



Том VII. № 6-2015

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 Паблшер»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:  
Константин Легков

ИЗДАТЕЛЬ:  
Светлана Дымкова

ПРЕДПЕЧАТНАЯ ПОДГОТОВКА:  
ООО «H&ES Research»

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

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

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

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

ПЛАТА С АСПИРАНТОВ ЗА ПУБЛИКАЦИЮ  
РУКОПИСИ НЕ ВЗИМАЕТСЯ

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

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

© ООО «ИД Медиа Паблшер» 2015

**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** 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 систему российского индекса научного цитирования (РИНЦ), а также включен в Международный классификатор периодических изданий **ISSN 2412-1363 (Online), ISSN 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 infokommunikatsiya, 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.

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

**SEME NOV 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. VII. № 6-2015

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 2015

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

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

 HES\_Research  HES-Research  
 club55425245



**H&ES**  
RESEARCH

Редакция журнала H&ES Research от всей души поздравляет Вас с наступающим Новым годом! Примите самые искренние пожелания ярких профессиональных успехов, новых побед и достижений, крепкого здоровья, радости и счастья, мира и благополучия!



HAPPY  
NEW  
YEAR



# СОДЕРЖАНИЕ

---

## НОВОСТИ

Новости науки и техники, события, люди 6

## МАТЕМАТИКА

**Степанов М.Ф., Степанов А.М., Михайлова Л.С., Жеронкина А.А.** 8  
Автоматизированная среда математического моделирования процессов управления нестационарными нелинейными объектами интеллектуальными самоорганизующимися системами управления

## АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

**Минаков Е.П., Тарасов А.Г., Боровской Е.П.** 16  
Развитие структуры автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения с целью автоматизации процессов устранения нештатных ситуаций

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

**Левадный Ю.В., Телеш В.А.** 22  
Способ моделирования радиолокационных изображений наземных объектов наблюдения

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Коржавин Г.А., Подоплёкин Ю.Ф., Мальцев О.Г.** 28  
Оптимизация решений в многоканальной системе селекции надводных кораблей от ложных целей типа облаков дипольных отражателей

**Межуев А.М.** 36  
Совместное решение задач алгоритмической и структурной адаптации в инфокоммуникационных системах

**Деев В.В., Сирота С.В.** 44  
Цифровая телеметрическая система с временным множественным доступом

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Волков В.Ф., Галанкин А.В., Федер А.Л.** 50  
Общая характеристика процесса автоматизированного управления сложными организационно-техническими системами специального назначения Воздушно-космических сил

**Казахов Б.Д., Соловьёв В.В.** 56  
Предложения по совершенствованию комплексов средств автоматизации за счет внедрения в них информационно-моделирующих систем

**Анисимов О.В.** 60  
Метод информационной поддержки процесса диагностирования сложных технических комплексов на основе паттернов элементов электрических схем радиоэлектронной аппаратуры

## ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

**Буренин А.Н., Легков К.Е., Левко И.В.** 70  
Вопросы организации и модели функционирования современных инфокоммуникационных сетей

# CONTENTS

---

	<b>NEWS</b>
6	News of science and technology, events, people
	<b>MATHEMATICS</b>
8	<b>Stepanov M.F., Stepanov A.M., Mikhailova L.S., Jeronkina A.A.</b> The automated system of mathematical modelling of control processes of non-stationary nonlinear plants by intellectual selforganized control systems
	<b>AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE</b>
16	<b>Minakov E.P., Tarasov A.G., Borovskoy E.P.</b> The development of the structure of automated control system for preparation and launch of space rockets to automate processes of removing emergency situations for estimating software reliability
	<b>INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS</b>
22	<b>Levadny Y.V., Telesh V.A.</b> A method of modeling the radar images of engineering constructions
	<b>RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION</b>
28	<b>Korzhavin G.A., Podoplyokin Yu.F., Maltsev O.G.</b> Decisions optimization in multichannel selection system of surface vessels from false targets like cloud of chaff dipoles
36	<b>Mezhuev A.M.</b> The joint solution of problems of algorithmic and structural adaptation in infocommunication systems
44	<b>Deev V.V., Sirota S.V.</b> Digital telemetric system with temporary multiple access
	<b>INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL</b>
50	<b>Volkov V.F., Galankin A.V., Feder A.L.</b> General characteristics of the process of automatic control of complex organizational–technical systems for special applications of the aerospace defense forces
56	<b>Kazahov B.D., Solovyov V.V.</b> Proposals for improving the complex of automation by introducing them information modeling systems
60	<b>Anisimov O.V.</b> Method of information support for the process of diagnosis for complex technical systems based on patterns of electric circuits elements of electronic equipment
	<b>PUBLICATIONS IN ENGLISH</b>
70	<b>Burenin A.N., Legkov K.E., Levko I.V.</b> Questions of the organization and models of functioning of modern infocommunication networks

## Выставка «Связь-2016»

Сегодня рынок информационно-коммуникационных технологий настолько разнообразен, что сложно быть в курсе всех ключевых трендов и новинок рынка. В сложившейся экономической ситуации компаниям необходимо регулярно модернизировать и преобразовывать свою продукцию, расширять спектр услуг для привлечения интереса новых клиентов и удержания старых.

Именно таким целям служит выставка «Связь-2016», именно сюда посетители придут для получения исчерпывающей информации о рынке, а компании могут в наилучшем свете показать свои достижения и получить идеи для дальнейшего развития. «Связь-2016» – все, что актуально сегодня и, что будет в тренде завтра!

Выставка «Связь-2016» – отличная возможность найти новых клиентов!

- 50 000 посетителей;
- Более 400 экспонента (российских и зарубежных);
- Более 450 публикаций в СМИ;
- Более 100 спикеров и 58 сессий;
- 45% посетителей – руководители и ЛПР;



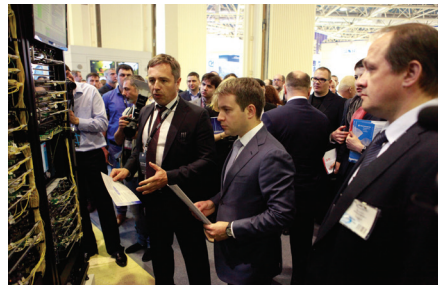
• Каждый второй посетитель выставки ищет поставщиков для приобретения у них продуктов и услуг;

• Высокий статус государственной поддержки.

Высокая ценность выставки, как главного отраслевого события в России и Восточной Европе, подтверждается поддержкой со стороны профильных министерств и ведомств, которые ежегодно поддерживают выставку «Связь» и с интересом посещают ее. Многие из наших экспонентов и партнеров удостоились чести продемонстрировать свои разработки членам Правительства, что не может не радовать.

Все самое новое и актуальное на выставке будет представлено в салонах:

- Связь. Технологии, оборудование, решения и услуги;
- Сети передачи данных;
- Телекоммуникационная и сетевая инфраструктура;
- ЦОДы, обработка, хранение передача данных;
- Телевизионное и радиовещание
- Программное обеспечение;
- IT услуги;



- Мобильные платежи;
- Интернет-технологии и услуги;
- Стартапы;
- Работа и карьера в телекоммуникационной и IT отрасли.

В 2016 году выставка «Связь» пройдет в рамках «Технологической недели», совместно с выставками «Навитех» и «Системы транспорта и логистики». Это поможет посетителям охватить весь спектр высоких технологий в таких важных отраслях, как ИКТ, логистика и навигация, а экспонентам даст возможность продемонстрировать свои разработки концентрированному потоку профильных посетителей, которые смогут по достоинству их оценить. Цель «Технологической недели» в одно время на одной площадке продемонстрировать вектор развития важнейших отраслей современного мира.

Не пропустите свой шанс эффективно продемонстрировать свои новинки и увеличить свои продажи – примите участие в выставке «Связь-2016».

10–13 мая 2016 года,  
ЦВК «Экспоцентр», Москва  
[www.sviaz-expo.ru](http://www.sviaz-expo.ru)



## На Пермском инженерно-промышленном форуме представили актуальные технологии и широкий комплекс отраслевых решений

На площадках II Пермского инженерно-промышленного форума обсудили пути развития российской промышленности ближайшего будущего, формирование инновационной экономики и подготовку профессиональных кадров для создания «новой экономики». Форум проходил в столице Прикамья с 12 по 13 ноября 2015 года.

В событии приняли участие представители органов власти, топ-менеджмент предприятий, предста-

вители ведущих отраслей промышленности и деловых организаций. Мероприятие посетили порядка 3 тысяч человек.

В течение двух дней на Форуме проходила экспозиция передовых предприятий: «Мотовилихинские заводы», «Протон-ПМ», «Авиадвигатель», «Лукойл», «Пермский моторный завод» и других. Например, участники и гости могли ознакомиться с новейшими проектами и высокотехнологич-

ными продуктами промышленности: генерирующими установками, двигателями, станками, оптоволоконном.

На площадках ПИПФ-2015 презентовали актуальные технологии и широкий комплекс отраслевых решений. Производственные кластеры «Технополис «Новый Звездный» и «Фотоника», а также HR-управленцы промышленных гигантов ПАО «Уралкалий» и ОАО «Метафракс» представили на форуме свой опыт в области

подготовки инженеров и высококвалифицированных рабочих.

Участники круглого стола «Кадры для Верхнекамья» обсудили проблемы социальной инфраструктуры, кадрового дефицита, привлечения молодых специалистов и конкурентной заработной платы в условиях масштабного роста производственных мощностей на двух территориях: городах Кизеловского угольного бассейна и агломерации Березники-Соликамск.

«В настоящее время «Уралкалий» реализует инвестиционный проект объемом 300 миллиардов рублей. Программа включает в себя профориентационную деятельность в школах, расширение сотрудничества с учебными заведениями и развитие социальной инфраструктуры городов агломерации», рассказал директор по персоналу предприятия Руслан Ильясов.

Исполнительный директор Ассоциации инновационных регионов России Слава Ходько подчеркнул: «Пермский

край движется в абсолютно правильном направлении. Он является одним из передовых. На пермской земле есть хорошие практики, их необходимо показывать и тиражировать».

13 ноября в рамках инженерно-промышленного форума прошел первый Съезд членов Пермской торгово-промышленной палаты. Губернатор Пермского края Виктор Басаргин, президент ТПП РФ Сергей Катырин и президент Пермской ТПП Марат Биматов подписали План мероприятий по реализации Соглашения о сотрудничестве на 2016-2017 гг. в присутствии руководителей 400 предприятий-членов Палаты.

«Факт проведения Пермского инженерно-промышленного форума свидетельствует о нацеленности Прикамья на статус инженерной столицы России», отметил Сергей Катырин.

В рамках форума прошел финал конкурса «Открытый регион. Хака-тон». По окончании двухчасового

марафона, в ходе которого участники презентовали 6 социально-ориентированных веб-приложений, жюри определило трех победителей. Первое место заняла команда «Персис». Разработанный молодыми IT-специалистами сервис позволяет выбрать врача на основании подробной информации и отзывов пациентов.

Масштабным и запоминающимся событием ПИПФ-2015 стала первая в России «Битва роботов». На ринг вышли 20 боевых машин, созданных российскими инженерами-конструкторами. Сражение по системе play-off состоялось по стандартному регламенту международной ассоциации боев роботов. Главный приз соревнования 300 тыс. рублей достался команде X-Force.

Пермский инженерно-промышленный форум, организованный Правительством Пермского края при поддержке промышленных предприятий региона, прошел в регионе второй раз.

## Выставка «Навитех-2016» – стратегический выход на российский рынок спутниковой навигации

С каждым годом технологии спутниковой навигации и системы, создаваемые на их основе играют все большую роль в жизни как обычных граждан, так и в масштабе всего государства. Увидеть их в действии и остаться в курсе последних разработок и нововведений Вам поможет уникальная в своем роде выставка, под названием «Навитех-2016», которая проходит ежегодно на территории ЦВК «Экспоцентр». Сегодня она рассказывает об эффективном использовании возможностей навигационных, информационных и коммуникационных технологий на транспорте в различных отраслях экономики в интересах всех категорий потребителей.

Ежегодно количество посетителей и участников растет, выставка заметно развивается и становится крупнее. Это говорит об актуальности и высоком значении тематики выставки в современном мире, который сегодня не может обходиться без спутникового и навигационного оборудования.

Тематические разделы выставки:

- Навигационно-информационные системы на транспорте;
- Навигационные технологии в землеустройстве, изысканиях, проектировании и строительстве;
- Автомобильная и персональная навигация, оборудование, LBS-услуги;
- Профессиональное навигационное оборудование, модули и компоненты.

По результатам исследования 2015 года, выставка «Навитех»:

- Способствует созданию эффективных деловых контактов с более чем 10 тыс. представителей бизнес-сообщества, потенциальных инвесторов, государств, науки из 30 стран мира;
- 2/3 посетителей приходят на выставку с целью заключения договора на поставку оборудования, товаров, услуг;
- По результатам опроса экспонентов, 90% посетителей довольны качеством, а 88% достигли своих поставленных целей во время выставки;
- Ежегодно выставка проходит под патронатом Торгово-промышленной па-

латы РФ, при поддержке НП «ГЛОНАСС» и Ассоциации «ГЛОНАСС / ГНСС – Форум».

В 2016 году выставка «Навитех» пройдет в рамках «Технологической недели», совместно с выставками «Связь. Информационные и коммуникационные технологии» и «Системы транспорта и логистики». Это поможет посетителям охватить весь спектр высоких технологий в таких важных отраслях, как навигация, логистика и ИКТ, а экспонентам даст возможность продемонстрировать свои инновации концентрированному потоку профильных посетителей, которые смогут по достоинству их оценить. В связи с тем, что на них будут освещены достижения одних из важнейших отраслей современного мира, выставки активно поддерживаются Министрами и Правительством РФ.

10–13 мая 2016 года,  
ЦВК «Экспоцентр», Москва  
[www.sviaz-expo.ru](http://www.sviaz-expo.ru)

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СРЕДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ САМООРГАНИЗУЮЩИМИСЯ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ

## Степанов

### Михаил Федорович,

д.т.н., доцент, профессор Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина  
г. Саратов, Россия,  
mfstepanov@mail.ru

## Степанов

### Андрей Михайлович,

к.т.н., с.н.с. Института проблем точной механики и управления РАН,  
г. Саратов, Россия,  
ripkilobyte@gmail.com

## Михайлова

### Любовь Сергеевна,

к.т.н., доцент Электростальского политехнического института Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ),  
г. Электросталь, Россия,  
lsmixx@rambler.ru

## Жеронкина

### Анастасия Александровна,

студентка Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.  
г. Саратов, Россия,  
lsmixx@rambler.ru

## Ключевые слова:

интеллектуальные системы управления, автоматизация решения задач, автоматизированная система моделирования, координация управления.

## АННОТАЦИЯ

Работа посвящена автоматизации решения задач проектирования и исследования интеллектуальных систем автоматического управления (ИСАУ). Цель работы: повышение эффективности решения наиболее распространенных классов задач управления. Цель работы: изложение подхода к автоматизации проектирования и исследования интеллектуальных систем автоматического управления. Системы автоматического управления (САУ) осуществляют выработку управляющего воздействия на объект управления в соответствии с законом управления, построенным инженером-проектировщиком на этапе разработки САУ. Изменение условий функционирования (объекта управления и/или внешней среды) обуславливают необходимость подстройки закона управления, что могут в определенных пределах осуществлять адаптивные, самонастраивающиеся системы. Однако в случае изменения цели управления, структуры закона управления такой подход уже не работает. Выход в использовании интеллектуальных систем. К интеллектуальным относятся системы, способные в конкретной ситуации (задаче) сформулировать цель, найти способ её достижения, реализовать его, обеспечив получение результата решения задачи. Компоненты, реализующие указанные возможности должны присутствовать в интеллектуальных системах автоматического управления. Однако реализация каждого из них представляет собой самостоятельно сложную задачу. Проблема осложняется необходимостью организации взаимодействия ИСАУ между собой в сложных случаях. В настоящее время практическая реализация полноценных ИСАУ отсутствует. В первую очередь это обусловлено отсутствием средств поддержки разработки интеллектуальных систем управления. Важнейшей причиной создавшегося положения является трудность моделирования интеллектуальных компонентов в инструментальной среде разработки САУ. Актуальной проблемой является разработка автоматизированной системы построения и исследования ИСАУ. В работе рассматривается подход к решению проблемы в виде распределенной системы моделирования интеллектуальных систем. Система позволяет осуществлять формирование структуры, определять схемы взаимодействия, знания о методах решения задач управления, моделировать поведение множества ИСАУ, осуществляющих управление множеством объектов управления. Распределенный характер системы моделирования допускает исследование использования различных структур, моделей знаний, схем взаимодействия моделируемых ИСАУ. При этом каждая ИСАУ снабжается компонентами формирования моделей объекта управления и внешней среды, цели управления, подсистемой автоматического решения задачи синтеза закона управления в непроцедурной (декларативной) постановке, средствами самоорганизации, координации и взаимодействия. Приводится пример моделирования ИСАУ различной конфигурации для управления различными объектами, в том числе и нестационарными.



### Постановка задачи

Среди многочисленных подходов к построению систем управления, выделяется направление «интеллектуальные системы управления». К нему относят много подходов: от уже обычной реализации традиционных законов управления посредством нейронных сетей до продвинутых систем с возможностями создания цели управления, адаптивного управления, системы с использованием методов обучения, адаптации, генетических алгоритмов, и т.д. Однако по определению систему можно назвать «интеллектуальной системой», если она способна решать «новые» задачи, то есть такие задачи, порядок решения которых этой системе не известен. Такие задачи также называют «непроцедурно» или «декларативно» определенными (поставленными).

Исследования в области автоматизации проектирования систем управления проводятся со второй половины 20 века [1–4]. С тех пор проектирование и исследование автоматических систем управления становятся все более трудной сферой деятельности [5–7]. Это обусловлено увеличивающейся сложностью объектов управления, ужесточением требований к точности и качеству процесса управления, развития собственно теории автоматического управления, методы которой становятся все более сложными и трудными с вычислительной точки зрения.

Как следствие, без инструментальных средств автоматизации решения задач проектирования систем управления проектировщики систем управления уже не смогут обеспечивать высококачественное выполнение своей профессиональной работы.

Однако, многочисленные работы, которые выполнялись в этом направлении, до настоящего времени пока не привели к созданию достаточно мощных, удобных и доступных инструментальных средств. Перед проектировщиком часто встают задачи, которые не связаны непосредственно с его профессиональной деятельностью. В частности – это потребность определения последовательности действий (операции) для решения, например, задачи синтеза и анализа закона управления в пределах имеющегося инструментального средства автоматизации. Так, например, популярный в среде специалистов в теории управления пакет Matlab [3] требует запись последовательности операции для решения задачи на специальном исходном языке. Несмотря на ориентацию языка на матричные вычисления, наличие многочисленных функций различного назначения, процесс разработки программы для решения конкретной задачи часто требует много времени. Однако, задачи, решаемые проектировщиком, несмотря на их сложность, необходимо отнести к стандартным задачам. Но их разнообразие является настолько большим, что подготовить программы к решению всех стандартных задач очевидно невозможно. Поэтому универсального средства построения и исследования систем автоматического управления (САУ) так и не создано. Как следствие, полноценные инструментальные

средства для разработки и исследования конструктивно более сложных интеллектуальных систем управления пока не созданы. Для исследования отдельных компонентов можно использовать различные инструментальные средства, включая популярный MATLAB, и универсальные средства, например, ставший классическим язык ПРОЛОГ. Для каждой задачи в таких инструментальных средствах требуется задание определенной программы (алгоритма) её решения в той или иной форме (программы на специальном языке, схемы системной архитектуры, и т.д.). Однако разрабатываемая при этом система управления не может быть отнесена к категории «интеллектуальных систем», поскольку созданный закон управления лишь только реализует алгоритм, априорно определенный проектировщиком. Использование инструментальных средств для обучения и подстройки параметров закона управления принципиально не изменяет ситуацию, поскольку цель управления и структура закона управления остается прежней. К тому же, время, требуемое для конфигурирования структуры и подстройки параметров САУ часто оказывается чрезмерно большим. Задача осложняется недостаточностью информации об объекте управления. К сожалению, методы идентификации как пассивной, так и активной (с использованием испытательных сигналов) для идентификации параметров модели объекта управления не позволяют получать точные модели, а, следовательно, и не достигают высокой точности управления. Для решения проблемы необходимо применять средства, способные осуществлять коррекцию закона управления в соответствии с изменяющимися условиями. При этом традиционные методы адаптивного управления не позволяют достичь приемлемых результатов.

Решением проблемы является использование интеллектуальных систем и средств их построения и исследования.

### Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления

Среди интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления (ИСАУ) выделяются интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления (ИССАУ) [8]. Отличительные особенности ИССАУ:

1. Автоматическое конструирование цели управления с учетом текущего состояния на основании априорно заданных требований к точности и качеству управления.

2. Самоорганизация для достижения сконструированной цели управления посредством автоматического решения «декларативно» определенной задачи синтеза «точного» управления.

3. Автоматическое планирование операций для решения «декларативно» определенной задачи синтеза закона управления с использованием планирующей искусственной нейронной сети.

4. Автоматическое решение задачи синтеза как результат выполнения созданного плана (программы) ее решения.

5. Автоматическая реализация синтезируемого закона управления в виде конструируемой искусственной нейронной сети.

6. Оценка текущего состояния управления для возбуждения к модификации цели управления.

Попытки моделирования подобных систем средствами MATLAB/SIMULINK столкнулись со многими трудностями, которые не позволили решить задачу успешно. Это обусловлено известными трудностями реализации методов решения «декларативно» определенных задач. Для решения указанной проблемы целесообразно применить подход, основанный на использовании интеллектуальных систем синтеза закона управления [9]. Такие системы для решения конкретной задачи синтеза закона управления в начале создают программу решения задачи как упорядоченную совокупность элементарных операций. После её выполнения формируют требуемый закон управления. Количество элементарных операций, используемых для решения задач синтеза закона управления, как правило, не является слишком большим, поскольку они представляют процедурное определение понятий теории автоматического управления (ТАУ) [9].

Применение указанного подхода для компактной реализации инструментальных средств синтеза закона управления открыло возможности создания нового типа – интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления [10]. Структура интеллектуальной самоорганизующейся системы автоматиче-

ского управления (рис. 1): измерительная подсистема, исполнительный механизм, вычислитель управляющего воздействия, подсистема идентификации моделей объекта управления и среды функционирования на основе данных измерительной подсистемы, блок формирования цели управления на основе собственных целей поведения и эмоционального состояния интеллектуальной самоорганизующейся системы управления, интеллектуальная подсистема синтеза закона управления, блок самооценки, формирующий количественный эквивалент качественной оценки («эмоции») поведения интеллектуальной самоорганизующейся системы автоматического управления, сформированного на основе самооценки и оценок, полученных от систем управления более высоких уровней иерархии.

Постановка задачи синтеза нового закона управления включает задание известных компонентов системы управления, среды и цели управления, не задавая метода (процедуры) решения задачи, то есть непроцедурно. Набор методов синтеза и анализа систем управления уже не очень важен. Более важным становится наличие возможности инструментальных средств по автоматическому определению методов, адекватных текущей решаемой задаче.

Проблема автоматического решения не процедурно поставленных задач требует привлечение интеллектуальных инструментальных средств, понимая под словом «интеллектуальный» способность решить новые задачи [12]. Поэтому, подсистема автоматического синтеза закона управления самоорганизующейся системы управления должна представлять собой интеллектуальную систему автоматического синте-

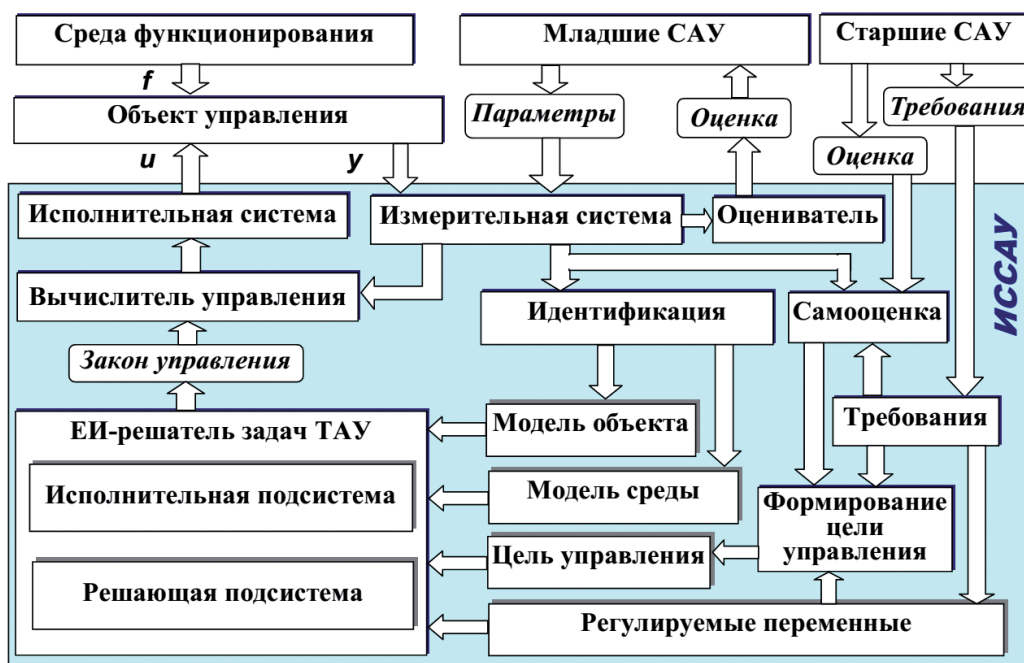


Рис. 1. Структура ИССАУ

за, используя методы искусственного интеллекта для предварительного построения плана действий по решению поставленной задачи синтеза. Новый закон управления формируется в результате выполнения построенного плана действий. Таким образом, наиболее важным является механизм планирования операций. Однако используемые при этом методы не обладают свойством массового параллелизма, и поэтому им свойственно «проклятие размерности», что не позволяет решать задачи практической сложности.

Для решения указанных проблем известен подход на основе методологии автоматического решения задач теории автоматического управления, включающий [9]:

1. Формализацию знаний о методах решения задач синтеза и систем управления анализа в виде многоуровневой модели множества формализованных задач (МММФЗ) ТАУ [9].

2. Конструкцию подсистемы планирования как системы автоматического доказательства теорем, представляющей собой прикладную систему исчисления секвенций [9], и называемой «многоуровневая аксиоматическая теория автоматических решений формализованных задач» (МАТАРФЗ) ТАУ [9].

3. Использование планирующий искусственных нейронных сетей (ПИНС) [9, 11] в качестве механизма поиска вывода в формальных аксиоматических системах;

4. Использование в качестве результата планирования план решения задачи – программу на проблемно-ориентированном языке «ИНСТРУМЕНТ-ОП», который поддерживает парадигму «ориентированный на правила» [9].

5. Конструкцию исполнительной подсистемы в виде пакеты прикладных программ, управляемого интерпретатором языка «ИНСТРУМЕНТ-ОП».

### Моделирование интеллектуальных систем

Особенности моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем управления включают необходимость:

1. Реализации в каждой исследуемой интеллектуальной системе управления (ИССАУ) ЕИ-решателя [9] в качестве планирующей подсистемы.

2. Наличия возможности назначения одного и того же объекта управления для различных систем управления.

3. Организации наблюдения за ходом функционирования подчиненных систем со стороны систем управления более высоких уровней иерархии.

Для выполнения указанных особенностей подсистемы моделирования отдельных компонентов ИССАУ были разработаны в виде серверных приложений: сервер моделирования объектов управления; сервер моделирования ЕИ-решателя; сервер моделирования ИССАУ в целом; сервер моделирования внешней среды. Реализация подсистемы моделирования ЕИ-решателя как отдельного серверного приложения позволяет реализовать возможности использования в различных моде-

лируемых ИССАУ различных моделей знаний о методах решения задач теории автоматического управления. Это позволяет использовать различные методы синтеза закона управления в различных системах управления. Для учета второй особенности используется следующее представление модели объекта управления:

$$\dot{x} = Ax + \sum_{i=1}^k \tilde{u}_i + Mf, x, \tilde{u}_i \in R^n, f \in R^m \quad (1)$$

где  $x$  – вектор состояния объекта;  $\tilde{u}_i$  – вектор управляющих воздействий  $i$ -й системы управления на выходе исполнительного механизма данного объекта управления;  $f$  – вектор внешнего возмущения. Для учета третьей особенности, мы используем накопленные измеренных (наблюдаемых) данных подчиненной ИССАУ для вычисления оценки точности и качества методом подвижного окна. Во включенном режиме самоорганизации в подчиненной ИССАУ будет осуществляться корректировка закона управления.

Предлагаемая концепция автоматического решения задачи ТАУ основанная на использовании планирующих искусственных нейронных сетей послужило методологической основой для создания системы моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления. Задача моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления относится к категории весьма сложных, потому что включает не только собственно моделирование процесса управления объектом управления, но также и моделирование интеллектуального поведения, используемого для целей самоорганизации. Поэтому, использование универсальных инструментальных средств для моделирования таких систем оказалось не приемлемым.

Для решения проблемы разработана специализированная инструментальная система Моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления (МИССАУ) [10]. МИССАУ предназначена для исследования процессов управления совокупностью возможно взаимосвязанных и взаимодействующих объектов, управляемых интеллектуальными самоорганизующимися системами автоматического управления (ИССАУ) образующих иерархически связанную структуру.

МИССАУ предоставляет проектировщику следующие возможности в графическом интерактивном режиме:

1. Установить количество уровней иерархии множества ИССАУ, количество объектов управления и ИССАУ в каждом уровне.

2. Установить связи между объектами управления и назначать для них ИССАУ.

3. Установить критерии самооценки поведения ИССАУ (инженерные, аналитические).

4. Определить МАТАРФЗ ТАУ для каждой ИССАУ в отдельности.

Рассмотрим возможности ИССАУ для управления нестационарным объектом.

