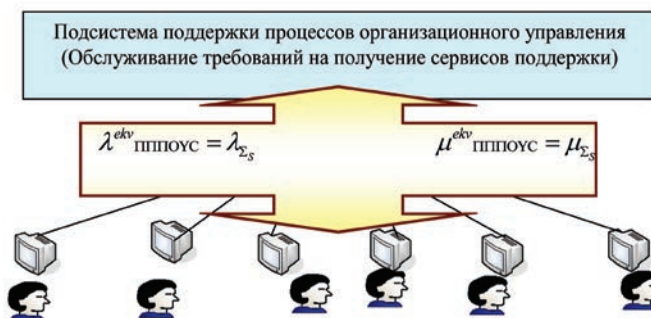


Рис. 4. Модель подсистемы поддержки процессов организационного управления с интеграцией параметров обслуживания

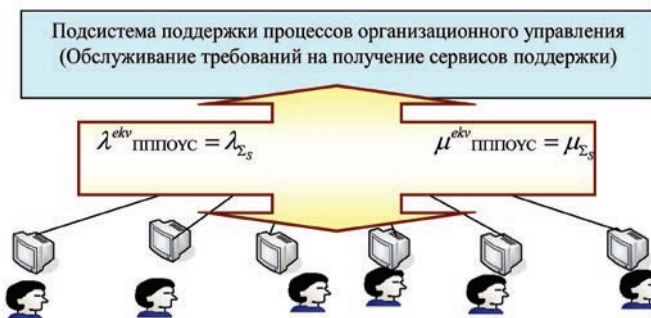


Рис. 5. Модель подсистемы поддержки процессов организационного управления с декомпозицией потоков требований

Для разрешения данной проблемы в статье предлагаются два основных подхода, рис. 4 и рис. 5.

Первый (рис.4) заключается в том, что в качестве модели подсистемы поддержки процессов организационного управления рассматривается система массового обслуживания с ожиданием и с ограниченным, в соответствии с регламентом работы органов управления, временем ожидания, на которую поступает общий (суммарный) поток разнородных требований, обслуживание которых осуществляется с интенсивностью, оцениваемой на основе интенсивностей посту-

пления требований и обслуживания каждого отдельного вида требований, т.е.:

$$\lambda_{\Sigma_s} = f_{\lambda} \{ \lambda_c(i) \} = \sum_{i=1}^3 \sum_{\zeta=1}^{\Xi_i} \lambda_{i\zeta C}(\text{serv}_{i\zeta C}) \quad \forall i=1,2,3. \quad (9)$$

$$\mu_{\Sigma_s} = f_{\mu} \{ \mu_{us}(i) \} = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{\zeta=1}^{\Xi_i} \mu_{i\zeta C}(\text{serv}_{i\zeta C}) \lambda_{i\zeta C}(\text{serv}_{i\zeta C})}{\sum_{j=1}^3 \sum_{\tau=1}^{\Xi_j} \lambda_{j\tau C}(\text{serv}_{j\tau C})}. \quad (10)$$

Второй подход предполагает декомпозицию модели подсистемы поддержки процессов организационного управления как системы массового обслуживания на  $\Xi_{\Sigma_s} = \sum_{i=1}^3 \Xi_i$  подсистем обслуживания (рис. 5), характеризующихся параметрами входящего потока требований и параметрами обслуживания:

$$\begin{aligned} & \lambda_{11C}(\text{serv}_{11C}), \dots, \lambda_{1\Xi_1 C}(\text{serv}_{1\Xi_1 C}), \lambda_{21C}(\text{serv}_{21C}), \dots, \lambda_{2\Xi_2 C}(\text{serv}_{2\Xi_2 C}), \dots \\ & \dots, \lambda_{31C}(\text{serv}_{31C}), \dots, \lambda_{3\Xi_3 C}(\text{serv}_{3\Xi_3 C}), \mu_{11C}(\text{serv}_{11C}), \dots, \mu_{1\Xi_1 C}(\text{serv}_{1\Xi_1 C}), \dots \\ & \dots, \mu_{21C}(\text{serv}_{21C}), \dots, \mu_{2\Xi_2 C}(\text{serv}_{2\Xi_2 C}), \dots, \mu_{31C}(\text{serv}_{31C}), \dots, \mu_{3\Xi_3 C}(\text{serv}_{3\Xi_3 C}) \end{aligned} \quad (11)$$

Каждый из приведенных подходов характеризуется достоинствами и недостатками. Так в первом подходе достаточно просто оценить параметры входящего потока требований, но значительно сложнее оценить параметры обслуживания, т.к. требуется знать параметры каждой составляющей поступающих требований. Кроме того, описание всей ПППОУ одной СМО представляет собой достаточно сложную задачу и предполагает необходимость последующего решения задач декомпозиции ее в соответствии с архитектурой как ПППОУ, так и АСУ системой.

Второй подход предполагает, что все обслуживание разбивается в соответствии с архитектурой ПППОУ на множество уровней систем обслуживания  $SM = \{SM_i\} \forall SM_i = \{SM_{i\zeta}\}; i = 1, 2, 3; \zeta = 1, \dots, \Xi_i$ , что соответствует реальному положению, которое отображается на множество соответствующих серверов услуг поддержки  $Serv = \{Serv_i\}$ . При данном подходе параметры обслуживания находятся достаточно просто, т.к. определяются производительностью соответствующих серверов, однако параметры поступающих требований можно оценить только на основе декомпозиции общего потока требований, поступающих на ПППОУ как по уровням архитектуры, так и по видам сервиса, что, в принципе, можно достаточно просто осуществить. Поэтому второй подход является более предпочтительным.

В соответствии с известными свойствами и характеристиками потоков требований, наиболее применимыми при моделировании процессов в сложных системах и которые целесообразно применить в ПППОУ, являются [1, 2]:

- примитивный (или пуассоновский стационарный) поток;
- поток Бернулли;
- самоподобный (или фракталообразный) поток.

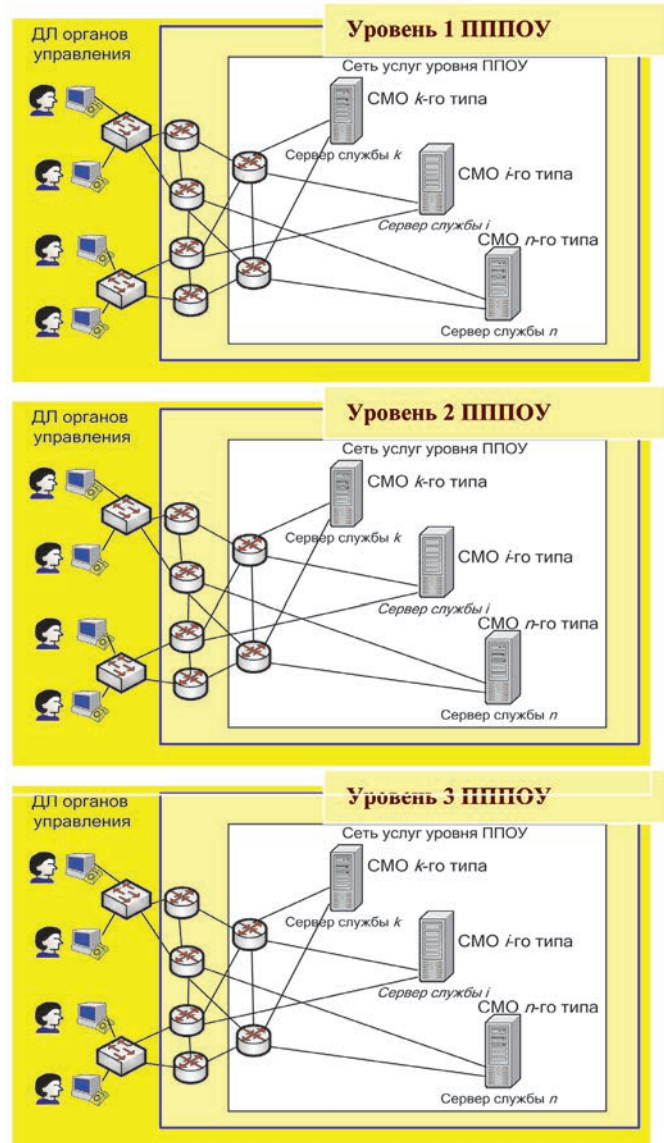


Рис. 6. Представление ПППОУ множеством систем массового обслуживания

Рассматривая ПППОУ как множество систем массового обслуживания, представим процессы обслуживания ДЛ ОУ в соответствии с рис. 6.

Тогда для отдельно взятой  $z$ -й подсистемы СМО (СМО  $z$ -го типа, соответствующей сервису  $z$ -го типа) могут быть получены выражения ее характеризующие.

Так вероятность того, что в соответствующей уровневой службе (предоставляющей сервис  $z$ -го типа) в сервере будут заняты все  $n(i)$  портов (т.е.  $n(i)$  требований обслуживается), составит:

$$P_{n(z)}(i) = \frac{[\mu_{i\zeta C}(\text{serv}_{i\zeta C})]^{n(z)} n(z)!}{\sum_{k=1}^{n(z)} \frac{[\lambda_{i\zeta C}(\text{serv}_{i\zeta C})]^k}{[\mu_{i\zeta C}(\text{serv}_{i\zeta C})]^k k!}}. \quad (15)$$

Вероятность того, что соответствующая служба ПППОУ будет перегружена обслуживанием и больше

не способна принимать требования от ДЛ ОУ по предоставлению соответствующего сервиса, т.е. требование не будет обслужено, составит:

$$P_{n(z)}(i) = P_0(i) \frac{[\lambda_{izc}(serv_{izc})]^{n(z)}}{[\mu_{izc}(serv_{izc})]^{n(z)} n(z)!}. \quad (16)$$

Вероятность того, что соответствующая служба ПППОУ вовремя обслужит соответствующее ДЛ ОУ и своевременно предоставит соответствующий сервис, составит:

$$P_{sv(z)}(i) = 1 - P_0(i) \frac{[\lambda_{izc}(serv_{izc})]^{n(z)}}{[\mu_{izc}(serv_{izc})]^{n(z)} n(z)!}. \quad (17)$$

При этом среднее обслуживаемых ДЛ ОУ составит:

$$N_{serv}(i) = \sum_{k=1}^{n_0(z)} \frac{[\lambda_{izc}(serv_{izc})]^k}{[\mu_{izc}(serv_{izc})]^k (k-0)!} P_0(i). \quad (18)$$

### Заключение

Опыт создания и развития систем специального назначения показал, что являясь составной частью системы, ее система управления оказывает преобладающее воздействие на принципы построения и на порядок функционирования в ходе проведения различных операций.

Построение же самой системы и применение органов управления во всех видах деятельности ведомств, а также алгоритмы работы ДЛ ОУ во многом определяются автоматизированной системой управления системой.

В целом результативность работы органов управления при решении задач организационного управления определяется не только опытом и квалификацией самих ДЛ ОУ, но и характеристиками комплексов средств подсистемы организационного управления, основу которой должна составлять подсистема поддержки

процессов организационного управления (ПППОУ), работа которой и все задачи, решаемые ей, непременно должны быть связаны друг с другом как принципом их использования, так и общностью исходных данных, а также четкой последовательностью решения.

Рассмотренные в статье различные модели ПППОУ, не только позволяют строить ее в соответствии с требуемыми архитектурными принципами, но и количественно оценить ее основные параметры и вероятностно-временные характеристики.

### Литература

1. Буренин А.Н., Легков К.Е. Инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: Медиа Паблишер, 2015. 348 с.
2. Легков К.Е., Буренин А.Н. К вопросу математического описания потоков управляющей информации в процессе управления современной инфокоммуникационной сетью специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2013. Т. 5. № 5. С. 8–12.
3. Методы математического моделирования систем и процессов связи / под общ. ред. В.П. Чемиренко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 308 с.
4. Буренин А.Н., Легков К.Е. Методические подходы к формализации и управления инфокоммуникационными системами и сетями специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 5. С. 64–67.
5. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: пер. с англ. / под ред. Б.С. Цыбакова. М.: Мир. 1979. 600 с.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: пер. с англ. / под ред. В.И. Нейман. М.: Машиностроение. 1979. 432 с.

### Для цитирования:

Буренин А.Н., Легков К.Е., Боговик А.В. Основы поддержки процессов организационного управления системами специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 54–61.

## THE BASE OF SUPPORT PROCESSES OF ORGANIZATIONAL CONTROL SYSTEMS FOR SPECIAL PURPOSES

**Burenin Andrey Nikolaevich,**

St. Petersburg, Russia, konferencia\_asu\_vk@mail.ru

**Legkov Konstantin Evgenyevich,**

St. Petersburg, Russia, constl@mail.ru

**Borovik Alekandr Vladimirovich,**

St. Petersburg, Russia, konferencia\_asu\_vk@mail.ru

### Abstract

The work in the specific construction and operation of departmental systems, responsible for ensuring the defence capability and security of the country and for the safekeeping of law and order (special purpose) considers co-becoming and tasks subsystems to support organizational management.

In the work on the basis of the experience of creation and development of various systems for special-values it is shown that an integral part of the system a special purpose, its governance has a significant impact on the principles of construction and operation, particularly in emergency circumstances.

However it is shown that the construction of the system for special purposes and the use of controls in all activities, as well as algorithms for working officials of management bodies of are largely determined by automatic shut-specialized control system.

In General, the performance of the management bodies in solving problems of the institutional management is determined not only by experience and qualifications themselves DL the OS, but also the characteristics of complexes of means of organizational subsystems of management, which may be a subsystem of support of processes of organizational management, and all problems solved it, had to Menno must be related to each other as the common usage, common data, as well as a clear sequence of decisions. Thus, as shown in the work, for the sound construction of the necessary a subsystem of support of processes of organizational management formalized description model of subsystem of support of processes.

The work proposed many models of subsystem of support of

processes of organizational management not only allow you to build it in accordance with the required architectural principles, but also to quantify its basic parameters and probabilistic-temporal characteristics.

**Keywords:** organizational management; functioning; special purpose; amenities; sustainability.

### References

1. Burenin A.N., Legkov K.E. Infokommunikatsionnye sistemy i seti spetsial'nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya [Infocommunication systems and networks of special purpose. Fundamentals of construction and management]. Moscow, Media Publisher Publ., 2015. 348 p. (In Russian).
2. Legkov K.E., Burenin A.N. To the question of the mathematical description of flows control data in administrative process by the modern infocommunication network special purpose. H&ES Research. 2013. Vol. 5. No. 5. Pp. 8–12. (In Russian).
3. Chemirenko V.P. (Ed.). Metody matematicheskogo modelirovaniya sistem i protsessov svyazi [Methods of mathematical modeling of systems and processes of communication]. St.-Peterburg, Politekhicheskiy unstitut Publ. 2009. 308 p. (In Russian).
4. Burenin A.N., Legkov K.E. Methodological approaches to formalize management infocommunication systems and networks of special purpose. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 5. Pp. 64–67. (In Russian).
5. Kleinrock L. Queueing Systems, Volume II: Computer Applications. New York: Wiley Interscience, 1976. 576 p.
6. Kleinrock L. Queueing Systems, Volume I: Theory. New York: Wiley Interscience, 1976. 417 p.

### Information about authors:

Burenin A.N., Ph.D., associate professor, chief specialist of JSC «Research Institute «Rubin»;

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

Borovik A.V., Ph.D., professor, professor of the Military Academy of Signal Communications.

### For citation:

Burenin A.N., Legkov K.E., Borovik A.V. The base of support processes of organizational control systems for special purposes H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 54–61.

# СИТУАЦИОННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОПЕРАЦИИ

## Ямпольский

### Сергей Михайлович,

к.т.н., доцент, старший научный  
сотрудник Военного института  
(управления национальной обороной)  
Военной академии Генерального  
штаба Вооруженных Сил  
Российской Федерации,  
г. Москва, Россия,  
yampolsm@mail.ru

## Костенко

### Алексей Николаевич,

к.в.н., заместитель начальника  
управления Военного института  
(управления национальной обороной)  
Военной академии Генерального  
штаба Вооруженных Сил  
Российской Федерации,  
г. Москва, Россия,  
alexkoste1978@mail.ru

## Ключевые слова:

ситуационное управление; организационно-техническая система; операция; боевые действия; управленческое решение; проблемная ситуация; классификатор; анализатор.

## АННОТАЦИЯ

Постановка проблемы: особенности функционирования сложных организационно-технических систем военного назначения существенно ограничивают, а часто делают принципиально невозможным использование традиционных моделей управления. Поэтому для различных проблемных ситуаций основным аппаратом поиска решений является эвристический подход, основанный на знаниях и опыте лица принимающего решение. Однако явно выраженный субъективизм и личностные аспекты такого подхода делают весьма актуальными попытки обобщить, концентрировать знания и опыт многих специалистов в данной предметной области.

Разрешением проблемных ситуаций занимается ситуационное управление, функции которого выполняют должностные лица органов военного управления. Реализация этих функций является сложной организационной и технической проблемой. Это обусловлено тем, что необходимо иметь описание и ранги всех возможных проблемных ситуаций, разработать алгоритм их решения, сформировать соответствующую информационную базу, а также определить критерии выбора той или иной стратегии разрешения проблемной ситуации.