Пусть объект управления, система управления и цель управления, заданная в виде требований к установившимся ошибкам регулируемых переменных описываются следующими уравнениями:

$$\dot{x} = (A + \Delta A)x + \tilde{u} + Mf, \quad y = Dx, \quad \tilde{u} = \sum_{i=1}^k Bu_i, \quad (2)$$

$$x, \tilde{u} \in R^n, f \in R^m,$$

$$\dot{x}_u = A_u x_u + B_u y, \quad u = D_u x_u + G_u y, \quad (3)$$

$$u \in R^m, x_u \in R^{n_u},$$

$$\Delta A = \begin{cases} [0]_n, & \forall t < t_0 \\ dA \sin(\omega(t - t_0) + \varphi_A), & \forall t \geq t_0 \end{cases}, \quad (4)$$

$$f = \begin{cases} f_0, & 0 \leq t < t_s \\ f_0 + f_m \sin(\omega_f(t - t_s) + \varphi_f), & \forall t \geq t_s \end{cases},$$

$$\theta = Nx, \theta \in R^\lambda, |\theta_{st_i}| \leq \theta_{st_i}^*, \theta_{st_i}^*, \theta_{st_i} \in R^\lambda, \quad (5)$$

где  $A, B, D, M, dA$  – числовые матрицы соответствующих размеров;  $A_u, B_u, D_u, G_u$  – искомые числовые матрицы закона управления,  $t_0 = 4$  – момент начала изменений модели объекта;  $\omega$  – частота изменения модели объекта;  $f_0 = 1.0$  – величина скачкообразного внешнего возмущения;  $f_m = 0.25$  – амплитуда синусоидального внешнего возмущения;  $\omega_f$  – частота синусоидального внешнего возмущения;  $t_s = 5$  – момент включения синусоидального внешнего возмущения;  $[0]_n$  – нулевая матрица  $n \times n$ ,  $\theta_{st_i}^* = 0.5$  – величина допустимой установившейся ошибки при действии скачкообразных внешних возмущений  $f_0 = 0.5$ .

Экранная форма задания параметров моделируемой системы представлена на рис. 2.

Начальный закон управления синтезировался из расчета на скачкообразное внешнее возмущение  $f_0 = 0.5$ . Поэтому при внешнем возмущении  $f_0 = 1.0$  требования к точности регулирования при отключенной самоорганизации не выполняются даже для стационарного объекта (кривая 1 на рис. 3).

Включение самоорганизации с момента времени  $t_c = 10.0$  с периодичностью в 1 секунду и со скоростью самоорганизации 0.17 устраняет проблему, обеспечивая требуемую точность регулирования (кривая 2 на рис. 3). Переходный процесс для нестационарного объекта управления при отключенной самоорганизации представлен кривой 3 на рис. 3. Включение самоорганизации с теми же параметрами обеспечивает требуемую точность регулирования и для нестационарного объекта (кривая 4 на рис. 3).

Средства самоорганизации ИССАУ успешно компенсируют изменения модели объекта управления и внешней среды посредством использования нового закона управления более адекватного текущей ситуации,

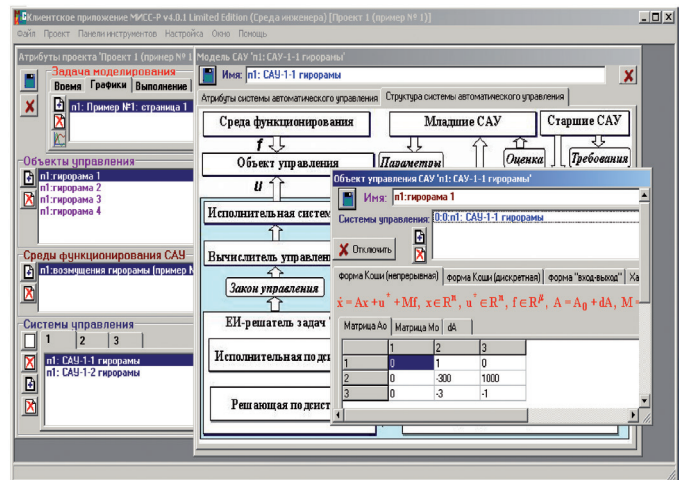


Рис. 2. Атрибуты проекта моделирования

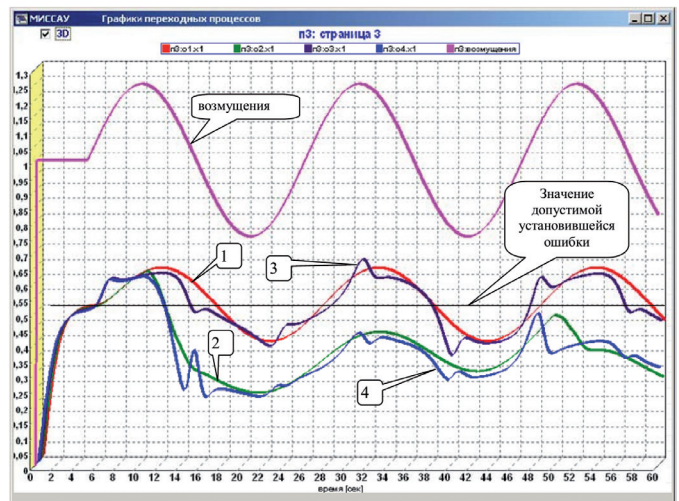


Рис. 3. Результаты моделирования процесса управления нестационарным объектом

построенного с помощью интеллектуальной системы автоматического синтеза закона управления.

Данная статья представляет результаты работы, выполняемой с финансовой поддержкой Российского фонда фундаментальных исследований (проект 15-07-99684-а).

### Литература

1. Roos D. ICES System Design. MIT – Press, 2nd ed. 1967.
2. Elmqvist H. SIMNON – an interactive simulation program for nonlinear systems. Simulation'77. Montreux, Switzerland, June. 1977.
3. Moler C.B. MATLAB – User's Guide / C.B. Moler // Department Computer Science, University of New Mexico. Albuquerque, NM 87131. 1982.
4. Barker H.A., Townsend P., Chen M. and Harvey I.T. CES – A workstation environment for computer-aided design of control systems. Preprints of the 4th IFAC Symposium on Computer Aided Design in Control Systems CADCS'88. Beijing, P.R. China. 1988. Pp. 248–251.

5. Rimvall M., H. Sutherland, J. H. Taylor and P. J. Lohr GE's MEAD user interface – a flexible menu- and forms-driven interface for engineering applications. Proceedings IEEE Control Systems Society Workshop on Computer-Aided Control System Design. Tampa, FL, USA. 1989. Pp. 24–34.

6. Munro N. and Jobling C.P. ECSTASY: A control system CAD environment. In: CAD for Control Systems. New York: Marcel Dekker. 1994. Pp. 449–467.

7. Alexandrov A.G., Panin S.Yu., Stepanov M.F. CACSD GAMMA-1PC as processor for controllers. IFAC YAC'95: International Federation of Automatic Control Youth Automatic Conference. Beijing P.R. China: Chinese Association of Automation (CAA) Youth Committee of CAA Beijing Institute of Technology (BIT). Vol. II. 1995. Pp. 845–849.

8. Степанов М.Ф. Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления – триада

«теория автоматического управления – информационные технологии – искусственный интеллект» // Информационные технологии. 2001. № 11. С. 24–29.

9. Степанов М.Ф. Автоматическое решение формализованных задач теории автоматического управления. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т. 2000. 376 с.

10. Степанов М.Ф. Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т. 2002. 112 с.

11. Степанов М.Ф. Автоматическое решение задач теории автоматического управления на основе планирующих искусственных нейронных сетей // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2003. № 3, 4. С. 27–44.

12. Ефимов Е.И. Решатели интеллектуальных задач. М.: Наука, 1982. 320 с.

**Для цитирования:**

Степанов М.Ф., Степанов А.М., Михайлова Л.С., Жеронкина А. А. Автоматизированная среда математического моделирования процессов управления нестационарными нелинейными объектами интеллектуальными самоорганизующимися системами управления // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 8–14.

**THE AUTOMATED SYSTEM OF MATHEMATICAL MODELLING OF CONTROL PROCESSES OF NON-STATIONARY NONLINEAR PLANTS BY INTELLECTUAL SELFORGANIZED CONTROL SYSTEMS**

**Stepanov Mikhail Fedorovitch,**  
Saratov, Russia, mfstepanov@mail.ru

**Stepanov Andrew Mikhailovitch,**  
Saratov, Russia, ripkilobyte@gmail.com

**Mikhailova Lubov Sergeevna,**  
Electrostal, Russia, lsmixx@rambler.ru

**Jeronkina Anastasia Alexandrovna,**  
Saratov, Russia, lsmixx@rambler.ru

**Abstract**

Work is devoted to automation of the decision of problems of designing and research of intellectual systems of automatic control (ISAC). The purpose of work: increase of efficiency of the decision of the most widespread classes of control tasks. The purpose of article: a statement of the approach to automation of designing and research of intellectual control systems. Automatic control systems (ACS) calculate control signal on plant according to the control law, the constructed by engineer-designer at development cycle ACS. Change of conditions of functioning (plant and-or environment) cause necessity of control law tuning. This can make adaptive, self-adjusted systems in the certain limits. However in case of

change of the purpose of control, structures of the control law such approach any more does not work. Solution is in use of intellectual systems. The intellectual systems capable in a concrete situation (task) to formulate the control purpose, to find a way of its achievement, then execute it, having ensured result of the task's decision. The components realizing specified opportunities should be present at intellectual automatic control systems. However realization of each of them is difficult problem. The problem becomes complicated necessity of the organization of ISAC interaction among themselves in complex cases. Now practical realization of real ISAC is absent. First of all it is caused by absence of means of support of development of intellectual control systems. The major reason of the created position is difficulty of modelling of intellectual components in the computer aided design of ACS. Actual problem is development of the computer aided design and research of ISAC. In the paper the approach to the decision of a problem on the basis of use of the distributed system of modelling of intellectual systems is considered. The system allows carrying out formation of structure, to define schemes of interaction, knowledge's about of methods of the decision of control tasks, to model behaviour of set ISAC for control of set of plants. The distributed architecture of system of modelling supposes research of use of various structures, models of knowledge and schemes of interaction of modelled ISAC. Everyone ISAC is supplied with components of formation of model of plant and an environment, the purpose of control, a subsystem of the automatic decision of tasks of synthesis of the control law in not procedural (declarative) statement,

means of self-organizing, coordination and interaction. The example of modelling ISAC for control of plants set, including non-stationary is present.

**Keywords:** verification interval, measuring instrument, metrological support, periodic verification, function of economic expenses, metrological reliability.

#### References

1. Roos D. ICES System Design. MIT – Press, 2nd ed. 1967.
2. Elmqvist H. SIMNON – an interactive simulation program for nonlinear systems. Simulation'77. Montreux, Switzerland, June. 1977.
3. Moler C.B. MATLAB – User's Guide / C.B. Moler // Department Computer Science, University of New Mexico. Albuquerque, NM 87131. 1982.
4. Barker H.A., Townsend P., Chen M. and Harvey I.T. CES – A workstation environment for computer-aided design of control systems. Preprints of the 4th IFAC Symposium on Computer Aided Design in Control Systems CADCS'88. Beijing, P.R. China. 1988. Pp. 248–251.
5. Rimvall M., H. Sutherland, J. H. Taylor and P. J. Lohr GE's MEAD user interface – a flexible menu- and forms-driven interface for engineering applications. Proceedings IEEE Control Systems Society Workshop on Computer-Aided Control System Design. Tampa, FL, USA. 1989. Pp. 24–34.
6. Munro N. and Jobling C.P. ECSTASY: A control system CAD environment. In: CAD for Control Systems. New York: Marcel Dekker. 1994. Pp. 449–467.
7. Alexandrov A.G., Panin S.Yu., Stepanov M.F. CACSD GAMMA-1PC as processor for controllers. IFAC YAC'95: International Federation of Automatic Control Youth Automatic Conference. Beijing P.R. China: Chinese Association of Automation (CAA) Youth Committee of CAA Beijing

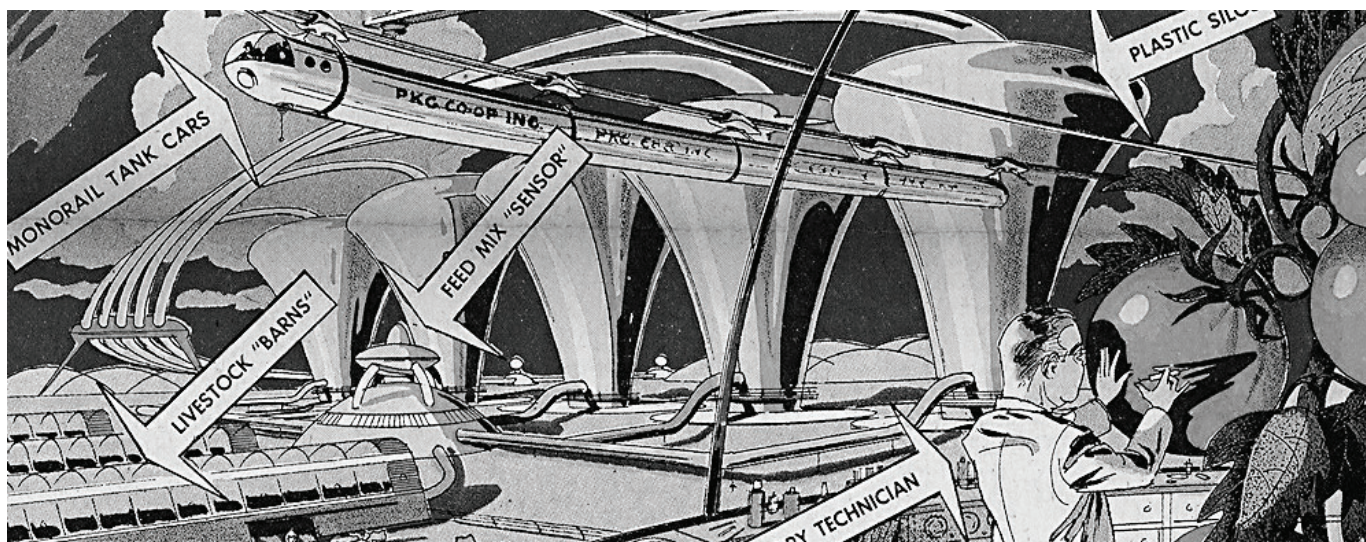
- Institute of Technology (BIT). Vol. II. 1995. Pp. 845–849.
8. Stepanov M.F. Intellectual self-organizing systems of automatic control – a triad "the theory of automatic control – information technologies – an artificial intelligence". *Informatsionnye tekhnologii [Information technologies]*. 2001. Vol. 11. Pp. 24–29. (In Russian).
9. Stepanov M.F. *Avtomaticheskoe reshenie formalizovannykh zadach teorii avtomaticheskogo upravleniya [Automatic solution of the formalized tasks of the theory of automatic control]*. Saratov: Saratov state technical university. 2000. (In Russian).
10. Stepanov M.F. *Intellektual'nye samoorganizuyushchiesya sistemy avtomaticheskogo upravleniya [Intelligent self-organizing automatic control systems]*. Saratov: Saratov state technical university. 2002. (In Russian).
11. Stepanov M.F. Automatic solutions automatic control theory tasks on the basis of planning artificial neural networks. *Neurokomp'yutery: razrabotka i primeneniye [Neurocomputers: design and application]*. 2003. Vol. 3–4. Pp. 27–44.
12. Efimov E.I. *Reshateli intellektual'nykh zadach [The solvers of intellectual tasks]*. Nauka. M.: 1984. 320 p. (In Russian).

#### Information about authors:

Stepanov M.F., Ph.D., professor, Yuri Gagarin state technical university of Saratov;  
 Stepanov A.M., Ph.D., the senior scientific employee, Institute of problems of exact mechanics and control of the Russian Academy of Science;  
 Mikhailova L.S., Ph.D., senior lecturer, Electrosteeel polytechnical institute of the Moscow state machine-building university (MSMU);  
 Jeronkina A.A., student, Yuri Gagarin state technical university of Saratov.

#### For citation:

Stepanov M.F., Stepanov A.M., Mikhailova L.S., Jeronkina A.A. The automated system of mathematical modelling of control processes of non-stationary nonlinear plants by intellectual selforganized control systems. *H&ES Research*. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 8–14. (in Russian).





# СВЯЗЬ

## 10–13.05

## 2016

Международная выставка  
информационных  
коммуникационных  
технологий.

 **ЭКСПОЦЕНТР**

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)

# РАЗВИТИЕ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ И ПУСКОМ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УСТРАНЕНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

## Минаков

### Евгений Петрович,

д.т.н., профессор, профессор кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, [ep.minakov12345@mail.ru](mailto:ep.minakov12345@mail.ru)

## Тарасов

### Анатолий Геннадьевич,

к.т.н., докторант Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, [Atol-77@mail.ru](mailto:Atol-77@mail.ru)

## Боровской

### Евгений Павлович,

научный сотрудник научно-испытательного центра 1-го государственного испытательного космодрома «Плесецк», г. Мирный, Россия, [windspirit@rambler.ru](mailto:windspirit@rambler.ru)

## Ключевые слова:

автоматизированная система управления, нештатная ситуация, безопасность, логико-графическая модель, супервизорное управление, робот.

## АННОТАЦИЯ

Постановка проблемы: активное внедрение автоматизированных систем в процессы управления и, соответственно, сокращение эксплуатирующего персонала, с одной стороны, и принципиальная ограниченность привлечения персонала для устранения нештатных ситуаций с позиций безопасности, с другой стороны, требуют решения задачи автоматизации процесса устранения неисправности для обеспечения необходимого уровня оперативности и безопасности технологических процессов в целях повышения эффективности. Устранение нештатных ситуаций при подготовке ракет космического назначения к пуску на стартовом комплексе представляет экстремальную для человека сферу деятельности, связанную с проведением работ с пожаро- и взрывоопасными веществами. В рамках данной работы обосновывается целесообразность применения робототехнических средств с целью повышения безопасности и оперативности устранения нештатных ситуаций и ликвидации последствий аварий. Обосновываются показатели процесса подготовки ракет космического назначения к пуску, оптимизация которых за счет применения робототехнических средств, позволит повысить эффективность данного процесса. В качестве модели функционирования объекта управления предлагается логико-графическая модель «дерево функционирования» с учетом изменения состояния объекта при воздействии опасных факторов. Сложность разработки подробной модели внешней среды робота в условиях возникновения нештатных ситуаций, характеризуемая существенной неопределенностью, предполагается разрешить применением супервизорного управления. Супервизорное управление освобождает человека от непрерывного управления и возлагает на него интеллектуальные функции, а также не требует использования подробной модели внешней среды робота, создание которой является сложной задачей. Новизна подхода состоит в том, что при управлении технологическими процессами концепция «приемлемого» риска реализуется для всех возможных состояний объекта, а именно безопасного, опасного, аварийного. На практике создание адаптивных автоматизированных систем управления сдерживается недостаточной разработанностью методов их синтеза, а также недостатком соответствующих технических средств устранения нештатных режимов функционирования. Практическая значимость: сформулирована общая постановка задачи синтеза робототехнической подсистемы автоматизированной системы подготовки и пуска для автоматизации устранения нештатных ситуаций.



## Введение

Развитие теории и практики автоматизированных систем управления (АСУ) связано с количественным и качественным расширением сферы их применения. Анализ сфер применения и выполняемых АСУ функций показал, что данные системы фактически не применяются для устранения нештатных или аварийных режимов функционирования объекта управления, а лишь обеспечивают фиксацию нештатных режимов функционирования средствами контроля и сигнализируют об этом оператору средствами звуковой и световой сигнализации. При этом устранение нештатной ситуации (НшС) обеспечивается силами эксплуатирующего персонала (ЭП) без участия либо с минимальным участием АСУ. Таким образом, возникает противоречие, когда в штатном режиме работы в целях обеспечения безопасности технические средства АСУ контролируют действия оператора, а в случае возникновения НшС более безопасной становится работа ЭП.

Таким образом, в настоящее время актуальной является задача создания адаптивных АСУ сложными техническими системами для автоматизации процесса устранения неисправности с целью обеспечения необходимого уровня оперативности и безопасности технологических процессов подготовки и пуска ракет космического назначения (РКН) [1].

На практике создание адаптивных АСУ сдерживается недостаточной разработанностью методов их синтеза, а также недостатком соответствующих средств устранения нештатных режимов функционирования.

Актуальность данного исследования определяется необходимостью решения следующих задач:

- повышение эффективности функционирования существующих автоматизированных систем управления;
- разработка новых методов синтеза АСУ;
- расширение сферы применения АСУ для случаев, когда объект управления является сложной динамической многопараметрической системой, функционирующей в условиях существенной неопределенности.

## Выявление показателей эффективности процесса подготовки и пуска РКН

В процессе подготовки и пуска (ПП) РКН необходимым требованием является своевременное выполнение операций технологического графика, так как выведение космического аппарата (КА) в заданную точку орбиты возможно при условии пуска РКН с конкретного космодрома в строго определенные интервалы времени (рис.1).

Время подготовки РКН к пуску складывается из времени подготовки РКН по технологическому графику  $T_{\text{П}}$  и времени восстановления работоспособного состояния систем и агрегатов технологического оборудования и технических систем в случае возникновения неисправности  $T_{\text{В}}$ :

$$T_{\text{Ф}} = T_{\text{П}} + T_{\text{В}},$$

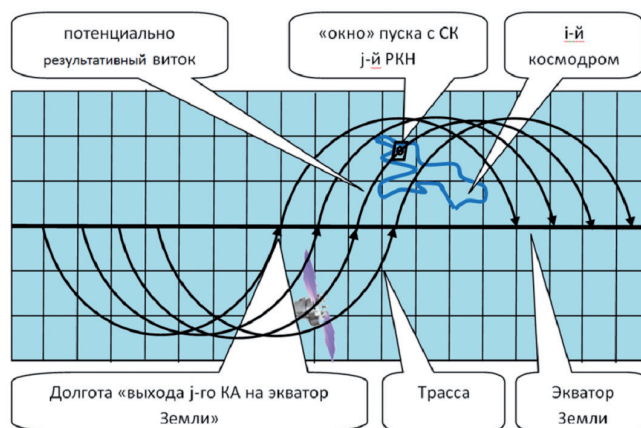


Рис. 2. Схема выведения КА в заданную точку орбиты

где  $T_{\text{В}}$  – время восстановления работоспособного состояния,  $T_{\text{В}} = T_{\text{П}} + T_{\text{У}}$ ;

$T_{\text{П}}$  – время поиска места неисправности;

$T_{\text{У}}$  – время устранения неисправности.

Многочисленные работы в области контроля и диагностики технического состояния систем и агрегатов технологического оборудования и технических систем направлены на уменьшение времени поиска места неисправности, и очень мало внимания уделяется проблеме автоматизации процесса устранения неисправности. Сравнительный анализ действий ЭП и технических средств при устранении неисправности показал, что технические средства имеют ряд преимуществ:

- обладают большим быстродействием;
- характеризуются высокой точностью выполнения операций;
- не подвержены эмоциональным переживаниям (психологическая устойчивость);
- могут выполнять требуемые функции в условиях заражения и загрязнения окружающей среды.

Другой важный показатель процесса подготовки РКН к пуску обоснован человеческими жизнями, которыми испытатели пожертвовали ради освоения космоса во благо человечества. Вопросы обеспечения безопасности процессов ПП РКН рассматривались в работе [2]. Для повышения безопасности процессов ПП РКН необходимо уменьшать вероятность возникновения НшС, за счет повышения надежности оборудования СК, обучения и тренажа личного состава боевых расчетов, исключения условий возникновения НшС, а также повышать вероятность выхода из НшС за счет совершенствования технических средств обнаружения и распознавания НшС, применения технических средств поддержки принятия решения, надежной (безошибочной) реализации решения. Эффективность процесса подготовки РКН к пуску можно представить в виде вероятности  $P_{\text{ВЗ}}(t)$  выполнения задачи подготовки РКН за время  $t \leq T_{\text{Ф}}$ :

$$P_{\text{ВЗ}}(t) = K_{\text{ОГ}}^{\text{РКН}} K_{\text{ОГ}}^{\text{ТО}} P_{\text{Ф}}^{\text{КА}}(t) = K_{\text{Г}}^{\text{РКН}} P_{\text{Ф}}^{\text{РКН}}(t) K_{\text{Г}}^{\text{ТО}} P_{\text{Ф}}^{\text{ТО}}(t) P_{\text{Ф}}^{\text{КА}}(t),$$

где  $K_{OG}^{PKH}$  – вероятность того, что к моменту запуска РКН будет готова к функционированию (применению) и отработает безотказно на активном участке полета;  
 $K_G^{PKH}$  – вероятность того, что к моменту запуска РКН будет готова к функционированию (применению);  
 $P_{\phi}^{PKH}$  – вероятность того, что в процессе применения РКН отработает безотказно на активном участке полета;  
 $K_{OG}^{TO}$  – вероятность того, что к моменту начала подготовки РКН технологическое оборудование (ТО) будет готово к функционированию (применению) и отработает безотказно в процессе подготовки РКН;  
 $K_G^{TO}$  – вероятность того, что к моменту начала подготовки РКН технологическое оборудование будет готово к функционированию (применению);  
 $P_{\phi}^{TO}$  – вероятность того, что ТО отработает безотказно в процессе подготовки РКН;  
 $P_{\phi}^{KA}$  – вероятность выполнения задачи КА при выведении его на заданную орбиту.

В современных условиях возникновение в ходе процесса подготовки РКН к пуску нештатных ситуаций (НшС) приводит в ряде случаев к более чем двукратному превышению фактического  $T_{\phi}$  времени подготовки РКН над плановыми. Это приводит к переносам сроков пуска РКН и, как следствие, к снижению уровня их эксплуатационно-технической готовности. Для обеспечения функционально-технологической надежности процесса подготовки РКН требуется оперативно парировать возникающие задержки, т.е. оперативно находить управленческие решения, которые позволили бы свести к минимуму отрицательное влияние возмущающих факторов на подготовку РКН.

### Логико-графическая модель функционирования объекта управления

Одним из первых этапов проектирования АСУ традиционно является построение математической модели объекта управления. Однако в случае возникновения НшС это сделать затруднительно, так как для построения модели недостаточно априорной (т.е. доступной до создания АСУ) информации. В необходимости разрешения данного противоречия и заключается основная проблема, возникающая при создании адаптивных АСУ.

В классическом варианте АСУ рассматривается как система, состоящая из двух основных подсистем: управляющей и управляемой, т.е. из субъекта и объекта управления (рис. 2) [3].

В рамках решения задачи автоматизации процесса устранения неисправностей и ликвидации последствий аварий основное внимание следует уделить подсистеме идентификации состояний среды и объекта управления и подсистеме выработки управляющих воздействий.

Задача идентификации заключается в построении математических моделей того или иного типа на основе результатов наблюдений за поведением объектов и исследовании их свойств. Построение математических моделей, в основном, осуществляется двумя способами: аналитическим и на основе эксперимен-

тальных данных, а также путем их комбинаций. Для моделирования НшС и аварийных ситуаций получение экспериментальных данных затруднительно, в связи с чем основным является аналитический метод, который основывается на «расщеплении» системы на более простые подсистемы, свойства которых известны из ранее накопленного опыта, наблюдений за поведением объекта с позиции законов физики, химии, механики т.д. Для построения модели функционирования объекта управления (ОУ) в нештатных и аварийных ситуациях целесообразно использовать более общие классы моделей, чем аналитические, например, матричные (статистические) и информационные модели, которые относятся к абстрактным моделям.



Рис. 2. Типовая структура АСУ

Подобные модели невозможно применить для непосредственного формирования управления, так как они требуют предварительной конкретизации, которая осуществляется путем учета конкретной информации о фактическом поведении ОУ. Недостаток априорной информации о ОУ возможно компенсировать апостериорной информацией о нем, т.е. окончательный синтез модели ОУ предлагается осуществлять не до начала эксплуатации АСУ, как обычно, а уже непосредственно в процессе ее эксплуатации в адаптивном режиме.

Для определения класса моделей предлагается разрабатывать логико-параметрическую модель «дерево функционирования» сложной технической системы [4], которая позволит повысить достоверность оценок интегральных рисков реализации нештатных ситуаций за счет максимального учета возможных состояний агрегатов и оборудования системы. Новизна данной модели заключается в том, что при управлении технологическими процессами концепция «приемлемого» риска реализуется для всех возможных состояний объекта, а именно безопасного, опасного, аварийного.

Для разработки логико-графической модели «дерево функционирования» необходимо разработать модели, представленные на рис. 3.

На первом этапе разрабатывается модель штатного функционирования, в которой отражаются состояние задействованного оборудования системы в каждом режи-

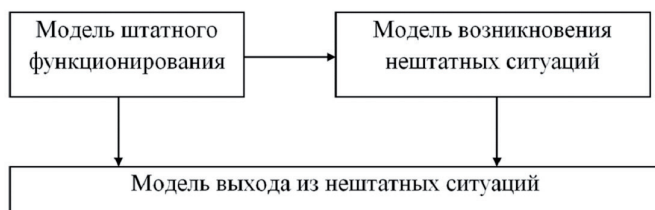


Рис. 3. Схема взаимосвязи моделей возникновения нештатных ситуаций и выхода из них

ме работы и условия перехода из одного режима в другой.

На втором этапе разрабатывается логико-параметрическая модель возникновения НшС, в которой отражаются инициирующие события возникновения НшС и параметрические критерии последствий и эскалации НшС.

На третьем этапе разрабатывается модель выхода из НшС, в которой отражаются контролируемые параметры, по которым фиксируется факт возникновения НшС, и защитные меры (блокировки) с целью парирования отказов и предотвращения эскалации опасной ситуации в случае ее возникновения. Защитные меры могут быть реализованы в автоматизированной системе управления технологическими процессами, противоаварийной автоматической защите (ПАЗ) (предохранительные клапаны, мембраны), физических барьерах защиты (обвалование, огнезащитные покрытия, взрывоустойчивое исполнение и т.п.).

На четвертом этапе разрабатывается модель «дереву функционирования», которая объединяет предыдущие модели и отражает свойство живучести системы, которое заключается в возможности сохранять и восстанавливать способность к выполнению основных функций в заданном объеме при изменении структуры системы и (или) алгоритмов и условий ее функционирования вследствие непредусмотренных регламентом штатной работы опасных факторов. В качестве опасных факторов могут выступать отказы элементов системы, в том числе ошибки обслуживающего персонала, входящего в состав системы (изменение свойств системы), а также изменение условий функционирования системы (изменение свойств среды).

### Структура АСУ с применением робототехнических средств

На этапе проектирования возможно максимально учесть изменения свойств системы, однако в отношении изменений свойств среды это сделать не представляется возможным. В связи с этим в подсистеме выработки управляющих воздействий должны быть заложены адаптивные алгоритмы управления.

При проектировании адаптивной АСУ возникает задача выбора определенной абстрактной модели ОУ. К модели предъявляют ряд довольно жестких требований, связанных с тем, что эта модель должна обеспечивать выработку управляющего воздействия в АСУ. Это означает, что данная модель должна обеспечивать решение следующих задач:

- формирование обобщенных образов состояний ОУ на основе обучающей выборки (обучение);
- идентификацию состояния ОУ на основе его выходных параметров (распознавание);
- определение влияния входных параметров на перевод ОУ в различные состояния (обратная задача распознавания);
- прогнозирование поведения ОУ в условиях полного отсутствия управляющих воздействий;
- прогнозирование поведения ОУ при различных вариантах управляющих воздействий.

Анализ существующих систем управления (ручного, автоматического, автоматизированного и роботизированного) показал, что признаки адаптивного управления заложены в интеллектуальных системах управления и системах с применением роботов. Среди особенностей роботов выделяют следующие:

- автономность, т.е. способность выполнять сложные и завершённые действия или производственные операции без непосредственного вмешательства человека;
- адаптивность, т.е. способность к целенаправленному изменению своего поведения под влиянием изменений внешних условий и к обучению в процессе взаимодействия с внешней средой;
- антропоморфизм, т.е. наделение робота физическими (силовыми), функциональными (двигательными) и интеллектуальными способностями.

В дальнейшем под роботом ПП РКН будем понимать автоматическое средство, самостоятельно осуществляющее отдельные операции ПП РКН в соответствии с информацией об окружающей обстановке и способное целенаправленно изменять свое поведение во внешней среде в процессе многократного применения по назначению. Структурно-функциональная схема робота (рис. 4) включает в себя четыре собственные подсистемы: информационно-измерительную (сенсорную), управляющую, исполнительную (двигательную) и коммуникационную (связную), а также ОУ, в котором реализуется технологический или другой процесс, внешняя среда, оказывающая воздействие как на процесс, так и на самого робота в процессе функционирования и смежные системы, с которыми робот вступает во взаимодействия для повышения эффективности выполнения целевых задач.

Таким образом, для решения задачи автоматизации процесса устранения неисправностей структуру АСУ необходимо дополнить робототехнической подсистемой (рис. 5).

Содержательную постановку задачи автоматизации устранения неисправности можно сформулировать следующим образом.

Пусть состояние ОУ, в качестве которого выступают объекты ракетно-космического комплекса (РКК), в момент времени  $t$  характеризуется вектором параметров  $\vec{p}_{oy}(t)$ , а состояние окружающей среды в этот же момент времени – вектором параметров:  $\vec{p}_{срды}(t)$ .

Факторы, воздействующие на поведение ОУ, разделим на две группы:

– воздействие окружающей среды в момент времени  $t$ , не зависящее от человека:  $f_{\text{среды}}(j,t)$ ;  
 – воздействие управляющей АСПП в момент времени  $t$ :  $f_{\text{АСПП}}(j,t)$ .

Состояния ОУ в моменты времени  $t$  обозначим  $S(j,t)$ , подмножество целевых состояний –  $Z(j,t)$ .

Синтез РТС АСПП в основном сводится к разработке математической модели ОУ, которая должна обеспечить генерацию такого набора управляемых факторов  $f_{\text{РТПАСУ}}(j,t)$ , фактическое воздействие которых на ОУ в очередной цикл управления с максимальной возможной вероятностью переведет его в заранее заданное безопасное целевое состояние  $Z(j,t)$ .

Функционирование РТС под управлением АСПП, которая включает в контур управления человека-оператора, предопределяет в качестве предпочтительного супервизорное управление. Вопросы супервизорного управления манипуляционными роботами подробно рассмотрены в работе [5]. Супервизорное управление освобождает человека от непрерывного управления и возлагает на него интеллектуальные функции, которые нереализуемы локальной системой управления автономно. Супервизорное управление не требует использования подробной модели внешней среды робота, создание которой является сложной задачей. Интеллект человека-оператора, наблюдающего рабочую зону робота с помощью системы технического зрения, позволяет ему сформировать план выполнения элементарных действий робота, соответствующий конкретной задаче с учетом всех особенностей внешней среды.

**Заключение**

Устранение НшС при подготовке РКН к пуску на стартовом комплексе представляет экстремальную для человека сферу деятельности, связанную с проведением работ с пожаро- и взрывоопасными веществами. Таким образом, назрела необходимость замены человека на технические средства в процессах устранения НшС, в качестве которых предлагается использовать роботы. Структура АСУ с РТС и неопределенность факторов возникновения НшС предопределяют применение супервизорного управления РТС, которое не требует разработки подробной модели внешней среды робота.

**Литература**

1. Тарасов А.Г. Перспективы создания робототехнических средств и комплексов подготовки и пуска ракет космического назначения // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2014. №6. С. 72–75.



Рис. 4. Структурно-функциональная схема РТС

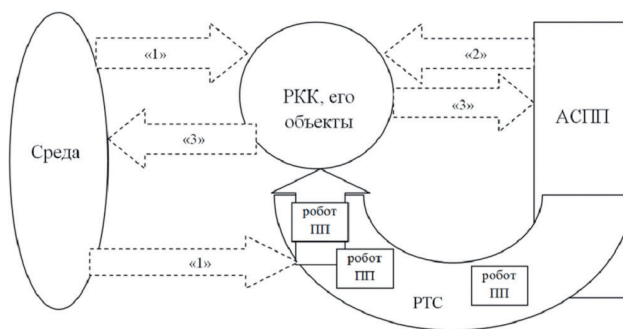


Рис. 5. Графическое представление модели применения РТС ПП РКН

2. Федоров А.В. Обеспечение безопасности процесса функционирования стартового комплекса на основе анализа нештатных ситуаций. СПб: ВКА им. А.Ф.Можайского. 2004. 136 с.

3. Симанков В.С., Луценко Е.В. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов: Монография (научное издание). Краснодар: Технический университет Кубанского государственного технологического университета. 1999. 318 с.

4. Тарасов А.Г., Дорожки И.В. Логико-параметрический подход к моделированию живучести автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения в условиях возникновения нештатной ситуации // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2015. №3. С. 38–44.

5. Кулаков Ф.М. Супервизорное управление манипуляционными роботами. Научные основы робототехники. М.: Наука. 1980. 448 с.

**Для цитирования:**

Минаков Е.П., Тарасов А.Г., Боровской Е.П. Развитие структуры автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения с целью автоматизации процессов устранения нештатных ситуаций // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 16–21.

## THE DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR PREPARATION AND LAUNCH OF SPACE ROCKETS TO AUTOMATE PROCESSES OF REMOVING EMERGENCY SITUATIONS

**Minakov Evgeny Petrovich,**

St. Petersburg, Russian, ep.minakov12345@mail.ru

**Tarasov Anatoly Gennadevich,**

St. Petersburg, Russian, Atol-77@mail.ru

**Borovskoi Evgeny Pavlovich,**

Mirnyi, Russian, windspiritt@rambler.ru

### Abstract

**Problem:** active introduction of automated systems management processes and, consequently, reduce operational personnel, on the one hand, and the fundamental limitations of attracting staff to address emergency situations from the standpoint of security, on the other hand, requires solving the problem of automating the process of troubleshooting to ensure the necessary operability level and safety of production processes in order to increase efficiency. Elimination of emergency situations in the preparation of space rockets to launch at the launch complex is an extreme human activity associated with the work with fire and explosive substances. The article grounds the expediency of the robotic tools utilization to improve the safety and efficiency of emergencies elimination and consequences of accidents liquidation. In this paper indications of the preparing process on space rockets for launch optimization by robotic tools are substantiated, what will improve the efficiency of the process. As a model of the control object functioning is proposed logical-graphic model "tree operation" with the state of the object changes when exposed to hazards. The complexity of developing a detailed external environment robots model in the emergency situations characterized by substantial uncertainty, is expected to allow the use of supervisory control. Supervisory control frees man from the continuous management and holds his intelligence, and does not require a detailed model of the external environment of the robot, the creation of which is a difficult task. The novelty of the approach is that in the process control "acceptable" risk concept occurs for all possible objects states, namely a safe, dangerous and emergency. In practice, creation of adaptive automatic control

systems is constrained by insufficient development of methods for their synthesis, as well as the lack of appropriate technical means to remove emergency modes of operation. Practical significance: a general statement of the problem of synthesis robotic subsystem automated system of preparation and launch for automation to eliminate emergency situations.

**Keywords:** computer-based system, emergencies, safety, logic-graphic model, supervisory control, robot.

### References

1. Tarasov A.G. Prospects of creation of robotic tools and systems training and startup space rockets. H&ES Research. 2014. Vol.6. No. 6. Pp. 72–75. (In Russian).
2. Fedorov A.V. Obespechenie bezopasnosti processa funkcionirovaniya startovogo kompleksa na osnove analiza neshtatnyh situacij [Safety of process of functioning a starting complex on the basis of the analysis emergency situations]. Saint-Petersburg: Military space Academy named after A.F.Mozhaisky. 2004. 136 p. (In Russian).
3. Simankov V.S., Lutsenko E. V. Adaptivnoe upravlenie slozhnymi sistemami na osnove teorii raspoznavaniya obrazov: Monografiya (nauchnoe izdanie) [Adaptive control of complex systems based on the theory of pattern recognition. Monograph (scientific publication)]. Krasnodar: Technical University of Kuban state technological University. 1999. 318 p. (In Russian).
4. Tarasov A.G., Doroghko I.V. Logically-parametric approach to survivability simulation of automated systems preparation and launching of space rockets in case of emergency. H&ES Research. 2015. Vol.7. No. 3. Pp. 38–44. (In Russian).
5. Kulakov F.M. Supervizornoe upravlenie manipulyacionnymi robotami. Nauchnye osnovy robototekhniki [Supervisory control of manipulation robots. Scientific fundamentals of robotics]. Moscow: Nauka. 1980. 448 p. (In Russian).

### Information about authors:

Minakov E.P., Ph.D., professor in department of organizational-technical systems for space purposes, Military Space Academy;

Tarasov A.G., Ph.D., doctoral student, Military Space Academy;

Borovskoy E.P., research officer of the research center of the Pleseck cosmodrome.

### For citation:

Minakov E.P., Tarasov A.G., Borovskoi E.P. Method of justification the intervals of measuring instruments verification. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 16–21. (in Russian).

# СПОСОБ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ

**Левадный**

**Юрий Валерьевич,**

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

**Телеш**

**Вадим Анатольевич,**

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

## Ключевые слова:

моделирование радиолокационного  
изображения, радиолокационное  
изображение, трехмерная модель  
местности, радиолокационная станция.

АННОТАЦИЯ

Основным видом исходной информации при создании и обновлении топографических карт служат материалы дистанционного зондирования Земли. Они могут быть получены авиационными и космическими средствами, оснащенными различными видами съемочной аппаратуры. Рабочий диапазон такой аппаратуры составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны). В данной статье рассмотрены изображения, моделируемые в метровом диапазоне длин волн, аналогичные снимкам, полученным с помощью специальной аппаратуры.

В настоящее время одним из самых развивающихся и перспективных способов дистанционного зондирования Земли является радиолокационная съемка земной поверхности. Специальная аппаратура позволяет получать изображения земной и водной поверхности, а также расположенных на них объектов в любых метеорологических условиях, независимо от времени года и суток. Разрешающая способность получаемых радиолокационных изображений (РЛИ) близка к оптическим изображениям [1].

На этапах проектирования и создания систем радиолокационного зондирования Земли необходимо знать, какого качества будут получаться снимки при разных условиях съемки и параметрах используемой аппаратуры. Для правильного прогноза ожидаемых результатов необходимо моделировать процесс получения РЛИ, начиная от момента излучения радиоимпульса и заканчивая формированием изображения. При этом модель должна учитывать все факторы, влияющие на качество получаемых РЛИ.

Однако существующие методы моделирования процесса радиолокационной съемки представляют собой сложные алгоритмы и требуют значительных вычислительных затрат.

Таким образом, имеет место проблемная ситуация, заключающаяся, с одной стороны, в стремительном развитии технических средств получения РЛИ земной поверхности, а с другой стороны, в необходимости выбора оптимальных параметров аппаратуры и баллистического построения орбиты для получения качественных снимков.

Для решения указанного противоречия необходимо сначала провести анализ существующих методов моделирования РЛИ и выявить основные недостатки. Затем предложить свой подход к решению данной проблемы, позволяющий повысить наглядность моделирования РЛИ. В данной статье предложен способ моделирования РЛИ, в котором законы прямолинейного распространения оптических лучей частично применяются к моделированию распространения радиоволн.

В работе предложен способ моделирования радиолокационных изображений (РЛИ), в котором законы прямолинейного распространения оптических лучей частично применяются к моделированию распространения радиоволн.

Рассмотрим известные способы моделирования РЛИ. Одним из них является способ синтеза отражательных характеристик сложных радиолокационных целей в коротковолновом диапазоне длин волн [2]. Сначала формируются основные структуры геометрических примитивов, которые обладают определенной пространственной конфигурацией и наделены определенным набором электрофизических свойств: точка, треугольник и ребро. Из примитивов создаются элементы сцены, каждому из которых присваивается свой индекс, характеризующий объект как уникальный элемент радиолокационной сцены. Далее из элементов формируются исследуемые объекты наблюдения.

Рассматриваемый способ позволяет моделировать радиолокационные характеристики сложных объектов на разных участках траектории движения носителя радиолокатора с синтезированной апертурой антенны (РСА). При этом используется дискретное представление траектории движения в виде совокупности отдельных положений РСА в пространстве относительно сложного объекта. Каждое положение РСА характеризуется координатами фазового центра антенной системы в системе координат наблюдаемой сцены, вектором положения, характеризующим направление максимума диаграммы направленности антенны, координатами поляризационных ортов системы и вектором скорости носителя РСА. Для расчета отраженного сигнала на данном участке траектории движения РСА определяется видимая часть поверхности объекта с заданного ракурса наблюдения. С использованием известных алгоритмов затенения и маскировки элементов сложного объекта из сформированных ранее массивов экземпляров структур треугольников и ребер геометрической модели выбираются номера элементов, видимых РСА с данного ракурса. Соответственно при расчете отраженного от объекта сигнала используются только видимые в данный момент времени элементы поверхности объекта.

Недостатком данного способа аналога является необходимость иметь в качестве исходных данных разработанную геометрическую модель реальной цели и фонового образования с их отдельными электродинамическими и статистическими моделями. Также недостатком является невозможность получения РЛИ сложных трёхмерных сцен местности.

Известен способ получения РЛИ объектов наблюдения сложной формы на основе асимптотических методов и численных методов решения задач дифракции [3]. Способ включает в себя решение задач: геометрического моделирования, дифракции электромагнитных волн на поверхности объекта сложной формы и моделирование траектории формирования и обработки траекторного

сигнала. Аппроксимация поверхности объекта осуществляется на основе использования бикубических поверхностей в форме Кунса, В-сплайнов, Безье и Эрмита, а также модулей-трубок, с последующей дискретизацией и представлением в виде набора facets и кромок. При решении задачи дифракции используются асимптотические методы: физической оптики, эквивалентных токов, элементарных краевых волн и строгий – метод интегральных уравнений, основанный на сведении граничных условий к сингулярным и гиперсингулярным интегральным уравнениям, решение которых производится численно методом дискретных особенностей.

Недостатком данного способа является отсутствие возможности получения РЛИ наблюдаемой трёхмерной сцены в целом.

Также известен способ построения РЛИ подстилающей поверхности для радиолокационных систем с доплеровским облучением луча на основе информации, получаемой о поверхности в оптическом диапазоне волн, описанный в [4]. В указанном способе предлагается подход к построению РЛИ на основе оптических изображений. Исходными данными является оптическое изображение, преобразованное в цифровую форму с фиксированной величиной элемента разрешения, инвариантного к его положению по углу и дальности. Это изображение – кадр прямоугольной формы, который формируется в географической системе координат с определенной ориентацией. РЛИ формируется также в географической системе координат, где направление носителя совпадает с ориентацией (с одной из осей) кадра оптического изображения. Это позволяет получать РЛИ, с наибольшей точностью воспроизводящие исходные оптические при прочих равных условиях.

Недостатком способа является наличие в качестве исходной информации оптического изображения местности, РЛИ которой необходимо получить, кроме того, качество и достоверность моделируемого РЛИ зависит от качества оптического изображения.

Из всех рассмотренных способов наиболее близким по своей сущности является способ формирования РЛИ трёхмерной сцены наблюдения, которая представляет собой трёхмерное геометрическое описание сцены [5].

Входной информацией в данном способе является пространственно-энергетическая модель участка местности, которая представляет собой трёхмерное геометрическое описание сцены. Поверхности каждого объекта поставлены в соответствие значения электрофизических свойств, определяющие отражательно-излучательные характеристики. Для учета отражательно-излучательных характеристик поверхностей объектов сцены при расчёте РЛИ используется база данных моностатических и бистатических зависимостей для типовых естественных фоновых и искусственных поверхностей. С помощью этой базы данных обеспечивается получение значений удельной эффективной площади рассеивания с учетом параметров моделирования работы радиолокационной станции с синтезированием апертуры.

При расчете энергетического портрета сцены учитывается тип поверхности объектов сцены и их пространственная ориентация, разрешение РСА, затемнение, влияние передних кромок и вертикальных стенок, смещение изображения высотных объектов сцены, а также двукратное переотражение от элементов объектов местности и фоновой поверхности. Синтезирование модельного РЛИ происходит с учетом флуктуаций отраженных сигналов, шумов приемного устройства, характеристик датчика системы наблюдения.

Недостатком способа-прототипа является отсутствие преобразования трехмерных координат объектов наблюдения в плоские координаты, учитывающего особенности формирования РЛИ, а яркость элементов моделируемого изображения зависит от задаваемых электрофизических свойств объектов наблюдения и не меняется при изменении параметров моделирования.

В данной статье предлагается способ моделирования РЛИ трёхмерной сцены наблюдения в котором распространение радиоволн имитируется законами распространения оптического излучения и в вычислениях используются законы геометрической оптики. Схожесть получаемого изображения с оригинальным обеспечивается путем моделирования всей трехмерной сцены.

Решение поставленной задачи заключается в решении обратной радиолокационной фотограмметрической задачи и вычислении яркости элементов моделируемого изображения. При этом изображение формируется на экране монитора в градациях серого цвета, каждый пиксель которого имеет яркость  $V, V \in [0...255]$ , где 0 соответствует уровень чёрного цвета, а значению 255 – уровень белого цвета.

Сначала создается контурное изображение трехмерной сцены в координатах наклонная дальность  $R$ , частота Доплеровского сдвига  $f_{д}$ . Затем осуществляется закрашивание элементов контурного изображения яркостью  $V_{эл}$ , в зависимости от угла наблюдения  $\alpha$  граней многогранников сцены, диэлектрической проницаемости вещества  $\epsilon_{эл}$  граней и коэффициента затемнения  $K_{зам}$ . После этого строится радиолокационная тень.

Рассмотрим более подробно шаги способа моделирования РЛИ трёхмерной модели наблюдаемой сцены.

**1. Первый шаг** – формирование контурного изображения трёхмерной сцены осуществляется в результате пересчёта трехмерных координат вершин объектов сцены  $(X, Y, Z)$  в плоские координаты РЛИ – наклонную дальность  $R$  и частоту Доплеровского сдвига  $f_{д(i)}$  в фиксированный момент времени  $t_i, i = i(1)L$ , где  $L$  – интервал синтезирования апертуры. Вычисления осуществляются по следующим формулам [6]:

$$R_j = \sqrt{(X_s - X_j)^2 + (Y_s - Y_j)^2 + (Z_s - Z_j)^2}, \quad (1)$$

$$f_{д(i)} = \frac{4f_0}{\tau_{j(i)}c^2} \left[ (X_{s(t_i)} - X_j) \left( \dot{X}_{s(t_i)} - \omega_3 Y_j \right) + (Y_{s(t_i)} - Y_j) \left( \dot{Y}_{s(t_i)} - \omega_3 X_j \right) + (Z_{s(t_i)} - Z_j) \dot{Z}_{s(t_i)} \right] \quad (2)$$

где  $(X_s, Y_s, Z_s)$  – координаты точки наблюдения;  $(X_j, Y_j, Z_j)$  – координаты  $j$ -ой вершины объекта трёхмерной сцены,  $j = j(1)F$ ;

$c$  – скорость света;

$f_0$  – несущая частота передатчика РСА;

$\omega_3$  – угловая скорость вращения Земли;

$\tau_{j(i)}$  – время задержки сигнала, отраженного от  $j$ -ой вершины.

В результате вычислений для каждой вершины многогранника объектов трёхмерной сцены определяется точка на моделируемом изображении. Точки, соответствующие вершинам одной и той же грани многогранника соединяются линиями, образуя элементы контурного изображения. Вершины многогранников, которые не видны из заданной точки наблюдения  $S$ , при пересчете координат не рассматриваются.

**2. На втором шаге** способа решается задача определения яркости закрашивания каждого элемента контурного изображения  $V_{эл}$ , по следующей формуле:

$$V_{эл} = B(\epsilon_{эл}, \alpha, R) = \lfloor E(\epsilon_{эл}, \alpha) K(\alpha) K_{зам} \rfloor + D, \quad (3)$$

где  $E(\epsilon_{эл}, \alpha)$  – относительная амплитуда отраженной волны, зависящая от диэлектрической проницаемости вещества граней многогранников  $\epsilon_{эл}$  и угла наблюдения этих граней  $\alpha$ . Примем амплитуду нормально падающей плоской волны за 1. Тогда относительная амплитуда отраженной волны вычисляется по формуле [8]:

$$E(\epsilon_{эл}, \alpha) = \frac{2\sqrt{\epsilon_{эл}} \sin \alpha}{\sqrt{\epsilon_{эл} - 1}} e^{-\frac{2\pi}{\lambda} H_{изм} \sqrt{\epsilon_{эл} \cos^2 \alpha - 1}}, \quad (4)$$

где  $H_{изм}$  – минимальное расстояние от плоскости грани многогранника до точки, в которой измеряется амплитуда отраженной волны, соизмеримое с длиной волны зондирующего сигнала;

$\lambda$  – длина волны;

$\lfloor \bullet \rfloor$  – округление до наименьшего целого числа.

Диэлектрическая проницаемость вещества – это безразмерная величина, зависящая от агрегатного состояния вещества, а также от частоты зондирующего сигнала. При моделировании РЛИ диэлектрическая проницаемость вещества определяется материалом граней многогранников трёхмерной модели наблюдаемой сцены. Её значение выбирается из справочников.

Каждая грань многогранников трёхмерной сцены находится под определенным углом к лучу визирования этой грани из точки наблюдения. Яркость изображения этой грани изменяется соответственно с углом наблюдения. Чем ближе значение угла к  $0^\circ$ , тем меньше энергии зондирующего сигнала отразится в сторону приемника. Следовательно, тон этой грани будет приближаться к черному цвету. Чем ближе значение угла к  $90^\circ$ , тем больше энергии зондирующего сигнала отразится в сторону приёмника и, следовательно, тон грани будет ближе к белому цвету. Таким образом, для определения тона элементов контурного изображения необходимо вычислить соответствующий угол. Взаимное положение точки наблюдения и грани многогранника показано на рис. 1.



Угол наблюдения грани  $\alpha$  вычисляется по следующей формуле

$$\alpha = \arccos\left(\frac{AA'+BB'+CC'}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}\sqrt{A'^2+B'^2+C'^2}}\right), \quad (5)$$

где  $Ax+By+Cz+D=0$  – уравнение плоскости падающей радиоволны;

$A'x+B'y+C'z+D'=0$  – уравнения плоскостей грани многогранника.

Значение угла  $\alpha$  зависит от расположения точки наблюдения  $S$  относительно грани многогранника сцены.

При вычислении относительной амплитуды отраженной волны  $E(\varepsilon_{\text{эл}}, \alpha)$  следует учитывать явление полного отражения от границы раздела двух сред (воздух и объект наблюдения). Это происходит, когда угол падения радиоволны  $\alpha$  становится больше допустимого значения. При этом  $\sqrt{\varepsilon_{\text{эл}} \cos^2 \alpha - 1}$  становится чисто мнимой величиной, а падающая радиоволна распространяется вдоль границы поверхностной волны. При моделировании РЛИ исходные параметры следует задавать таким образом, чтобы выполнялось следующее неравенство  $\varepsilon_{\text{эл}} \cos^2 \alpha > 1$ .

Для установления связи между относительной амплитудой отраженной волны и значением яркости  $B_{\text{эл}}$  закрашивания элементов контурного изображения введен параметр перехода  $K$ . Вообще,  $B_{\text{эл}}$  зависит от многих факторов: материала объекта, шероховатости поверхности, характеристик аппаратуры, условий наблюдения и др. Здесь без потери общности будем считать, что значение параметра  $K$  изменяется по линейному закону и зависит от угла наблюдения грани многогранника  $\alpha$  следующим образом:

$$K = \lfloor 2,83\alpha \rfloor, \quad (6)$$

где  $\alpha \in [0..90^\circ]$  – угол наблюдения элементов трёхмерной сцены.

Таким образом, при  $\alpha = 0^\circ$  параметр перехода  $K=0$  и яркость закрашивания элемента контурного изображения  $B_{\text{эл}}$  будет минимальной, при  $\alpha = 90^\circ$  параметр перехода  $K=255$ , а яркость  $B_{\text{эл}}$  будет зависеть от относительной амплитуды отраженной волны  $E(\varepsilon_{\text{эл}}, \alpha)$  и коэффициента затемнения  $K_{\text{зат}}$ .

Коэффициент затемнения  $K_{\text{зат}}$  показывает, во сколько раз мощность принятого сигнала, отраженного от произвольной точки трёхмерной модели наблюдаемой сцены  $P_j$ , меньше мощности принятого сигнала  $P_0$ , отраженного от точки сцены, находящейся на наименьшем расстоянии до точки наблюдения  $R_0$ . Формула коэффициента затемнения имеет следующий вид

$$K_{\text{зат}} = \frac{P_j}{P_0}. \quad (7)$$

Из уравнения дальности радиолокации [9] мощность принятого сигнала отраженного от цели обратно пропорциональна наклонной дальности до этой цели

$$P_{\text{прин}} \sim \frac{1}{R^4}, \quad (8)$$

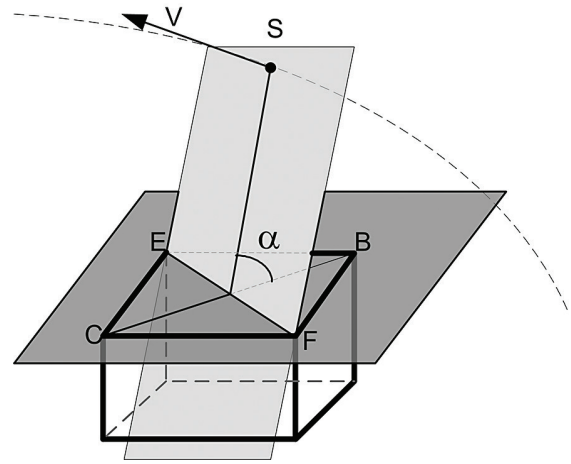


Рис. 1. Взаимное положение точки наблюдения и грани многогранника

При моделировании РЛИ для любой точки трёхмерной модели наблюдаемой сцены мощность принятого сигнала будет зависеть от наклонной дальности до этой точки. Тогда коэффициент затемнения можно записать следующей формулой

$$K_{\text{зат}} = \frac{P_j}{P_0} = \frac{R_0^4}{R_j^4}. \quad (9)$$

Таким образом, из формулы видно, что чем дальше расположена точка сцены от точки наблюдения, тем меньше будет коэффициент затемнения и, следовательно, меньше яркость изображения граней многогранников трёхмерной сцены.

Постоянная величина  $D$  в выражении 3 одинакова для каждого элемента контурного изображения. Она задается вручную таким образом, чтобы значение яркости элементов  $B_{\text{эл}}$  контурного изображения не превышало уровень белого цвета, а моделируемое РЛИ имело достаточную яркость, для нормального восприятия человеком.

**3. Третий шаг** – построение радиолокационных теней от трёхмерных объектов наблюдения. Предположим, что  $T$  – множество точек радиолокационной тени от трёхмерного объекта наблюдения. Тогда  $M_{\{k\}}$  – множество точек радиолокационной тени, возникающей при наблюдении объекта из  $k$ -ой точки интервала синтеза апертуры. Областью радиолокационной тени от трёхмерного объекта в данном случае будет являться пересечение всех участков теней, возникающих при наблюдении из каждой точки интервала синтеза апертуры  $L$  рис. 2:

$$T = \bigcap_{k=1}^L M_{\{k\}}. \quad (10)$$

Рассмотрим построение тени из  $k$ -ой точки интервала синтеза апертуры. На рис. 3 показано геометрическое построение радиолокационной тени для одной вершины трёхмерного объекта.

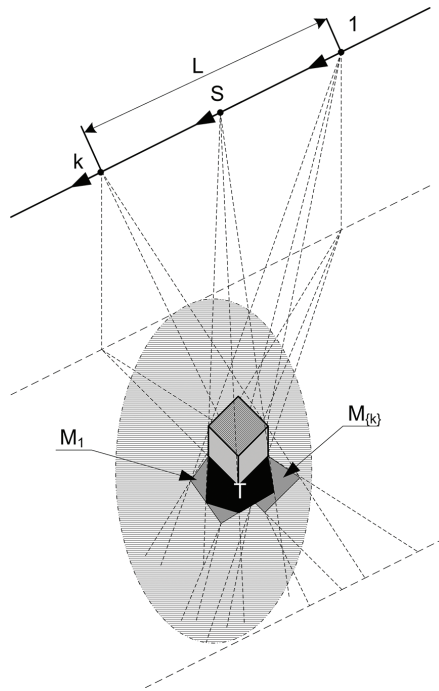


Рис. 2. Область радиолокационной тени от трехмерного объекта

Наклонная дальность SD отличается от наклонной дальности SB на величину радиолокационной тени  $t_j$  для j-ой вершины многогранника трехмерной модели наблюдаемой сцены, где  $j=j(1)F$ . Так как  $\Delta SOD$  и  $\Delta BCD$  являются подобными, то с учетом 1 величину  $t_j$  можно найти по формуле

$$t_j = \frac{H_{об} \sqrt{(X_S - X_D)^2 + (Y_S - Y_D)^2 + (Z_S - Z_D)^2}}{Z_S}, \quad (11)$$

где  $H_{об}$  – высота объекта наблюдения;  
 $(X_D, Y_D, Z_D)$  – координаты точки D (см. рис.3).