В работе рассмотрен ситуационный подход к управлению организационно-техническими системами при планировании операции (боевых действий). Разработан вариант функциональной модели ситуационного подхода к управлению организационно-техническими системами. Предложена схема классификатора проблемных ситуаций для определения возможных воздействий на организационно-техническую систему, с целью восстановления прежнего состояния системы или переводе ее в более целесообразное состояние. Рассмотрен алгоритм моделирования проблемных ситуаций на основе критерия эффективности, а также приведен пример реализации представленного алгоритма для автоматизированного планирования инженерно-авиационного обеспечения воздушной операции. Динамика изменения критерия эффективности, представляется в интегрированном графическом виде, дающем возможность прогнозировать эффективность инженерно-авиационного обеспечения воздушной операции.

С помощью предложенного подхода могут быть созданы алгоритмы, позволяющие оценивать проблемные ситуации при ведении операций (боевых действий), а также находить обоснованные варианты решений по их предотвращению.

В целом данная работа преследует одну главную цель – привлечь внимание заинтересованных лиц и организаций к одной из актуальных проблем военной науки и практики, связанной с повышением эффективности управления при планировании и в ходе ведения операций (боевых действий).

Организационно-технические системы (ОТС) относятся к классу организационных систем. Их особенностью является то, что помимо таких структурных элементов, как управленческий и технический персонал, они включают в себя сложные технические объекты, эксплуатация которых является основной целью функционирования системы, а также средства для эксплуатации этих объектов. Примером ОТС является система военного управления. Автоматизация процессов управления в этой системе является одним из направлений повышения эффективности управления формированиями (частями) ВС РФ.

На рис. 1 представлен вариант функциональной схемы системы управления ОТС.

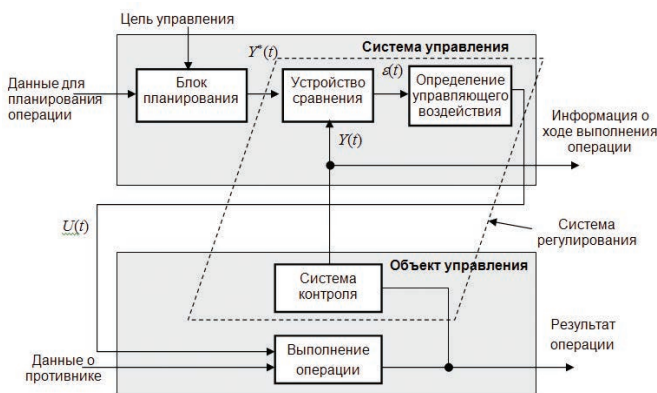


Рис. 1. Функциональная схема управления ОТС

Схема имеет блок планирования, определяющий плановые показатели операции  $Y^*(t)$ , и контур регулирования, включающий:

- устройство формирования управляющего воздействия;
- исполнительный орган, реализующий управляющее воздействие;
- объект управления;
- систему контроля, обеспечивающую оценку количества и качества результатов операции.

Процесс управления можно условно разбить на совокупность следующих функций: планирование операции и определение программы управления, контроль, формирование управляющего воздействия или принятие решения, реализация управляющего воздействия или решения.

Определение программы управления  $U^*(t)$  заключается в определении управляющих воздействий таких, чтобы моделируемое текущее состояние  $Y(t)$  совпадало с планом операции  $Y^*(t)$  с требуемой точностью.

Контроль состоит в измерении значений компонентов вектора состояния  $Y(t)$  и определении вектора ошибки  $\varepsilon(t)$ .

Формирование управляющего воздействия (принятие решений в реальном времени) заключается в определении значений управляемых переменных, приводящих объект управления в желаемое состояние.

Реализация управляющего воздействия – это непосредственное физическое воздействие на объект управления.

В процессе управления операциями (боевыми действиями) руководящие лица определяют основные прогнозируемые факторы и принимают решения, исходя из полученного прогноза. Однако существует возможность наступления как неблагоприятных, так и благоприятных непредсказуемых изменений среды – случайных факторов.

Используемые схемы управления, опирающиеся на известные модели, не позволяют достаточно эффективно управлять ОТС, а также формировать рекомендации по использованию ограниченных материально-технических, людских и других ресурсов.

При решении поставленных задач руководители органов военного управления (ОВУ) подавляющую часть времени тратят на решение оперативных задач, возникающих как в самой системе, так и при межвидовом взаимодействии подчиненных войск (сил). В ходе проведения такого взаимодействия требуется разрешать возникающие или предвидимые проблемные ситуации.

Проблемная ситуация выступает, с одной стороны, как совокупность целей субъекта управления, а с другой – как состояние субъекта, объекта управления внешней среды. Каждая из таких проблем ориентирует систему управления на различные способы и методы преодоления исходной проблемы.

Субъектные проблемы фиксируются в терминах потребностей субъекта управления, отражают факт его неудовлетворенности результатами выполнения поставленных задач (например, низким уровнем квалификации специалистов).

Объектные проблемы формулируются на базе субъектных и отражают недостаточность тех или иных средств и факторов для достижения поставленной цели (например, недостаточное количество подготовленной к применению техники).

Такая характеристика проблемы не абсолютна и зависит от уровня сформулировавшего ее органа управления в организационной иерархии: субъектные проблемы нижестоящего уровня выступают как объектные для вышестоящего уровня. В случае, когда объектная формулировка достаточно полна и включает проблемы конкретных должностных лиц и подразделений, то переход от нее к управленческому решению может быть формализован практически целиком.

Аналогичные ситуации требуется разрешать и при проведении межведомственного взаимодействия ОВУ с федеральными органами исполнительной власти, органами власти субъектов Российской Федерации, а также другими органами и организациями по вопросам обеспечения национальной обороны.

Целью данной работы является повышение эффективности управления ОТС при планировании и проведении операций (боевых действий).

Для достижения поставленной цели предлагается использовать ситуационный подход к управлению, который

состоит в следующем: возникшая или предвидимая проблемная ситуация может считаться разрешенной лишь в том случае, если осуществлена выработка и реализация управленческого решения, ликвидирующего то состояние системы, ее элементов и состояний внешней среды, которое связывается с решением проблемной ситуации.

Особые свойства ОТС существенно ограничивают, а порой делают принципиально невозможным использование традиционных моделей управления. Здесь в первую очередь резко обостряется противоречие между необходимостью учета множества факторов, которые отличают одну управленческую ситуацию от другой и «проклятием размерности» модели. Последнее проявляется в недопустимом, с точки зрения динамики изменения состояния объекта управления, времени на отыскание решения. Поэтому для ситуационных задач основным аппаратом поиска решений является эвристический подход, основанный на знаниях и опыте ЛПР. Однако явно выраженный субъективизм и личностные аспекты такого подхода делают весьма актуальными попытки обобщить, концентрировать знания и опыт многих специалистов в данной предметной области.

Возникающие в практике управления ОТС задачи по своей сути являются функциональными или ситуационными. Функциональные задачи определяются сложившимся разделением обязанностей и задач при организации операций (боевых действий), а также при управлении этими процессами. Ситуационные задачи являются следствием нарушения во взаимодействии подсистем и элементов ОТС и следствием воздействия на нее различных технико-технологических, экономических и других факторов. Учитывая также и то, что ОТС обладает динамичной структурой, находящейся в постоянном развитии, ее нельзя описывать лишь стабильными характеристиками. Соответственно, ОТС невозможно эффективно управлять, если она имеет жестко специализированную структуру и постоянно повторяющиеся управленческие воздействия.

Следовательно, *адаптивность* ОТС может быть обеспечена лишь дополнением существующего механизма функционирования элементами ситуационного типа, обеспечивающими возможность решения комплекса ситуационных проблем [3].

При реализации ситуационного подхода к управлению каждому типу проблемной ситуации, возникающей в ОТС, должны соответствовать последовательность процедуры управления с ее информационным обеспечением, специфические формы взаимодействия элементов ОТС, критерии и методы принятия решений, а также объекты реализации управленческих воздействий. Причем комплекс методов и средств должен обеспечивать выявление и решение проблем на всех этапах функционирования ОТС.

Будем считать *текущей ситуацией*  $Q_j$  (где  $j$  – отличительный номер ситуации) совокупность всех сведений о структуре объекта управления и его функционировании в данный момент времени, а *полной ситуацией*  $S_i$  (где

$i$  – отличительный номер ситуации) – совокупность сведений о текущей ситуации, а также знания о состоянии системы управления в рассматриваемый момент времени и знания о технологии управления. Если в системе управления имеется  $n$  различных способов воздействия на объект управления, то каждое такое решение будем обозначать как  $U_k$  (где  $k$  – отличительный номер воздействия).

Если на объекте управления сложилась ситуация  $Q_j$ , при этом состояние системы управления и технологическая схема управления, определяемые  $S_j$ , допускают использование воздействия  $U_k$ , то оно применяется, и текущая ситуация превращается в новую ситуацию  $Q_l$ . Подобные правила преобразования называются *логико-трансформационными* (ЛТП) правилами. Полный список ЛТП задает возможности системы управления воздействовать на процессы, протекающие на объекте [1].

В силу конечности числа различных воздействий все множество возможных полных ситуаций распадается на  $n$  классов, каждому из которых будет соответствовать одно из возможных воздействий на объект управления т.е. должны существовать такие процедуры классификации, которые позволили бы классифицировать полные ситуации так, чтобы из них можно было образовать столько классов, сколько различных одношаговых решений есть в распоряжении системы управления. Если для некоторых полных ситуаций невозможно указать единственное одношаговое решение, то можно включить эту ситуацию в несколько классов.

Из-за такого пересечения классов возникает задача выбора того или иного решения из числа возможных для данной полной ситуации. Для осуществления подобного выбора нужны специальные процедуры экстраполяции последствий принятия того или иного решения. С их помощью можно на основании знаний об объекте управления и особенностях его функционирования заранее оценить результаты применения выбранного воздействия и сравнить полученные прогнозы для всех возможных воздействий, связанных с рассматриваемой проблемной ситуацией.

Функциональная модель ситуационного подхода к управлению ОТС, представленная в терминах методологии ARIS (Architecture of Integrate Information Systems), изображена на рис. 2.

Описание текущей ситуации, сложившейся на объекте управления, подается ЛПР на вход модуля «Анализатор». Его задача состоит в оценке сообщения и определения необходимости вмешательства ЛПР в процесс, протекающий в объекте управления.

Если текущая ситуация не требует такого вмешательства, анализатор не передает ее на дальнейшую обработку. В случае обнаружения проблемы описание текущей ситуации поступает на вход модуля «Классификатор». Используя информацию, хранящуюся в нем, классификатор относит текущую ситуацию к одному или нескольким классам, которым соответствуют одношаговые решения. Эта информация передается на вход модуля «База знаний», в котором хранятся все



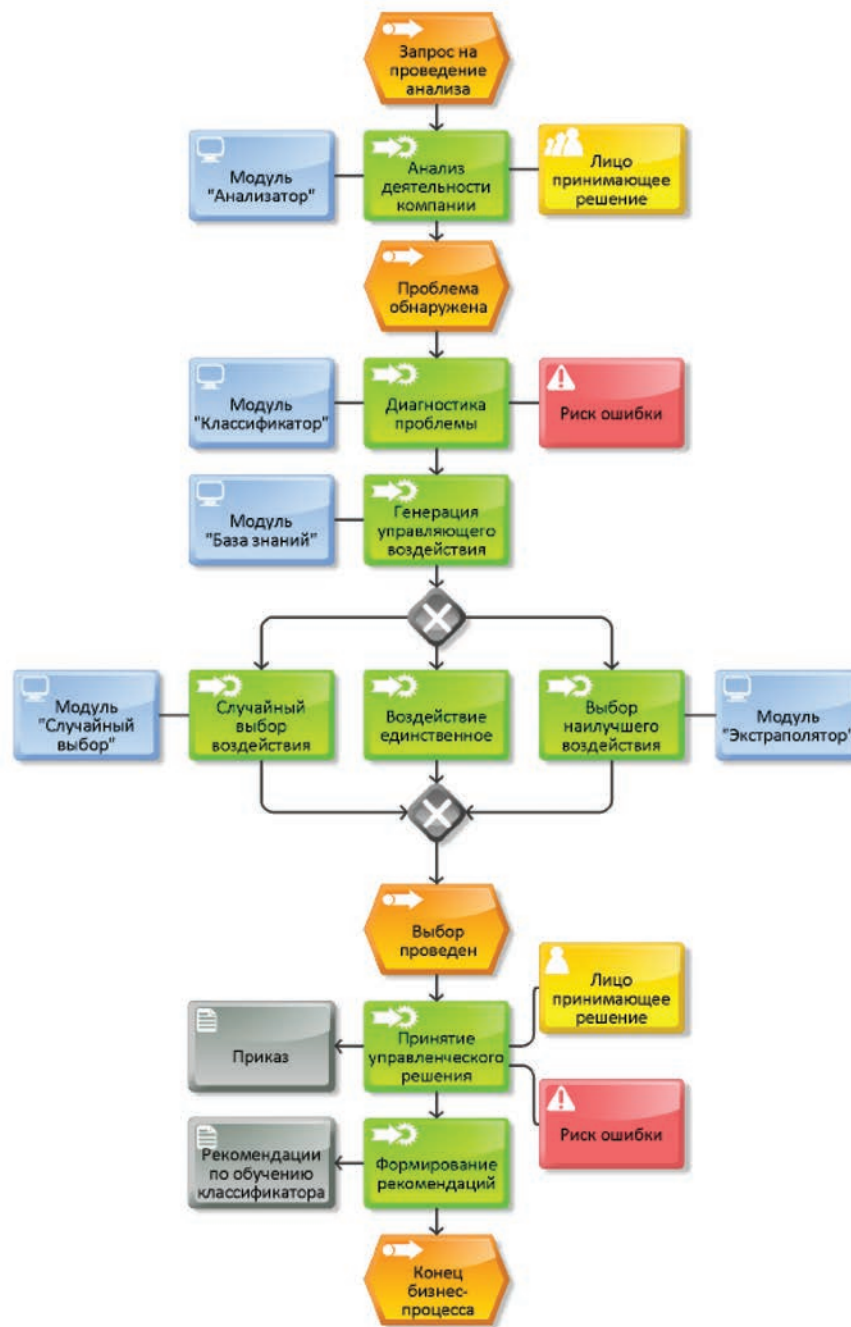


Рис. 2. Функциональная модель ситуационного подхода к управлению ОТС

ЛТП. В дальнейшем, база знаний определяет то ЛТП, которое должно быть использовано.

Если такое правило единственное, то оно выдается для исполнения. Если же таких правил несколько, то выбор лучшего из них производится после обработки предварительных решений в модуле «Экстраполиатор», после чего база знаний выдает решение о воздействии на объект.

Если база знаний или классификатор не могут принять решение по поступившему описанию текущей ситуации, то в модуле «Случайной выбор» выбирается одно из воздействий, оказывающих не слишком большое влияние на объект, или же система отказывается от

какого-либо воздействия на объект. Это говорит о том, что система управления не располагает необходимой информацией о своем поведении в данной ситуации.

На этапе разработки системы ситуационного управления ОТС собираются многочисленные сведения от специалистов предметной области. С их помощью формируется перечень новых классов проблемных ситуаций и ЛТП. На этом этапе в проект системы закладывается значительное количество субъективной информации об объекте управления и процедурах управления им.

После накопления знаний система может начинать работать, но в процессе эксплуатации она будет до-

вольно часто принимать неверные решения из-за неполноты информации и неточности процедур. В этом случае существует риск принятия ошибочного решения и необходимо «дообучение» системы управления.

Использование метода ситуационного управления оправдано только тогда, когда традиционные пути формализации объекта управления и процедуры управления им реализовать невозможно, т.е. практическое решение известными методами невозможно или неоправданно [1].

Общая постановка задачи классификации имеет следующий вид: на множестве конкретных ситуаций найти такое их разбиение на классы, при котором каждый класс имел бы, в рамках данной модели управления, некоторую «разумную» интерпретацию процесса управления проблемной ситуацией.

Система управления обобщает знания отдельных экспертов и становится носителем коллективного опыта. Процедура подбора необходимого варианта управленческого решения должна быть построена таким образом, чтобы классификатор проблемных ситуаций подходил для тех текущих ситуаций, о которых система не получает информации от экспертов.

Можно выделить четыре элемента внутренней и внешней среды, которые могут являться источниками возникновения проблемных ситуаций:

*Директивная среда (ДС)* – это среда, от которой по отношению к системе исходят управляющие воздействия (приказы, распоряжения, директивы, указания, нормативные требования и т.п.);

*Равноправная среда (РС)* – это виды обеспечения боевых действий и боевой подготовки (например, заявки в части обеспечения поставки боеприпасов и т.п.);

*Контур технологического управления (КТУ)* – это параметры состояния технических объектов (обеспечение функционирования ОТС, организация взаимодействия и т.п.);

*Контур организационного управления (КОУ)* – это команды управления и координации, сведения о результатах и ходе процесса управления (расстановка правильных акцентов в работе в зависимости от сложившейся обстановки, распределение общих нештатных обязанностей между руководящим составом с целью обеспечения более глубоких знаний по каждому организационному вопросу и всему спектру проблем в целом).

Входные сообщения, поступающие в КОУ, могут быть детерминированными (штатная и списочная численность личного состава и вооружения и военной техники (ВВТ), наличие боеприпасов и горюче-смазочных материалов и т.п.) или носить случайный характер (время восстановления поврежденной или отказавшей техники, потери личного состава и техники и т.п.).

Система ситуационного управления может быть использована для поддержки управленческих решений как в контуре организационного, так и в контуре технологического управления.

Каждая из подсистем внутренней и внешней среды имеет свои содержательные характеристики. Самыми

общими компонентами процессов, происходящих в каждой подсистеме ОТС и окружающей ее внешней среды, являются: личный состав (живой труд), средства подготовки ВВТ (орудия труда), изделия ВВТ (предмет труда), условия ведения боевых действий (условия труда).