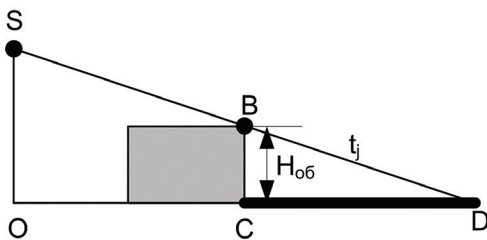


Рис. 3. Геометрическое построение радиолокационной тени для одной вершин трехмерного объекта

Для построения радиолокационной тени от трехмерного объекта необходимо вычислить величину  $t_j$  в каждой точке интервала синтезирования апертуры.

Новым в предлагаемом способе является то, что решение задачи моделирования РЛИ включает:

1. Построение контурного изображения наблюдаемой сцены путём пересчёта трёхмерных координат сцены  $(X, Y, Z)$  в плоские координаты РЛИ  $(R, f_d)$ .

2. Закрашивание элементов РЛИ оттенками серого цвета в зависимости от угла наблюдения  $\alpha$ , диэлектрической проницаемости вещества  $\epsilon_{эл}$  элементов изображаемого объекта и коэффициента затемнения  $K_{зат}$ .

Также новым является то, что сначала строится радиолокационная тень для каждой точки интервала синтезирования апертуры отдельно, а затем находится пересечение всех участков тени, которое является радиолокационной тенью трёхмерного объекта наблюдения.

Описанный способ реализован на современных средствах вычислительной техники. Разработан программный продукт, позволяющий моделировать РЛИ трёхмерных моделей при заданных параметрах радиолокационной аппаратуры и условиях съёмки, который может быть использован при разработке и создании радиолокационных станций зондирования Земли, а также при дешифрировании РЛИ.

**Литература**

1. Мельник Ю.А. Радиолокационные методы исследования Земли. М.: Советское радио. 1980. 262 с.
2. Борзов А.Б., Соколов А.В., Сучков В.Б. Методы цифрового моделирования радиолокационных характеристик сложных объектов на фоне природных и антропогенных образований // Журнал радиоэлектроники. № 3. 2000 г.
3. Школьный Л.А., Анфиногенов А.Ю., Тонких А.Н. Математическая модель радиолокационных портретов распределенных наземных (морских) объектов // Труды XXIII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», Выпуск 5. СПб.: 4 ЦНИИ МО РФ. 2005 г. 542 с.
4. Матвеев А.М. Построение модели и предобработка изображения подстилающей поверхности для радиолокационных систем с доплеровским обужением луча на основе информации, получаемой о поверхности в оптическом диапазоне. М.: «Электронный журнал». 2004 г.
5. Филиппских Е.Э. Особенности подготовки пространственно-энергетических моделей местности в СВЧ-диапазоне // Труды XXII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», Выпуск 4. М.: 4 ЦНИИ МО РФ, 2005 г. 218 с.
6. Шугаев Г.И., Андронов В.Г., Крайлюк А.Д. Математическая модель и алгоритм определения координат объектов космического радиолокационного наблюдения способом прямой фотограмметрической засечки, «Электромагнитные волны и электронные системы». М.: Изд. предприятие редакции журнала «Радиотехника» (ИПРЖР). 1997. № 5.
7. Теоретические основы радиолокации / Под ред. В.Е. Дулевича. М.: «Советское радио». 1978.
8. Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов. М.: «Советское радио». 1977 г. 176 с.
9. Справочник по радиолокации. Том 1. Основы радиолокации / Под ред. Я.С. Ицхоки. М.: «Советское радио». 1976 г. 456 с.

**Для цитирования:**

Левадный Ю.В., Телеш В.А. Способ моделирования радиолокационных изображений наземных объектов наблюдения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 22–27.

**A METHOD OF MODELING THE RADAR IMAGES OF ENGINEERING CONSTRUCTIONS**

**Levadny Yury Valerievich,**

St. Petersburg, Russia, levada74@mail.ru

**Telesh Vadim Anatolievich,**

St. Petersburg, Russia, pismo@telesh.ru

**Abstract**

The data from remote sensing of the Earth is the main source of information for creating and updating the topographic maps. It can be obtained by aircraft and space vehicles, with various kinds of survey equipment installed. The operating range of this equipment varies from fractions of a micrometer (visible optical radiation) to meters (radio waves). The images described in the article are simulated at one meter wavelengths and similar to the images obtained by means of special equipment.

Nowadays the radar survey of the earth surface is one of the most evolving and promising methods of the remote sensing of the Earth. Special equipment makes it possible to get images of earth and water surfaces and the objects situated there, irrespective of the season, the time of day and meteorological conditions. The resolution of the radar images obtained is close to the optical images.

When designing and creating the remote sensing of the Earth systems, it is essential to anticipate the quality of the images obtained under various survey conditions and the equipment parameters. It is necessary to simulate the process of producing a radar image, starting with the emission of the radio pulse and ending with the image generation, in order to predict the results properly. Moreover, the model must consider all the factors affecting the quality of the radar images obtained.

But the present methods of modeling the radar survey process are complex algorithms requiring significant computational efforts. Thus there is a problem situation: the technical means of obtaining the radar images of the earth surface develop rapidly while it is necessary to choose the optimum parameters for obtaining high-quality images.

To solve this contradiction, it is necessary first to analyze the existing methods of modeling the radar images, then to identify the major shortcomings, and in the end to offer a new approach allowing to increase the clearness of modeling the radar images. The article offers a method of modeling the radar images, in which the laws of optical ray rectilinear propagation are partly applied to the modeling of radio wave propagation.

**Keywords:** radar image, modeling of the radar images, 3D terrain model, remote sensing of the Earth, radar station.

**References**

1. Melnik Y.A. Radiolokatsionnye metody issledovaniya Zemli. [The Radar Methods of the Earth Exploration]. Moscow: Sovetskoe radio. 1980. 262 p. (In Russian.)
2. Borzov A.B., Sokolov A.V., Suchkov V.B. Methods of Numerical Simulation of the Radar Characteristics of Complex Objects on the Background of Natural and Anthropogenic formations. Zhurnal radioelektroniki. 2000. No. 3. (In Russian).
3. Shkolny L.A., Afinogenov A.Y., Tonkikh A.N. The Mathematical Model of Radar Pictures of Distributed Terrestrial (Naval) Objects. Moscow: The Transactions of the 23rd All-Russian Symposium "Radar Study of Natural Environments". Vol. 5. 2005. 542 p. (In Russian).
4. Matveev A.M. Building of the Model and Preprocessing of the Image of the Underlying Surface for Radar Systems with Doppler Finding Beam on the Basis of Information Obtained about the Surface in the Optical Range. Moscow: Elektronnyy zhurnal. 2004. (In Russian).
5. Philippikh E.E. Peculiarities of the Spatial-Energy Terrain Models Preparation in the VHF Range. Moscow: The Transactions of the 22nd All-Russian Symposium "Radar Study of Natural Environments". 2005. Vol. 4. 218 p. (In Russian).
6. Shugaev G.I., Andronov V.G., Krayliuk A.D. A Mathematical Model and Algorithm of Determination of Space Radar Observation Objects by Direct Photogrammetric Notch, "Electromagnetic Waves and Electronic Systems". Moscow: Ed. Enterprise "Radiotekhnika". 1997. No. 5. (In Russian).
7. Teoreticheskie osnovy radiolokatsii [The Theory of Radiolocation]. Russ. ed.: Dulevich V.E. Moscow: Sovetskoe radio. 1978. (In Russian).
8. Finkelstein M.I., Mendelson V.L., Kutev V.A. Radiolokatsiya sloistykh zemnykh pokrovov [The Radar Observations of Layered Ground Covers]. Moscow: Sovetskoe radio. 1977. 176 p. (In Russian).
9. A Handbook of Radiolocation. The Theory of Radiolocation. Ed. by Itskhoki J.S. Moscow: Sovetskoe radio. 1976. Vol. 1. 456 p. (In Russian).

**Information about authors:**

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

**For citation:**

Levadny Yu.V., Telesh V.A. A method of modeling the radar images of engineering constructions. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 22–27. (in Russian).

# ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ СЕЛЕКЦИИ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ ОТ ЛОЖНЫХ ЦЕЛЕЙ ТИПА ОБЛАКОВ ДИПОЛЬНЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ

## Коржавин

### Георгий Анатольевич,

д.т.н., профессор, генеральный директор  
ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
cri-granit@peterlink.ru

## Подоплёкин

### Юрий Фёдорович,

д.т.н., профессор, первый заместитель  
генерального директора по науке  
ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
cri-granit@peterlink.ru

## Мальцев

### Олег Григорьевич,

д.т.н., начальник научно-исследовательской лаборатории  
ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
cri-granit@peterlink.ru

## Ключевые слова:

многоканальная система селекции, ложные цели типа облаков дипольных отражателей, двухэтапная процедура селекции, оптимизация решений в «узкой» и «широкой» постановке, управление первичными порогами селекции.

## АННОТАЦИЯ

Постановка проблемы: постоянное развитие пассивных средств радиоэлектронного противодействия требует совершенствования способов защиты радиолокационных систем обнаружения от пассивных преднамеренных помех (ложных целей). Рассмотрена многоканальная система селекции надводных кораблей (НК) от ложных целей типа облаков дипольных отражателей, состоящая из нескольких радиолокационных каналов (РЛК) с единым устройством совместной обработки информации (УСОИ). Исследована двухэтапная процедура селекции, включающая предварительный этап (на котором в отдельных РЛК принимаются частные решения) и заключительный этап (на котором в УСОИ выносится окончательное решение). Приведены алгоритмы оптимизации двухэтапной процедуры селекции в «узкой» постановке, когда оба этапа оптимизируются независимо друг от друга. На заключительном этапе использованы решающие правила простого и взвешенного голосования. Представлена методика оптимизации параметров двухэтапной процедуры селекции в «широкой» постановке (при которой оба этапа оптимизируются одновременно) при вынесении итогового решения путём объединения частных решений по правилам простого и взвешенного голосования. Дана сравнительная количественная оценка оптимизированных в «узкой» и «широкой» постановке двухэтапных процедур селекции в системе, состоящей из двух и трёх РЛК. При оптимизации в «широкой» постановке результаты для решающего правила простого голосования получены с использованием оптимальных алгоритмов (обеспечивающих нахождение оптимальных первичных порогов селекции), а для решающего правила взвешенного голосования – с использованием субоптимальных алгоритмов (по которым определяются первичные пороги селекции, обеспечивающие такие одинаковые значения условной вероятности ложной селекции НК во всех РЛК, которые позволяют выполнить требование по заданной итоговой условной вероятности ложной селекции НК в системе). Показано, что управление первичными порогами селекции РЛК при совместной обработке информации (оптимизация в «широкой» постановке) позволяет улучшить вероятностные характеристики селекции и наиболее полно использовать потенциальные возможности многоканальной системы.

Одной из приоритетных задач, решаемых радиолокационными системами при обнаружении надводных кораблей (НК) в условиях преднамеренных помех, является [1] селекция НК от пассивных имитирующих помех – ложных целей типа облаков дипольных отражателей (ДО). При решении этой задачи целесообразно основное внимание уделять использованию различий в эхосигналах, обусловленных различиями в физической структуре НК и облака ДО и мало зависящих от мер по организации постановки помех.

К таким различиям, прежде всего, следует отнести различия спектрально-корреляционных характеристик межпериодных флуктуаций эхосигналов, таких как ширина спектральной плотности межпериодных флуктуаций и время их корреляции.

В радиолокационных задачах распознавания классов (типов) объектов отдельные устройства распознавания часто не могут обеспечить требуемую достоверность принимаемого решения, поэтому прибегают к их комплексированию.

Качество принимаемых решений в комплексной системе во многом определяется схемой анализа данных о наблюдаемых целях. Анализ может проводиться либо путём обработки всей совокупности первичных данных, либо путём объединения [2] в итоговое решение частных (предварительных) решений, принимаемых автономно (с использованием только собственной информации) в каждом отдельном канале, – комплексирование по входам или по выходам отдельных каналов соответственно. Технические и организационные ограничения могут сделать реализацию первой схемы затруднительной. Вторая схема, основанная на агрегировании первичных данных о наблюдаемых целях в частные решения, характеризуется меньшим объёмом обрабатываемой информации, что важно с точки зрения технических и организационных ограничений. Качество итогового решения в этом случае, очевидно, хуже, чем в первой схеме, поэтому актуальна задача его оптимизации. Оптимизация итогового решения возможна как в «узкой», так и «широкой» постановке.

При оптимизации итогового решения в «узкой» постановке характеристики частных решающих правил считаются заданными. Оптимизация в «широкой» постановке выполняется с учётом того, что возможно управление характеристиками частных решающих правил путём изменения соответствующих порогов.

В статье рассматривается комплексная система с двухэтапной процедурой селекции НК от облаков ДО, состоящая из нескольких радиолокационных каналов (РЛК) с единым устройством совместной обработки информации (УСОИ), и для алгоритма селекции, состоящего в сравнении решающей статистики каждого РЛК со своим порогом, приведена методика выбора порогов, обеспечивающих в комплексной системе максимальную условную вероятность правильной селекции облака ДО при заданной (малой) условной вероятности ложной селекции НК. Полагается, что выносимые

отдельными РЛК решения статистически независимы. Приводятся численные примеры.

### Отличительные признаки НК от облака ДО

Из литературных источников (например, [3]) известно, что при работе РЛК на одной несущей частоте значения ширины спектральной плотности (на уровне «–10 дБ») межпериодных флуктуаций огибающей эхосигналов от НК составляют 2...30 Гц, а от облака ДО – 33...130 Гц. Указанные различия в значениях ширины спектральной плотности обусловлены существенно неодинаковой физической природой НК и облака ДО.

При наблюдении огибающей эхосигнала в течение приблизительно одной секунды её можно считать стационарным в широком смысле случайным процессом, т. е. процессом с постоянным, не зависящим от времени математическим ожиданием и корреляционной функцией  $R(t_1, t_2)$ , зависящей только от разности аргументов  $t_1$  и  $t_2$ .

Известно [4] также, что корреляционная функция и спектральная плотность стационарного в широком смысле случайного процесса обладают всеми свойствами, характерными для пары взаимных преобразований Фурье. В частности, чем «шире» спектр, тем «уже» корреляционная функция, и наоборот. Этот результат количественно выражается в виде принципа, или соотношения неопределённости.

Используя этот принцип, а также принимая вид корреляционной функции межпериодных флуктуаций огибающей эхосигналов: от НК – экспоненциальный, а от облака ДО – гауссовский, получим следующие значения времени корреляции (на уровне «0,5») межпериодных флуктуаций огибающей эхосигналов: 17...250 мс – для НК, 6...25 мс – для облака ДО.

Во многих важных для практики случаях необходимо обеспечивать решение задачи селекции НК от облаков ДО одновременно с их обнаружением, осуществляемым часто на предельных (по отношению к потенциалу РЛК) дальностях и в условиях, когда время, отведённое на обнаружение, ограничено. В связи с этим представляется целесообразным использовать для селекции информацию, которая может быть получена одновременно с обнаружением цели по пачке эхосигналов.

Простой в аппаратной реализации путь выявления различий в значениях времени корреляции межпериодных флуктуаций огибающей эхосигналов от НК и облака ДО состоит в использовании интенсивности пачки эхосигналов.

Необходимо отметить следующие соображения, по которым представляется, что интенсивность эхосигналов характеризует различия их спектрально-корреляционных характеристик. При сканировании пространства РЛК в процессе обнаружения на одной несущей частоте время корреляции флуктуаций огибающей эхосигналов при наблюдении НК соизмеримо с длительностью пачки импульсов («дружно» флуктуирующая пачка), а при наблюдении облака ДО – значительно меньше длительности пачки импульсов («быстро» флуктуиру-

ющая пачка). Учитывая это, можно предположить, что интенсивность эхосигналов (и её оценка, например ширина пачки импульсов) от обзора к обзору для НК будет иметь более глубокие флуктуации (большую дисперсию), чем для облака ДО.

Результаты моделирования подтвердили, что существуют различия в значениях дисперсии интенсивности эхосигналов от НК и облака ДО. Следовательно, имеется принципиальная возможность селекции НК от облаков ДО по величине выборочной дисперсии интенсивности эхосигналов.

**Байесовский алгоритм селекции НК от облаков ДО**

Оценим потенциальную эффективность селекции на основе межобзорных флуктуаций интенсивности эхосигналов, т. е. эффективность, которая могла бы быть достигнута при условии, что имеется полная априорная информация о распределениях используемого отличительного признака в классах и априорных вероятностях классов. Известно, что такую возможность даёт байесовское решающее правило. В предположении, что распределения интенсивности  $I$  эхосигналов от НК и облака ДО являются нормальными с одинаковыми математическими ожиданиями, задача селекции сводится к задаче различения сигналов, распределения которых отличаются дисперсиями. Можно показать, что в этом случае оптимальное решающее правило селекции будет иметь вид

$$\frac{1}{2} \left[ \kappa \ln M + \frac{1}{\sigma_{нк}^2} \cdot \frac{1-M}{M} \sum_{q=1}^{\kappa} (I_q - \hat{I})^2 \right] \underset{H_{до}}{\overset{H_{нк}}{\geq}} \ln P,$$

где  $\kappa$  – число замеров интенсивности в выборке (число обнаружений цели);  $M = \sigma_{до}^2 / \sigma_{нк}^2$  ( $\sigma_{до}^2$  и  $\sigma_{нк}^2$  – дисперсии интенсивности эхосигналов от облака ДО и НК соответственно);  $I_q$  и  $\hat{I}$  –  $q$ -й замер в выборке и выборочное среднее интенсивности соответственно;  $H_{нк}$  ( $H_{до}$ ) – гипотеза о том, что анализируемая выборка получена от НК (облака ДО);  $P$  – порог, определяемый априорными вероятностями классов и стоимостями потерь от принимаемых решений.

Перейдя к достаточной статистике – выборочной дисперсии  $\hat{d}^2$ , получим

$$\hat{d}^2 \underset{H_{до}}{\overset{H_{нк}}{\geq}} 2\sigma_{нк}^2 \frac{M}{1-M} \left( \frac{1}{\kappa-1} \ln P - \frac{\kappa}{\kappa-1} \ln \sqrt{M} \right). \quad (1)$$

Таким образом, для принятия решения о принадлежности цели к одному из двух классов (НК или облаков ДО) необходимо выборочное среднее квадратическое отклонение интенсивности эхосигналов от этой цели сравнить с установленным порогом. Цель считается НК, если значение полученной статистики не меньше установленного порога.

Если решение принимается по НК, то алгоритм (1) селекции состоит в сравнении выборочной дисперсии (которую имеет ограниченного размера выборка замеров интенсивности эхосигналов от этой цели) с дис-

персией тех же замеров в генеральной совокупности (в выборке неограниченного размера).

Сравнение достаточной статистики с порогом, определяемым, например, допустимой условной вероятностью  $P_{лс}$  ложной селекции НК (отнесения НК к облакам ДО), обеспечивает принятие решений, оптимальных по критерию Неймана-Пирсона. Решающее правило в этом случае имеет вид

$$\hat{d}^2 \underset{H_{до}}{\overset{H_{нк}}{\geq}} \eta,$$

где  $\eta = 2\sigma_{нк}^2 \frac{1}{\kappa-1} \left[ P_{лс} \Gamma \left( \frac{\kappa+1}{2} \right) \right]^{\frac{2}{\kappa-1}}$  – порог селекции;

$\Gamma(\gamma)$  – гамма-функция.

При этом условная вероятность  $P_{пс}$  правильной селекции облака ДО (отнесения облака ДО к ложным целям) рассчитывается по формуле

$$P_{пс} = F_{\chi_{\kappa-1}^2} \left\{ \frac{2}{M} \left[ \Gamma \left( \frac{\kappa+1}{2} \right) P_{лс} \right]^{\frac{2}{\kappa-1}} \right\}, \quad (2)$$

где  $F_{\chi_{\kappa-1}^2}(t)$  – функция центрального  $\chi_{\kappa-1}^2$  распределения с  $\kappa-1$  степенями свободы.

По формуле (2) выполнен расчёт вероятности  $P_{пс}$  при  $M = 0,25$  и варьировании значений  $\kappa$  и  $P_{лс}$ , результаты которого сведены в табл. 1.

Таблица 1

$\kappa$	4	5	6	7	8	9	10
$P_{лс} = 0,05$							
$P_{пс}$	0,27	0,36	0,44	0,50	0,56	0,60	0,64
$P_{лс} = 0,1$							
$P_{пс}$	0,44	0,53	0,60	0,66	0,70	0,73	0,76
$P_{лс} = 0,2$							
$P_{пс}$	0,65	0,72	0,76	0,80	0,82	0,84	0,86

**Оптимизация итогового решения в многоканальной системе селекции НК от облаков ДО в «узкой» постановке**

Имеется многоканальная система, состоящая из  $n$  независимых РЛК. Примем, что при реализации отдельными РЛК решающего правила селекции, оптимального по критерию Неймана-Пирсона, условные вероятности ложной селекции НК во всех РЛК ограничены сверху одним и тем же уровнем, т. е.  $P_{лсi} = P_{лс}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Введём также обозначение  $a_i \in \{0, 1\}$  для номеров рассматриваемых классов и условимся считать, что  $a_i = 1$ , если  $i$ -м РЛК анализируемая цель отнесена к облакам ДО (в  $i$ -м РЛК не произошло превышения порога селекции), и  $a_i = 0$  в противном случае.

Далее рассмотрим решающие правила взвешенного и простого голосования.

*Решающее правило взвешенного голосования.* Оптимальная совместная обработка по правилу взвешен-

ного голосования сводится к весовому суммированию единиц и нулей  $a_i, i = 1, 2, \dots, n$ , отражающих принятые во всех РЛК предварительные решения, и сравнению полученной суммы с установленным порогом  $\eta_\Sigma$

$$L = \sum_{i=1}^n Q_i a_i \underset{H_{нк}}{\overset{H_{до}}{>}} \eta_\Sigma, \quad (3)$$

где  $Q_i = \ln \left[ \frac{P_{nci}(1-P_{лс})}{P_{лс}(1-P_{nci})} \right]$  – весовые коэффициенты.

Весовые коэффициенты  $Q_i$  повышают роль тех РЛК, где более вероятно правильное предварительное решение, т. е. где значения  $Q_i$  больше.

При выборе порога  $\eta_\Sigma$ , определяемого заданной итоговой условной вероятностью ложной селекции НК, получим алгоритм селекции НК от облаков ДО, оптимальный по критерию Неймана-Пирсона.

При заданных значениях  $P_{nci}, i = 1, 2, \dots, n$ , и  $P_{лс}$  можно вычислить итоговые условные вероятности  $P_{nc\Sigma}$  и  $P_{лс\Sigma}$  соответственно правильной селекции облака ДО и ложной селекции НК для любого значения порога  $\eta_\Sigma$  и соответствующего ему решающего правила. Чем больше  $\eta_\Sigma$  (т. е. чем жёстче решающее правило), тем меньше вероятности  $P_{nc\Sigma}$  и  $P_{лс\Sigma}$ . Если в соответствии с критерием Неймана-Пирсона требуется, чтобы  $P_{лс\Sigma} \leq \alpha$ , то оптимальным решающим правилом будет такое, которое даёт пару наибольших значений  $P_{nc\Sigma}$  и  $P_{лс\Sigma}$  при условии  $P_{лс\Sigma} \leq \alpha$ .

Если все  $Q_i$  различны и сумма любой группы  $Q_i$  не совпадает с суммой любой другой их группы, то при различных комбинациях значений  $Q_i, i = 1, 2, \dots, n$ , возможны  $2^n - 1$  разных значений весовой суммы, стоящей в выражении (3). Выбирая порог  $\eta_\Sigma$  в интервалах между значениями  $Q_i$  и их различных сумм, можно сформировать  $2^n - 1$  различных решающих правил селекции НК от облаков ДО.

Законы распределения решающей статистики  $L$  имеют вид [5]:

$$P_L^{(1)}(z) = \prod_{i=1}^n (1 - P_{nci}) \delta(z) + \sum_{q=1}^n \sum_{i_1=1}^{n-q+1} \sum_{i_2=i_1+1}^{n-q+2} \dots \sum_{i_q=i_{q-1}+1}^n P_{nci_1} P_{nci_2} \dots P_{nci_q} \times \delta \left( z - \sum_{l=1}^q Q_{i_l} \right) \prod_{\substack{\zeta=1 \\ \zeta \neq i_1, i_2, \dots, i_q}}^n (1 - P_{nc\zeta}) \quad (4)$$

– для случая, когда цель принимается за облако ДО;

$$P_L^{(0)}(z) = (1 - P_{лс})^n \delta(z) + \sum_{q=1}^n \sum_{i_1=1}^{n-q+1} \sum_{i_2=i_1+1}^{n-q+2} \dots \sum_{i_q=i_{q-1}+1}^n P_{лс}^q \delta \left( z - \sum_{l=1}^q Q_{i_l} \right) (1 - P_{лс})^{n-q} \quad (5)$$

– для случая, когда цель принимается за НК.

При изменении  $q$  от 1 до  $n$  кратность сумм в (4) и (5) также изменяется от 1 до  $n$  (при  $q = 1$  – по одной сумме по  $i_1$ ; при  $q = 2$  – двойные суммы по  $i_1$  и  $i_2$ ; и так далее).

Тогда итоговые условные вероятности  $P_{nc\Sigma}$  и  $P_{лс\Sigma}$  соответственно правильной селекции облака ДО и ложной селекции НК определяются как

$$P_{nc\Sigma} = \sum_{L_1 \geq \eta'_\Sigma} P_{L_1}^{(1)}(z); \quad P_{лс\Sigma} = \sum_{L_1 \geq \eta'_\Sigma} P_{L_1}^{(0)}(z),$$

где порог  $\eta_\Sigma$  в соответствии с критерием Неймана-Пирсона определяется из условия обеспечения вероятности  $P_{лс\Sigma}$  не более заданной величины.

*Решающее правило простого голосования.* Оптимальная совместная обработка информации по правилу простого голосования (комплексирование по выходам равноценных РЛК) в соответствии с критерием отношения правдоподобия сводится к подсчёту числа принятых частных решений в пользу облака ДО и сравнению полученной суммы с установленным порогом  $\eta_\Sigma$

$$L_1 = \sum_{i=1}^n a_i \underset{H_{нк}}{\overset{H_{до}}{>}} \eta'_\Sigma. \quad (6)$$

Аналогично взвешенному голосованию для простого голосования итоговые условные вероятности  $P_{nc\Sigma}$  и  $P_{лс\Sigma}$  соответственно правильной селекции облака ДО и ложной селекции НК определяются как

$$P_{nc\Sigma} = \sum_{L_1 \geq \eta'_\Sigma} P_{L_1}^{(1)}(z); \quad P_{лс\Sigma} = \sum_{L_1 \geq \eta'_\Sigma} P_{L_1}^{(0)}(z),$$

где  $P_{L_1}^{(1)}(z) = \sum_{q=0}^n C_n^q P_{nc}^q (1 - P_{лс})^{n-q} \delta(z - q)$ ;

$$P_{L_1}^{(0)}(z) = \sum_{q=0}^n C_n^q P_{лс}^q (1 - P_{лс})^{n-q} \delta(z - q).$$

Здесь  $C_n^q$  – число сочетаний из  $n$  элементов по  $q$ .

Согласно выражению (2) вероятности  $P_{лс}$  и  $P_{лс}$ , обеспечиваемые отдельным РЛК, функционально связаны между собой таким образом, что при прочих равных условиях (при фиксированных значениях  $\kappa$  и  $M$ ) уменьшение вероятности  $P_{лс}$  неизбежно приводит к уменьшению вероятности  $P_{nc}$  (см. табл. 1). Одновременно низкие значения вероятности Рлс и высокие значения вероятности  $P_{nc}$  способны обеспечить решающие правила голосования.

Для количественной оценки выигрыша от применения при селекции НК от облаков ДО решающих правил взвешенного и простого голосования были выполнены соответствующие расчёты на ПЭВМ, результаты которых представлены в табл. 2 и 3 соответственно. В качестве исходных данных задавались значения  $P_{лс} = 0,1$  и  $M = 0,25$ .

Таблица 2

$\alpha$	0,05			0,1			
$n$	2	3	4	2	3	4	5
$\kappa_{ср} = 5$							
$P_{nc\Sigma}$	0,27	0,47	0,60	0,74	0,53	0,47	0,84
$P_{лс\Sigma}$	0,010	0,022	0,029	0,041	0,089	0,022	0,051
$\kappa_{ср} = 7$							
$P_{nc\Sigma}$	0,39	0,66	0,81	0,87	0,71	0,66	0,93
$P_{лс\Sigma}$	0,010	0,025	0,041	0,040	0,100	0,025	0,049
$\kappa_{ср} = 9$							
$P_{nc\Sigma}$	0,52	0,73	0,86	0,91	0,68	0,73	0,98
$P_{лс\Sigma}$	0,010	0,021	0,033	0,032	0,070	0,021	0,052

Примечание –  $\kappa_{ср}$  – усреднённое по множеству РЛК число обнаружений анализируемой цели.

Сравнительный анализ результатов, представленных в табл. 1–3, показывает, что объединение частных решений по селекции отдельных РЛК может дать за-

метный выигрыш в снижении условной вероятности ложной селекции НК и повышении условной вероятности правильной селекции облака ДО.

Однако в ряде случаев (например, при  $\alpha = 0,05$ ,  $n = 4$  и использовании решающего правила простого голосования) выполнение условия  $P_{лс\Sigma} \leq \alpha$  приведёт к существенному занижению фактической условной вероятности ложной селекции НК в системе по сравнению с требуемой, а тем самым и к снижению условной вероятности правильной селекции облака ДО. Очевидно, результаты селекции можно улучшить, управляя уровнем ошибочных решений по НК в отдельных РЛК системы с помощью соответствующего изменения первичных порогов, т. е. используя оптимизацию итогового решения в «широкой» постановке.

Таблица 3

$\alpha$	0,05				0,1			
$n$	2	3	4	5	2	3	4	5
$\kappa = 5 (P_{пс} = 0,53)$								
$P_{пс\Sigma}$	0,28	0,54	0,36	0,56	0,28	0,54	0,73	0,85
$P_{лс\Sigma}$	0,010	0,028	0,004	0,009	0,010	0,028	0,052	0,081
$\kappa = 7 (P_{пс} = 0,66)$								
$P_{пс\Sigma}$	0,44	0,73	0,58	0,78	0,44	0,73	0,88	0,95
$P_{лс\Sigma}$	0,010	0,028	0,004	0,009	0,010	0,028	0,052	0,081
$\kappa = 9 (P_{пс} = 0,73)$								
$P_{пс\Sigma}$	0,53	0,82	0,70	0,87	0,53	0,82	0,94	0,98
$P_{лс\Sigma}$	0,010	0,028	0,004	0,009	0,010	0,028	0,052	0,081

**Оптимизация итогового решения в многоканальной системе селекции НК от облаков ДО в «широкой» постановке**

Задача оптимизации итогового решения по селекции НК от облаков ДО в системе из  $n$  РЛК в «широкой» постановке формулируется следующим образом.

Требуется найти оптимальный вектор-порог  $\bar{\eta} = \|\eta_i^*\|$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , отдельных РЛК, а также оптимальный порог  $\eta_\Sigma^*$  ( $\eta_\Sigma^*$ ) селекции в УСОИ так, чтобы для итоговой условной вероятности ложной селекции НК в системе не хуже заданной величины, т. е. при  $P_{лс\Sigma} \leq \alpha$ , обеспечить максимум итоговой условной вероятности правильной селекции облака ДО:

$$P_{пс\Sigma}^* = \max_{\bar{\eta}, \eta_\Sigma} \{P_{пс\Sigma}(\bar{\eta}, \eta_\Sigma)\}$$

Здесь и далее знаком «\*» помечается искомое оптимальное решение.

Решение поставленной задачи сводится, во-первых, к установке во всех РЛК одной из возможных комбинаций значений порогов  $\eta_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , а, во-вторых, к выбору для совместной обработки в УСОИ решающего правила, обеспечивающего для заданной комбинации значений порогов  $\eta_i$  максимальное значение итоговой условной вероятности  $P_{пс\Sigma}$  правильной селекции облака ДО в системе при ограничении итоговой условной вероятности ложной селекции НК  $P_{лс\Sigma} \leq \alpha$ .

В результате, после перебора всех возможных комбинаций значений порогов  $\eta_i^*$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , могут быть выбраны лучшее решающее правило селекции в УСОИ,

соответствующий ему (оптимальный) порог  $\eta_\Sigma^*$  ( $\eta_\Sigma^*$ ), а также оптимальные пороги  $\eta_i^*$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , обеспечивающие максимум-максимум (наибольшее из максимальных значений) итоговой условной вероятности правильной селекции облака ДО в системе при заданном ограничении  $P_{лс\Sigma} \leq \alpha$ .

Принципиальная трудность при решении данной задачи состоит в том, что оптимальный порог  $\eta_i$  в каком-либо РЛК зависит не только от выходной вероятности  $P_{лс\Sigma}$ , но и от чисел  $\kappa_i$  обнаружений цели во всех РЛК комплексной системы и от решающего правила совместной обработки в УСОИ.

Рассмотрим вначале менее сложное решающее правило (6) простого голосования для одинаковых чисел  $\kappa_i$  обнаружений цели во всех РЛК.

Из соображений симметрии ясно, что при одинаковых числах  $\kappa_i$  и любом решающем правиле оптимальны одинаковые значения  $\eta_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . При всех возможных  $a_i$  в выражении (6) величина  $L_1 > 0$  может принимать только  $n$  разных значений от 1 до  $n$ . Выбирая порог  $\eta_\Sigma^*$  так, что  $k - 1 < \eta_\Sigma^* \leq k$ , где  $k = 1, 2, \dots, n$ , получаем известные правила обработки типа « $k$  из  $n$ », согласно которым цель принимается за облако ДО, если предварительные решения в пользу ложной цели данного типа приняты хотя бы в  $k$  из  $n$  РЛК. Выбор оптимального порога  $\eta_\Sigma^*$  означает выбор  $k = k^*$  в правиле « $k$  из  $n$ » при  $1 \leq k \leq n$ . Чтобы получить  $k^*$ , необходимо решить следующую оптимизационную задачу: найти значение  $k$ , максимизирующее целевую функцию  $P_{пс\Sigma} \rightarrow \max(k)$  при ограничении  $P_{лс\Sigma} = \alpha$  и дополнительном условии (2) для  $P_{лс}$  и  $P_{пс}$ .

Проще всего (особенно при небольших  $n$ ) эту задачу решать методом перебора по  $k$ , что сводится к анализу и сравнению качества различных решающих правил типа « $k$  из  $n$ ».

Решение оптимизационной задачи в общем случае различных чисел обнаружений цели в разных РЛК (в случае использования в УСОИ решающего правила (3) взвешенного голосования) может быть получено численными методами условной оптимизации. Однако при таком подходе объём необходимых вычислений существенно возрастает. Альтернативой в этом случае является простейший способ «равномерного распределения»  $P_{лс\Sigma}$ , т. е. выбор одинаковых вероятностей  $P_{лсi} = P_{лс}$  во всех РЛК. Найденные при этом решающие правила будут субоптимальными.

Таким образом, в общем случае оптимизация итогового решения по селекции в системе из  $n$  РЛК в «широкой» постановке сводится, во-первых, к выбору (с помощью порога  $\eta_\Sigma$ ) для совместной обработки в УСОИ одного из  $2^n - 1$  решающих правил, удовлетворяющих алгоритму (3), а во-вторых, к установке во всех РЛК порогов  $\eta_i$ , обеспечивающих такие одинаковые значения  $P_{лсi}$ , которые при выбранном решающем правиле дают требуемое значение итоговой вероятности  $P_{лс\Sigma} = \alpha$ . Такие расчёты должны быть выполнены для всех возможных стратегий объединения частных



Таблица 4

Использование в УСОИ решающих правил простого голосования												
Характеристика	Оптимизация в «узкой» постановке						Оптимизация в «широкой» постановке					
	$\kappa$											
	5		7		9		5		7		9	
	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3
	$\alpha = 0,05$											
$\eta^* / \sigma_{нк}^2$	0,224	0,224	0,281	0,281	0,311	0,311	0,335	0,260	0,368	0,311	0,381	0,335
Оптимальное решающее правило в УСОИ	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»
$P_{лс\Sigma}^*$	0,28	0,54	0,44	0,73	0,53	0,82	0,56	0,67	0,67	0,81	0,73	0,88
$P_{лс\Sigma}^*$	0,010	0,028	0,010	0,028	0,010	0,028	0,05					
	$\alpha = 0,1$											
$\eta^* / \sigma_{нк}^2$	0,224	0,224	0,281	0,281	0,311	0,311	0,398	0,313	0,413	0,352	0,415	0,368
Оптимальное решающее правило в УСОИ	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»
$P_{лс\Sigma}^*$	0,28	0,54	0,44	0,73	0,53	0,82	0,68	0,80	0,76	0,89	0,81	0,93
$P_{лс\Sigma}^*$	0,010	0,028	0,010	0,028	0,010	0,028	0,1					

Таблица 5

Использование в УСОИ решающих правил взвешенного голосования												
Характеристика	Оптимизация в «узкой» постановке						Оптимизация в «широкой» постановке					
	$\kappa_i, i = 1, 2, \dots, n$											
	4; 5	4; 4; 5	7; 8	7; 8; 8	8; 9	8; 9; 10	4; 5	4; 4; 5	7; 8	7; 8; 8	8; 9	8; 9; 10
	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3	n = 2	n = 3
	$\alpha = 0,05$											
$\eta_i / \sigma_{нк}^2, i = 1, 2, \dots, n$	0,174	0,174	0,281	0,281	0,298	0,298	0,297	0,212	0,368	0,311	0,376	0,325
	0,224	0,174	0,298	0,298	0,311	0,311	0,335	0,212	0,376	0,325	0,381	0,335
	–	0,224	–	0,298	–	0,321	–	0,260	–	0,325	–	0,343
Субоптимальное решающее правило в УСОИ	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»
$P_{лс\Sigma}$	0,23	0,45	0,46	0,77	0,51	0,70	0,51	0,59	0,69	0,84	0,72	0,88
$P_{лс\Sigma}$	0,010	0,028	0,010	0,028	0,010	0,019	0,05					
	$\alpha = 0,1$											
$\eta_i / \sigma_{нк}^2, i = 1, 2, \dots, n$	0,174	0,174	0,281	0,281	0,298	0,298	0,374	0,272	0,225	0,352	0,246	0,362
	0,224	0,174	0,298	0,298	0,311	0,311	0,398	0,272	0,246	0,362	0,263	0,368
	–	0,224	–	0,298	–	0,321	–	0,313	–	0,362	–	0,373
Субоптимальное решающее правило в УСОИ	«один 2-й»	«2 из 3»	«один 2-й»	«2 из 3»	«один 2-й»	«2 из 3»	«2 из 2»	«2 из 3»	«1 из 2»	«2 из 3»	«1 из 2»	«2 из 3»
$P_{лс\Sigma}$	0,53	0,45	0,70	0,77	0,73	0,70	0,65	0,74	0,78	0,90	0,83	0,93
$P_{лс\Sigma}$	0,100	0,028	0,100	0,028	0,100	0,019	0,1					
Примечание – РЛК пронумерованы таким образом, что $Q_1 \leq Q_2 \leq Q_3$ , и применение решающего правила «один 2-й» при $n = 2$ означает игнорирование решений первого («слабого») РЛК.												

решений в УСОИ. В результате будут выбраны решающее правило в УСОИ и соответствующие ему первичные пороги селекции, обеспечивающие наибольшее значение итоговой условной вероятности правильной селекции облака ДО.

Характеристики оптимизированных в «широкой» постановке итоговых решений по селекции НК от облаков ДО были получены расчётным путём на ПЭВМ для двух наиболее простых, но важных для практики случаев:  $n = 2$  и  $n = 3$ . В двухканальной системе роль каждого РЛК наибольшая.

Результаты оптимизации, полученные для решающих правил простого и взвешенного голосования, представлены в табл. 4 и 5 соответственно.

Для оценки выигрыша от управления первичными порогами селекции РЛК выполнялись аналогичные расчёты и для итоговых решений по селекции, оптимизированных в «узкой» постановке. В качестве исходных данных задавались значения  $P_{лс} = 0,1$  и  $M = 0,25$ .

Основные результаты анализа данных, приведённых в табл. 4 и 5, следующие:

1. В случае использования в УСОИ решающих правил простого голосования – комплексование выходов всего двух или трёх равноценных независимых РЛК с управлением первичными порогами селекции позволяет повысить условную вероятность правильной селекции облака ДО соответственно примерно в 1,11...1,28 или 1,27...1,51 раза при сохранении на прежнем уровне  $\alpha = 0,1$  условной вероятности ложной селекции НК и соответственно примерно в 1,00...1,06 или 1,21...1,26 раза при одновременном снижении уровня ложных решений по НК до  $\alpha = 0,05$ .

2. В случае использования в УСОИ решающих правил взвешенного голосования – при  $\alpha = 0,1$  прирост вероятности  $P_{лс\Sigma}$  за счёт управления первичными порогами селекции РЛК составляет до 0,12 при  $n = 2$  и до 0,29 при  $n = 3$ , а при  $\alpha = 0,05$  – до 0,28 и до 0,18 при  $n = 2$  и  $n = 3$  соответственно. Таким образом, с увеличением числа  $n$  РЛК в системе выигрыш от управления первичными порогами изменяется от 0,12...0,28 (при  $n = 2$ ) до 0,18...0,29 (при  $n = 3$ ).

### Заключение

Исследована двухэтапная процедура селекции надводных кораблей от облаков дипольных отражателей в многоканальной системе, состоящая из этапа принятия частных (предварительных) решений в отдельных РЛК и этапа, выполняемого в устройстве совместной обра-

ботки информации для вынесения окончательного решения о типах обнаруженных целей.

Приведены алгоритмы оптимизации двухэтапной процедуры селекции в «узкой» постановке, когда предварительный и заключительный этапы оптимизируются независимо друг от друга. На заключительном этапе использованы решающие правила простого и взвешенного голосования.

Представлена методика оптимизации параметров двухэтапной процедуры селекции в «широкой» постановке (при которой оба этапа оптимизируются одновременно) при вынесении итогового решения путём объединения частных решений по правилам простого и взвешенного голосования.

Дана сравнительная количественная оценка оптимизированных в «узкой» и «широкой» постановке двухэтапных процедур селекции в системе, состоящей из двух и трёх РЛК. При оптимизации в «широкой» постановке результаты для решающего правила простого голосования получены с использованием оптимальных алгоритмов (обеспечивающих нахождение оптимальных первичных порогов селекции), а для решающего правила взвешенного голосования – с использованием субоптимальных алгоритмов (по которым определяются первичные пороги селекции, обеспечивающие такие одинаковые значения условной вероятности ложной селекции НК во всех РЛК, которые позволяют выполнить требование по заданной итоговой условной вероятности ложной селекции НК в системе).

Анализ результатов оптимизации рассмотренных двухэтапных процедур показал, что управление первичными порогами селекции РЛК при совместной обработке информации (оптимизация в «широкой» постановке) позволяет улучшить вероятностные характеристики селекции и наиболее полно использовать потенциальные возможности многоканальной системы.

### Литература

1. Защита от радиопомех. Под ред. М.В. Максимова. М.: Сов. радио. 1976. 477 с.
2. Барабаш Ю.Л. Коллективные статистические решения при распознавании. М.: Радио и связь. 1983. 224 с.
3. Морская радиолокация. Под ред. В.И. Винокурова. Л.: Судостроение. 1986. 248 с.
4. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь. 1982. 624 с.
5. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь. 1993. 416 с.

### Для цитирования:

Коржавин Г.А., Подоплёкин Ю.Ф., Мальцев О.Г. Оптимизация решений в многоканальной системе селекции надводных кораблей от ложных целей типа облаков дипольных отражателей // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 28–35.

## DECISIONS OPTIMIZATION IN MULTICHANNEL SELECTION SYSTEM OF SURFACE VESSELS FROM FALSE TARGETS LIKE CLOUD OF CHAFF DIPOLES

**KorzHAVIN Georgiy Anatoljevich,**  
St. Petersburg, Russian, cri-granit@peterlink.ru

**Podoplyokin Yuri Fedorovich,**  
St. Petersburg, Russian, cri-granit@peterlink.ru

**Maltsev Oleg Grigorjevich,**  
St. Petersburg, Russian, cri-granit@peterlink.ru

### Abstract

**Problem:** the continuous development of passive electronic countermeasures requires the improvement of protection methods of radar detection systems from passive intentional interferences (false targets). In this article we consider the multi-channel system of selection of surface ships from false targets like chaff cloud, consisting of several radar channels (RC) with single device of together processing of information (DTPI). Two-stage selection procedure is observed. It includes a preliminary phase (which accepted partial solutions in some RC) and the final stage (which make the final solution in DTPI). Algorithms for the optimization of two-stage selection procedure in the "narrow" formulation (when both stages are optimized independently) are considered. At the final stage a simple decision rule and weighted voting rule are used. The technique of optimizing the parameters of a two-stage selection procedure in "wide" setting (in which both phases are optimized at a time) is considered. A comparative quantitative estimation of procedures of two-stage selection optimized in the «narrow» and «wide» statement in a system consisting of two or three RC. When optimizing in «wide» statement, results for the decision simple voting rule obtained using optimal algorithms, and for a decision

weighted voting rule – with suboptimal. It is shown that the control thresholds primary selection RC with the joint information processing (optimization in "wide" setting) can improve the probability characteristics of the selection and make full use of the potential of multi-channel system.

**Keywords:** : multi-channel system of selection, decoys chaff cloud type, two-stage procedure of selection, optimization of solutions in the «narrow» and «wide» statement, control of thresholds primary selection.

### References

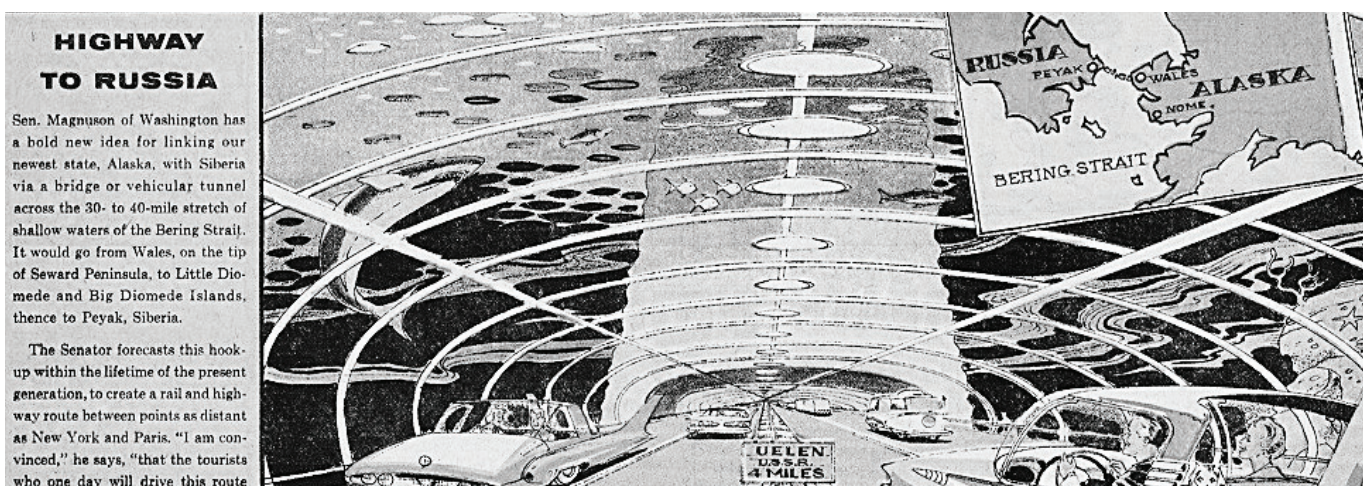
1. Zashchita ot radiopomeh [Protection from radio conditions]. Russ. ed.: M.V. Maksimov. Mos-cow: Sov. radio. 1976. 477 p. (In Russian).
2. Barabash Yu.L. Kollektivnye statisticheskie resheniya pri raspoznavanii [Joint statistical decisions during recognition]. Moscow: Radio i svjaz. 1983. 224 p. (In Russian).
3. Morskaya radiolokaciya [Maritime radiolocation]. Russ. ed.: V.I. Vinokurov. Leningrad: Su-dostroenie. 1986. 248 p. (In Russian).
4. Tikhonov V.I. Statisticheskaya radiotekhnika [Statistic radio engineering]. Moscow: Radio i svjaz. 1982. 624 p. (In Russian).
5. Chernyak V.S. Mnogopozitsionnaya radiolokatsiya [Multiposition radiolocation]. Moscow: Radio i svjaz. 1993. 416 p. (In Russian).

### Information about authors:

KorzHAVIN G.A., D. Sc., Prof., general director of the JSC "Concern "Granit-Electron";  
Podoplyokin Yu.F., D. Sc., Prof., first deputy general director of the JSC "Concern "Granit-Electron";  
Maltsev O.G., D. Sc., head of research laboratory of the JSC "Concern "Granit-Electron".

### For citation:

KorzHAVIN G.A., Podoplyokin Yu.F., Maltsev O.G. Decisions optimization in multichannel selection system of surface vessels from false targets like cloud of chaff dipoles. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 28–35. (in Russian).



# СОВМЕСТНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ И СТРУКТУРНОЙ АДАПТАЦИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

**Межуев**

**Александр Михайлович**

к.т.н., доцент, начальник кафедры  
передающих и приемных радиоустройств  
(средств связи и РТО) Военного  
учебно-научного центра Военно-  
воздушных сил «Военно-воздушная  
академия имени профессора  
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
г. Воронеж, Россия,  
multitenzor@mail.ru

**Ключевые слова:**

алгоритмическая и структурная  
адаптация, обобщенный параметр,  
совместное решение, пороговое  
значение, полоса пропускания.

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена реализации совместного решения задач алгоритмической и структурной адаптации в инфокоммуникационных системах (ИКС) и сетях. В основу предлагаемого подхода к адаптации положена система универсальных параметров и показателей, позволяющая оценивать процессы передачи и хранения информации в ИКС с учетом динамики их изменения при информационном обмене. В систему адаптации введены понятия: коэффициент полезного действия (КПД) передачи информации, его пороговое значение, полосы пропускания по входному, внутрисетевому трафикам и по временной задержке. Это позволило представить архитектуру многоуровневой адаптации в ИКС и сформулировать конкретные практические рекомендации для работы процедур внутрдиапазонного управления сетевыми параметрами (первый и второй уровни адаптации) и междиапазонного управления (третий уровень адаптации), направленных на повышение эффективности информационного обмена в условиях высокой информационной нагрузки и, в том числе, при структурных изменениях системы. В решении задачи общего адаптивного управления алгоритмическая адаптация позволяет определить шаг и направление изменения основных сетевых параметров с целью обеспечения необходимых условий для работы механизмов структурной адаптации путем выведения системы в область допустимых значений, определяемых пороговым уровнем КПД передачи информации с учетом воздействия помех. Процедуры структурной адаптации определяют условия и управляют автоматизированным процессом перехода с основной структуры ИКС на резервные из сформированной базы данных резервных топологий. При разработке алгоритма совместного решения задач алгоритмической и структурной адаптации введены понятия: нормальный режим работы основной структуры (в полосе заданного качества функционирования), сопредельных состояний слева и справа, предельного (оптимального) состояния, прямого и обратного переходов при выборе топологии ИКС с учетом знака приращения интенсивности входного трафика. Применение структурной адаптации позволяет расширить полосу пропускания ИКС по входному трафику, что позволяет говорить о расширении возможностей эффективного функционирования сети.

**Введение**

**Постановка задачи**

В общеизвестной формулировке под адаптацией понимается способность системы в условиях дестабилизирующих внутренних и внешних факторов частично или полностью восстанавливать заданное качество своего функционирования. Современная автоматизированная адаптивная система должна обладать возможностью экстраполировать изменение своего состояния с целью обеспечения требуемой эффективности функционирования в условиях динамики характеристик сети [1, 2].

В связи с существованием различного рода дестабилизирующих воздействий, в частности, как внешних, мешающих (помеховая обстановка, структурные изменения и др.), так и стохастичности сетевого входного трафика (широкий динамический диапазон) возникает необходимость решения задачи многоконтурной адаптации с элементами прогнозирования изменения состояния системы.

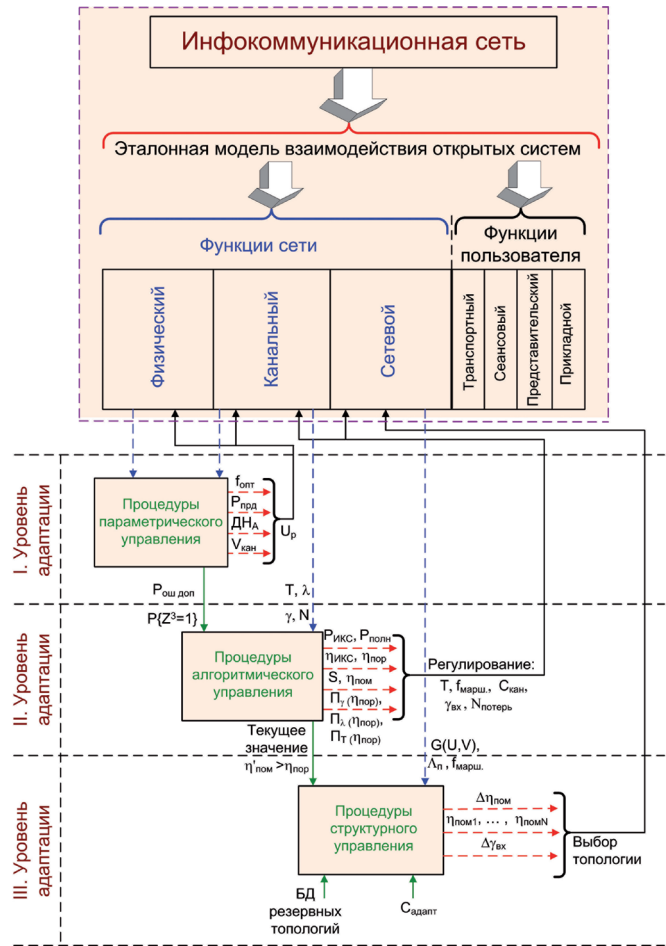
Цель работы: совместное решение задач алгоритмической и структурной адаптации с использованием системы обобщенных параметров оценки информационной эффективности. Полученное решение предлагается реализовать в виде алгоритма работы контроллера ИКС в составе системы автоматизированного мониторинга и управления работой инфокоммуникационной системы.

Описание основных результатов исследования. Важнейшим условием эффективной работы процедур алгоритмической и структурной адаптации является определение показателя качества функционирования, который имеет понятный физический смысл и отражает взаимосвязь с параметрическим управлением.

Наряду с общепринятыми подходами к оценке информационной эффективности цифровых сетей связи и информационно-вычислительных систем предлагается применение системы обобщенных параметров и показателей качества, а именно: кибернетическая мощность ( $KW$ ), коэффициент полезного действия (КПД) передачи информации ИКС ( $\eta_{ИКС}$ ), а также при задании в качестве критерия эффективности его порогового значения  $\eta_{пор}$  – полосы пропускания ИКС по входному  $\Pi_{\lambda(\eta_{пор})}$ , транзитному  $\Pi_{\lambda(\eta_{пор})}$  трафиком и временной задержке  $\Pi_{T(\eta_{пор})}$ , соответственно. При этом основным показателем оценки эффективности информационного обмена считается КПД передачи информации, на основе применения обобщенного параметра кибернетической мощности ИКС [3–6].

Использование совокупности указанных параметров и показателей при формировании и построении модели многоконтурной адаптации в ИКС, в зависимости от уровня решаемых задач, представлена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, параметрическая адаптация, затрагивает управление лишь на физическом и канальном уровнях работы ИКС, согласно Эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС). Процедуры параметрической адаптации глубоко изучены и широко известны [1]. В условиях высокого входного тра-



**Рис. 1.** Архитектура многоуровневой адаптации в ИКС

фика параметрическая адаптация имеет ограниченные ресурсы повышения эффективности информационного обмена за счет улучшения качества КС и изменения параметров устройств передачи и обработки информации. Поэтому необходимы изменения алгоритма работы и структуры системы, когда управление должно осуществляться по обобщенному системному критерию.

Рассмотрим решение данных задач более подробно в рамках формирования нового обобщенного алгоритма для совместной работы процедур алгоритмической и структурной адаптации в ИКС. На рис. 2 представлена первая часть алгоритма, описывающая алгоритмическую адаптацию.

Работа алгоритма начинается с момента получения сигнала с первого уровня адаптации (параметрической), который не может поддерживать заданного качества работы системы (в любом КС в течение заданного времени не обеспечивается передача информации с вероятностью ошибки  $P_{ош}$  приема одного символа не хуже порогового). В первом блоке на основе данных получаемых от УК и КС системы осуществляется определение текущих значений кибернетической мощности и полной кибернетической мощности ИКС. Далее, в блоке 2, осуществляется вычисление значения КПД передачи информации [5].

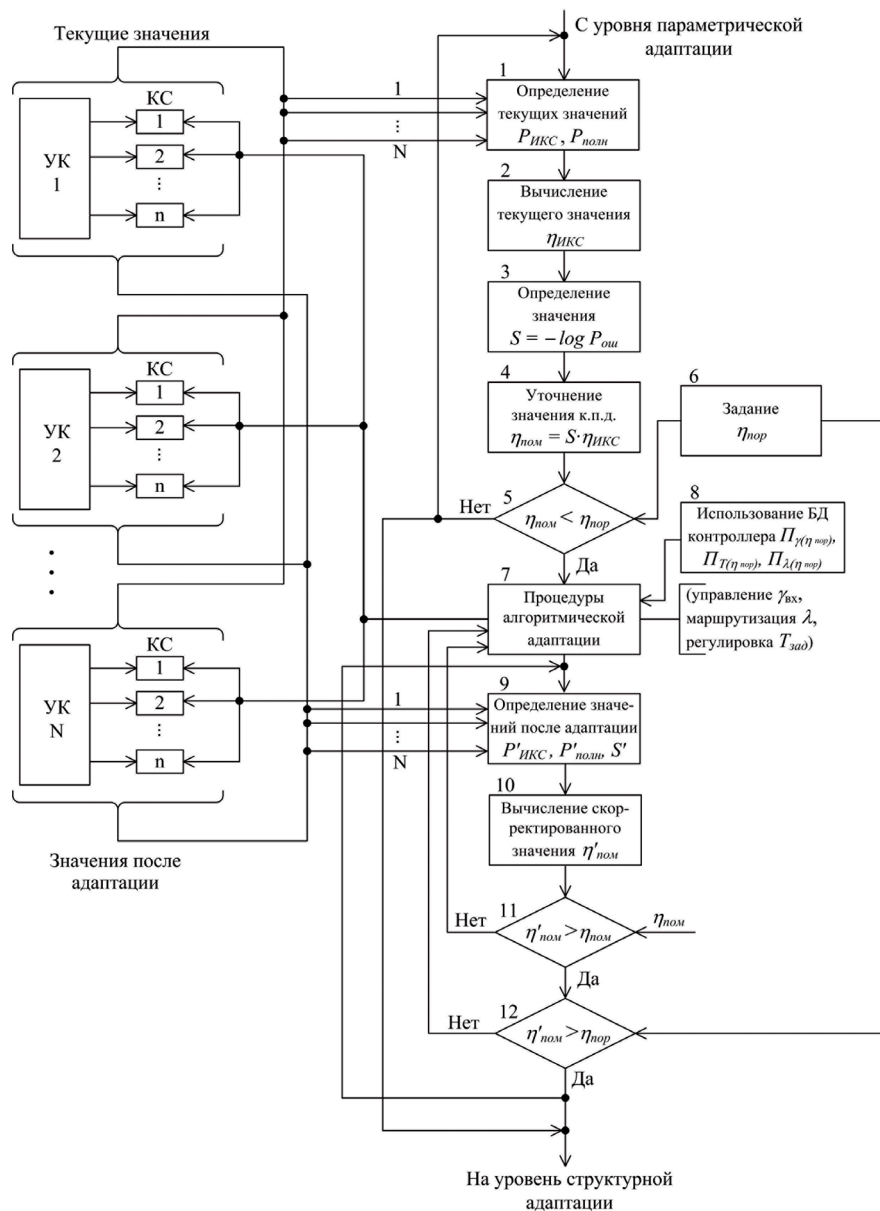


Рис. 2. Блок-схема алгоритма управления при алгоритмической адаптации.