Различия в процессах и результатах труда в каждой подсистеме ОТС приводят к различной содержательной интерпретации этих компонентов. Причем интерпретация для одного и того же контура (подсистемы) может быть различной в зависимости от модели, которую необходимо реализовать (например, для контура технологического управления живым трудом является подчиненный личный состав формирований (частей), а для контура организационного управления – должностные лица ОВУ). Это связано с тем, что разные модели предполагают наличие различных локальных целей и соответствующих им частных критериев [1].

Классификацию признаков проблемных ситуаций (технологические взаимосвязи) можно представить в виде косоугольной матрицы, клетки которой образуют укрупненные по видам обеспечения задачи управления ОТС.

Классификатор характеризует признаки, которые позволяют отнести проблемные ситуации к тому или иному классу, выявить причины и источники их возникновения. Чтобы определить характеристики проблемной ситуации необходимо осуществить процесс идентификации. Этот процесс в значительной степени эвристический из-за сложности большей части проблемных ситуаций, а также неоднозначности их интерпретации с точки зрения различных субъектов управления.

В общем виде, классификатор проблемных ситуаций представлен на рис. 3.

Матрица состоит из двух блоков: содержательные характеристики управленческих решений и источники возникновения проблемных ситуаций. В косоугольной части матрицы, относящейся к столбцам, формируются ситуационные задачи, относящиеся к взаимодействию субъектов и объектов управления. Описание проблемных ситуаций формируется путем объединения признаков столбцов и строк матрицы, а причины ее возникновения описываются путем анализа пересечений элементов.



Рис. 3. Схема классификатора проблемных ситуаций

Общность классификатора проблемных ситуаций делает его обозримым, выделяя наиболее важные качества ситуаций, но одновременно и затрудняет его применение для получения конкретных выводов по реальным ситуациям. Это связано с тем, что формальные преобразования любой модели позволяют судить о реальной системе лишь на том уровне абстракции, на котором модель сформирована. Классификатор позволяет идентифицировать классы проблемных ситуаций. Он служит для уяснения принципов возникновения и развития проблемных ситуаций, а также основ управления этими ситуациями в ОТС.

В итоге классификатор показывает, на какую из подсистем ОТС должно быть оказано воздействие с целью восстановления прежнего состояния подсистемы или переводе ее в более целесообразное состояние (например, изменение сроков и объемов пополнения боеприпасов).

Создание классификатора проблемных ситуаций позволяет перейти к их моделированию с использованием известных методов. Разработка модели возникновения и развития проблемных ситуаций позволяет заранее оценивать их возможные параметры и таким образом обоснованно выбирать эффективные пути решения с использованием ситуационного подхода [3].

Возможны две стратегии работы классификатора проблемных ситуаций:

- если по каким-то причинам произошел срыв выполнения задачи, то необходимо исследовать причины и источники, которые привели к этому событию, чтобы скорректировать параметры внутренней или внешней среды;
- необходимо по известным параметрам боевой задачи спрогнозировать возможности по выполнению этой задачи и выявить возможные «узкие» места, чтобы дать предложения в управленческое решение ЛПР.

Моделирование проблемных ситуаций является одним из основных элементов подготовки и ведения операций (боевых действий), а также элементом выявления таких ситуаций с целью их своевременного предотвращения или парирования, путем коррекции (уточнения) поставленных задач. Для успешного моделирования и получения достоверных прогнозов в условиях нехватки информации, в составе системы моделирования необходимо иметь расчётно-аналитические задачи: по планированию управляющих воздействий для своих войск (сил) и по прогнозу состава и характера действий противника, а также экспертную систему для формирования недостающих данных и контроля корректности вводимых исходных данных.

Применение модели, созданной на базе предложенного классификатора, позволит решать задачи по формированию управленческих решений на основе ситуационного подхода.

Рассмотрим пример работы анализатора проблемных ситуаций.

Пусть в результате моделирования предлагается реализовать некоторый критерий эффективности  $W_s(t)$ , который связывает отклонение прогнозируемого по-

казателя выполнения боевой задачи  $S_{np}(t)$  от заданного  $S_{зад}(t)$  с определенными параметрами управления [4].

$$W_s(t) = f\{P[S_{np}(t) \geq S_{зад}(t)]\}.$$

В основе критерия лежит вероятность того, что прогнозируемое значение  $S_{np}(t)$  окажется не менее заданного  $S_{зад}(t)$ . Если  $W_s(t) = 1$ , то боевая задача будет выполнена в полном объеме.

Снижение значения критерия  $W_s(t)$  ниже допустимого уровня говорит о том, что в момент времени  $t$  не будет обеспечено выполнение боевой задачи. Требуется выполнить обработку результатов прогнозирования и оценить возможность возникновения тех или иных проблемных ситуаций с целью предотвратить их отрицательные последствия на процесс управления и, в конечном счете, на выполнение поставленной задачи.

Алгоритм моделирования проблемных ситуаций на основе реализации критерия эффективности, может быть следующим:

1. Для рассматриваемой системы определяется перечень возможных проблемных ситуаций, разработка которого выполняется с использованием специальных методов.
2. Определяются правила (признаки) для каждой проблемной ситуации по которым она может быть выявлена т.е. каждая возможная проблемная ситуация ставится в соответствие с совокупностью пороговых значений координат фазового вектора, либо определяется область этих значений, либо указываются допустимые соотношения между координатами. Значения координат фазового вектора являются функциями времени и определяются количеством объектов, находящихся в технологических состояниях моделируемой системы.
3. Устанавливается приоритет обработки указанных в п.2 правил.
4. Разрабатывается алгоритмическое и специальное программное обеспечение, которое позволит для каждого момента времени  $t$  на основе прогнозируемых значений координат фазового вектора определить и зафиксировать наличие той или иной проблемной ситуации.

Рассмотрим пример реализации представленного алгоритма для автоматизированного планирования инженерно-авиационного обеспечения (ИАО) воздушной операции. Функциональная модель этого процесса, в терминах методологии функционального моделирования IDEF0, изображена на рис. 4.

При проведении моделирования процессов ИАО воздушной операции была использована математическая модель, которая позволяет прогнозировать динамику парка авиационной техники при ведении воздушных операций. Модель построена на основе применения метода динамики моментов в нелинейных системах, к числу которых также относятся организационно-технические системы [3].

Пример программной реализации рассмотренного алгоритма, представлен на рис. 5 (до принятия управленческого решения) и на рис. 6 (после принятия управленческого решения). В нижней части рис. 5

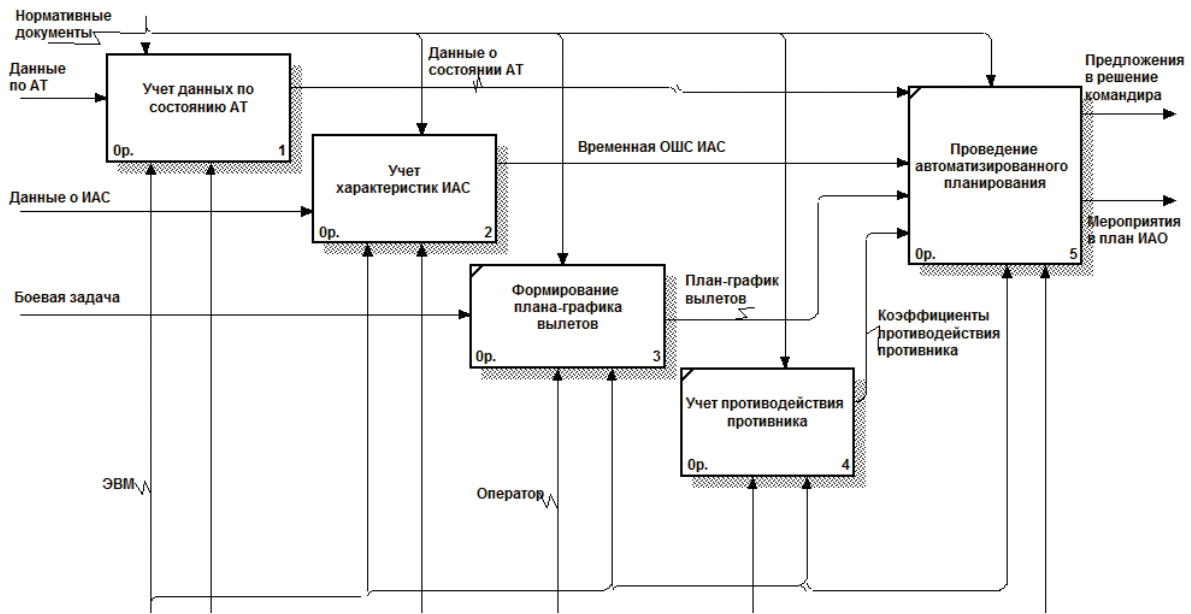


Рис. 4. Диаграмма функциональных процессов, протекающих в ходе автоматизированного планирования ИАО воздушной операции

и 6 представлен план-график вылетов самолетов в назначенное время и по вызову. Количество самолетов в группе вылета задается в виде диапазона от минимального до максимального значения.

На рис. 5 легко различить несколько «скачков» критерия  $W_s(t)$ , которые по времени совпадают с вылетами групп самолетов в назначенное время. Это может быть вызвано недостаточным количеством личного состава для подготовки самолетов, отсутствием исправных или боеготовых самолетов, нехваткой запасных частей, боекомплектов и т.п.

Для достижения оптимального значения  $W_s(t)$  необходимы дополнительные управленческие решения, которые могут быть оперативно получены с помощью классификатора проблемных ситуаций [5]. Для рассматриваемого примера, таким решением стала «частичная компенсация недостаточного количества групп

подготовки самолетов путем переброски сил и средств инженерно-авиационной службы из подразделений войскового ремонта авиационной техники» (рис. 6).

Моделирование управленческих решений в ходе операции (боевых действий) целесообразно применять каждый раз при определении или уточнении решения, как при подготовке, так и в ходе операции.

Дальнейшее развитие представленного подхода заключается в построении модели для качественного и количественного анализа проблемных ситуаций, связанных с планированием операций (боевых действий), а также с разработкой алгоритмов по корректировке плана операции.

**Литература**

1. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. М.: Наука. 1986. 285 с.

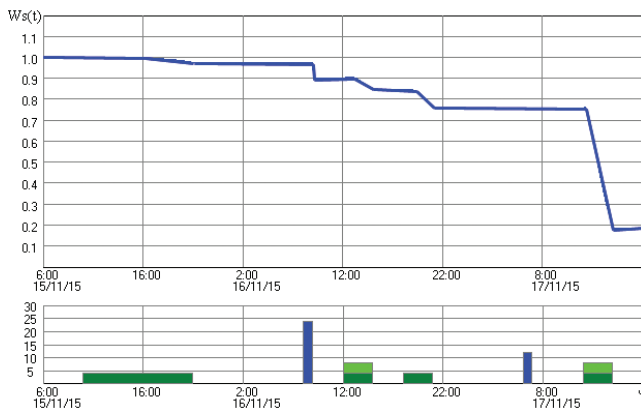


Рис. 5. Результат автоматизированного планирования ИАО воздушной операции (до принятия управленческого решения)

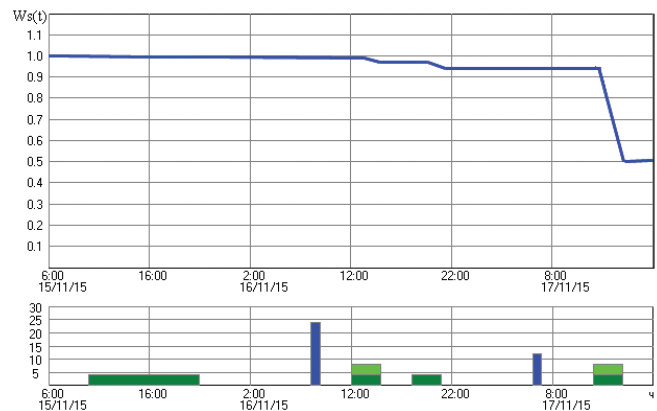


Рис. 6. Результат автоматизированного планирования ИАО воздушной операции (после принятия управленческого решения)

2. Моделирование систем и процессов / под ред. В.Я. Головина. М.: ВУНЦ ВВС, 2010. 429 с.

3. Управление организационно-техническими системами / под ред. В.Я. Головина. М.: ВВИА имени Н.Е. Жуковского, 2006. 580 с.

4. Ямпольский С.М., Головин В.Я., Рубинов В.И. Модель функционирования перспективной системы для автоматизированного планирования мероприя-

тий инженерного авиационного обеспечения // Вестник Московского авиационного института. 2012. № 3. С. 19–26.

5. Ямпольский С.М., Головин В.Я. Перспективная система информационной поддержки управленческих решений должностных лиц авиационной части // Авиационное оборудование: сб. М.: ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2010. С.27–33.

#### Для цитирования:

Ямпольский С.М., Костенко А.Н. Ситуационный подход к управлению организационно-техническими системами при планировании операции // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 62–69.

### SITUATIONAL APPROACH TO THE MANAGEMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS DURING OPERATION PLANNING

**Yampolsky Sergey Mihajlovich,**  
Moscow, Russia, yampolsm@mail.ru

**Kostenko Aleksej Nikolaevich,**  
Moscow, Russia, alexkoste1978@mail.ru

#### Abstract

Problem statement: the use of traditional management models is considerably limited and often made impossible because of the peculiarities of functioning of complex organizational and technical military systems. Therefore, a heuristic approach, based on knowledge and experience of decision makers, is used as the main instrument for solution searching in different problem situations. However, evident subjectivity and personal aspects of this approach make attempts to generalize and concentrate knowledge and experience of many specialists in a given subject area to be of great current interest.

Situational management is engaged in resolution of problem situations, its functions are performed by officials of the military authorities. Implementation of these functions is a complex organizational and technical problem. It can be explained by a need to have descriptions and ranks of all possible problem situations, develop an algorithm to solve them, form a suitable database and also define criteria for choosing a particular solution strategy for a problem situation.

This work examines a situational approach to the management of organizational and technical systems during operation planning, functional model of the situational approach to organizational and technical systems management.

A scheme for problem situations classifier, which can be used to determine potential impacts on organizational and technical system and restore it or transfer it into an appropriate state, is proposed.

The problem situations modeling algorithm, based on the criterion of efficiency, as well as an example implementation of the presented algorithm for automated planning of air operations' engineering-aviation maintenance are considered in the work. Dynamics of efficiency criterion is represented in an integrated graphical form, which provides a possibility to predict the efficiency of air operations engineering-aviation maintenance.

Algorithms for evaluation of problem situations during conduct of operations (combat actions) and also for finding preventive measures can be created with the use of the proposed approach.

**Keywords:** situational management; organizational and technical systems; operation; combat actions; managerial decision; problem situation; classifier; analyzer.

#### References

1. Pospelov D.A. Situatsionnoe upravlenie. Teoriya i praktika [Situational management. Theory and practice]. Moscow, Nauka. 1986. 285 p. (In Russian).

2. Golovina V.Ja. (Ed.). Modelirovanie sistem i processov [Modeling of systems and processes]. Moscow, Voennyj uchebno-nauchnyj centr Voenno-vozdushnyh sil. 2010. 429 p. (In Russian).

3. Golovina V.Ja. (Ed.). Upravlenie organizacionno-tehnicheskimi sistemami [Management of organizational-technical systems]. Moscow, Moscow, Voenno-vozdushnaya inzhenernaya akademiya imeni N.E. Zhukovskogo i Ya.A. Gagaruna, 2006. 580 p. (in Russian).

4. Jampol'skij S.M., Golovin V.Ja., Rubinov V.I. Model' funkcionirovaniya perspektivnoi sistemy dlya avtomatizirovannogo planirovaniya meropriyatii inzhenernogo aviatsionnogo obespecheniya [Model of functioning of perspective system for the automated planning actions of engineering-aviation maintenance]. Vestnik Moskovskogo aviacionnogo instituta. 2012. No. 3. Pp.19–26. (In Russian).

4. Jampol'skij S.M., Golovin V.Ja. Perspektivnaya sistema informatsionnoi podderzhki upravlencheskikh reshenii dolzhnostnykh lits aviatsionnoi chasti [A promising system of information support of administrative decisions of officers of aviation units]. Aviacionnoe oborudovanie: sbornik. Moscow, Voenno-vozdushnaya inzhenernaya akademiya imeni N.E. Zhukovskogo i Ya.A. Gagaruna, 2010. Pp. 27–33. (In Russian).

#### Information about authors:

Yampolsky S.M., Ph.D., associate professor, Senior Researcher of the Military institute (of national defense) of the Military academy of the General staff of the Armed Forces of the Russian Federation; Kostenko A.N., Ph.D., Deputy head of the Military institute (of national defense) of the Military academy of the General staff of the Armed Forces of the Russian Federation.

#### For citation:

Yampolsky S.M., Kostenko A.N. Situational approach to the management of organizational and technical systems during operation planning. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 62–69.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО СКРЫТИЯ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ ЗА СЧЕТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РАЗНОСТИ ЭНЕРГИЙ ОБЛАСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ

**Шелухин**

**Олег Иванович,**

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности и автоматизации Московского технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, sheluhin@mail.ru

**Олейникова**

**Тамара Викторовна,**

магистрант Московского технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, taviola@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен метод встраивания цифровых водяных знаков непосредственно в сжатый поток данных, основанный на дифференциальном вычислении разности энергий областей изображения.