КПД передачи информации системы связи является показателем качества, т.к. определяет степень близости системы к её предельным возможностям по передаче информации и производить однозначную сравнительную оценку информационной эффективности ИКС с разными топологиями в различных условиях функционирования. Кибернетическая мощность  $P_{ИКС}$  учитывает скоростные возможности системы связи, выражаемые производительностью, и статическое свойство, определяемое общим количеством информации в системе, усредненные за интервал рассмотрения  $T$ , а значение полной кибернетической мощности – предельные возможности системы связи по передаче и хранению информации [3].

Известно, что влияние помех на работу ИКС оценивается на канальном уровне ЭМВОС. Однако в услови-

ях неоднозначной помеховой обстановки, структурная реорганизация сети может адаптировать функциональность ИКС в сторону повышения ее эффективного информационного обмена. Поэтому в блоке 3 дополнительно осуществляется оценка параметра помехоустойчивости системы  $S$  (логарифм вероятности ошибки приема элементарных посылок), с помощью которой в блоке 4 вычисляется уточненный КПД передачи информации ИКС с учетом воздействия помех  $\eta_{ном}$  [7].

Полученное значение КПД с учетом воздействия помех в блоке 5 сравнивается с пороговым  $\eta_{пор}$ , в качестве которого принят КПД при  $P_{ош} = 0,3$ , когда эффективность информационного обмена в ИКС падает до уровня  $\sim 0,5$  от значения  $\eta_{ИКС}$  (блок 6). Если неравенство

$$\eta_{ном} > \eta_{пор} \quad (1)$$

не выполняется, то измерения и вычисления параметров эффективности продолжаются и полученное значение  $\eta_{\text{ном}}$  передается на уровень структурной адаптации.

Если неравенство (1) выполняется, то в блоке 7 формируются команды для включения в работу процедур алгоритмической адаптации на сетевом и канальном уровнях функционирования ИКС. Реализация процедур алгоритмической адаптации осуществляется с применением параметров информационной эффективности  $(\Pi_{\gamma(\eta_{\text{ном}})}, \Pi_{\lambda(\eta_{\text{ном}})}, \Pi_T(\eta_{\text{ном}}))$  [6], записанных в базу данных контроллера ИКС (блок 8). Именно на их основе с учетом величины  $\eta_{\text{ном}}$ , работают механизмы алгоритмического управления.

После проведения цикла алгоритмической адаптации по цепи обратной связи скорректированные значения сетевых параметров КС и УК поступают в блок 9, где определяются «новые» значения  $P'_{\text{ИКС}}$ ,  $P'_{\text{полн}}$  и  $S'$ . С их помощью вычисляется значение КПД передачи информации  $\eta'_{\text{ном}}$  (блок 10), которое в блоке 11 сравнивается с предыдущим значением КПД  $\eta_{\text{ном}}$

$$\eta'_{\text{ном}} > \eta_{\text{ном}} \quad (2)$$

Данная операция необходима для определения правильности направления процедур алгоритмического управления (рис. 3).

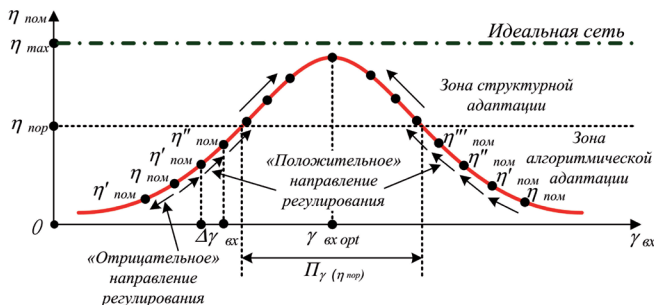


Рис. 3. Графическое пояснение механизма работы алгоритмической адаптации в ИКС

Как видно из рис. 3, при рассматриваемом подходе задача алгоритмической адаптации заключается в обеспечении процесса регулирования основных сетевых параметров, результатом которого является попадание обобщенного параметра КПД передачи информации в полосу пропускания ИКС по регулируемому параметру при заданном пороговом уровне  $\eta_{\text{пор}}$ . В ходе алгоритмической адаптации может быть найдено соответствие между шагом изменения сетевого параметра (например  $\Delta\gamma_{\text{вх}}$ , на рис. 3) и варьированием обобщенного параметра КПД передачи информации, которое позволит выбрать оптимальное значение управляющего воздействия на работу сети и ее отдельных элементов. Кроме того, для каждого конкретного варианта организации ИКС при алгоритмической адаптации определяется «положительное» направление регулирования, приводящее к желательным изменениям — повышению

КПД и информационной эффективности сети («отрицательное» направление имеет обратный негативный эффект, см. рис. 3) в зависимости от текущего значения варьируемого параметра  $\eta_{\text{ном}}$ .

Таким образом, если условие (2) в блоке 11 (рис. 2) выполняется, то происходит переход проверке следующего условия

$$\eta'_{\text{ном}} > \eta_{\text{ном}} \quad (3)$$

которое осуществляет контроль достижения полученным текущим значением КПД заданного порогового уровня и определяет возможность перехода к процедурам структурной адаптации (блок 12). При невыполнении условий (2), (3) в блоках 11 и 12 осуществляется обратный переход к блоку 7 для продолжения работы, описанных выше процедур алгоритмической адаптации.

Задача поддержания обобщенной функции качества системы  $\eta(\gamma_{\text{вх}})$  в процессе эксплуатации ИКС в пределах полос пропускания  $(\Pi_{\gamma(\eta_{\text{ном}})}, \Pi_{\lambda(\eta_{\text{ном}})}, \Pi_T(\eta_{\text{ном}}))$  и при заданном значении  $\eta_{\text{пор}}$ , а также обеспечения по возможности, несмотря на трудность реализации, максимального значения  $\eta_{\text{max}}$  возлагается на процедуры третьего уровня управления — структурной адаптации. При рассмотрении ИКС в сопредельном (близком к предельному  $\gamma_{\text{вх}} \rightarrow \gamma_{\text{вх орт}}$ ) состоянии, информационные потоки должны направляться по непересекающимся путям. Для этого необходимо совмещение в единой задаче структуры сети и протекающих в ней процессов, что является весомым аргументом в пользу совместного решения задач алгоритмической и структурной адаптации (аналитически это решается с использованием математического аппарата тензорной методологии [6, 8]).

Таким образом, структурная адаптация должна применяться в ИКС ни сколько по исчерпанию возможностей параметрической и алгоритмической адаптации в ней, а совместно с последней на основе формирования оценки напряженности работы сети по обеспечению оптимального значения  $\eta_{\text{max}}$  в сопредельном режиме с учетом требуемого (минимально приемлемого) уровня  $\eta_{\text{пор}}$  для информационного обмена. Разработанный алгоритм структурной адаптации ИКС в основе которого лежит введенная система обобщенных параметров и их приращений рассматривается ниже (рис. 4).

Первая вертикальная ветвь алгоритма соответствует основной структуре ИКС, все последующие — резервным топологиям. База данных резервных топологий сформирована таким образом, что каждая следующая структура ИКС обеспечивает требуемую эффективность информационного обмена в соответствии с  $\eta_{\text{пор}}$  при большем значении интенсивности входного трафика  $\lambda_{\text{вх}}$ .

В блоке 1 осуществляется вычисление следующего текущего КПД передачи информации  $\eta''_{\text{ном}}$  в соответствии с определенным на уровне алгоритмической адаптации «положительным» направлением изменения сетевых параметров. Для реализации структурной

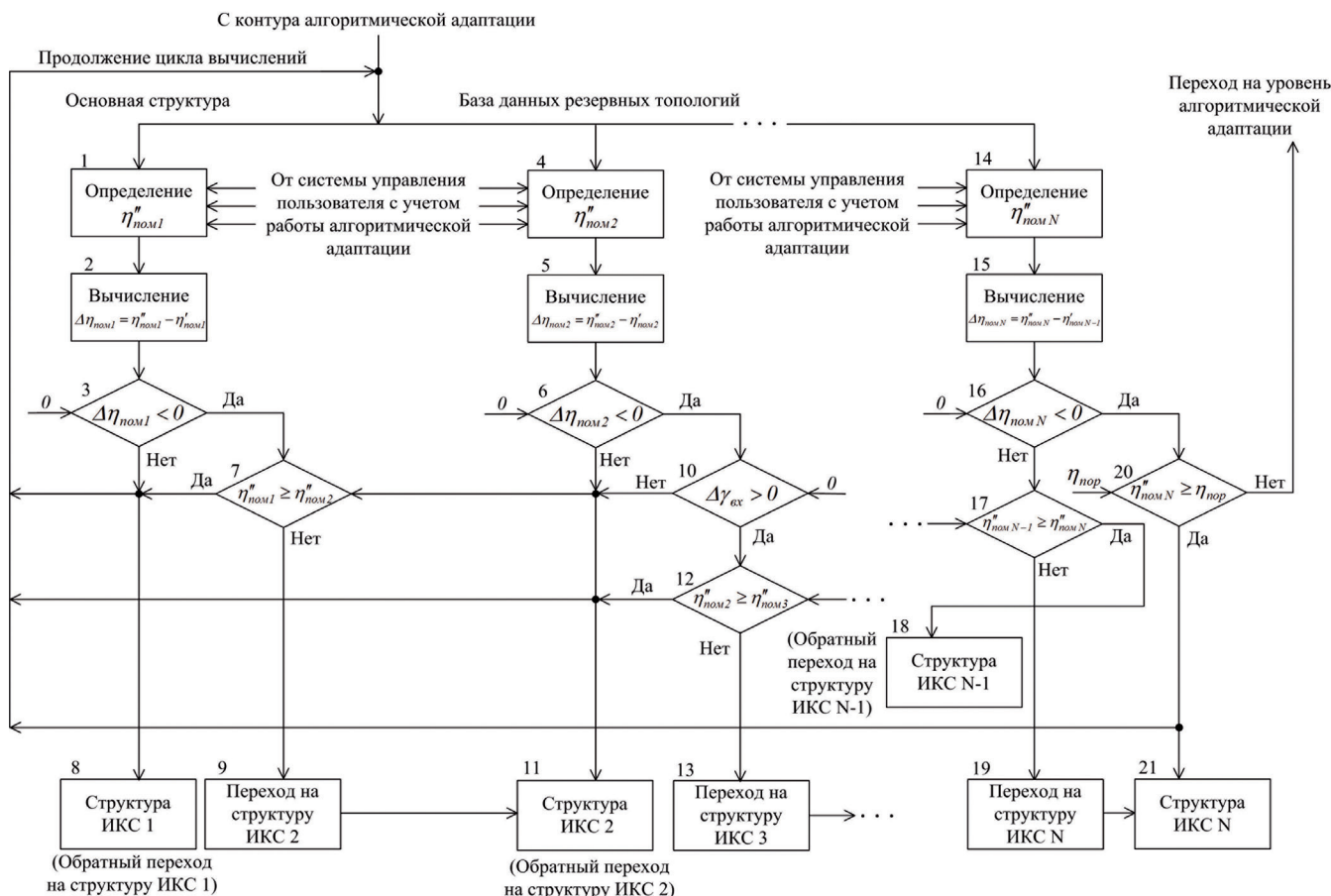


Рис. 4. Алгоритм структурной адаптации в ИКС.

адаптации ИКС необходимо оценивать не только текущие значения КПД  $\eta_{ном1}(\gamma_{ex})$ , но и степень загруженности сети через анализ направления его приращения. С этой целью в блоке 2 алгоритма осуществляется вычисление приращения КПД в основной структуре ИКС

$$\Delta\eta_{ном1} = \eta''_{ном1} - \eta'_{ном1} \quad (4)$$

Анализ направления приращения  $\eta_{ном1}$  (4) производится в блоке 3 и позволяет оценить степень напряженности работы ИКС с основной структурой, при этом возможны три основных режима работы сети:

- $\Delta\eta_{ном1} > 0$  – ИКС работает с недогрузкой (сопредельное состояние слева);
- $\Delta\eta_{ном1} = 0$  – ИКС работает максимально эффективно (рекомендуемое нагрузочное состояние);
- $\Delta\eta_{ном1} < 0$  – ИКС работает с перегрузкой (сопредельное состояние справа).

Получаемые оценки степени напряженности работы ИКС позволяют сделать однозначным принятие решения по структурной адаптации. При выполнении первых двух условий, т.е. когда не выполняется третье неравенство (блок 3), принимается решение, что текущие условия являются приемлемыми для работы на основной топологии ИКС.

В противном случае, необходима проверка условия (блок 7), где производится сравнение двух значений КПД для основной и резервной топологий

$$\eta''_{ном1} \geq \eta''_{ном2} \quad (5)$$

Для этого в блоках 4, 5 и 6 параллельно с блоками 1–3 осуществляются аналогичные операции для следующей по величине входного трафика  $\gamma_{ex}$  структуры ИКС из базы данных резервных топологий. В случае выполнения условия (5), когда значение КПД основной структуры даже в условиях перегрузки (сопредельное состояние справа) превышает текущий  $\eta''_{ном2}$  в резервной топологии, также принимается решение по дальнейшей работе ИКС на основной структуре (блок 8), в противном случае осуществляется переход на резервную топологию 2 (блоки 9, 11).

$$\Delta\gamma_{ex} > 0, \quad (6)$$

Физически данный переход можно объяснить следующим. В режиме работы ИКС с перегрузкой (сопредельное состояние справа) возникает ситуация, когда возможно превышение допустимого значения времени доставки информации, что может повлечь за собой не только информационные, но и материальные (управ-



ленческие) потери, вплоть до сбоя работы системы в целом. Именно поэтому возникает необходимость перехода на новую топологию ИКС способную быстро адаптироваться к возрастающей нагрузке и обеспечить приемлемое качество информационного обмена.

Особенностью промежуточных вертикальных ветвей алгоритма (между основной структурой и крайней из резервных топологий) является наличие в них дополнительного блока сравнения, который показан для резервной топологии 2 (блок 10). Данный блок определяет направление перехода с одной структуры ИКС на другую при реализации алгоритма структурной адаптации. В этом случае осуществляется проверка условия которое определяет возрастает или снижается интенсивность входного трафика, т.е. вследствие чего необходим переход на другую структуру (из сопредельного состояния справа или сопредельного состояния слева). Переход на следующую топологию вследствие увеличения входной нагрузки будем называть «прямым переходом», а при снижении входного трафика – «обратным переходом».

При нахождении в сопредельном состоянии слева, т.е. невыполнении условия (6) в дальнейшем происходит сравнение текущих значений КПД для структуры ИКС в данный момент времени и предыдущей топологии (блок 7), работающей при меньшей входной нагрузке. В случае выполнения условия в блоке 7 осуществляется обратный переход на основную структуру ИКС (см. блок 8 и пояснение в скобках, рис. 4), в противном случае продолжается работа на резервной топологии 2.

При нахождении в сопредельном состоянии справа (выполнении условия (6), блок 10) в блоке 12 сравниваются текущие значения  $\eta''_{пом2} \geq \eta''_{пом3}$  и, аналогично изложенному выше для основной структуры ИКС (5), принимается решение о продолжении работы на второй топологии (блок 11) или происходит прямой переход на топологию 3, работающую в области более высокой входной нагрузки (блок 13).

$$\eta''_{помN} \geq \eta_{пор} \quad (7)$$

В крайней N-ой из резервных топологий, которая предназначена для работы в условиях самых высоких информационных нагрузок, блоки 14 – 19, 21 не имеют особенностей в сравнении с рассмотренными выше. Они обеспечивают выполнение всех необходимых операций для обеспечения прямого перехода на N-ую и обратного перехода на N-1-ую топологии в соответствии с описанными выше принципами. Особенностью крайней структуры является то, что в случае возникновения неконтролируемого роста информационной нагрузки даже N-ая резервная топология не может обеспечить приемлемого качества информационного обмена. Однако прямой переход для нее отсутствует, поэтому в блоке сравнения 20 проверяется условие при невыполнении которого происходит переход на уровень алгоритмической адаптации для возможного изменения сетевых параметров и возвращения в область приемлемого качества информационного обмена.

Нагляднее работа алгоритма структурной адаптации (для случая с тремя резервными топологиями) раскрыта на рис. 5.

Здесь сплошной линией представлен график зависимости КПД передачи информации с учетом воздействия помех от  $\gamma_{ex}$  для основной структуры 1, пунктирными и штрихпунктирными линиями – графики для резервных топологий 2–4. На графиках показаны: рекомендуемый режим работы ИКС на основной структуре (сопредельный режим слева), а также прямой (с основной структуры на резервную топологию 2) и обратный (с резервной топологии 3 на резервную 2) переходы при реализации алгоритма структурной адаптации (рис. 5) в зависимости от величины  $\Delta\gamma_{ex}$ . Из рис. 5 также видно существенное расширение полосы пропускания ИКС по входному трафику  $P_{\gamma}(\eta_{пор})$ , которая фактически определяется точками на крайних ветвях графиков основной и крайней резервной топологий, что позволяет наглядно судить о положительном

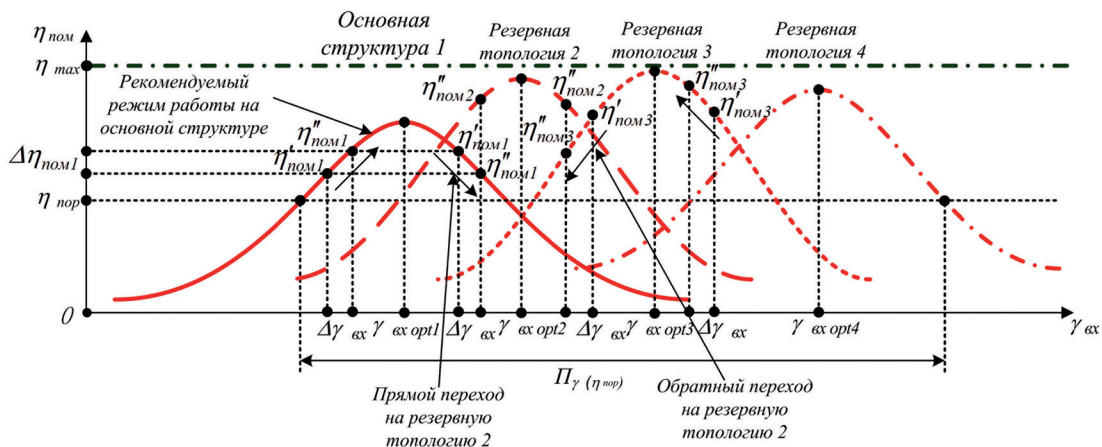


Рис. 5. Процесс структурной адаптации в ИКС с тремя резервными топологиями.

эффекте от применения структурной адаптации.

### Выводы

Результаты совместного решения задач алгоритмической и структурной адаптации в ИКС позволяют сделать следующие важные выводы:

1. Предложена система параметров для оценки эффективности информационного обмена в ИКС, которая может быть использована, в том числе, при работе сети в условиях высокой нагрузки и учитывает свойство временного хранения информации значением кибернетической мощности  $P_{ИКС}$ . Получаемый на ее основе показатель качества – КПД передачи информации, оценивает степень близости ИКС к предельным возможностям по информационному обмену и имеет четкий физический смысл, который позволяет проследить взаимосвязь качества работы системы с основными сетевыми характеристиками, используемыми при параметрическом и алгоритмическом управлении, учесть воздействие помех на работоспособность сети в смысле передачи информации.

2. Введение порогового значения КПД  $\eta_{пор}$ , определяющего минимально допустимые требования к качеству информационного обмена, позволяет ввести новые показатели оценки информационной эффективности ИКС – полосы пропускания ИКС по входному  $P_{\gamma(\eta_{пор})}$ , внутрисетевому  $P_{\lambda(\eta_{пор})}$  трафику и временной задержке  $P_T(\eta_{пор})$  [6]. Их практическое применение на этапах алгоритмической и структурной адаптации ИКС позволяет сформулировать конкретные рекомендации для работы процедур второго и третьего уровней адаптивного управления, направленные на повышение эффективности информационного обмена на всех этапах жизненного цикла ИКС.

3. Необходимость рассмотрения функционирования работы ИКС не только в обычном режиме работы (средней нагрузки) на основной структуре сети, но и в условиях сопредельного состояния, когда входной трафик резко возрастает, требует одновременного учета связности сети и распределения входных потоков. Для этой цели в работе предложено совместное решение задач алгоритмической и структурной адаптации.

4. Задача алгоритмического управления сводится к определению шага и направления изменения основных сетевых параметров, а также к созданию необходимых условий для работы механизмов структурной адаптации. Основываясь на единой системе обобщенных показателей, эти два уровня адаптивного управления работой ИКС работают параллельно, взаимодополняя друг друга. Алгоритм структурной адаптации определяет условия и формирует автоматизированный процесс перехода с основной структуры ИКС на резервные топологии. При разработке алгоритма введены важные понятия: рекомендуемого режима работы основной структуры, сопредельных состояний слева и справа, рекомендуемого нагрузочного со-

стояния, прямого и обратного переходов при выборе топологии ИКС с учетом знака приращения интенсивности входного трафика  $\Delta\gamma_{вх}$ . Несомненным достоинством применения структурной адаптации является значительное увеличение полосы пропускания ИКС, в первую очередь, по входной нагрузке  $P_{\gamma(\eta_{пор})}$ , что можно рассматривать как расширение возможностей эффективного функционирования в сложных условиях изменяющихся в широких пределах внешних воздействий на систему.

5. Управление основными функциями сетевого уровня работы ИКС и выбор оптимизирующей структуры сети на основе циклов оценивания по предложенным показателям позволяет повысить эффективность информационного обмена в ИКС. Как показывают результаты исследований, максимальная эффективность ИКС в смысле передачи информации будет достигаться, когда исходя из степени информационной нагрузки, существует компромисс между обеспечением максимальных скоростей передачи информации по КС и возможностями ее хранения в УК с учетом заданного ограничения по временной задержке и структурного построения сети [3–6].

### Литература

1. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. М.: Изд-во Горячая линия – Телеком. 2006. 600 с.
2. Межуев А.М., Роза А.Н., Коновальчук Е.В. Подход к решению задачи адаптации в автоматизированных системах декаметрового диапазона // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Академические Жуковские чтения» 25-27 ноября 2014 г. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». 2014. С. 110–116.
3. Пасечников И.И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей: Монография. М.: Машиностроение-1. 2004. 216 с.
4. Межуев А.М. Тензорные методы в теории оценки информационной эффективности и анализа элементов цифровых радиосетей (монография). Тамбов: ИНТЕГРАЦИЯ. 2008 г. 262 с.
5. Патент №247928, МПК7 Н04L29/00. Способ оценки информационной эффективности системы связи / А.М. Межуев, И.И. Пасечников, А.В. Пономарев, Д.Л. Стуров (РФ). №2011151376/08. Заявл. 15.12.2011. Опубл. 20.03.13. Бюл. № 8.
6. Межуев А.М., Пасечников И.И., Родзевич А.И. Способ интервальной оценки информационной эффективности цифровых радиосетей // Вестник ТГУ. Т. 20. Вып. 4. 2015. С. 867–872.
7. Харкевич А.А. Очерки общей теории связи. М.: Рипол Классик. 2013 г. 134 с.
8. Межуев А.М., Савельев М.А. Алгоритм двухпараметрического адаптивного управления структурой радиосети декаметрового диапазона // Радиотехника. № 1. 2014. С. 9–14.

**Для цитирования:**

Межуев А.М. Совместное решение задач алгоритмической и структурной адаптации в инфокоммуникационных системах // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 36–43.

## THE JOINT SOLUTION OF PROBLEMS OF ALGORITHMIC AND STRUCTURAL ADAPTATION IN INFOCOMMUNICATION SYSTEMS

**Mezhuev Alexandr Michailovich**  
Voronezh, Russian, multitenzor@mail.ru

**Abstract**

The operation is dedicated to implementation of share problem solving of algorithmic and structural adapting in informational-communication systems (ICS) and networks. The universal system of parameters and indexes permitting to evaluate processes of transmission and an information storage in ICS with allowance for speakers of their variation at an information exchange is put in the basis of the tendered approach to adapting. The concepts are entered into a system of adapting: an efficiency of an information communication, his threshold value, passband on input, network to traffics and on a time delay. It has allowed to present the architecture of multi-level adapting in ICS and to formulate the concrete practical guidelines for operation of procedures insideband of control of network parameters (maiden and second levels of adapting) and interband control (third level of adapting), directional on boosting of efficiency of an information exchange in conditions of a high information load and, including, at structural variations of a system. In the decision of the task of a common adaptive technique the algorithmic adapting allows to define a pitch and direction of variation of the fundamental network parameters with the purpose of provision of indispensable conditions for operation of mechanisms of structural adapting by deduction of a system in area of acceptable values, defined threshold level of an antenna factor of an information communication with allowance for actions of parasites. The procedures of structural adapting define conditions and control the automated process of junction from the fundamental structure ICS on standby of the formed data base of standby topologies. At development of algorithm of share problem solving of algorithmic and structural adapting the concepts are entered: a normal mode of operation of the fundamental structure (in a band of given quality of performance), limiting of conditions at the left and on the right, limiting (optimum) condition, direct and backward junctions at choice of topology ICS with allowance for of character of an increment of in-tensity of input traffic. The application of structural adapting allows to expand passband ICS on input traffic, that allows to speak about expansion of possibilities of effective performance of a network.

**Keywords:** algorithmic and structural adapting, generalized parameter, share decision, threshold value, passband.

**References**

1. Golovin O.V., Prostov S.P. *Sistemy i ustroystva korotkovolnovoy radiosvyazi* [Systems and devices of a short-wave radio communication]. Moscow: Goryachaya liniya - Telecom. 2006. 600 p. (In Russian).
2. Mezhuev A.M., Rosa A.N., Konovalchuk E.V. The approach to the decision of the task of adapting in automated systems of decimeter communication // *Stuffs II of the All-Russia scientific - practical conference "The Academic Joukovskis of reading"*. Voronezh: Military educational centre of science of Air Forces "Air Force Academy". 2014. Pp. 110–116. (In Russian).
3. Pasechnikov I.I. *Metodologiya analiza i sinteza predel'no nagruzhennykh informatsionnykh setey: Monografiya*. [The methodology of the analysis and synthesis of extreme loaded information network systems: The monography]. Moscow: Mashinostroenie-1. 2004. 216 p. (In Russian).
4. Mezhuev A.M. *Tenzornye metody v teorii otsenki informatsionnoy effektivnosti i analiza elementov tsifrovyykh radiosetey (monografiya)* [Tensor methods in theory estimations of information efficiency and analysis of elements of digital radio networks (monography)]. Tambov: INTEGRACIYA, 2008. 262 p. (In Russian).
5. Patent 247928 RF. *Sposob otsenki informatsionnoy effektivnosti sistemy svyazi* [A Mode of an estimation of an information system effectiveness of communication]. Mezhuev A.M., Pasechnikov I.I., Ponomarev A.V., Sturov D.L. Declared 15.12.2011. Published 20.03.13. Bulletin No 8. (In Russian).
6. Mezhuev A.M., Pasechnikov I.I., Rodzevich A.I. A mode of an interval estimation of information efficiency of digital radio networks. *Vestnik TGU*. Vol. 20. No. 4. 2015. Pp. 867–872. (In Russian).
7. Harkevich A.A. *Ocherki obshchey teorii svyazi*. [Essays of a general theory of communication]. Moscow: Ripol Classik. 2013. Pp. 134. (In Russian).
8. Mezhuev A.M., Saveliev M.A. Algorithm of a two-parameter adaptive technique by structure of a radio network of a decimeter radio communication. *Radiotekhnika*. No.1. 2014. Pp. 9–14. (In Russian).

**Information about authors:**

Mezhuev A.M., Ph.D., senior lecturer, the chief stands, Military educational centre of science of Air Forces "Air Force Academy".

**For citation:**

Mezhuev A.M. The joint solution of problems of algorithmic and structural adaptation in infocommunication systems. *H&S Research*. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 36–43. (in Russian).

# ЦИФРОВАЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ВРЕМЕННЫМ МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ

**Деев**

**Владимир Викторович**

д.т.н., профессор, старший преподаватель кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в автоматизированных системах управления (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, deev\_vladimir@mail.ru

**Сирота**

**Сергей Васильевич**

к.т.н., заместитель начальника кафедры телеметрических систем и комплексной обработки информации Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, bogs\_s@mail.ru

**Ключевые слова:**

передача информации, датчик, кодирование, цифровая телеметрическая система, временной множественный доступ.

АННОТАЦИЯ

Целью функционирования космической системы является надёжная и достоверная доставка информации от удалённых бортовых источников потребителям, находящимся в космосе или на Земле. Источниками данных обычно являются научные, инженерные и вспомогательные датчики или подсистемы космического аппарата.

Развитие микропроцессорной техники привело к созданию систем обработки и передачи данных, в том числе бортовых, с большой пропускной способностью и с комплексированием решения различных задач обработки. Современные информационные технологии позволяют создать более эффективные и гибкие телеметрические системы, обладающие большими возможностями при меньших затратах ресурсов: меньшим энергопотреблением, меньшей занимаемой полосой частот, меньшей вероятностью ошибок передачи. В качестве примера рассмотрен вариант цифровой телеметрической системы. В основу организации передачи информации положен метод множественного доступа с временным разделением, в соответствии с которым каждому датчику предоставляются определённые временные окна. С целью предоставления возможности осуществлять передачу информации в широком диапазоне скоростей в системе принято несколько временных разметок. Самая редкая из них определяется длительностью сверхцикла, равному 7,2 с. Каждый сверхцикл состоит из 64 циклов по 0,1125 с. каждый. Цикл разбивается на 256 временных интервалов длительностью 439,453 мкс. Таким образом, в одном сверхцикле содержится 16384 временных интервалов. Выделяя различное число временных интервалов, можно получить разные скорости передачи и количество используемых датчиков. Изменяя длительность сверхцикла, цикла и временных интервалов, можно получить различные значения скоростей передачи данных от датчиков и количество применяемых датчиков.

Приведены различные методы помехоустойчивого кодирования. В современных отечественных радиоэлектронных системах космических комплексов наиболее широкое применение получили лишь несложные способы кодирования, такие как проверка на четность, коды Хемминга, простейшие циклические коды и т. п.

Для передачи информации CCSDS рекомендует использовать три вида кодирования: сверточные коды, коды Рида–Соломона и турбо–коды. Указанные коды могут быть использованы как отдельно, так и в различных комбинациях в зависимости от требований, предъявляемых к конкретному каналу передачи информации.

### Принципы формирования и передачи телеметрической информации рекомендуемые международными стандартами

Быстрое развитие космических систем и систем обеспечения космических полётов, начавшееся в развитых странах в 80-х годах, в значительной степени сказалось на требованиях, предъявляемых к станциям слежения, связи, космическим системам передачи данных.

В настоящее время в качестве международных приняты стандарты консультативного комитета по космическим системам передачи данных CCSDS (Consultative Committee of Space Data Systems) [1].

Целью функционирования космической системы является надежная и достоверная передача информации от удалённых бортовых источников потребителям, находящимся в космосе или на Земле. Источниками данных обычно являются научные, инженерные и вспомогательные датчики или подсистемы космического аппарата.

Развитие микропроцессорной техники привело к созданию систем обработки и передачи данных, в том числе бортовых, с большой пропускной способностью и с комплексированием решения различных задач обработки.

Рекомендации CCSDS распространяются на две функциональные части космической системы: пакетную передачу данных (например, пакетную телеметрию) и помехоустойчивое кодирование в канале [1].

Пакетная система – это стандартизованный и высокоавтоматизированный способ передачи данных, упрощающий процесс доставки потребителям информации от источников. Способ предусматривает формирование в реальном масштабе времени из первичного сигнала каждого источника сообщения автономного «пакета информации», пакета данных. Мультиплексирование независимых пакетов, данных от различных источников в общий цифровой поток, который передаётся на приёмную аппаратуру по радиоканалу с помехами [2]. Демультимплексирование общего цифрового потока и доставку пользователю пакетов данных от источников сообщений, которые его интересуют.

Пакетную передачу данных можно рассматривать как два процесса:

- «сквозную» передачу наборов, данных о прикладных процессах, протекающих в космосе к пользовательским распределённым прикладным процессам, протекающим в космосе или на Земле;

- промежуточную передачу этих наборов, данных в отдельных системах: например, бортовых системах передачи данных, радиолиниях, станциях слежения, центрах управления.

Кодирование в космическом канале – это способ передачи данных по зашумленному радиоканалу, позволяющий безошибочно восстанавливать их на приемной стороне. Дешифровка кодированных данных на приемной стороне позволяет восстанавливать их с низкой вероятностью ошибки и, тем самым, улучшает характеристики канала.

Совместно пакетная передача данных и кодирование в космическом канале обеспечивают надежную и достоверную передачу информации.

### Технологии канального уровня в современных телеметрических системах

В космических системах данные от большого количества источников передаются по общему каналу связи. Канал связи используется в режиме множественного доступа. Канальный (второй) уровень ЭМВОС должен обеспечить верхние уровни виртуальными каналами, а физический уровень предоставить битовый тракт передачи. Появляется необходимость в промежуточном уровне для управления каналами с множественным доступом. Этот уровень называется уровнем управления доступом MAC (Media Access control). Обычно его считают первым подуровнем, т.е. уровнем 2.1. Традиционный канальный уровень в этом случае превращается в уровень управления логическим (виртуальным) каналом LLC (Link Logic Control) и является подуровнем 2.2.

При организации множественного доступа нужно учитывать разные скорости поступления данных от датчиков. Это различие вызвано отличающимися частотами опроса первичных сигналов источников. По теореме Котельникова частота опроса должна удовлетворять условию  $F_0 \geq 2F_b$ . Функциональные параметры различаются по значению  $F_b$ . Скорости выдачи данных могут колебаться от десятков бит в секунду до десятков килобит в секунду. В данной ситуации целесообразно применять асинхронный режим доставки, известный как ATM (Asynchronous Transfer Mode).

В ATM в кадрах используются пакеты (ячейки) фиксированной длины, а в других технологиях применяются пакеты переменной длины. Применение пакетов фиксированной длины позволяет значительно сократить заголовок пакета. Небольшая длина ячеек позволяет уменьшить затраты на их передачу и тем самым обеспечить малые временные задержки, что необходимо для передачи в реальном времени. Принцип ATM иллюстрирует рис.1.

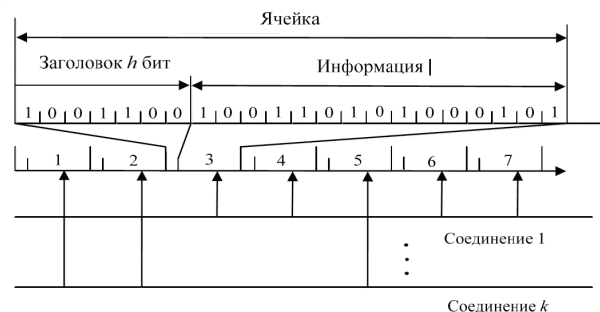


Рис. 1. Принцип асинхронной доставки данных.

Потоки ячеек от различных источников сообщений асинхронно мультиплексируются в единый цифровой поток. Подлежащие передаче данные делятся на части

фиксированной длины по  $l$  бит, которые совместно с заголовком в  $h$  бит образуют ячейку. Термин «асинхронный» означает, что ячейки, принадлежащие одному соединению, поступают в канал связи нерегулярно, поскольку временные интервалы предоставляются источнику данных в соответствии с его реальными потребностями (статистическое мультиплексирование). При этом следует иметь в виду, что общий канал реализует синхронный режим работы, т. е. символическая синхронизация поддерживается в канале независимо от того, передаются данные пользователя или нет [3].

Размер ячейки определяется интерфейсом с нижним подуровнем–подуровнем кодирования. Рекомендацией ITU-T предложен формат ячейки, содержащий 5 октетов и поле данных 48 октетов, т. е. всего 53 октета.

Основной функцией заголовка является идентификация виртуального соединения и обеспечение гарантии правильной маршрутизации. Заголовок дает возможность мультиплексирования различных виртуальных соединений в одном цифровом тракте. Ошибка в заголовке может привести к неправильной доставке данных. Для защиты предусмотрено поле контроля ошибок 8 бит. Эти биты формируются с применением циклического кода Боуза–Чоудхури–Хоквингема (БЧХ), задаваемого образующим полиномом

$$g(x) = x^8 + x^2 + x + 1 \quad (1)$$

Важной функцией канального уровня является фрагментация блоков данных на части фиксированной длины. При этом в качестве блоков данных, подлежащих делению, могут использоваться как кадры канального уровня, так и блоки более высоких уровней эталонной модели. В системе, использующей кадры фиксированной длины, передача данных от источников осуществляется асинхронным временным разделением ресурса общего канала, при котором множество виртуальных каналов могут иметь различные скорости поступления данных. С увеличением скорости возрастает частота следования кадров.

Другой важной функцией канального уровня является обеспечение безошибочной передачи данных от источника до получателя. Это достигается использованием помехоустойчивых кодов и контроля передаваемых данных. Самый первый протокол канального уровня X.25 был предназначен для работы по каналам с большой вероятностью искажений. Совершенствование среды передачи, связанное с уменьшением количества ошибок, позволило сократить функцию проверки кадра на безошибочность приема. В технологии FR (FrameRelay) проверяется только целостность кадра. Но в телеметрических системах, работающих с низкой энергетикой, помехоустойчивое кодирование рекомендуется. Размер ячейки определяется используемыми методами кодирования и декодирования. Поэтому рассмотрим рекомендуемые методы помехоустойчивого кодирования.

В качестве примера рассмотрим вариант цифровой телеметрической системы [4]. В основу организации

передачи информации положен метод множественного доступа (МД) с временным разделением (ТДМА), в соответствии с которым каждому датчику предоставляются определенные временные окна. С целью предоставления возможности осуществлять передачу информации в широком диапазоне скоростей в системе принято несколько временных разметок. Самая редкая из них определяется длительностью сверхцикла 7,2 сек. Каждый сверхцикл состоит из 64 циклов по 0,1125 сек. Цикл разбивается на 256 временных интервалов (ТС) длительностью 439,453 мкс. Таким образом, в одном сверхцикле содержится 16384 ТС. Границы ТС фиксируются СЕВ. В ТС передается 225 бит данных.

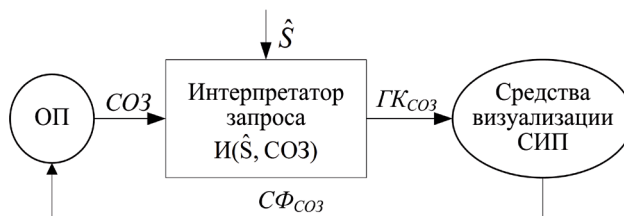


Рис. 2. Структура метода множественного доступа с временным разделением.

Групповая скорость передачи телеметрической информации  $225/439,453 \text{ мкс} = 512 \text{ кбит/сек}$ . При самой низкой скорости передачи датчику выделяется один ТС в сверхцикле передачи. В этом случае данные передаются со скоростью  $225 \text{ бит}/7,2 \text{ сек} = 31,25 \text{ бит/сек}$ . При использовании кодовых комбинаций из 10 бит частота опроса датчика равна 3,125 Гц. Максимальное число подключаемых датчиков 16384.

При выделении 32 ТС скорость передачи  $31,25 * 32 = 1000 \text{ бит/сек}$ . Можно подключить датчик с частотой опроса 100 Гц. В случае выделения 1024 ТС организуется передача от 32 датчиков с частотой опроса 100 Гц. При выделении 8192 ТС осуществляется передача данных от 256 датчиков с частотой опроса 100 Гц.

Датчику можно выделить 8192 ТС. В этом случае организуется работа двух датчиков со скоростью передачи от каждого 32 кбит/сек. Частота опроса датчика равна 3,2 кГц. Возможно организовать передачу быстрой телеметрии. При использовании 4096 ТС можно использовать четыре датчика с частотой опроса 1,6 кГц.

Выделяя различное число ТС, можно получить разные скорости передачи и количество используемых датчиков. Изменяя длительности сверхцикла, цикла, интервалов ТС и количество бит в ТС, можно получить другие значения скоростей передачи данных от датчиков и количество применяемых датчиков. Увеличением количества бит в ТС можно применить помехоустойчивое кодирование. Например, использовать код Рида-Соломона (31,15) с основанием  $m=32$ .

#### Канальное кодирование в телеметрических системах

В современных отечественных радиоэлектронных системах космических комплексов наиболее широкое

применение получили лишь несложные способы кодирования, такие как проверка на четность, коды Хемминга, простейшие циклические коды и т. п.

Для передачи информации CCSDS рекомендует использовать три вида кодирования: свёрточные коды, коды Рида–Соломона и турбо-коды. Указанные коды могут быть использованы как отдельно, так и в различных комбинациях в зависимости от требований, предъявляемых к конкретному каналу передачи информации.

Для передачи информации CCSDS рекомендует применять код Рида–Соломона, построенный с использованием элементов поля Галуа  $GF(2^8)$ . Элементы поля, полученные по неприводимому многочлену,

$$f(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8 \quad (2)$$

приведены в [5].

Рекомендуется использовать код Рида–Соломона (255,239) с кодовым расстоянием  $d = 17$ , исправляющий  $t = 8$  ошибок.

Порождающий многочлен кода

$$g(x) = (x^8 + \alpha^{109}x + \alpha^{36})(x^8 + \alpha^{117}x + \alpha^{100}) = \alpha^{136} + \alpha^{29}x + \alpha^{226}x^2 + \alpha^{106}x^8 + \alpha^{121}x^9 + x^{16} \quad (3)$$

Используя порождающий многочлен, можно построить порождающую матрицу. При большом значении длины блока применять матрицу для кодирования сложно. Удобнее использовать кодирующее устройство с делением на порождающий многочлен.

Структурная схема кодирующего устройства с делением на порождающий многочлен

$$f(x) = \alpha^{136} + \alpha^{29}x + \alpha^{226}x^2 + \alpha^{106}x^8 + \alpha^{121}x^9 + x^{16} \quad (4)$$

показана на рис. 3.

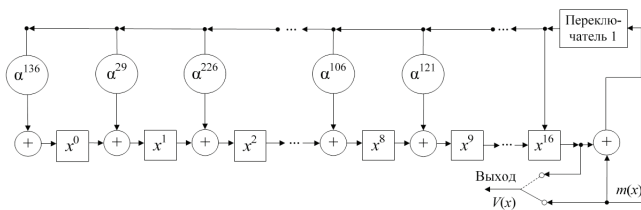


Рис. 3. Кодирование с помощью 16-разрядного регистра сдвига

С выхода кодирующего устройства последовательность  $V(x)$  поступает на модулятор. В модуляторе с помощью ФМ кодовые комбинации преобразуются в сигналы. В наземной приемно-региструющей станции (НПРС) после усиления сигнала демодулятор преобразует сигнал ФМ в двоичные символы, при этом происходят ошибки с вероятностью  $P_0$ .

Отсутствие ошибки в принятии байта определяется по формуле:

$$Q_S = q_0^8 = (1 - P_0)^8, \quad (5)$$

где  $q_0$  – вероятность правильного приёма двоичного символа.

Вероятность ошибочного приёма байта вычисляется по следующей формуле:

$$P_S = 1 - Q_S = 1 - (1 - P_0)^8 = 1 - (1 - 8P_0) = 8P_0. \quad (6)$$

В результате обработки в декодере кода Рида–Соломона исправляются байты ошибок кратностью до  $t = 8$ . Для декодирования может использоваться алгоритм Берлекэмпа–Мэсси, принцип работы которого рассмотрен в [5]. Вероятность ошибки приема каждого байта из 239 вычисляется по формуле:

$$P_K = \sum_{i=t+1}^n \frac{i+t}{n} C_n^i P_S^i (1 - P_S)^{n-i}, \quad (7)$$

где  $C_n^i = C_{255}^{17} = \frac{255!}{17!(255-17)!} = 3,1 \cdot 10^{-1}$ .

При  $P_0 = 0,1$   $P_K = \frac{17}{255} \cdot 3,1 \cdot 10^{-1} \cdot 8 \cdot 10^{-9} = 1,7 \cdot 10^{-10}$

вероятность ошибочного приема бита информации вычисляется по формуле:

$$P_6 = \frac{2^{K-1}}{2^K - 1} \cdot P_K, \quad (8)$$

где  $K$  – количество информационных символов в элементе поля  $GF(2^8)$ .

Тогда

$$P_6 = \frac{2^7}{2^8 - 1} \cdot 1,7 \cdot 10^{-10} = 0,9 \cdot 10^{-10} \quad (9)$$

По каналу с низкой энергетикой ( $P_0 = 0,1$ ) обеспечивается качество передачи информации, определяемое только шумами квантования.

Таким образом, использование кодирования позволяет достичь предельной энергетической эффективности передачи информации.

### Итеративно декодируемые коды.

#### Принцип турбо-кодирования

В современных системах космической связи наблюдается внедрение новой структуры кодирования с итеративным декодированием, которая получила название турбо-кодирование. Турбо-коды – это параллельные каскадные коды [5]. На практике турбо-кодер состоит из  $M$  компонентных кодеров (КК) и  $M - 1$  перемежителей, где  $M$  – размерность кода, соединенных по схеме, показанной на рис. 4. Каждый из кодеров вычисляет только проверочные символы, информационные символы подаются на выход непосредственно. Таким образом, турбо-код представляет систематический код, в котором проверочная группа образуется мультиплексером ( $M$ ) из проверочных символов, генерируемых компонентными кодерами. Информационная последовательность подается на первый кодер непосредственно, а на другие через перемежители  $P_i, i = 1, \dots, M - 1$ . Чаще всего используются конструкции из двух кодов, которые могут быть свёрточными или блочными.

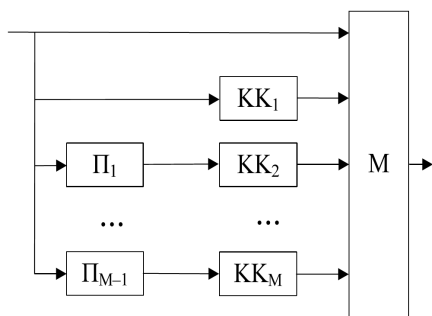


Рис. 4. Структура турбо-кодера

В процессе декодирования происходит передача вычисленных сведений об апостериорной вероятности информационных символов с выхода первого декодера, использующего проверочные символы первого кодера, на вход второго декодера. Во втором декодере используются проверочные символы второго кодера. После уточнения сведения подаются на вход первого декодера для следующей итерации. Операция обмена сведениями повторяется до тех пор, пока накопившихся сведений не будет достаточно для принятия надежных решений.

В качестве составляющих компонентов для турбо-кода рекомендуется использовать рекурсивный систематический свёрточный код (РССК). Схема турбо-кодера представлена на рис.5. На первый из компонентных кодеров информационный поток поступает в явном виде через буфер (Б), на второй через перемежитель (П) псевдослучайного типа. В систематическом кодере входные информационные символы по одному пути прямо, без каких-либо преобразований передаются на выход кодера.

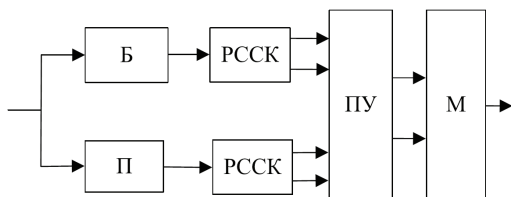


Рис. 5. Турбо-кодер с двумя рекурсивными кодерами

По другому пути информационные символы преобразуются в избыточные символы. При этом устанавливаются определённые связи между кодируемыми символами. Формирование избыточных символов осуществляется с помощью регистра и сумматоров по mod 2. В рекурсивных кодах кодируемые биты с некоторых ячеек регистра подаются обратно на вход кодера. В схеме перед мультиплексором М стоит перфорирующее устройство ПУ, которое выполняет систематическое удаление из кода некоторых символов. При выполнении этой операции структура решетки кода не изменяется, количество передаваемых информационных символов сохраняется. Перфорируемые свёрточные коды используются для снижения относительной скорости кода R и полосы частот, занимаемой сигналом в радиоканале.

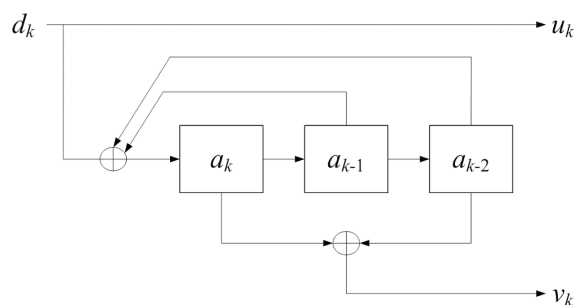


Рис. 6. Рекурсивный систематический кодер

На рис. 6 показан пример рекурсивного систематического кодера с протяжённостью кодового ограничения  $k_t = 3$ .

В этом кодере прямая связь задается образующим полиномом  $g(x) = 1 + x^2$ , по которому определяется соотношение для формирования избыточных символов:

$$v_k = a_k \oplus a_{k-2} \quad (10)$$

Обратная связь описывается проверочным полиномом  $h(x) = 1 + x + x^2$ . По этому полиному строится проверочная матрица.

$$H = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} .$$

Строки проверочной матрицы определяют уравнения:

$$a_k \oplus a_{k-1} \oplus a_{k-2} = 0, \quad k = 3, 4, \quad (11)$$

Из данных уравнений имеем соотношение

$$a_k = a_{k-1} \oplus a_{k-2} . \quad (12)$$

С учётом входного символа  $d_k$  и (12) получаем соотношение

$$a_k = d_k \oplus a_{k-1} \oplus a_{k-2} \quad (13)$$

В качестве другого примера рассмотрим характеристики турбо-кода, который используется в системе спутниковой связи Инмарсат-4м. Компонентный кодер представляет собой рекурсивный свёрточный код с относительной скоростью  $R = 1/2$  и длиной кодового ограничения  $k_t = 5$ . Число состояний кодера 16. Работа кодера описывается образующим полиномом

$$g(x) = 1 + x + x^2 + x^4 \quad (14)$$

и проверочным полиномом

$$h(x) = 1 + x + x^2 + x^4 \quad (15)$$

Кодируется блок из 2608 двоичных символов.

### Заключение

Переход на цифровые методы передачи, внедрение пакетной передачи и коммуникации, использование сетевых технологий, применение методов сжатия телеметрических данных и помехоустойчивого кодирования повышают достоверность и оперативность сбора и обработки информации. В статье рассмотрена идея построения более совершенных информационно-телеметри-



ческих систем, построенных на основе множественного доступа с временным разделением, приведены виды кодирования, которые позволяют достичь предельной энергетической эффективности передачи информации.

#### Литература

1. ECSSE-ST-50-12C Space Wire – Links, nodes, routers and networks. – European Cooperation for Space Standardization (ECSS). 2008. 129 с.

2. Патент 83886 РФ. Мультисенсорная радиосистема передачи данных / Сирота С.В. // Заявл. 04.06.2007. опубл. 02.06.2008. Бюл. № 21. 4 с.

3. Фомин А.И. Синхронизация цифровых радиосистем передачи информации. М.: Сайнс-Пресс. 2008. 80 с.

4. Патент 86828 РФ. Телеметрическая система / Сирота С.В. // Заявл. 11.01.09. Опубл. 10.09.09. Бюл. № 25.

5. Деев В.В. Методы модуляции и кодирования в системах связи с общим каналом. СПб.: ВАС. 2014. 77 с.

#### Для цитирования:

Деев В.В., Сирота С.В. Цифровая телеметрическая система с временным множественным доступом // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 44–49.

### DIGITAL TELEMETRIC SYSTEM WITH TEMPORARY MULTIPLE ACCESS

**Deev Vladimir Viktorovich,**

St. Petersburg, Russian, deev\_vladimir@mail.ru

**Sirota Sergei Vasilevich,**

St. Petersburg, Russian, bogs\_s@mail.ru

#### Abstract

The purpose of the operation of a space system is safe and reliable delivery of information from remote onboard sources to the consumers who are in space or on Earth. The data sources are usually scientific, engineering and auxiliary sensors or subsystems of the spacecraft.

The development of microprocessor technology led to the creation of data processing and data transmission, including on-board, high capacity and aggregation in solution of various processing tasks. Modern information technologies allow a more efficient and flexible telemetry system has a great potential with less resources: lower power consumption, less occupied bandwidth, less probability of transmission errors. As an example the embodiment of the digital telemetry system. The basis of the organization transmission of information on the method of multiple access time division, according to which each sensor provided certain time windows. In order to enable the transmission of data over a wide speed range the system adopted some temporary markings. The rarest of them are determined by the length of the super frame, equal to 7.2 second. Each super frame consists of 64 cycles with 0.1125 second each. The cycle is divided into 256-time slots 439.453-microsecond duration. Thus, in one super frame contains 16384 times slots.

Allocating different number of slots available different transmission rate and the number of sensors used. By varying the length of the super frame, cycles and time intervals, you can get a variety of data rates from the sensors and the number of sensors used. The article describes various methods of error-correcting coding. In modern domestic radio-electronic

systems, space systems most widely used simple methods of coding, such as parity, Hamming codes, simple cyclic codes, and so on. To transfer information CCSDS recommends the use of three types of coding: convolutional codes, Reed-Solomon codes, and turbo codes defined codes can be used separately. These codes can be used both individually and in various combinations or depending on the requirements of a particular transmission channel information.

**Keywords:** Transmission of information, end organ, codification, digital telemetering system, time division multiple access.

#### References

1. ECSSE-ST-50-12C Space Wire – Links, nodes, routers and networks. – European Cooperation for Space Standardization (ECSS), 2008. 129 p.

2. Patent 83886 RF. Мультисенсорная радиосистема передачи данных [Multitouch radio system of data transmission]. Sirota S.V. Declared 04.06.07. Published 02.06.08. Bulletin No. 21. 4 p. (In Russian).

3. Fomin I.A. Synchronizaciya cifrovyyh radiosistem peredachi informacii [Synchronization of digital radio systems of information transfer]. Moscow: Sains-Press. 2008. 80 p. (In Russian).

4. Patent 86828 RF. Телеметрическая система [Telemetric system]. Sirota S.V. Declared 11.01.09. Published 10.09.09. Bulletin No. 25. 3 p. (In Russian).

5. Deev V.V. Metody modulyatsii i kodirovaniya v sistemah svyazi s obshchim kanalom [Modulation and coding techniques in communication systems with a common channel]. SPb.: Military Academy of Telecommunications. 2014. 77 p. (In Russian).

#### Information about authors:

Deev V.V., Ph.D., professor, senior lecturer in technology and means of complex information processing and transmission in automatic control systems (troops), Military Aerospace Academy;

Sirota S.V., Ph.D., deputy head of the department of telemetry systems and complex information processing, Military Aerospace Academy.

#### For citation:

Deev V.V., Sirota S.V. Digital telemetric system with temporary multiple access. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 44–49. (in Russian).

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ СИЛ

## **Волков Валерий Фёдорович**

д.в.н., профессор, профессор кафедры  
системного анализа и математического  
обеспечения АСУ (войсками)  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
feder1105@mail.ru

## **Галанкин Андрей Вячеславович**

к.т.н., заместитель начальника кафедры  
системного анализа и математического  
обеспечения АСУ (войсками)  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
Biruk98@gmail.com

## **Федер Александр Львович**

к.т.н., доцент, докторант  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
feder1105@mail.ru

### **Ключевые слова:**

цикл управления, сложная  
организационно-техническая система  
специального назначения,  
автоматизированная система  
управления, комплекс средств  
автоматизации, система  
интеллектуальной  
поддержки принятия решений.

### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена описанию процесса автоматизированного управления сложными организационно-техническими системами специального назначения (СОТС СН) вновь созданного вида Вооруженных сил Российской Федерации Воздушно-космических сил (ВКС). В начале работы дано понятие СОТС СН применительно для ВКС.

Проанализированы особенности формирований ВКС как объекта управления, которые оказывают существенное влияние на вопросы создания автоматизированных систем управления (АСУ) для них. Приведен перечень основных задач, решение которых должны обеспечивать средства автоматизации органов управления АСУ ВКС. Решение этих задач имеет ряд существенных особенностей, определяемых условиями ведения боевых действий (действий по предназначению) формирований ВКС.

В работе представлены основные элементы системы автоматизированного управления войсками, причем основной из них признана техническая основа – технические средства управления. Данные средства управления состоят из средств телекоммуникаций, средств автоматизированного управления и специальных систем. Перечисленные элементы обеспечивают обмен всеми видами информации в системе управления ВКС, и представляет собой совокупность определенным образом организованных во времени и пространстве информационных, вычислительных и телекоммуникационных ресурсов, предназначенных для обеспечения управления силами и средствами в едином информационном пространстве, в любых условиях обстановки. Авторы провели сравнительный анализ циклов управления объединяемых подсистем, разработка которых, вследствие «исторических» причин, велась «обособленно». При этом они отмечают, что вопросы выявления, формализации и практической реализации в автоматизированном (автоматическом) режиме циклов управления являются одними из самых сложных в процессе создания АСУ СОТС СН ВКС. Показаны тенденции развития и научно-методические положения, которые должны быть учтены при обосновании тактико-технических требований к результатам опытно-конструкторских работ. При этом основным направлением в развитии автоматизации процессов управления считают создание систем интеллектуальной поддержки принятия решений на основе информационно-моделирующих (расчетных) комплексов, позволяющих должностным лицам органов управления принимать качественные решения в условиях информационного противоборства противника.

Управленческая деятельность (применительно к сложным организационно-техническими системами специального назначения (СОТС СН) в современных условиях сложна и многообразна. Под сложной организационно-технической системой будем понимать искусственную, самоорганизующуюся, динамическую, организационно-техническую совокупность взаимосвязанных элементов, предназначенных для управления, как техническими средствами, так и личным составом формирований. Управленческая деятельность включает в свой состав решение большого круга задач, организацию и осуществление многих сложных мероприятий, связанных с подготовкой применения СОТС СН Воздушно-космических сил (ВКС) и руководством ими в ходе применения по назначению в различных условиях обстановки [1].

Анализ показывает, что управленческая деятельность, с одной стороны представляет собой совокупность последовательно выполняемых должностными лицами органов управления (ДЛ ОУ) работ, объединенных единством цели и общностью решаемых задач по управлению, а с другой – совокупность тесно связанных между собой организационных форм работы, методических приемов непосредственного решения задач управления и субъективных качеств должностных лиц органов управления. Эти стороны в конечном итоге составляют технологию управленческой деятельности.

В соответствии с содержанием управленческой деятельности, процесс управления СОТС СН ВКС в общем случае складывается из последовательной реализации комплекса ряда взаимосвязанных этапов. Эти этапы составляют цикл управления, который охватывает комплекс мероприятий, выполняемых командирами и органами управления с учетом конкретных условий обстановки.

Таким образом, основная цель автоматизации управления СОТС СН – это приведение уровня управленческой деятельности ДЛ ОУ и самих органов управления в соответствие с предъявляемыми требованиями за счет широкого использования современных математических методов, информационных технологий, комплексов средств автоматизации (КСА) и эффективных средств и систем телекоммуникации.

Отдельно заметим, что вопросы выявления, формализации и практической реализации в автоматизированном (автоматическом) режиме циклов управления являются одними из самых сложных в процессе создания автоматизированных систем управления (АСУ) СОТС СН ВКС. Прежде всего, это определяется существенным разнообразием принимаемых должностными лицами решений.

В частности, каждый цикл управления СОТС СН ВКС складывается из следующих этапов:

1. Сбора и обработки информации о внешней среде, своих силах и средствах, средствах управления и связи, окружающей обстановке.

2. Уяснения задачи управления и оценки обстановки.

3. Планирования применения СОТС СН в условиях изменившейся обстановки.

4. Выработки и принятия решения по управлению СОТС СН.

5. Формирования управляющих сигналов, команд, распоряжений, приказов.