Энергетическая разность обеспечивается путем выборочного удаления высокочастотных коэффициентов дискретного косинусного преобразования. Для встраивания или извлечения цифровых водяных знаков из сжатого видеопотока, алгоритм дифференциального вычисления разности энергий областей изображения требует только неполного декодирования. Алгоритм дифференциального вычисления разности энергий областей изображения позволяет осуществить внедрение цифровых водяных знаков, состоящего из последовательности бит в опорные кадры MPEG-видео или в JPEG-изображения. Каждый бит цифровых водяных знаков встраивается в выбранную область, состоящую из блоков коэффициентов дискретного косинусного преобразования канала яркости изображения. Бит цифровых водяных знаков внедряется в выбранную область модификацией разности энергий между высокочастотными коэффициентами дискретного косинусного преобразования верхней и нижней части этой области.

В результате сложность дифференциального вычисления разности энергий областей изображения алгоритмов встраивания цифровых водяных знаков оказывается только незначительно выше, чем у методов, основанных на замене наименее значимого бита.

Из полученных результатов следует, что предпочтительно использование малых значений параметра квантования, что в предельном случае аналогично отсутствию этапа квантования. Установлено, что при встраивании сообщения с использованием меньшего значений разности энергий контейнер меньше подвержен искажениям. Показано, что при малых значениях разности энергий снижается помехоустойчивость стеганоконтейнера.

Значительный эффект дает использование больших областей для встраивания одного бита сообщения, однако при неизменном значении разности энергий это также ведет к снижению помехоустойчивости стеганоконтейнера. При оценке восстановленного сообщения установлено, что при внесении искажений в стеганоконтейнер встроенное сообщение также подвергается искажениям.

В качестве преимуществ использования алгоритма дифференциального вычисления разности энергий областей изображения можно выделить относительно низкую вычислительную сложность алгоритма при высокой устойчивости алгоритма к атакам перекодированием.

## Ключевые слова:

стеганография; цифровые водяные знаки; защита авторских прав; дифференциальная разность энергий; дискретное косинусное преобразование; MPEG; JPEG.

### Постановка задачи

Для обеспечения защиты от копирования и защиты авторских прав аудио- и видеоданных в цифровом виде, в настоящее время разрабатываются и используются два взаимодополняющих метода: шифрование и цифровые водяные знаки (ЦВЗ). Методы шифрования могут использоваться для защиты цифровых данных во время передачи от отправителя к получателю. Тем не менее, после того, как получатель получил и расшифровал данные, они находятся в открытом виде и больше не защищены. Методы встраивания ЦВЗ могут дополнять шифрование путем встраивания незаметного секретного сигнала непосредственно в незашифрованные данные. ЦВЗ встраивается таким образом, что он не может быть удален без влияния на качество аудио- или видеоданных и может быть использован, например, для защиты авторских прав, т.к. в данных можно скрыть информацию об авторе.

Методы встраивания и извлечения ЦВЗ не могут быть слишком сложными по двум причинам: они должны работать в режиме реального времени и не должны быть дорогостоящими, т.к. будут использоваться в потребительских товарах. Должна быть предусмотрена возможность добавления водяных знаков непосредственно в сжатые данные. Кроме того, важно, чтобы добавление ЦВЗ не влияло на размер сжатых данных. Например, если размер сжатого MPEG видео потока увеличивается, при передаче по каналу передачи данных с фиксированной скоростью могут возникнуть проблемы: может не хватить места в буферах аппаратных декодеров или может быть нарушена синхронизация аудио и видео.

Наиболее эффективным способом уменьшить сложность алгоритмов встраивания ЦВЗ в реальном времени является избегание вычислительно сложных операций, используя формат сжатия видеоданных. В статье рассмотрен метод встраивания ЦВЗ непосредственно в сжатый поток данных, основанный на дифференциальном вычислении разности энергий областей изображения (МДЭ).

Энергетическая разность обеспечивается путем выборочного удаления высокочастотных коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП). Для встраивания или извлечения ЦВЗ из сжатого видеопотока, алгоритм МДЭ требует только неполного декодирования. В результате сложность МДЭ алгоритмов встраивания ЦВЗ оказывается только незначительно выше, чем у методов, основанных на замене наименее значимого бита.

### Алгоритм МДЭ для встраивания ЦВЗ в видеопоследовательности стандарту MPEG/JPEG

Как известно [1,2] поток видеоданных в MPEG имеет иерархическую синтаксическую структуру, при которой каждый уровень содержит один или более подчиненных уровней. Последовательность видеоданных разделяется

на множество групп кадров (ГК). В пределах ГК временная избыточность среди видеок кадров уменьшается за счет временного предсказания. Затем результирующая ошибка предсказания кодируется. В стандарте MPEG [1] используются три типа кадров:

*I-кадры* – intra-кадры, кодируются без ссылок на другие кадры, содержат неподвижное изображение и вдобавок используются для построения других типов кадров;

*P-кадры* – предсказуемые кадры, которые кодируются со ссылкой на предыдущий (с точки зрения приемника) принятый (*I*) или (*P*) кадр;

*B-кадры* – двусторонне интерполируемые кадры, которые кодируются наиболее сложным образом. Такой кадр может строиться и на основе предыдущего кадра, и на основе последующего кадра, и как интерполяция между предыдущим и последующим кадрами.

Алгоритм МДЭ позволяет осуществить внедрение ЦВЗ, состоящего из  $l$  бит  $b_j$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, l-1$ ) в *I*-кадры MPEG-видео или в JPEG-изображения. Каждый бит ЦВЗ встраивается в выбранную область, состоящую из  $n$  блоков по  $8 \times 8$  коэффициентов ДКП канала яркости изображения. Бит ЦВЗ внедряется в выбранную область модификацией разности энергий  $D$  между высокочастотными коэффициентами ДКП верхней части этой области (субобласть  $A$ ) и ее нижней части (субобласть  $B$ ) [3,4].

Полная энергия в  $S(c)$  подобласти  $A$ , состоящей из  $n/2$  блоков ДКП, рассчитывается следующим образом:

$$E_A(c, n, Q_{jpeg}) = \sum_{d=0}^{\frac{n}{2}-1} \sum_{i \in S(c)} \left( [\theta_{i,d}]_{Q_{jpeg}} \right)^2. \quad (1)$$

Здесь  $\theta_{i,d}$  обозначает невзвешенный коэффициент ДКП с индексом  $i$  блока  $d$  подобласти  $A$  на этапе рассмотрения.  $[\theta_{i,d}]_{Q_{jpeg}}$  означает, что коэффициенты ДКП предварительно квантуются стандартной процедурой квантования JPEG с параметром квантования  $Q_{jpeg}$ . Энергия подобласти  $B$ , обозначаемая  $E_B$ , определяется аналогичным образом.

Для встраивания битов ЦВЗ в *I*-кадры MPEG сжатого видео используется аналогичный подход, поэтому без потери общности в дальнейших обозначениях используется JPEG. Предварительное квантование выполняется только на этапе определения энергии, но не применяется на этапе встраивания водяного знака.

Подмножество  $S(c)$  блока коэффициентов ДКП, считанных зигзагообразно, определяется на основе выбранного порога  $c$ :

$$S(c) = \{h \in \{1,63\} \mid (h \geq c)\}. \quad (2)$$

Заметность ЦВЗ на изображении-контейнере определяется выбором подходящего значения порога. После определения порога для каждой  $lc$ -области, разность энергий определяется следующим образом:

$$D(c, n, Q_{jpeg}) = E_A(c, n, Q_{jpeg}) - E_B(c, n, Q_{jpeg}). \quad (3)$$

Центральную роль, как в процессе встраивания, так и в процессе извлечения встроенной информации играют энергии субобластей  $A$  и  $B$ , величина которых определяется четырьмя факторами:

- характером субобластей  $A$  и  $B$ ;
- количеством блоков  $n$  на одну выбранную область;
- шагом квантователя;
- размером подмножества  $S(c)$ .

Процедура встраивания ЦВЗ состоит в следующем:

1. Перемешивание блоков  $8 \times 8$  ДКП-коэффициентов изображения или  $I$ -кадра псевдослучайным образом.
2. Для каждого бита  $b_i$  водяного знака выполнить:
  - 2.1. Выбор  $lc$ -подобласти  $A$ , состоящей из  $n/2$  блоков  $8 \times 8$  коэффициентов ДКП.
  - 2.2. Выбор  $lc$ -подобласти  $B$ , состоящей из оставшихся  $n/2$  блоков  $8 \times 8$  коэффициентов ДКП.
  - 2.3. Расчет значения порога  $c$ :

$$c(n, Q_{jpeg}, D, c_{min}) = \max\{c_{min}, \max\{g \in 1,63\} | (E_A(g, n, Q_{jpeg}) > D) \wedge (E_B(g, n, Q_{jpeg}) > D)\}, \quad (4)$$

где

$$E_{A,B}(c, n, Q_{jpeg}) = \sum_{d=0}^{\frac{n}{2}-1} \sum_{i \in S(c)} ([\theta_{i,d}]_{Q_{jpeg}})^2 \quad (5)$$

3. Если ( $b_i = 0$ ), то удаление коэффициентов подмножества  $S(c)$  области  $A$ . Иначе, если ( $b_i = 1$ ), то удаление коэффициентов подмножества  $S(c)$  области  $B$ .

4. Расстановка всех блоков ДКП-коэффициентов по своим начальным позициям.

Процедура извлечения ЦВЗ:

1. Перемешивание блоков  $8 \times 8$  ДКП-коэффициентов изображения или  $I$ -кадра псевдослучайным образом;
2. Для каждого бита  $b_i$  битовой строки  $L$  выполнить:
  - 2.1. Выбор  $lc$ -подобласти  $A$ , состоящей из  $n/2$  блоков  $8 \times 8$  коэффициентов ДКП.
  - 2.2. Выбор  $lc$ -подобласти  $B$ , состоящей из оставшихся  $n/2$  блоков  $8 \times 8$  коэффициентов ДКП.
  - 2.3. Расчет значения порога  $c$ :

$$c(n, Q_{jpeg}, D, c_{min}) = \max\{c_{min}, \max\{g \in 1,63\} | (E_A(g, n, Q_{jpeg}) > D) \wedge (E_B(g, n, Q_{jpeg}) > D)\},$$

где

$$E_{A,B}(c, n, Q_{jpeg}) = \sum_{d=0}^{\frac{n}{2}-1} \sum_{i \in S(c)} ([\theta_{i,d}]_{Q_{jpeg}})^2$$

- 2.4. Расчет разности энергий:

$$D = E_A(c^{extract}, n, Q'_{jpeg}) - E_B(c^{extract}, n, Q'_{jpeg}) \quad (6)$$

- 2.5. Если ( $D > 0$ ), то  $b_i = 0$

Иначе  $b_i = 1$

Положительным свойством алгоритма МДЭ является то, что для удаления ЦВЗ требуется проведение

вычислительных операций, более сложных, чем встраивание нового произвольного водяного знака. Для тестирования рассмотренного алгоритма использовался контейнер формата MPEG 2, где каждый кадр представлен изображением формата  $640 \times 360$  с частотой кадров равной 23 кадра в секунду. Встраиваемый ЦВЗ представлял собой текстовое сообщение, закодированное в QR-коде и сохраненное в формате BMP (рис. 1).



Рис. 1. Встраиваемое сообщение

Встраивание произведено в каждый  $I$ -кадр видеоряда (рис. 2). Для встраивания одного бита выбрана область, равная 4 блокам  $8 \times 8$  и значение разности энергий при встраивании равно 50. При оценке качества контейнера со встроенным ЦВЗ оценивались только искаженные кадры видео.

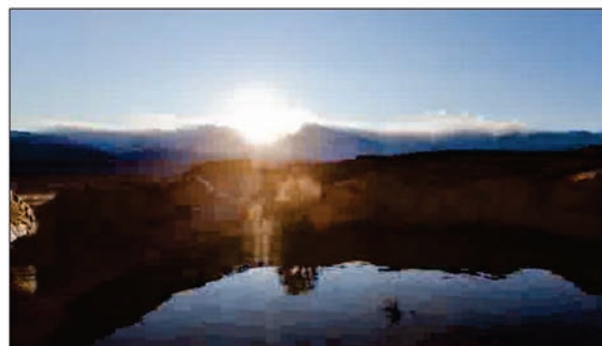


Рис. 2. Пример  $I$ -кадра контейнера

### Оценка качества встраивания ЦВЗ в видеопоследовательности стандарта MPEG/JPEG с помощью алгоритм МДЭ

В качестве основных объективных показателей визуального искажения контейнера как правило используются следующие показатели: среднеквадратическая ошибка (Mean Square Error – MSE) для изображения размером  $M \times N$ ; нормированная среднеквадратическая ошибка (Normalized Mean Square Error – NMSE); отношение «сигнал/шум» (Signal to Noise Ratio – SNR) – безразмерная величина, в которой в качестве сигнала берется исходное изображение, а шум определяется как разность между пикселями исходного и искаженного изображения [5,6,7].

В качестве примера рассмотрим максимальное отношение «сигнал/шум» (Peak Signal to Noise Ratio – PSNR) определяет максимальное соотношение между



сигналом и шумом изображения, и выражается следующей формулой:

$$PSNR = \frac{N * M * \max(C(m, n))^2}{\sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{M-1} (C(m, n) - S(m, n))^2}, \quad (7)$$

где  $C$  – пустой контейнер, а  $S$  – контейнер, содержащий ЦВЗ.

На рис. 3 представлены графики зависимости качества контейнера от параметров алгоритма встраивания.

На рис. 4 представлены оценки качества оценки видеопоследовательности в результате встраивания ЦВЗ представленного на рис. 1.

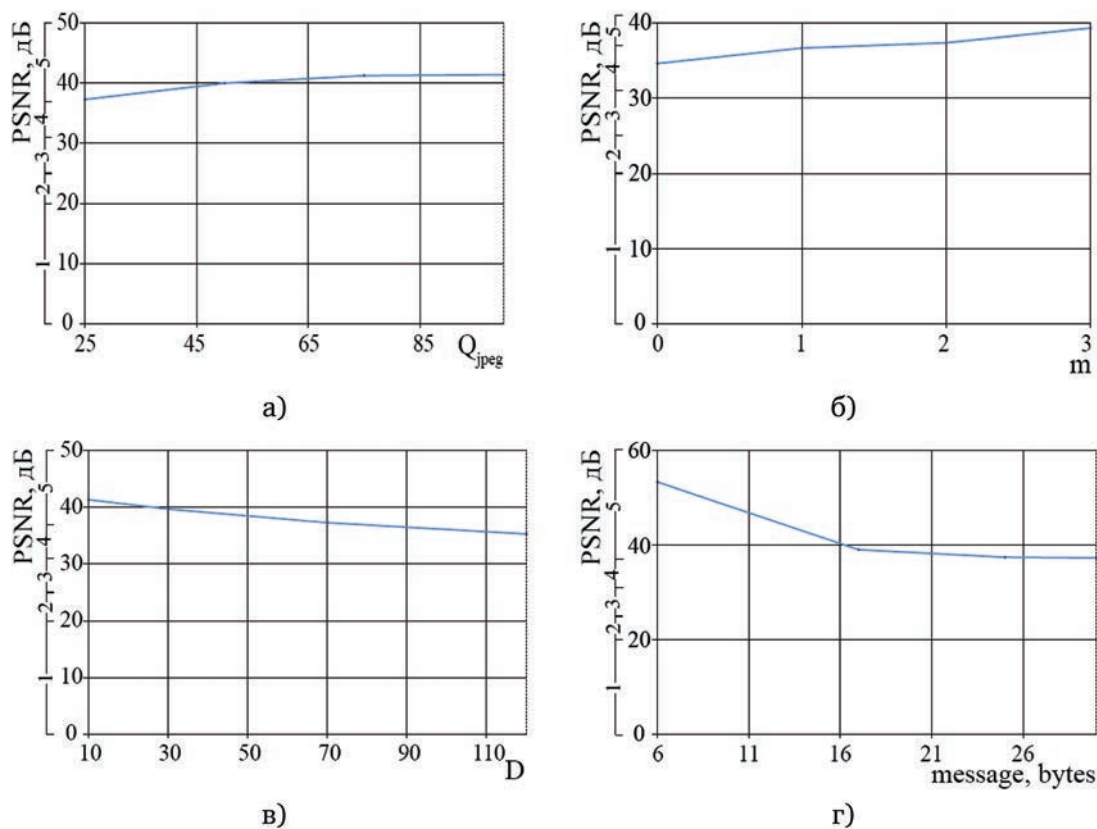
Экспертные оценки показали, что встроенные водяные знаки незаметны при  $n=32$  и скорости кодирования видеоданных 6 и 8 Мбит/с. При кодировании видеоданных на более низких скоростях появляются искажения возле контуров. Устранить искажения можно увеличением числа блоков ДКП, приходящихся на одну выбранную область. Проведенные исследования показали, что алгоритм ДЭВ позволяет осуществлять встраивание информации в цифровой поток 6–8 Мбит/с со скоростью 0,42 кбит/с практически без искажений.

### Выводы

Из полученных результатов следует, что предпочтительно использование малых значений параметра квантования, что в предельном случае аналогично отсутствию этапа квантования. Установлено, что при встраивании сообщения с использованием меньшего значений разности энергий контейнер меньше подвержен искажениям. С другой стороны, при малых значениях разности энергий снижается помехоустойчивость стеганоконтейнера.

Значительный эффект дает использование больших областей для встраивания одного бита сообщения, однако при неизменном значении разности энергий это также ведет к снижению помехоустойчивости стеганоконтейнера. При оценке восстановленного сообщения установлено, что при внесении искажений в стеганоконтейнер встроенное сообщение также подвергается искажениям. Максимальное значение значения искажения извлеченного сообщения равно 15.6% при значении NMSE контейнера = 0.5%.

В качестве преимуществ использования алгоритма МДЭ можно выделить относительно низкую вычислительную сложность алгоритма при высокой устойчивости алгоритма к атакам перекодированием. Недостат-



**Рис. 3.** Зависимость качества изображения от а) параметра квантования, где  $Q_{jpeg}$  – параметр квантования, б) размера области для встраивания одного бита, где  $N$  – размер области для встраивания одного бита); в) разности энергий при встраивании, где  $D$  – разность энергий при встраивании; г) размера встраиваемого сообщения, где message – размер встраиваемого сообщения в байтах

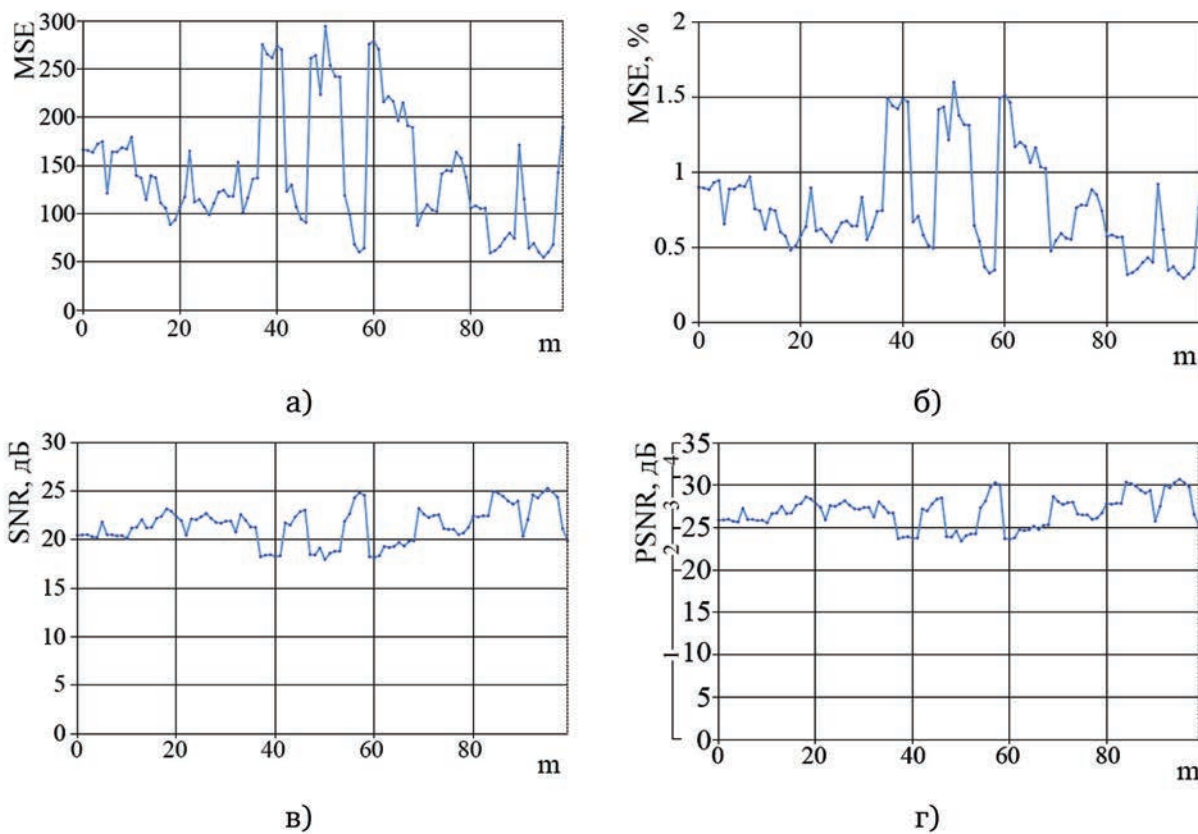


Рис. 4. Показатели качества видеопоследовательности при встраивания ЦВЗ  
а) MSE б) NMSE в) SNR г) PSNR

ком метода является зависимость качества скрытия от характера видеоконтента.

#### Литература

1. Артюшенко В.М., Шелухин О.И., Афонин М.Ю. Цифровое сжатие видеoinформации и звука. М.: Дашков и К, 2003. 426 с.
2. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. М.: СОЛОН-Пресс, 2002. 261 с. URL: <http://www.autex.spb.ru/wavelet/books.htm> (дата обращения 10.02.2016).
3. Christian C. An information-theoretic model for steganography. URL: <http://alghost.manual.ru/defence/hidden/> (дата обращения 10.02.2016).
4. Kutter M., Jordan F., Bossen F. Digital signature of

color images using amplitude modulation // Proc. of the SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases V. 1997. Pp. 518–526.

5. Darmstaedter V., Delaigle J.-F., Quisquater J., Macq B. Low cost spatial watermarking // Computers and Graphics. 1998. Vol. 5. Pp. 417–423.

6. Langelaar G., Lagendijk R., Biemond J. Real-time Labeling Methods for MPEG Compressed Video // 18th Symposium on Information Theory in the Benelux. 1997. Pp. 123–130.

7. Langelaar G., Lagendijk R., Biemond J. Removing Spatial Spread Spectrum Watermarks by Non-linear Filtering // IX European Signal Processing Conference. 1998. URL: <http://cgi.di.uoa.gr/~eusipco> (дата обращения 10.02.2016).

#### Для цитирования:

Шелухин О.И., Олейникова Т.В. Оценка эффективности стеганографического скрытия цифровых водяных знаков в видеопоследовательностях за счет дифференциальной разности энергий областей изображения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 70–75.

## EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF HIDING DIGITAL WATERMARK IN VIDEO SEQUENCES DUE TO THE ENERGY DIFFERENCE BETWEEN THE DISCRETE COSINE TRANSFORM COEFFICIENTS

**Sheluhin Oleg Ivanovich,**  
Moscow, Russia, sheluhin@mail.ru

**Oleynikova Tamara Viktorovna,**  
Moscow, Russia, taviola@mail.ru

### Abstract

We consider in this paper on an image energy differential calculation based, into the data stream directly compressed, an embedding a digital watermark method.

The energy differences are enforced by selectively discarding high-frequency coefficients of the discrete cosine transform. To embed a watermark in or extract a watermark from a compressed video stream, the image energy differential calculation algorithm required only partial decoding steps. The image energy differential calculation algorithm allows implementation of watermark, which consists of a sequence of bits in the I-frames of MPEG video or in the JPEG-image. Every bit of watermark is embedded to selected area, consisting of discrete cosine transform coefficients of the luminance channel of the image. A watermark bit is embedded in a region by modification an "energy" difference between the high frequency discrete cosine transform coefficients of the top half of the region and the bottom half.

As a result complexity of the image energy differential calculation embedded watermark algorithms is only little higher than of the method replacing the least significant bit.

From the results, it is preferred that using small quantization parameter that is similar to lack of the quantization step. Found that the container is less subject to corruption when embedding messages using less energy difference between the values of. It is shown that robustness of watermarked image decreases for small values of energy difference. A significant effect is the use of large areas for embedding one bit of the message, but at a constant value of energy difference this also leads to decreased robustness of watermarked image. Found that when evaluating the recovered

messages by introducing corruptions in watermarked image built-in message is also subject to corruption.

As the advantages of using the image energy differential calculation algorithm are relatively low computational complexity of the algorithm when high resistance to re-encoding attacks.

**Keywords:** steganography; digital watermark; copyright protection; energy difference; the discrete cosine transform; MPEG; JPEG.

### References

1. Artyushenko V.M., Shelukhin O.I., Afonin M.Yu. Tsifrovoye szhatie videoinformatsii i zvuka. [Digital compression of video and audio]. Moscow, Dashkov & K, 2003. 426 p.
2. Gribunin V.G., Okov I.N., Turintsev I.V.. Tsifrovaya steganografiya [Digital stenography]. Moscow, SOLON-Press, 2002. 261 p. URL: <http://www.autex.spb.ru/wavelet/books.htm> (date of access 10.02.2016).
3. Christian C. An information-theoretic model for steganography. URL: <http://algotist.manual.ru/defence/hide/> (date of access 10.02.2016).
4. Kutter M., Jordan F., Bossen F. Digital signature of color images using amplitude modulation. Proc. of the SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases V. 1997.
5. Darmstaedter V., Delaigle J.-F., Quisquater J., Macq B. Low cost spatial watermarking. Computers and Graphics. 1998. Vol. 5. Pp. 417–423.
6. Langelaar G., Lagendijk R., Biemond J. Real-time Labeling Methods for MPEG Compressed Video. 18th Symposium on Information Theory in the Benelux. 1997. Pp. 123–130.
7. Langelaar G., Lagendijk R., Biemond J. Removing Spatial Spread Spectrum Watermarks by Non-linear Filtering. IX European Signal Processing Conference. 1998. URL: <http://cgi.di.uoa.gr/~eusipco> (date of access 10.02.2016).

### Information about authors:

Sheluhin O.I., Ph.D., professor, Head of Department Information Security and Automation of the Moscow Technical University of Communications and Informatics; Oleynikova T.V., undergraduate UI of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, Department of Information Security and Automation.

### For citation:

Sheluhin O.I., Oleynikova T.V. Evaluating the effectiveness of hiding digital watermark in video sequences due to the energy difference between the discrete cosine transform coefficients. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 70–75.

# АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Елисеев**

**Николай Иванович,**

к.т.н., доцент, докторант  
Краснодарского высшего  
военного училища имени  
генерала армии С.М. Штеменко  
г. Краснодар, Россия,  
n.i.eliseev@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

В настоящее время внедрение систем электронного документооборота становится одним из приоритетных направлений информационной политики государства. Однако степень теоретической проработки вопросов построения систем юридически значимого электронного документооборота оказывается не достаточной для их эффективного функционирования на практике.

Предметом рассмотрения являются проблемы построения систем юридически значимого электронного документооборота.

Цель работы заключается в анализе противоречий в существующих системах электронного документооборота, а так же в синтезе новой структуры системы, обеспечивающей ее эффективное функционирование.

Методология исследования базируется на применении методов системного анализа, системотехники, теории защиты информации, учета требований нормативно-правовых документов, регламентирующих информационное взаимодействие в электронной среде.

Анализируются основные функции и свойства электронного документа. Делается вывод о не достаточном (для построения эффективной системы электронного документооборота) понимании сущности понятия «целостность» электронного документа. На основе результатов системного анализа вводится понятие «системной целостности» электронного документа. Предлагается рассматривать электронный документ, как информационный объект, определяемый двумя сущностями: технической и юридической. Вводятся понятия «технической» и «юридической» целостности электронных документов. Классифицируется новая комплексная угроза информационной безопасности, характерная для систем юридически значимого электронного документооборота – угроза «утраты юридической значимости информации».

Определяются основные функциональные недостатки современных систем электронного документооборота. Вводится понятие «целостности системы электронного документооборота», как необходимого условия обеспечения юридической значимости электронных документов.

Для обеспечения заданных качественных характеристик электронных документов на всех этапах их жизненного цикла предлагается дополнить структуру существующей системы подсистемой управления целостностью системы электронного документооборота. Определяются основные функции предлагаемой подсистемы. Вводится подкласс «систем электронного документооборота с замкнутым контуром обеспечения целостности».

Делается вывод о необходимости дополнительного введения в состав электронного документа «системной электронной подписи», предназначенной для контроля легитимности объектов и процессов, участвующих в обеспечении жизненного цикла электронных документов. Предложенные решения могут быть использованы при организации ведомственного и межведомственного юридически значимого электронного взаимодействия.

## Ключевые слова:

электронный документ; система электронного документооборота; электронная подпись; юридическая значимость; целостность электронных документов; замкнутый контур защиты.

В настоящее время внедрение систем электронного документооборота (СЭД) становится одним из приоритетных направлений информационной политики государства, проводимой в рамках «Стратегии развития информационного общества РФ», государственной программы «Информационное общество (2011-2020 годы)», «Концепции формирования и развития единого информационного пространства России», федеральной программы «Электронная Россия» и др.

Очередным этапом развития технологий электронного документооборота является переход к распределенным моделям хранения и обработки данных, реализуемых в рамках концепций «облачных» вычислений, GRID-систем, распределенных баз данных и т.д.

Следует констатировать тот факт, что в современном обществе отчуждение информации в цифровую среду становится социальной нормой, а «бумажный» носитель, наоборот – пережитком. Характеризуя модель современного информационного общества уместно упомянуть слова академика Глушкова В.М.: «Человек, который в начале XXI века не будет уметь пользоваться этой информацией (имеется в виду «бумажной»)»<sup>1</sup>, уподобится человеку начала XX века, не умевшему ни писать, ни читать» [1].

Одним из ключевых свойств информации, определяющих ее функциональную пригодность в системе информационного обмена, является *целостность*. С позиций общей теории систем и системного анализа именно целостность является системообразующим свойством материи. В информационных системах под *целостностью информации (данных)*, как правило, понимается состояние информации, при котором отсутствует любое ее изменение, либо изменение осуществляется только преднамеренно уполномоченными субъектами.

Электронный документ (ЭлД) как частный случай современного представления информации так же не может рассматриваться без понятия «целостность» и в ином (по отношению к бумажному документу) понимании методов обеспечения указанного свойства [2]. В своей книге [3] американский криптограф и специалист по компьютерной безопасности Б.Шнайер пишет: «В мире, в котором нет возможности потрогать, людям нужен новый способ проверки *целостности* того, что они видят». На практике широкое распространение получили различные методы контроля и обеспечения целостности, прежде всего хэш-функции, электронная подпись (ЭП) и др.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 15489-1-2007 под *документом* понимается зафиксированная на материальном носителе идентифицируемая информация, созданная, полученная и сохраняемая организацией или физическим лицом в качестве доказательства при подтверждении правовых обязательств или деловой деятельности. Основной качественной характеристикой документа, определяющей его потенциальную пригод-

ность в системе документооборота, является *юридическая значимость*. Под юридической значимостью в соответствии с ГОСТ Р 7.0.8 – 2013 понимается свойство документа выступать в качестве подтверждения деловой деятельности либо событий личного характера.

С одной стороны, документ в электронной среде – это результат функционирования технической системы, с характерными для нее моделями угроз и механизмами защиты. С другой стороны, ЭлД – это объект, существующий в рамках правовой среды, с присущими для нее юридическими правилами, нормами и деловыми традициями.

Поэтому понятие «целостности» применительно к ЭлД должно рассматриваться с позиций одновременного обеспечения *технической и юридической целостности* (рис. 1) [4]. Под *юридической целостностью* будем понимать состояние непротиворечивости ЭлД действующим на текущий момент времени юридическим нормам, определяющим состав, структуру, а также режимы обработки ЭлД. Понятие *технической целостности* определим, как состояние готовности технических компонентов СЭД обеспечить юридическую



Рис. 1. Декомпозиция понятия «целостность ЭлД» с учетом технической и юридической сущности СЭД

целостность ЭлД.

Такое понимание свойства «целостности» требует построения соответствующих моделей угроз и применения адекватных механизмов защиты. В первую очередь, для СЭД должна быть классифицирована комплексная угроза информационной безопасности – *угроза утраты юридической значимости ЭлД*. В этом случае, реализация традиционных угроз нарушения *конфиденциальности, целостности и доступности* информации является одним из возможных негативных факторов, приводящих к реализации комплексной угрозы в СЭД (рис. 2) [5].

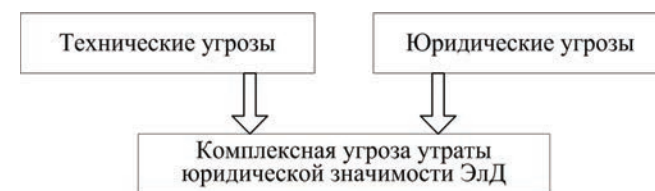


Рис. 2. Угрозы, характерные для СЭД

В этих условиях требуется применить системный подход к анализу особенностей обеспечения свойства целостности ЭлД, с учетом его технической и юридической сущности.

<sup>1</sup>Пояснение автора статьи.

**1. Понятие «системы электронного документооборота»**

Основные цели, задачи и особенности построения СЭД МО РФ (далее – СЭД) определены «Концепцией построения автоматизированной информационной системы электронного документооборота Министерства обороны Российской Федерации», утвержденной Министром обороны РФ 29 декабря 2008 года.

Несмотря на активное использование термина «СЭД», данное понятие в рамках указанной концепции однозначно не определено. На практике, под СЭД понимается автоматизированная информационная система (АИС), предназначенная для управления всеми видами документов, включая проекты документов. В ГОСТ Р 7.0.8-2013 понятие «электронного документооборота» уточняется как документооборот с использованием автоматизированной информационной системы (системы электронного документооборота).

Существующая СЭД позволяет обеспечить три условных контура информационного обмена: неофициальный (глобальный), официальный (локальный) и юридически значимый (специальный) (рис. 3).

Неофициальный контур информационного обмена, как правило, предназначен для удовлетворения информационных потребностей, не связанных с официальной деятельностью. Официальный контур предназначен для обмена служебной информацией в рамках доверенной технической среды. В этом случае могут предъявляться требования к обеспечению защищенности информации, т.е. такого состояния информации, при котором обеспечивается ее конфиденциальность, целостность и доступность. Юридически значимый контур информационного обмена представляет собой уникальную технологическую среду, обеспечивающую безусловное принятие информации в качестве легитимного доказательства при подтверждении правовых обязательств или деловой деятельности.

На практике, понятие «электронного документооборота», как правило, отождествляется с каждым из вышеуказанных контуров информационного обмена. В то же время, документ в организации – это, прежде всего, информация, используемая в качестве доказательства при подтверждении правовых обязательств или деловой деятельности. Поэтому нельзя говорить о «документообороте», рассматривая информационный обмен на первых двух уровнях.

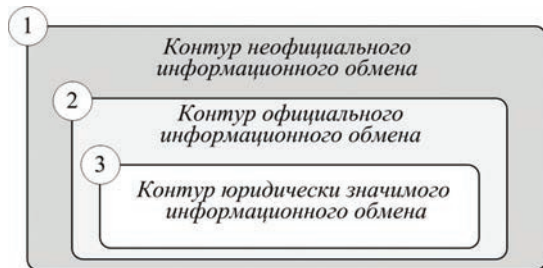


Рис. 3. Условные контуры информационного обмена, обеспечиваемые СЭД

Входными данными и выходными результатами функционирования АИС (в широком понимании) является информация, представленная в форме ЭС, и предназначенная для снятия неопределенности о каком-либо событии или факте (рис. 4). Уникальной особенностью СЭД, принципиально отличающей ее от других видов АИС, является то, что при организации третьего контура информационного обмена, ЭС обеспечивается качественными характеристиками, позволяющими ему реализовать не только общие (информационные), но и специальные (правовые) функции (рис. 5). В этом случае речь идет об особой форме представления ЭС – ЭлД.

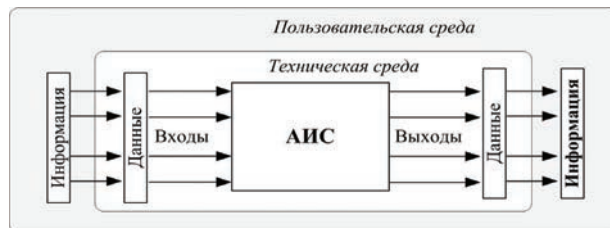


Рис. 4. Функциональная схема АИС

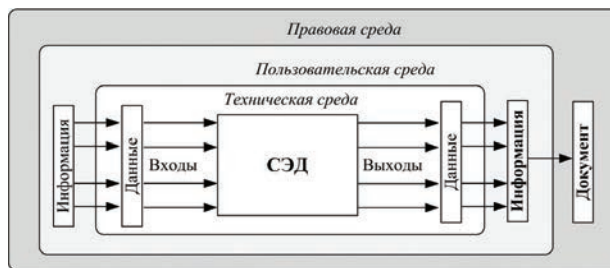


Рис. 5. Функциональная схема СЭД

В результате, СЭД представляют особый уникальный подкласс АИС, обеспечивающих способность объектов цифровой среды при необходимости участвовать в реализации правовых функций в социальной среде. Поэтому следует различать обмен ЭлД и обмен ЭС с признаками ЭлД.

С учетом этого АИС относительно возможности реализации функций обработки документов должны условно классифицироваться на АИС различного назначения, АИС с отдельными функциями обработки юридически значимой информации и полноценные СЭД.

**2. Анализ особенностей обеспечения целостности ЭлД в СЭД**

Основными функциональными подсистемами существующей СЭД являются: подсистема обработки ЭлД; подсистема ЭП, персонал и подсистема защиты информации. Типовая структура СЭД МО РФ представлена на рис. 6.

Функциями подсистемы обработки ЭлД являются: создание ЭлД, их ввод, вывод, прием, передача, хранение, регистрация, согласование, контроль исполнения,



Рис. 6. Типовая структура СЭД

преобразование (редактирование, форматирование и т.д.) и уничтожение.

В СЭД предусмотрены различные роли пользователей с точки зрения выполняемых ими функций: *исполнитель, секретарь, руководитель, администратор*.

Важную роль при построении СЭД играют методы и средства защиты информации. Однако роль руководящих документов и понятий, принадлежащих области защиты информации и области юридически значимого электронного документооборота часто трактуется по-разному. Так, например, АИС может быть выполнена в защищенном исполнении, но не являться СЭД. АИС, реализующая в общем виде функции СЭД, но построенная исключительно в соответствии с требованиями руководящих документов области защиты информации, так же не может определяться как СЭД.

Таким образом, следует говорить о том, что специализированные функции СЭД реализуются с использованием методов и средств защиты информации. Поэтому,

например, подсистема ЭП, которая строится в соответствии с методами защиты информации, в СЭД обеспечивает *вспомогательные* функции, связанные с получением ключевого свойства юридической значимости Элд. Так же следует трактовать и другие механизмы защиты информации при их использовании в СЭД.

Именно объединение методов и средств обработки информации, методов и средств ее защиты, а так же соответствующей нормативно-правовой базы (рис. 7)<sup>2</sup> дает эмерджентное свойство юридической значимости документированной информации (в отличие от АИС, в которой информация может обладать юридической значимостью, но не обладать сущностью Элд).

При построении СЭД в защищенном исполнении должны одновременно выполняться требования руководящих документов, предъявляемых к АИС и СЭД. Такие СЭД должны обеспечиваться соответствующими непротиворечивыми методами и средствами защиты информации.



Рис. 7. Вербальная модель СЭД

<sup>2</sup> В блоке «методы и средства защиты информации» намеренно не указаны все функции, реализуемые методами и средствами защиты информации (конфиденциальность, доступность, целостность). Этим подчеркивается мысль о том, что выполнение основных функций СЭД достигается уже при реализации функций обеспечения доступности и целостности. В то же время

АИС в защищенном исполнении сложно представить без реализации функции обеспечения конфиденциальности. Если же добавить функцию обеспечения конфиденциальности в СЭД, то будет получен некий гибрид, состоящий из СЭД и АИС в защищенном исполнении, т.е. СЭД в защищенном исполнении.

### 3. Понятие «целостности Элд»

В настоящее время функциональная пригодность Элд определяется положительным результатом проверки ЭП. С учетом технических и юридических особенностей применения ЭП, результат декомпозиции понятия «целостности Элд» в существующих СЭД имеет вид, представленный на рис. 8.

Следует выделять две ключевые сущности, определяющие документ как функционально целостный объект: *форму* и *содержание*. *Содержание* документа предназначено для его трактования в среде мыслящих субъектов, для которой характерны понятия «семантики», «естественного языка», «смысловой избыточности», «полноты», «достоверности» и т.д.

*Форма* определяет необходимый набор внешних признаков документа, позволяющих его идентифицировать, обрабатывать и использовать в рамках правовой среды его существования. К наиболее значимым понятиям, характеризующим форму документа, можно отнести: «оригинал», «копия», «дубликат», «подпись», «печать» и др. Кроме того, документы по кратности их использования условно классифицируются на: *однократного, многократного и неограниченного использования* [2]. При этом некоторые атрибуты, определяющие форму документа, существуют в темпоральном пространстве (срок действия документа, срок хранения документа, срок действия ключей ЭП и т.д.). Поэтому следует выделять *статические* и *динамические* атрибуты документа.

Уникальной особенностью Элд является его одновременное существование в *цифровой* (технической) и «*аналоговой*» (пользовательской) среде [2]. *Цифровая среда* существования Элд обеспечивает возможность его фиксации, обработки и контроля с использованием цифровых технологий. Элд в *аналоговой среде* характеризует доступную для восприятия человеком форму интерпретации цифровых данных, необходимую для принятия управленческих решений. Поэтому понятие

«содержания» и «формы» Элд должно рассматриваться на каждом из уровней представления Элд с позиций обеспечения технической и юридической целостности формы и содержания Элд.

Следует так же учитывать, что в активном состоянии (обработка, передача) Элд представляет собой процесс, характеризуемый взаимодействием множества компонентов СЭД (аппаратных средств, программных средств, пользователей). Поэтому в качестве неотъемлемого условия обеспечения целостности Элд должно рассматриваться обеспечение целостности (технической и юридической) всех объектов и процессов в СЭД, связанных с жизненным циклом Элд.

Аналогично проблеме «Кота Шреденгира» целостность Элд как достоверно установленный факт существует только в момент проверки Элд пользователем. В ином случае, возникает состояние «суперпозиции целостности Элд» при котором Элд одновременно «целостный» и «не целостный». Развивая аналогию с квантовой механикой, целостность Элд относительно группы пользователей будет определяться фактом проверки каждым из них или доверием к одному из проверяющих.

Это необходимо учитывать при организации информационного обмена. Например, Элд, с установленным фактом его нахождения в состоянии целостности в доверенной среде может использоваться без введения дополнительных процедур контроля целостности в рамках определенных для этого Элд правовых норм (сроков, методов и т.д.). В то же время, при выходе Элд за пределы доверенной среды, количество итераций процедуры контроля целостности должно быть увеличено [6]. С учетом вышеизложенного, предлагаемый вариант декомпозиции понятия «целостность Элд» представлен на рис. 9.

Одной из динамических характеристик СЭД является постоянное движение потоков Элд. По направлению движения потоки Элд принято классифицировать



Рис. 8. Результат декомпозиции понятия «целостность Элд» в существующих СЭД



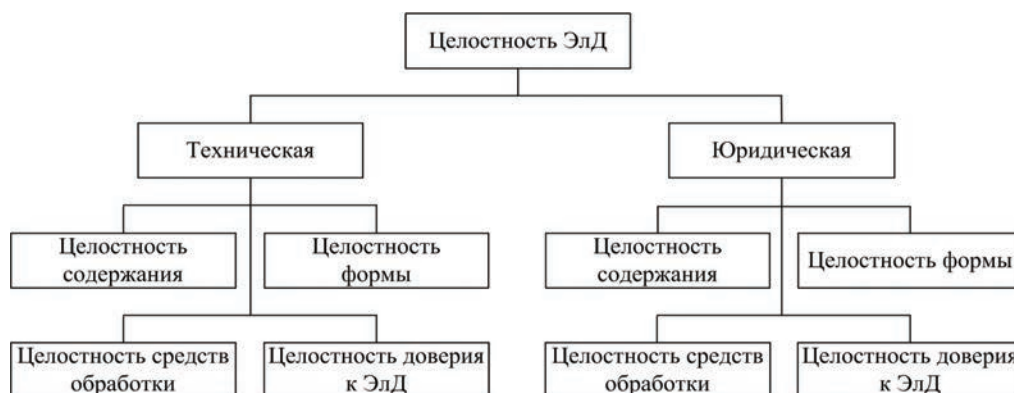


Рис. 9. Предлагаемый вариант декомпозиции понятия «целостность Элд»

на внутренние, входящие и исходящие. Движение внутренних Элд, как правило, осуществляется в рамках единой технологической среды. В остальных случаях происходит миграция Элд из одной технологической среды в другую. Поэтому необходимо так же обеспечить техническую и юридическую целостность межсистемного электронного взаимодействия (МЭВ). Для межсистемного взаимодействия должна быть учтена техническая и юридическая иерархия участников электронного взаимодействия с определенными для них правами, полномочиями, форматами представления данных и т.д. Иными словами должна обеспечиваться не только целостность Элд в рамках СЭД-участников, но и целостность среды в которой эти системы взаимодействуют (рис. 10).



Рис. 10. Пояснение к понятию «целостность МЭВ»

Результаты проведенного системного анализа позволяют сделать вывод, что Элд в СЭД представляет собой систему, образуемую совокупностью физически, логически и юридически взаимосвязанных объектов и процессов. Поэтому свойство целостности Элд целесообразно рассматривать с позиций общей теории систем как системную целостность Элд. Состояние компонентов СЭД, при котором обеспечивается указанное выше свойство Элд, определим как целостность СЭД [7]. Как следствие возникновения уникального свойства юридической значимости Элд с позиции теории систем и системного анализа является проявлением системной целостности Элд (эмерджентностью). В этом случае, целостность (техническая и юридическая) самой СЭД является неотъемлемым условием обеспечения системной целостности Элд и как следствие его юридической значимости в социальной среде.

#### 4. Синтез новой структуры СЭД

Исходя из вышеизложенного, для обеспечения заданных качественных характеристик Элд на всех этапах их жизненного цикла структура существующей СЭД, представленная на рис. 6, должна быть дополнена подсистемой управления целостностью СЭД. Такая подсистема должна содержать следующие ключевые элементы: подсистему обеспечения технической целостности и подсистему обеспечения юридической целостности.

Основными функциями подсистемы обеспечения юридической целостности должны являться:

- контроль актуальности ключей ЭП;
- контроль соответствия условий использования программного обеспечения условиям лицензионного соглашения;
- контроль соответствия полномочий субъектов;
- контроль экзemplарности Элд;
- контроль кратности использования Элд;
- контроль допустимых преобразований формата Элд;
- контроль правомочности создания определенной формы Элд в рамках конкретной СЭД и пр.

В качестве основных функций подсистемы обеспечения технической целостности должны рассматриваться:

- контроль целостности Элд на всех уровнях его представления («данные», «содержание» и т.д.);
- контроль конфигурации СЭД, при которой обеспечиваются требуемые свойства Элд;
- предопределение перехода СЭД в критические состояния, влияющие на обеспечение комплексной целостности Элд;
- управление межформатными преобразованиями;
- обеспечение целостности метаданных Элд и пр.

Предлагаемый вариант структуры СЭД, отличающийся от известной наличием подсистемы управления целостностью СЭД, представлен на рисунке 11.

В настоящее время, в качестве основного атрибута, характеризующего целостность Элд, рассматривается ЭП автора. В то же время, такая ЭП не отражает состояние целостности всех объектов и процессов в СЭД, непосредственно участвующих в создании и об-



Рис. 11. Предлагаемый вариант структуры СЭД

работки Элд. В результате пользователь несет юридическую ответственность за объекты и процессы, часть из которых для него не доступна. Поэтому в состав ЭП должна входить *системная ЭП*, формируемая исходя из анализа состояния целостности СЭД в момент подписания Элд. Совокупность ЭП автора и системной ЭП определим как *расширенную ЭП*. Вариант предлагаемой схемы создания и проверки Элд в СЭД представлен на рис. 12, 13.

В состав системной ЭП должны входить значения параметров, характеризующих техническое и юридическое состояние элементов СЭД, участвующих в обеспечении жизненного цикла Элд (*образ СЭД*). При установлении юридического статуса Элд необходимо проверять вхождение образа СЭД в допустимую для данного статуса Элд эталонную область.

При этом, следует учитывать, что Элд – это объект, существующий в темпоральном пространстве. Поэтому должно обеспечиваться динамическое изменение статуса расширенной ЭП в процессе жизненного цикла Элд при изменении технических и юридических параметров объектов и процессов, связанных с конкретным Элд.

Достоинством такой СЭД является обеспечение технически и юридически замкнутого контура защиты относительно системной целостности Элд. С учетом этого может быть определен класс *СЭД с замкнутым контуром обеспечения целостности*.

В то же время, следует учитывать, что *целостность СЭД* величина обратно пропорциональная удобству и стоимости. В этом случае должны учитываться риски, характерные для той или иной области применения СЭД. Как следствие целесообразно ввести уровни *целостно-*

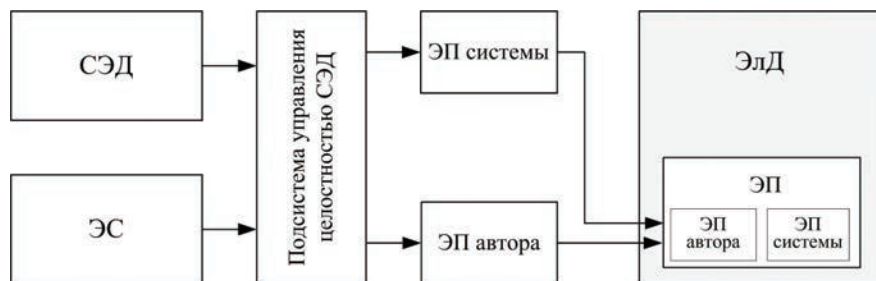


Рис. 12. Предлагаема схема создания Элд

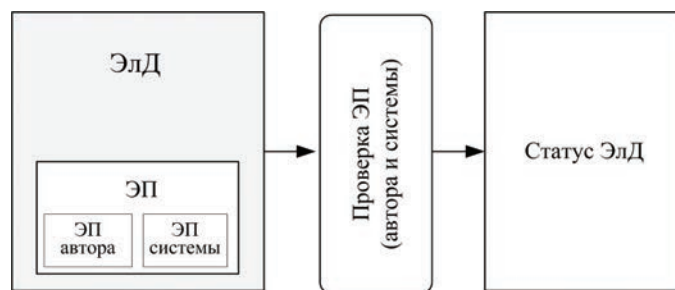


Рис. 13. Предлагаема схема проверки ЭлД

сти СЭД, аналогично классам защищенности АИС. Это позволит обеспечить гибкость выбора структуры СЭД, наиболее соответствующей решаемым задачам. Пояснение к аналогии между классами защищенности АИС и уровнями целостности СЭД представлено на рис. 14.

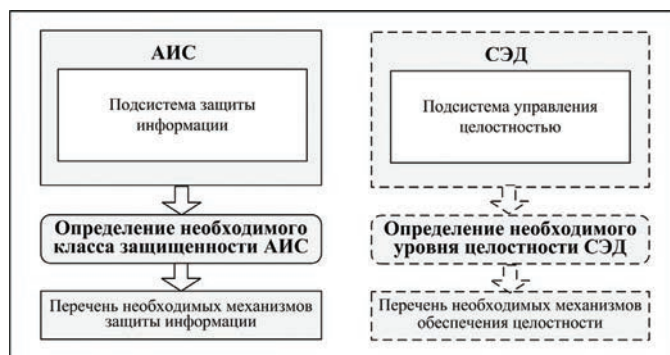


Рис. 14. Вариант схемы выбора уровня целостности СЭД

### Выводы

Введено понятие «системной целостности ЭлД». Определены основные условия обеспечения указанного свойства. Предложена структура перспективной СЭД, отличающейся от известной, наличием подсистемы управления технической и юридической целостностью объектов и процессов СЭД и определены основные функции данной подсистемы. Предложено дополнить классификацию СЭД подклассом – «СЭД с замкнутым контуром обеспечения целостности».

### Литература

1. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. Изд. 2-е, испр. М.: Наука, 1987. 552 с.
2. Конявский В.А., Гадасин В.А. Основы понимания феномена электронного обмена информацией. Мн.: Беллитфонд, 2004. 327 с.

3. Шнаер Б. Секреты и ложь. Безопасность данных в цифровом мире: пер. с англ. СПб.: Питер, 2003. 386 с.

4. Елисеев Н.И., Финько О.А. Теоретические аспекты развития системы электронного документооборота Министерства обороны Российской Федерации // Военная мысль. 2015. № 7. С. 55–63.

5. Елисеев Н.И. Модель угроз безопасности информации при ее обработке в системе защищенного электронного документооборота // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Информационная безопасность». 2012. № 12 (137). С. 212–218.

6. Елисеев Н.И., Финько О.А. Управление целостностью системы электронного документооборота в условиях межформатных преобразований электронных документов // Проблемы управления. 2014. № 3. С. 68–74.

7. Управление целостностью системы электронного документооборота как основное условие обеспечения юридической значимости документируемой информации: матер. 17-го национального форума информационной безопасности –Инфофорум 2015. URL: [www.2015.infoforum.ru/conference/programma.2015.infoforum.ru/conference/programma](http://www.2015.infoforum.ru/conference/programma.2015.infoforum.ru/conference/programma) (дата обращения: 07.09.2015).

*Автор выражает свою признательность научному консультанту профессору кафедры (специальной связи) КВВУ имени генерала армии С.М. Штеменко, д.т.н., профессору Финько О.А. – за направляющую роль в исследованиях автора; ведущему научному сотруднику ИИФ д.т.н. Грибунину В.Г. и научному руководителю ВНИИПВТИ д.т.н., профессору Конявскому В.А. – за ряд ценных конструктивных замечаний, высказанных в процессе рецензирования рукописи статьи; президенту МОО АЗИ, к.ф.-м.н Емельянову Г.В. – за интерес и большое внимание к исследованиям автора и его научного консультанта.*

### Для цитирования:

Елисеев Н.И. Анализ и синтез перспективной системы электронного документооборота Министерства обороны Российской Федерации // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 76–84.

## ANALYSIS AND SYNTHESIS PERSPECTIVE ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM OF THE RUSSIAN FEDERATION DEFENSE MINISTRY

**Eliseev Nikolaj Ivanovich,**  
Krasnodar, Russia, n.i.eliseev@yandex.ru

### Abstract

Currently, the implementation of electronic document management systems becomes one of the priority directions of state information policy. However, the extent of the theoretical study of questions of creation of systems of legally significant electronic document flow is not sufficient for their effective operation in practice.

The of the work is to analyze the contradictions in the existing electronic document management systems, as well as in the synthesis of the new structure of the system ensuring its effective functioning.

The methodology is based on application of methods of system analysis, system engineering, theory of information protection, requirements of regulatory documents regulating information interaction in an electronic environment.

Analyzes the basic functions and properties of the electronic document. The conclusion is not sufficient (for creating effective electronic document management system) understanding the essence of the concept «integrity» of an electronic document. Based on the results of a systematic analysis of the concept of «system integrity» of an electronic document. Is invited to consider the electronic document as an information object, defined by two entities: technical and legal. Introduced the concepts of «technical» and «legal» the integrity of electronic documents. The new integrated classified security threat information, which is characteristic for systems of legally significant electronic document management – the threat of «losing the legal value of information».

Identifies the major functional disadvantages of current electronic document management systems. The concept of «the integrity of an electronic document management system», as a necessary condition to ensure the legal value of electronic documents.

To ensure the specified quality characteristics of electronic documents at all stages of their life cycle, it is proposed to extend the existing system structure of subsystem of control of integrity of the electronic document management system. Identifies the main functions of the proposed subsystem. Introduced the subclass of «electronic document management systems with closed loop integrity».

The conclusion about the necessity of additional introduction in the composition of an electronic document «system's electronic signature», designed to control the legitimacy of the objects and processes involved in ensuring the life cycle of electronic documents. The proposed solution can be used in organizing departmental and interdepartmental legally significant electronic interaction.

**Keywords:** electronic document; electronic document management system, electronic signature; legally significance; electronic document integrity; closed loop protection.

### References

1. Glushkov V.M. Osnovy bezbumazhnoj informatiki [The basis of paperless informatics]. 2nd ed. Moscow, Nauka, 1987. 552 p. (In Russian).
2. Konjavskij V.A., Gadasin V.A. Osnovy ponimaniya fenomena jelectronnogo obmena informaciej [The basis of understanding the phenomenon of electronic exchange of information]. Minsk, Bellitfond, 2004. 327 p. (In Russian).
3. Schneier B. Secrets and lies. Digital security in a networked world. New York, Wiley Computer Publ., 2000. 413 p.
4. Eliseev N.I., Finko O.A. Theoretical aspects of development the electronic document management system of the Russian Federation defense Ministry. Voennaja Mysl. 2015. No. 7. Pp. 55–63. (In Russian).
5. Eliseev, N.I. The model of information safety threats during its processing in the system of protected electronic document. Izvestiya SFedU. Engineering sciences. 2012. No. 12. Pp. 212–218. (In Russian).
6. Eliseev N.I., Finko O.A. The integrity management of legally significant electronic document system in conditions of electronic documents format transformations. Control Sciences. 2014. No. 3. Pp. 68–74. (In Russian).
7. Upravlenie tselostnost'yu sistemy elektronnoho dokumentooborota kak osnovnoe uslovie obespecheniya yuridicheskoj znachimosti dokumentiruemoi informatsii: mater. 17-go natsional'nogo foruma informatsionnoi bezopasnosti – Infoforum 2015 [The integrity management of electronic document management system as the basic condition for legal validity of documented information: materials of the 17th national forum of information security – Infoforum 2015]. URL: <http://www.2015.infoforum.ru/conference/programma> (date of access 07.09.2015). (In Russian).

### Information about author:

*Eliseev N.I.*, Ph.D., associate professor, doctoral student of the Krasnodar Higher Military School.

### For citation:

*Eliseev N.I.* Analysis and synthesis perspective electronic document management system of the Russian Federation Defense Ministry. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 76–84.



# СВЯЗЬ

## 10–13.05

## 2016

Международная выставка  
информационных  
коммуникационных  
технологий



Организатор: ЗАО «Экспоцентр»

При поддержке:

- Министерства связи и массовых коммуникаций РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ
- Федерального агентства связи (Россвязь)
- Правительства Москвы

Под патронатом

Торгово-промышленной палаты РФ



12+

Реклама



Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»

[www.sviaz-expo.ru](http://www.sviaz-expo.ru)

# ANALYSIS WORKS ALGORITHMS INFORMATION PROTECTION ON THE BASIS OF SELF-MODIFYING CODE WITH HIDDEN EMBEDDING

**Shterenberg**

**Stanislav Igorevich,**

*postgraduate student Saint-Petersburg*

*State University of Telecommunications*

*prof. Bonch-Bruevich,*

*St. Petersburg, Russia,*

*shterenberg.stanislav@yandex.ru*

**Keywords:** *self-modification; computer viruses; locally-computer networks; steganography; data protection.*

ABSTRACT

In today's world, most organizations in their work actively use local computer networks to handle a variety of information. To transfer information from one network node to another communication channels with high bandwidth are used. Existing data protection does not always quickly cope with the tasks of the successful transformation of steganography. Any local-area network requires additional special controls in addition to those which are available in standard network operating systems. Typically, the network management system is operating in automatic mode, performing the most simple steps to network management automatically, and providing complex solutions to take the person on the basis of the information provided by the system.

The work reviews on control kind of mathematical models of propagation self-modifying programs in networks, allowing to take into account "steganography" period the of information introduction in the files. The work describes approaches to respond to the abnormal state of the network, resulting from the implementation of the attack and the choice of effective security solutions. The problems of predicting the spread of self-modifying code at the local computer networks nodes at small time intervals. The task of developing a method for managing local area network based on short-term forecasting the spread of self-modifying programs, allowing information security management authority to make decisions in a timely manner to restore the information required network security levels based on the current short-term and predictable spread of virus attacks is relevant for today's adaptive information security tools.

An important point is to designated the task to implement the self-modifying application. Under this application is generally defined as any semi-resident program in the process of starting a polymorphic features include conversion of land code. This means that in a single moment in time, self-modifying program automatically replaces the former algorithm of works on any random pre-registered in the code. The complexity of such operations is not currently high, but it contributes to the set of malicious software. However, if you apply a particular polymorphism in steganography, it is possible to create a reliable means of protecting information on factors violations integrity of the information in the local area network.

**Introduction**

Process LAN control short-term prediction on the basis of self-modifying code spread across the network nodes can be represented as a closed loop consisting of separate phases (Figure 1). The first four phases of the cycle is determined processing and analysis, and the rest – the control cycle [1].

Processing and analysis cycle solves the problem of generalization, process and determine the status of self-modify code proliferation by nodes on the network at a given time, the transfer of this information in the Network Operations Center (NOC). Cycle Management is responsible for forecasting the self-modify code network nodes spread and adoption of appropriate decisions in terms of the data.

A closer look at the steps involved with forecasting self-modify code proliferation network nodes. In order to predict the spread of the self-modify code, it was decided to use one of the methods on the basis of the methodology of forecasting models: Model Predictive Control (MPC). This methodology is already nearly half a century (since the late 60's, early 70's) applied to control various technological and chemical processes in the petroleum refining industry, medicine, energy, robotics, etc., a testament to its effectiveness and versatility of use proved by time.

The process of developing the LAN control method based on short-term forecasting self-modify code proliferation can be divided into the following stages: a description of the model self-modify code proliferation in the LAN, the criteria for the safe condition of the LAN, the calculation of the control law.

One of the advantages of the methodology by using predictive models is the ability to study multifactorial process in advance mode. In this connection, based on an analysis [2], the prediction method is selected based on

the state space model: State-Space Model Predictive Control (SSMPC).

To apply SSMPC method is necessary to make a mathematical model of the control object, later used to predict the output of information network on the basis of past and current values (value) and the estimated optimal control in the future impacts. These impacts are computed by the optimizer, which also takes into account quality criteria (which takes into account the error in the future), and restrictions on the process variables describing the object of control.

The selected model should encompass the dynamics of the process to accurately predict future output values, be simple to implement and understand.

**Implementation**

Consider LAN management process shown in fig. 1.

The spread of the self-modify code to the LAN on the time interval  $[0, T]$  is described by the epidemiological model under the following assumptions:

1.  $N$  – the total number of machines in the LAN. LAN consisting of  $N$  nodes can be described by a matrix of the form  $G = \{0,1\}^{N^2}$ ,

$$G_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if nodes } i \text{ and } j \text{ are interconnected} \\ 0, & \text{if nodes } i \text{ and } j \text{ are not connected} \end{cases} \quad (1)$$

2. An arbitrary node in the network can be in one of three states: vulnerable  $S$ , and infected  $I$  insensitive  $R$ .

3. Distribution of copies of the self-modify code is described by the function  $f(S(t), I(t), R(t), B, t_{restore}, P_{far.knots.net}, t_{overview.knots.net})$ , where  $S(t)$  – the number of network nodes visible,  $I(t)$  – the number of infected hosts,  $R(t)$  – the number of network nodes refractory,  $B = (\beta^1(t), \dots, \beta^m(t))$  – vector known violator of the network settings,  $P_{far.knots.net}$  – the likeli-

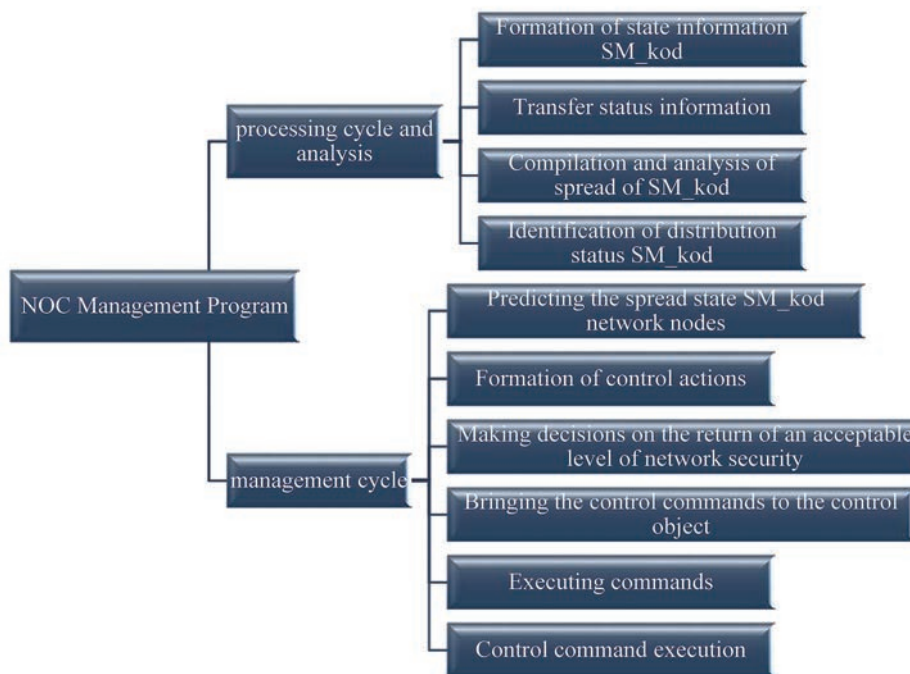


Fig. 1. The process of managing a LAN network control center

hood of a vulnerable network node lesions,  $t_{restore}$  – the average time required for the transition of the node into a hidden state appreciable,  $t_{overview.knots.net}$  – the average time required for the self-modify code LAN node hidden embedding.

4. Self-modify code is distributed over the network without user intervention, and reassembly hidden embedding the same self-modify code impossible.

In the simplest case  $\beta$  determined by the average speed of network scanning malware ( $v_s$ ) and the size of its address space ( $N_{ip}$ ):

$$\beta = v_s \times \frac{N}{N_{ip}}, \quad (2)$$

The following conclusions can be drawn based on the analysis of this model:

1. Distribution of the self-modify code is only possible if

$$R_0 = \frac{\beta}{g} > 1;$$

2.  $S(t)$ ,  $I(t)$ ,  $R(t)$  – monotonically increasing, monotonically decreasing and unimodal functions, respectively.

Equations (1) and (2) allow more accurate to describe the state of the LAN, moving away from the traditional approach, describing the only state in the individual time-to-peer, allowing more extensively evaluate the pace and spread area of self-modify code [3]. In describing the process model will use the equations describing the process of the emergence and changes in the number of time (state) node pairs [the AB], as well as triples of nodes [ABC], where A and B take values from the set {S, I, R}. Enter the following parameters:  $\tau$  – characterizes the rate of spread of the self-modify code related to nested node contact with vulnerable,  $n$  – the average number of neighboring nodes per single node,  $\phi$  – value that characterizes the ratio of the number of triangles to triples.  $\phi$  is a measure of the interconnectedness of the local node's neighbors. If the value  $\phi$  – large, it can be said that the elements of a pair (top) will be connected to a large number of common nodes, if  $\phi$  – small that it can be said that the network is dominated compounds intended for transmission over long distance

information (fig. 2). Parameters  $n$  and  $\phi$  properly characterize the basic structure of the network.

For fig. 2a  $\phi=0.7$  and triangles in the most general case, while for fig. 2b  $\phi=0.2$  and the network structure are not so obvious [4, 5].

Based on this model cannot be the existence of two different pairs of nodes, however, eliminating the symmetry, we introduce the necessary differential management to describe the self-modify code proliferation status on the LAN:

$$[ABC] \approx \frac{(n-1)N}{n^2} \frac{[AB][BC][AC]}{[A][B][C]} \quad (3)$$

Distribution of self-modify code on LAN nodes and personal computers can be divided into three stages:

1. The relatively slow (but nevertheless exponential) increase in self-modify code presence (self-modify code rate) to a threshold level of 0.05, defined as  $k_{self-modify\ code} = I/N$ . The rate of doubling the share of computer is  $\ln(2)/\beta$ .

2. The phase distribution in the maximum range  $0,05 < k_{self-modify\ code} < 0,95$ . The duration is determined by approximately  $5,89/\beta$ .

3. Saturation,  $k_{self-modify\ code} > 0,95$ . At this site infected nodes advantageously contacted with each other at random scan address space, so the surviving nodes may remain "clean" for a long time is uncertain.

To achieve the saturation threshold  $k_{self-modify\ code} = 0,95$  it takes time

$$\frac{1}{\beta} \ln \left[ 19 \left( \frac{1}{k_{self-modify\ code.begin}} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

where  $k_{self-modify\ code.begin}$  – distribution of self-modify code in the LAN at the initial time  $t_0$ .

From these data it can be concluded that a safe state for the self-modify code to the network can be regarded as a state in which the proportion of the presence of self-modify code in computer or network node will not exceed 5%.

Calculation of control law via SSMPC method includes the following steps. At each step SSMPC algorithm for the prediction horizon fixed length sequence of control actions

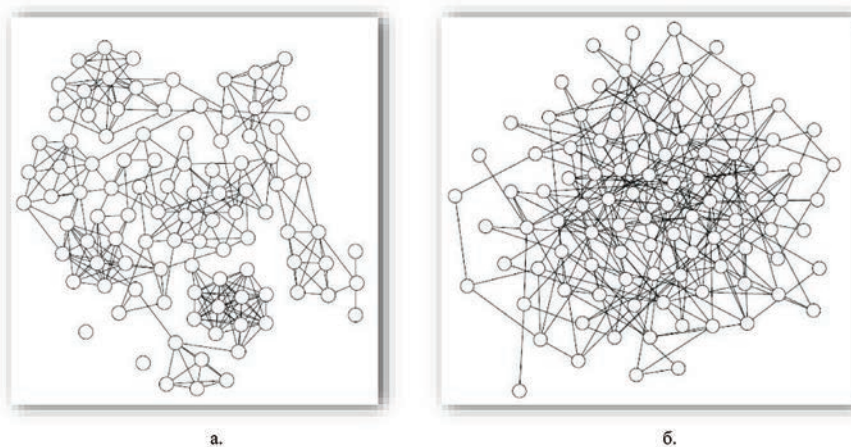


Fig. 2. Examples of a network consisting of a hundred nodes ( $N = 100$ ), the average number of connections per node is equal to 5 ( $n = 5$ ).



calculated by minimizing the objective function includes calculating the output data of the system at time  $(t + 1)$ . Optimization of this function is a nonlinear programming problem, which is solved with respect to restrictions imposed on the inputs and outputs of the system. The control sequence is transmitted NOC further time horizon is shifted one step further and calculated the following control actions. This technique was called "Operation using receding horizon prediction» (Receiding Horizon Control). To apply SSMPC method must use the information on the object model discussed in the first stage.

Let  $x = ([I], [SI], [II], [S], [SS])$  – vector of control actions,  $u = (u_1, u_2)$  – вектор управляющих воздействий. vector control actions. The output vector characterizing the distribution self-modify code across a network is  $y = ([I], [SI])$ . his vector represents the number of infected nodes, and the number of links to infected sites vulnerable. Let the continuous numerical time axis is divided into an infinite number of finite intervals equal to  $\Delta t$ . Distribution of self-modify code will be considered at time  $t = k\Delta t$ , where  $k \in Z$ . Assume that the control actions  $u_1, u_2$  remain constant over the time interval  $[k\Delta t, (k+1)\Delta t]$ . Then the equations of input and output values can be represented as follows:

$$x(k+1) = F(x(k), u(k)) \quad (5)$$

$$y(k+1) = h(x(k+1)) \quad (6)$$

where  $x(k) \in R^5$  – vector of state variables,  $u \in R^2$  – vector control actions,  $y(k) \in R^2$  – vector output values. In general:

$$\begin{aligned} x(k+j|k) &= \\ &= F(x(k+j-1|k), (u_1(k+j-1|k), u_2(k+j-1|k))), \end{aligned} \quad (7)$$

$$y(k+j|k) = h(x(k+j|k)), \quad j=0, 1, 2, \dots, P-1,$$

where  $P$  – forecasting horizon length. The objective function to be minimized is of the form:

$$\begin{aligned} J(u(k|k), \dots, u(k+P-1|k)) &= \\ &= \sum_{j=0}^{P-1} \lambda_1 (y_1(k+j|k))^2 + \lambda_2 (\Delta u_1(k+j|k))^2 + \\ &+ \lambda_3 (y_2(k+j|k))^2 + \lambda_4 (\Delta u_2(k+j|k))^2, \end{aligned} \quad (8)$$

where  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  – parameters affecting the spread of the hidden embedding,  $\Delta u_i(k+j|k) = u_i(k+j|k) - u_i(k+j-1|k)$  – predicted impact force managed on time  $k+j$ , calculated at a point of time  $k$ .

Based on these data, the network will form a control algorithm based on short-term forecasting the spread of self-modify code. During take raw data  $[I] = 0, [S] = 0$ ; the number of machines with the presence of embedded self-modify code is 0.

Algorithm network management method based on short-term forecasting SMC proliferation is shown in fig. 3.

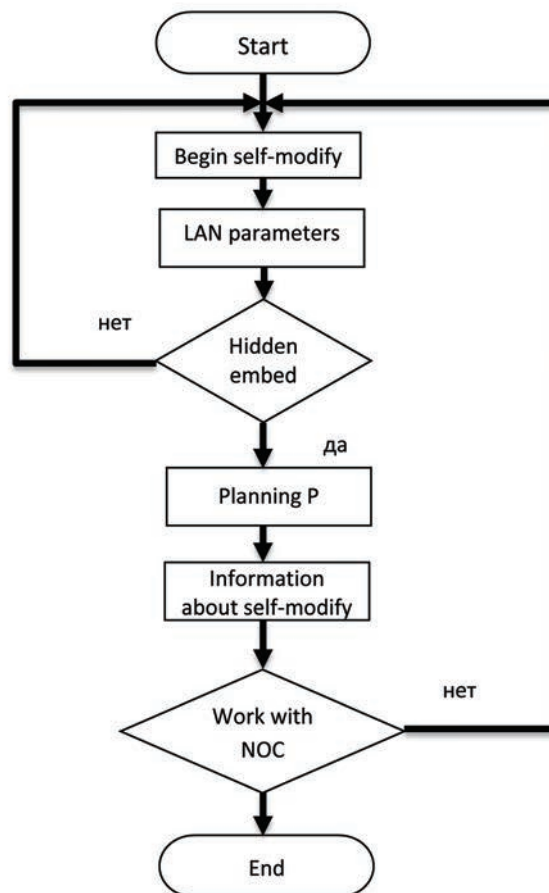


Fig. 3. Algorithm for LAN control method based on short-term forecasting the spread of self-modify code.

### Conclusion

Using this algorithm allows to generate control actions, according to the set objectives (the proportion of infected nodes must not exceed 5%) at the same time take into account the spread of self-modify code on the network in real time, each control step takes into account the actual data dissemination self-modify code on nodes network. When calculating the control law used forecasting hidden embedding self-modify code, and the resulting control values provide a so-called "proactive management", which allows you to advance to take effective measures to counter the spread of potential viruses, rather than reacting to the situation only after the next step the attacker or threat implemented by malicious software.

### References

1. Kucher V.A., Atroschenko V.A., Vidovsky L.A., Trofimov V.M. Model of information security management processes of computer networks // Science journal KubGAU. 2009. No. 110 (6). Pp. 1779–1787. (In Russian).
2. Rohloff K. Stochastic Behavior of Random Constant Scanning Worms // Computer Communications and Networks, 2005. ICCCN 2005. Proceedings. 14th International Conference on 17-19 Oct. 2005. Pp. 339–344. URL:

[http://citforum.ru/security/virus/ch\\_dinamic/](http://citforum.ru/security/virus/ch_dinamic/) (date of access 15.04.2016).

3. Zakharchenko A.A. Chervodinamika: causes and consequences // Information Security. Confident. 2004. No. 2. URL: [http://citforum.ru/security/virus/ch\\_dinamic/](http://citforum.ru/security/virus/ch_dinamic/) (date of access 28.03.2016). (In Russian).

4. Andrianov V.I., Romanov G.G., Shterenberg S.I. Aktual'nye problemy infotelekommyunikatsii v nauke i obrazovanii IV Mezhdunarodnaya naychno-

tekhnicheskaya i naychno-metodicheskaya konferentsiya [Expert in the field of information security systems, In: Recent infotelecommunications problems in science and education IV International scientific-technical and scientific-methodical conference: collection of scientific articles]. 2015. Pp. 193–197. (In Russian).

5. Shterenberg S.I. A method for constructing a search engine for primitive adaptive programs of action. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 4. Pp. 52–57. (In Russian).

#### For citation:

*Shterenberg S.I.* Analysis works algorithms information protection on the basis of self-modifying code with hidden embedding. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 2. Pp. 86–90.

### АНАЛИЗ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ САМОМОДИФИЦИРУЮЩЕГОСЯ КОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ СТЕГОВЛОЖЕНИЯ

**Штеренберг Станислав Игоревич,**

г. Санкт-Петербург, Россия,  
shterenberg.stanislaw@yandex.ru

#### Аннотация

В современном мире большинство организаций в своей работе активно используют локально-вычислительные сети для обработки различной информации. Для передачи информации от одного узла сети другому используются каналы передачи информации с большими пропускными способностями. Существующие средства защиты информации не всегда оперативно справляются с задачами успешного стеганографического преобразования. Любая локально-вычислительная сеть требует дополнительных специальных средств управления помимо тех, которые имеются в стандартных сетевых операционных системах. Обычно система управления сетью работает в автоматизированном режиме, выполняя наиболее простые действия по управлению сетью автоматически, а сложные решения предоставляя принимать человеку на основе подготовленной системой информации.

В работе рассмотрен вид управления на основе математической модели распространения самомодифицирующихся программ в сетях, позволяющей учитывать «стеганографический» период внедрения информации в файлы. В работе описаны подходы реагирования на аномальное состояние сети, возникающее в результате реализации атаки и выбор эффективного решения системы безопасности. Рассмотрены вопросы прогнозирования распространения самомодифицирующегося кода на узлы локально-

вычислительной сети на малых промежутках времени. Задача разработки способа управления локально-вычислительными сетями на основе краткосрочного прогнозирования распространения самомодифицирующихся программ, позволяющего органу управления информационной безопасностью своевременно принимать решения по восстановлению требуемого уровня информационной безопасности сети на основе текущего и краткосрочно прогнозируемого распространения вирусных атак является актуальной для современных адаптивных средств защиты информации.

Важным пунктом обозначается задача по реализации самомодифицирующегося приложения. Под таким приложением как правило понимается любая полурезидентная программа в процесс запуска функций которой входит полиморфное преобразование участков кода программы. Это значит, что в отдельный момент времени, самомодифицирующаяся программа автоматически заменяет прежний алгоритм работы на любой случайный заранее прописанный в коде. Сложность подобных операций на данный момент не высока, однако она способствует развитию множеству вредоносных программных средств. Однако, если особенности полиморфизма применить в стеганографии, то есть возможность для создания надежных средств защиты информации от фактора нарушения целостности информации в локально-вычислительной сети.

**Ключевые слова:** самомодификация; компьютерные вирусы; локально-вычислительные сети; стеганография; защита информации

#### Информация об авторе:

Штеренберг С.И., аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича.

#### Для цитирования:

*Штеренберг С.И.* Анализ работы алгоритмов защиты информации на основе самомодифицирующегося кода с применением стеговложения. Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 86–90.

# КРУПНЕЙШИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВУЗ ВС РФ ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ А.Ф.МОЖАЙСКОГО



ОБУЧЕНИЕ В  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ



ВЫСОКИЙ СОЦИАЛЬНЫЙ  
СТАТУС



ОГРОМНЫЙ ВЫБОР  
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ



ВЫСОКОПЛАЧИВАЕМАЯ  
РАБОТА



ПОВЫШЕННАЯ  
СТИПЕНДИЯ



ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ПИТАНИЕМ И  
ФОРМЕННОЙ  
ОДЕЖДОЙ



ПРОЖИВАНИЕ В  
ОБЩЕЖИТИИ



ПРЕСТИЖНЫЕ  
ПРОФЕССИИ  
БУДУЩЕГО



ГАРАНТИРОВАННОЕ  
ТРУДОУСТРОЙСТВО



ВОСТРЕБОВАННОСТЬ В  
ВООРУЖЕННЫХ  
СИЛАХ РФ



РОМАНТИКА  
ВОЕННОЙ СЛУЖБЫ



БЕСКОНЕЧНЫЕ  
ВОЗМОЖНОСТИ  
КАРЬЕРНОГО РОСТА И  
СОЦИАЛЬНЫЙ ЛИФТ

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ

Почтовый адрес: 197198, г. Санкт-Петербург,  
ул. Ждановская, д. 13.

Телефоны приемной комиссии: (812) 347-96-59, 347-97-70.

Факс: (812) 237-12-49.

Сайт: [www.mil.ru](http://www.mil.ru), [www.academy-mozhayskogo.ru](http://www.academy-mozhayskogo.ru)

Адрес электронной почты: [srb.vka@yandex.ru](mailto:srb.vka@yandex.ru).

## ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Предоставляемая для публикации статья должна быть актуальной, обладать новизной, отражать постановку задачи, содержать описание основных результатов исследования, выводы, а также соответствовать указанным ниже правилам оформления. Текст должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала.

1. Статья подготавливается в редакторе MS Word.
2. Формульные выражения выполняются в редакторе Math Type. Также в отдельной папке должны содержаться экспортированные изображения формул в формате TIFF (качество изображений не менее 300 dpi). Названия файлов должны соответствовать номерам формул в статье (Например: Формула 1.tif).
3. Объем статьи без аннотации – от 10 до 20 тыс. знаков. Рисунки и таблицы в объеме статьи не учитываются.
4. Объем аннотации 250-300 слов. Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), без сокращений, структурированной, отражать основное содержание статьи: предмет, цель, методологию проведения исследований, результаты исследований, область их применения, выводы. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Предложения должны начинаться словами: показано, получено, исследовано, предсказано и т.д. и т.п.
5. Ключевые слова (не менее пяти), разделенных точкой с запятой.
6. Фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и полное название организации - места работы, город, страна, адрес электронной почты и почтовый адрес каждого автора полностью.
7. Список литературы не менее пяти наименований, для статей - с указанием страниц, для книг - с указанием общего числа страниц в книге, для интернет-сайта - с указанием даты обращения. Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты и другую нормативную и непериодическую документацию, эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или в виде постраничных ссылок (если автор

непрерывно хочет указать нормативный документ или сослаться на свою диссертацию). Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.05-2008. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала.

8. Формулы нумеруются в круглых скобках, источники – в прямых. Нумерация формул и приведение в списке источников, на которые нет ссылок по тексту, не допускается.

9. На английском языке предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы. В конце размещается полная информация об авторах (возможно размещение кратких автобиографий): фамилия, инициалы, должность, ученая степень, ученое звание, место работы (организация) и другие данные с надписью (Information about authors).

Все названия издательств и журналов должны быть транслитерированы, а не переведены. Названия организаций в списках литературы (Труды Академии...) должны быть четко выверены с данными организации и иметь официальное английское наименование, которое указано на их сайте или также транслитерированы. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала.

10. Статья предоставляется в электронном виде, единым файлом, имеющим следующую структуру: заглавие статьи, сведения об авторах, ключевые слова, аннотация, текст статьи (включая иллюстрации, таблицы и формулы), приставительный список литературы, англоязычный блок. Также представляется отдельная папка с экспортированными изображениями рисунков и формул в формате TIFF, по требованиям указанным в п.2. Тексты в рисунках должны быть читаемы.

11. К статье прилагается экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати и две рецензии кандидатов или докторов наук по профилю планируемой публикации материалов (сканированные копии в электронном виде).

Все материалы высылаются электронной почтой в адрес журнала: HT-ESResearch@yandex.ru

Редакция принимает к публикации статьи на английском языке.

**Внимание!** Редакция оставляет за собой право отклонить представленные материалы, оформленные не по указанным правилам.

## MANUSCRIPT REQUIREMENTS

### Format

1. All files should be submitted as a Word document.
2. Articles should be between 15000 and 20000 characters (incl. spaces).
3. Article Title to be submitted in native language and English. A title of not more than eight words should be provided.

### Author Details (in English and native language)

Details should be supplied on the Article Title Page including:

- \* Full name of each author
- \* Position, rank, academic degree
- \* Affiliation of each author, at the time the research was completed
- \* Full postal address of the affiliation
- \* E-mail address of each author
- \* Structured Abstract (in English and native language)
- \* Abstract should be: informative (no general words), original, relevant (reflects your papers key content and research findings); structured (follows the logics of results presentation in the paper), concise (between 250 and 300 words).
- \* Purpose (mandatory)
- \* Design/methodology/approach (mandatory)
- \* Findings (mandatory)
- \* Research limitations/implications (if applicable)
- \* Practical implications (if applicable)
- \* Social implications (if applicable)
- \* Originality/value (mandatory)

It is appropriate to describe the research methods/methodology if they are original or of interest for this particular research. For papers concerned with experimental work describe your data sources and

data procession technique. Describe your results as precisely and informatively as possible. Include your key theoretical and experimental results, factual information, revealed interconnections and patterns. Give special priority in your abstract to new results and long-term impact data, important discoveries and verified findings that contradict previous theories as well as data that you think have practical value.

Conclusions could be associated with recommendations, estimates, suggestions, hypotheses described in the paper.

Information contained in the title should not be duplicated in the abstract. Try to avoid unnecessary introductory phrases (e.g. the author of the paper considers).

Use the language typical of research and technical documents to compile your abstract and avoid complex grammatical constructions. The text of the abstract should include key words of the paper.

### Keywords (in English and native language)

Please provide up to 5 keywords on the Article Title Page, which encapsulate the principal topics of the paper.

### Figures

All figures should be of high quality, legible and numbered consecutively with arabic numerals. All figures (charts, diagrams, line drawings, web pages/screenshots, and photographic images) should be submitted in electronic form preferably in color as separate files, that match the following parameters: TIFF format (quality of figures not less than 300 dpi).

### References

References to other publications must be in Harvard style and carefully checked for completeness, accuracy and consistency.