6. Доведения управляющих сигналов, команд, приказов и распоряжений до подчиненных формирований.

7. Контроля доведения и исполнения приказов и распоряжений.

Каждый из перечисленных выше этапов имеет свое содержание, целенаправленность, логику, может выполняться тем или иным методом в зависимости от конкретных условий обстановки и других факторов, а также имеет свои подходы по их автоматизации.

Особенности ВКС как объекта управления оказывают существенное влияние на вопросы создания АСУ ВКС. Наиболее характерной их чертой являются сложность структуры, функционирования, выбора поведения и развития системы.

В соответствии с ГОСТ 34.003.90 «Автоматизированные системы. Термины и определения» в зависимости от вида управляемого объекта (процесса) АСУ делят на АСУ технологическими процессами, АСУ предприятиями и АСУ специального назначения (АСУ СН). Одним из представителей АСУ СН является АСУ военного назначения.

АСУ военного назначения представляет собой совокупность личного состава, КСА и средств телекоммуникаций, реализующую информационную технологию выполнения задач по обработке информации и управлению в интересах эффективного функционирования управляемых объектов.

В настоящее время под АСУ войсками (АСУВ) понимается совокупность информационно-взаимосвязанных органов и объектов управления с их боевыми расчетами и техническими средствами, реализующими выработанные военной наукой и принятые в практике войск функции и методы управления войсками в интересах эффективного выполнения боевых задач.

Из определений следует, что в АСУВ в целом можно выделить три основные части:

1. Личный состав органов и объектов управления.

2. Технические средства управления (КСА).

3. Методы и способы управления, реализуемые личным составом и средствами автоматизированного управления войсками.

В соответствии с ГОСТ 34.003-90 в состав АСУВ входят функциональная часть и обеспечивающая часть. Функциональная часть АСУВ – это комплекс административных, организационных и математических методов, обеспечивающих реализацию задач планирования, сбора и обработки информации для принятия решения по управлению войсками. Эта часть предназначена для решения целевых задач АСУВ.

Обеспечивающая часть АСУВ предназначена для обеспечения возможности качественного решения за-

дач функциональной части, а также для поддержания автоматизированной системы в постоянной готовности.

Техническая основа системы управления состоит из средств телекоммуникаций, средств автоматизированного управления и специальных систем. Перечисленные элементы обеспечивают обмен всеми видами информации в системе управления ВКС, и представляет собой совокупность определенным образом организованных во времени и пространстве информационных, вычислительных и телекоммуникационных ресурсов, предназначенных для обеспечения управления силами и средствами СОРТС СН ВКС в едином информационном пространстве (ЕИП), в любых условиях обстановки [2].

ЕИП Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ) в широком смысле можно определить как специальным образом упорядоченную совокупность всей информации, имеющейся в ВС РФ, а в узком – как совокупность информационных ресурсов ВС РФ, упорядоченную по единым принципам и правилам формирования, формализации, хранения, распространения [3].

Основным предназначением ЕИП является наиболее полное удовлетворение в реальном масштабе времени информационных потребностей должностных лиц органов управления.

Основным элементом структуры ЕИП являются хранилища информации, которые представляют собой многомерные массивы информации, имеющие одинаковую структуру и содержащие интегрированную совокупность информационных ресурсов, преобразованных по установленным общим правилам хранения информации в ЕИП ВС РФ [4].

Средства автоматизированного управления предназначены для повышения качества управления СОРТС СН ВКС за счет использования возможностей современных информационных технологий, обеспечивающих автоматизацию процессов управления в повседневной деятельности, при подготовке к применению и в ходе применения, а также для информационного взаимодействия с другими СОРТС СН, органами государственной власти субъектов РФ и органами местного самоуправления. Основным направлением в развитии автоматизации процессов управления является создание систем интеллектуальной поддержки принятия решений на основе информационно-моделирующих (расчетных) комплексов, позволяющих ДЛ ОУ принимать качественные решения в условиях информационного противоборства противника [5].

Организационно-технически в структуре средств автоматизированного управления ВКС выделяются:

- средства автоматизированного управления СОРТС СН ВКС;
- средства автоматизированного управления боевыми средствами (оружием) ВКС;
- средства автоматизированного управления отдельными специализированными системами.

Структурно АСУ СОРТС СН ВКС включает в себя:

- комплексы средств автоматизации (КСА) пунктов управления (штабов) и должностных лиц;

- установленную на пунктах управления (в штабах) аппаратуру передачи данных, средства и каналы связи;

- пункты управления и другие объекты с размещенными на них дежурными расчетами, осуществляющими применение КСА.

В состав средств автоматизации АСУ ВКС входят также бортовые комплексы технических средств (БКТС).

В целом средства автоматизации органов управления АСУ ВКС должны обеспечивать решение следующих основных задач:

- ведение и отображение информации по обстановке, плану применения сил и средств;

- выдачу оперативному составу вышестоящих органов управления предложений, рекомендаций для выработки решения на применение сил и средств в соответствии с реальной обстановкой;

- ведение базы данных по всем объектам инфраструктуры подчиненных сил;

- сбор, хранение, обмен, обработку и представление информации по типовым ситуациям;

- проработку вариантов решений на выполнение поставленных задач с учетом реально сложившейся обстановки.

- решение задач управления повседневной деятельностью (учет личного состава, контроль исполнения документов, формирование потребностей и учет материальных средств, контроль и расчет всех видов довольствия и др.);

- обеспечение доступа к базам данным штабов, их отделов, служб для использования имеющейся информации при планировании применения сил и средств, а также при управлении повседневной деятельностью в соответствии с порядком подчиненности и должностными полномочиями;

- разработку и обмен установленными видами документов в порядке подчиненности между органами управления различных уровней иерархии (организация автоматизированного документооборота);

- организацию автоматизированного (автоматического) информационного обмена с взаимодействующими органами управления других видов и родов войск.

Таким образом, процесс автоматизированного управления СОРТС СН ВКС является наиболее важной составной частью управления боевыми действиями (действиями по предназначению) ВКС. Методологическую основу процесса автоматизированного управления СОРТС СН ВКС составляет теория автоматизированного управления войсками, техническую – АСУ ВКС.

Процесс автоматизированного управления СОРТС СН ВКС имеет ряд существенных особенностей, определяемых условиями ведения боевых действий (действий по предназначению) формирований ВКС. Анализ тенденций изменения этих условий позволит создать основу для определения направлений развития системы и процесса автоматизированного управления СОРТС СН ВКС в целом.

## Литература

1. Федер А.Л., Вечеркин В.Б., Жадобов И.В., Жигулин Ю.А. Анализ основных направлений строительства и развития системы управления Войск ВКО // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. Ч.1. СПб. : ВКА имени А.Ф.Можайского, 2014. С. 83–97.

2. Легков К.Е. Новые принципы построения автоматических систем управления современными инфокоммуникационными сетями специального назначения // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2015. Т.7. № 1. С. 38–41.

3. Волков В.Ф., Федер А.Л., Толмачев А.А. Основные требования к информационному обеспечению

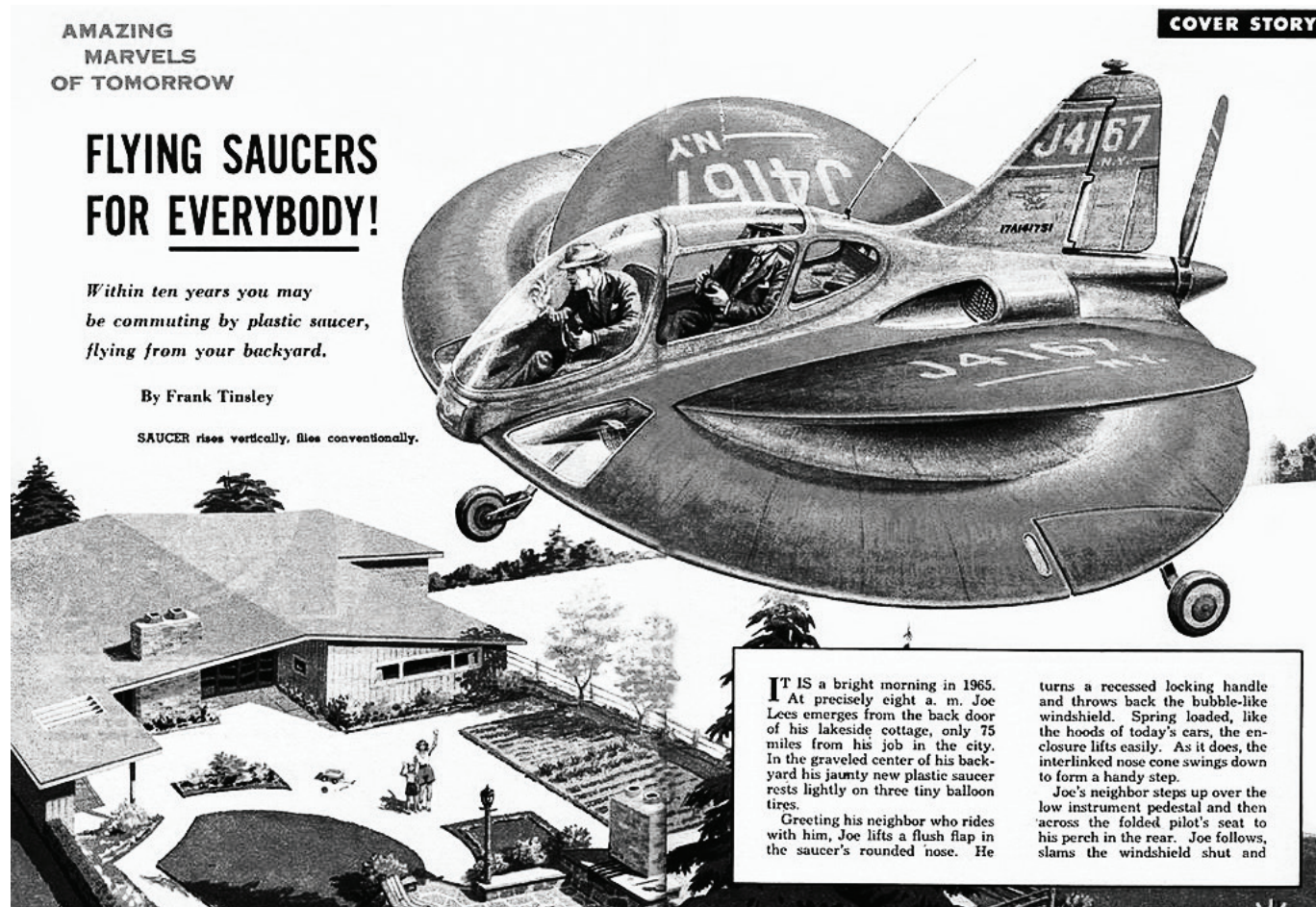
автоматизированных систем специального назначения // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. СПб. : ВКА имени А.Ф.Можайского, 2013. Вып. 640. С. 182–188.

4. Козичев В.Н., Каргин В.Н., Ширманов А.В., Голошев С.П. Перспективы создания корпоративных автоматизированных информационных систем военного назначения // Военная мысль. 2015. № 10. С. 19–33.

5. Волков В.Ф., Федер А.Л., Толмачев А.А. Особенности разработки информационно-расчетных задач при планировании применения систем специального назначения // Информационный бюллетень регионального отделения АВН. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2014. Вып. 29. С. 174–178.

## Для цитирования:

Волков В.Ф., Галанкин А.В., Федер А.Л. Общая характеристика процесса автоматизированного управления сложными организационно-техническими системами специального назначения Воздушно-космических сил // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 50–54.



## GENERAL CHARACTERISTICS OF THE PROCESS OF AUTOMATIC CONTROL OF COMPLEX ORGANIZATIONAL –TECHNICAL SYSTEMS FOR SPECIAL APPLICATIONS OF THE AEROSPACE DEFENSE FORCES

**Volkov Valery Fedorovich**

St. Petersburg, Russian, feder1105@mail.ru

**Galankin Andrey Viacheslavovich**

St. Petersburg, Russian, Biruk98@gmail.com

**Feder Aleksandr Lvovich**

St. Petersburg, Russian, feder1105@mail.ru

### Abstract

This paper describes a process for automated management of complex organizational-technical systems for special applications (COTS SN) to the newly created branch of the Armed Forces of the Russian Federation Air and space forces (VKS). In the beginning the author defines the concept of COTS in relation to SN VC troops.

Analyzed features of the VC units as an object of management that have a significant impact on the creation of automated control systems (ACS) for them. Lists the major tasks which must ensure the automation of the management bodies of ACS, ATT. The solution of these problems has a number of significant characteristics defined by the terms of engagement (action mission) forces HQs.

The paper presents the basic elements of an automated control system of forces, with most of them recognized the technical basis and technical means of control. Data management tools consist of means of telecommunications, means of automated control and special systems. These elements provide a sharing of all kinds of information in the control system VC, and represents the totality in a certain manner organized in time and space information, computing and telecommunication resources to ensure management of forces and resources in a single information space, in any situation.

The authors conducted a comparative analysis of control cycles combine subsystems, which, due to "historical" reasons, was carried out separately". However, they note that the identification, formalization and practical implementation in an automated (unattended) mode control cycles are among the most difficult in the process of creating ACS COTS CH ATT. The development tendencies of scientific and methodological provisions that must be taken into account

in the substantiation of tactical-technical requirements to results of development activities. The main direction in the development of automation of management processes consider creation of systems of intellectual support of decision-making based on information-modeling (design) systems, allowing officials to management to take quality decisions under conditions of information warfare opponent.

**Keywords:** control cycle, complex organizational and technical system of a special purpose, automated control system, complex of an automation equipment, system of intellectual support of decision-making.

### References

1. Feder A.L., Vecherkin V.B., Zhadobov I.V., Zhigulin Y.A. Analiz osnovnyh napravlenij stroitelstva i razvitiya sistemy upravleniya Vojsk VKO // Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. Ch.1. Saint-Petersburg: Military space Academy named after A.F.Mozhaisky. 2014. Pp. 83–97. (In Russian).
2. Legkov K.E. New principles of creation automated control systems for modern infocommunication networks of a special purpose. H&ES Research. 2015. Vol.7. No.1. Pp. 38–41. (In Russian).
3. Volkov V.F., Feder A.L., Tolmachev A.A. Osnovnye trebovaniya k informacionnomu obespecheniyu avtomatizirovannyh sistem specialnogo naznacheniya // Trudy VoЕННО-kosmicheskoy akademii imeni A.F.Mozhaiskogo, Vyp. 640. Saint-Petersburg: Military space Academy named after A.F.Mozhaisky. 2013. Pp. 182–188. (In Russian).
4. Kozichev V.N., Kargin V.N., Shirmanov A.V., Goloshev S.P. Perspektivy sozdaniya korporativnyh avtomatizirovannyh informacionnyh sistem voennogo naznacheniya // Voennaya mysl. 2015. No. 10. Pp. 19–33.
5. Volkov V.F., Feder A.L., Tolmachev A.A. Osobennosti razrabotki informacionno raschetnyh zadach pri planirovani primeneniya sistem specialnogo naznacheniya // Informacionnyj byulleten regionalnogo otdeleniya AVN. No. 29. Smolensk: VA VPVO VS RF. 2014. Pp. 174–178. (In Russian).

### Information about authors:

Volkov V.F., professor of chair, Military Space Academy; Galankin A.V., deputy head of the Department, Military Space Academy;

Feder A.L., doctoral student, Military Space Academy.

### For citation:

Volkov V.F., Galankin A.V., Feder A.L. General characteristics of the process of automatic control of complex organizational –technical systems for special applications of the aerospace defense forces. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 50–54. (in Russian).



# 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)

# ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ В НИХ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ

**Казахов**

**Батраз Джумаевич,**

д.в.н., доцент, начальник 101 кафедры  
Военно-космической  
академии имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия

**Соловьёв**

**Владимир Валерьевич,**

адъюнкт 101 кафедры  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского  
г. Санкт-Петербург, Россия

## Ключевые слова:

автоматизированная система управления, комплекс средств автоматизации, информационно-моделирующие системы, система интеллектуальной поддержки принимаемых решений, комплексная математическая модель.

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме повышения эффективности управления войсками (силами) за счет совершенствования автоматизированных систем управления (АСУ).

В настоящее время работа органов управления сопряжена с трудностью в связи с резким увеличением количеством задач и объема информации при существенном уменьшении времени на их решение.

Разработка отдельных информационно-расчетных задач для комплекса средств автоматизации (КСА) не обеспечивает обработку растущих объемов информации, позволяющую представлять ее в агрегированном виде, а также решение задач по расчету частных и обобщенных показателей эффективности применения сил и средств, что в свою очередь не позволяет достигнуть необходимой точности прогноза развития обстановки при принятии решений. В статье предлагается решение данной проблемы за счет разработки и внедрения в КСА информационно-моделирующих систем.

Внедрение в КСА информационно-моделирующих систем (ИМС), важным элементом которой будет система поддержки принятия решений и обеспечения планирования боевых действий, созданная на основе экспертных систем и комплексных математических моделей (КММ), позволит представлять обстановку в агрегированном виде соответствующую реальной. ИМС КСА, базы данных соединений и частей различных видов и родов войск с системами связи и передачи данных и средствами разведки, образующие единое информационное пространство автоматизированной системы управления (чего) позволят моделировать операции и получать результаты прогноза, необходимые для принятия решений.

ИМС должна обеспечивать передачу разработанных решений и планов в подсистему управления войсками (силами) в виде боевых алгоритмов, где может осуществляться их выбор и корректировка, но как показала практика, что они не имеют ничего общего с решениями и планами боевых действий, разрабатываемыми штабами.

Авторами раскрыта сущность подхода по решению данного противоречия – построения системы интеллектуальной поддержки принимаемых решений и обеспечения планирования боевых действий, предлагаемой для внедрения в перспективные комплексы средств автоматизации.

Результатом данного подхода по совершенствованию комплексов средств автоматизации должно стать повышение качества и эффективности процесса управления при подготовке и ведении операций.



Развитие средств и способов вооруженной борьбы привело к тому, что на современном этапе действия войск (сил) включают применение десятков тысяч разнотипных средств во всех сферах: на земле, в воздухе, на море и в космосе. Это значительно осложнило деятельность должностных лиц органов управления, так как в настоящее время при выполнении своих функциональных обязанностей они вынуждены работать с большим количеством информации. При этом процессы управления особенно в период непосредственной угрозы и в ходе военных действий происходят в условиях дефицита времени и информации, прежде всего, о состоянии и действиях своих войск (сил) и противника.

Между тем, опыт практически всех войн и военных конфликтов подтверждает, что успех военных действий наряду с другими факторами принадлежит той стороне, которая более оперативно, чем противник, принимает всесторонне обоснованные решения на операции (боевые действия) и своевременно организует их выполнение.

Разрешение противоречия между увеличением количества и объемов управленческих задач и все сокращающимися сроками, отводимыми должностным лицам органов управления для их решения, объективно потребовало автоматизации и компьютеризации деятельности органов управления формированиями Вооруженных сил (ВС). Однако, автоматизация и компьютеризация сами по себе не способны решить проблему повышения эффективности управления войсками (силами), что наглядно подтверждает практика. Оснащение органов управления различных уровней комплексами средств автоматизации (КСА) на базе компьютерной техники, объединенной локальными вычислительными сетями, не позволило придать системе управления войсками (силами) необходимого качества, так как в данных средствах управления фактически отсутствует интеллект [1].

Кроме того, резкое возрастание объема информации, обрабатываемой в ходе управления, потребовало не только автоматизировать процесс ее сбора, обработки и отображения, но и обеспечить специальную обработку потоков информации, позволяющую представлять ее в агрегированном виде. Агрегирование информации даст возможность проводить обобщение её относительно самостоятельных частей в отдельные взаимосвязанные элементы, что позволит сократить возможное разнообразие вариантов применения подчиненных сил и средств в ходе планирования операции (боевых действий), за счет отсеивания заведомо нерациональных. Без выполнения этого условия командир и орган управления не смогут в целом воспринимать и осмысливать весь объем поступающей информации, а значит, и разрабатывать наиболее рациональные способы действий подчиненных сил и средств при решении многочисленных боевых задач.

Помимо отсутствия возможности агрегирования информации, одним из недостатков существующих КСА

является то, что в них задачи по расчету обобщенных показателей операций (боевых действий) основаны на достаточно грубых аналитических зависимостях и не могут обеспечивать точность прогноза развития обстановки, необходимую для обоснования принимаемых решений и планов.

Резюмируя недостатки, свойственные современным КСА, следует также констатировать, что в настоящее время развитие автоматизированных систем управления (АСУ) видов и родов войск осуществляется в направлении создания информационно-командно-сигнальных систем, обеспечивающих сбор, хранение, отображение информации и передачу сигналов и команд управления. Их «интеллектуальное» наполнение заключается в том, что в лучшем случае для КСА разрабатываются отдельные информационно-расчетные задачи, как правило, слабо связанные друг с другом и не всегда необходимые в тех звеньях управления, где они внедряются. Отдельные информационно-расчетные задачи позволяют получать только частные показатели результатов применения однородных войск (сил) и средств [2].

Отмеченные недостатки обусловили необходимость повышения «интеллектуальности» КСА управления войсками (силами) за счет разработки и внедрения в них информационно-моделирующих систем (ИМС) [3].

Центральным звеном ИМС должна стать система поддержки принятия решений и обеспечения планирования боевых действий, созданная на основе экспертных систем и комплексных математических моделей (КММ), адекватно отражающих реальные условия, средства вооруженной борьбы и учитывающих закономерности их функционирования и взаимные связи между ними [4]. Это даст возможность объединить в единое целое все многообразие разнородной информации, циркулирующей в органах управления, к виду, позволяющему командованию представлять обстановку в агрегированном виде соответствующую реальной. Моделирование вариантов развития событий с помощью комплексных моделей позволит достаточно адекватно возможному реальному развитию операций (других форм военных действий) прогнозировать действия по выполнению задач, стоящих перед соединениями частями, и оценивать по выбранным показателям и критериям их результаты. Этим самым обеспечивается поддержка принятия решений и обеспечение планирования боевых действий.

Имитационно-аналитические модели сил и средств вооруженной борьбы и геофизических условий их применения, являющиеся основой систем поддержки принятия решений, необходимо формировать (разрабатывать) с применением принципа объектно-ориентированного анализа сложных систем. Источником информации для ИМС должна служить интегрированная информационная база данных, в которой хранятся модели сил и средств вооруженной борьбы, модель геоинформационной системы (электронные карты)

и другие данные. Для поддержания данных по противнику, своим войскам (силам) и обстановке в интегрированной базе в актуальном состоянии она должна пополняться необходимой информацией от средств разведки, своих и взаимодействующих войск (сил). ИМС комплексов средств автоматизации соединений и частей различных видов и родов войск, а также их базы данных, совместно с устойчиво работающими в любых условиях обстановки системами связи и передачи данных и средствами разведки, в перспективе, должны образовать информационное пространство АСУ ВС РФ с блоками (полями) однородной информации (о сухопутной, морской, воздушной, космической, геопространственной, навигационно-временной и другой обстановке). Именно ИМС и информационное пространство АСУ в целом обеспечат повышение «интеллекта» КСА.

С помощью ИМС, интегрированной базы данных и универсального интерфейса, возможно создание модели любых группировок войск противоборствующих сторон в любом районе РФ и других районах мира, моделировать их действия и получать результаты прогноза, необходимые для принятия управленческих решений [5].

ИМС также должна создавать подсистему реализации принятых решений и разработанных планов – подсистему управления войсками (силами) в ходе военных действий. При этом необходимо, чтобы разработанные решения и планы в подсистеме поддержки принятия решений и обеспечения планирования в электронном виде передавались в подсистему управления войсками (силами) и стали основной частью ее боевых алгоритмов.

На этапе подготовки боевых действий по каждому прогнозируемому варианту развития обстановки должны разрабатываться, моделироваться и оцениваться способы выполнения задач, из которых по выбранным показателям и критериям должны отбираться предпочтительные, и приниматься решения. Далее, при планировании, принятые решения необходимо разрабатывать и проверять путем моделирования меры по их реализации с учетом всех видов обеспечения. Этим самым поддерживается принятие решений и обеспечивается планирование боевых действий. Разработанные варианты плана должны передаваться в подсистему их реализации (подсистему управления войсками в ходе военных действий). В ходе боевых действий определяется и вводится в действие один из заранее подготовленных вариантов плана, который более всего соответствует развивающейся обстановке. В дальнейшем выбранный вариант плана при необходимости может корректироваться.

Именно количество и содержание вариантов применения соединений и частей, а также признаков развития обстановки должно составлять основное содержание боевых алгоритмов комплексов средств автоматизации. Однако, анализ боевых алгоритмов существующих КСА показывает, что формируемые на

их основе способы действий войск не имеют ничего общего с разрабатываемыми командованием и штабами решениями и планами боевых действий.

Снятие данного противоречия возможно, если при проектировании и создании КСА будет реализовано положение о том, что боевые алгоритмы КСА должны быть представлены разработанными планами, а именно несколькими вариантами способов действий войск, которые вводятся и корректируются, исходя из вариантов развития обстановки. Данное положение дает подход к построению системы интеллектуальной поддержки принимаемых решений и обеспечения планирования боевых действий, предлагаемой для внедрения в перспективные комплексы средств автоматизации. По структуре это будет сложная система. Она должна включать подсистему сбора и обработки первичной информации, экспертную подсистему и расчетно-информационную подсистему в составе комплексной математической модели и диалоговой модели принятия решения.

Экспертная подсистема на основе накопленных знаний, составляющих базу знаний, и информации, поступающей из информационной подсистемы, помогает должностным лицам прогнозировать варианты способов действий противника и формировать варианты способов действий своих войск. Далее сформированные варианты способов действий моделируются с помощью информационно-расчетной подсистемы, построенной на основе комплексной математической модели. Полученные характеристики (показатели) способов ведения боевых действий анализируются лицом, принимающим решение, и при необходимости, используя диалоговую модель принятия решения, формируются и моделируются новые варианты способов действий. Процесс продолжается до получения приемлемых результатов, на основе которых принимается окончательное решение.

Следует заметить, что в существующих комплексах средств автоматизации в составе системы поддержки принятия решения и обеспечения планирования уже созданы и функционируют некоторые из компонентов системы интеллектуальной поддержки принимаемых решений, такие как подсистема сбора и обработки первичной информации, элементы базы данных и расчетно-информационной подсистемы. Это дает основание произвести синтез системы интеллектуальной поддержки принимаемых решений уже с учетом существующих компонентов.

Таким образом, предлагаемый подход по совершенствованию комплексов средств автоматизации за счет разработки и внедрения в них информационно-моделирующих систем, позволит в целом совершенствовать сам процесс управления при подготовке и ведении операций (других форм военных действий), что в свою очередь, несомненно, скажется и на повышении эффективности применения подчиненных сил и средств при выполнении боевых задач.

**Литература**

1. Грачев И.А. Специальное математическое и программное обеспечение АСУ: теоретический аспект // Военная мысль. 2004. № 7. С. 25–28.

2. Барвиненко В.В., Ланчев В.М. АСУ – проблемы и решения // Воздушно-космическая оборона. 2007. №1. С. 30–35.

3. Ляпин В.Р. Автоматизация и интеллектуализация управления группировками вооруженных сил //

Программные продукты и системы. 2006. № 1. <http://swsys.ru/index.php?page=article&id=478&lang=en|tver.geocci.ru/search.php?q=print> (дата обращения: 12.10.2015).

4. Бреслер И.Б. Некоторые концептуальные подходы к построению современной АСУ авиацией. // Военная мысль. 2008. № 9. С. 27–30.

5. Чельцов Б., Волков С. Сетевые войны XXI века // Воздушно-космическая оборона. 2008. №5. С. 14–21.

**Для цитирования:**

Казаров Б.Д., Соловьёв В.В. Предложения по совершенствованию комплексов средств автоматизации за счет внедрения в них информационно-моделирующих систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 56–59.

## PROPOSALS FOR IMPROVING THE COMPLEX OF AUTOMATION BY INTRODUCING THEM INFORMATION MODELING SYSTEMS

**Kazahov Batraz Dzhumaevich,**  
St. Petersburg, Russian

**Solovyov Vladimir Valerevich,**  
St. Petersburg, Russian, [qwaker@inbox.ru](mailto:qwaker@inbox.ru)

**Abstract**

The article is devoted to improving the management of troops by improving the control systems.

At present the work of management is difficult due to the sharp with increasing the number of tasks and the amount of information while significantly reducing the time on their solving.

The elaboration of separate information and computation tasks to complex of automation tools (CAT) cannot provide processing of the growing volumes of information, which allows representing it in an aggregated form, and generalized indicators of the effectiveness of the situation in decision-making.

One of the way to solve this problem is the development and implementation of CAT information and modeling systems.

The introduction of the CAT information and modeling systems, which will be an important element in the systems and complex mathematical models allow to represent the situation in aggregated form the corresponding real data base connections, and parts of various arms and services communication systems and data transmission and recognition, forming a single information space of an automated control system will allow to simulate the operation and get the results of the forecast needed for decision-making. It should provide the transfer of developed decision and plans in the subsystem command and control in the form of combat algorithms, where can be carried out their choice and adjustment, but as shown practice, they have nothing to do with the decision and

plans of hostilities, developed by headquarters.

The authors have disclosed the essence of the approach to resolve this conflict — the construction of the system to support decision-making and ensure the planning of hostilities, proposed for implementation in the perspective automated complex. The result of this approach for improving the systems of automation should be to improve the quality and efficiency of the management of the preparation and conduct of operations.

**Keywords:** the automated control system, a complex of automation, information-modeling systems, the system of intellectual support of decisions, complex mathematical model.

**References**

1. Grachev I.A. Special mathematical and software of the automated control systems: theoretical aspect. Voennaya Mysl. 2004. No. 7. Pp. 25–28. (In Russian).

2. Barvinenko V.V, Lanchev V.M. The automated control system – problems and solutions. Vozdushno-kosmicheskaya oborona. 2007. No. 1. Pp. 30–35. (In Russian).

3. Lyapin V.R. Automation and intellectualization management groups armed forces / V.R. Lyapin // Programmnye produkty i sistemy. 2006. No. 1. <http://swsys.ru/index.php?page=article&id=478&lang=en|tver.geocci.ru/search.php?q=print> (accessed: 12.10.2015).

4. Bresler I.B. Some conceptual approaches to the construction of the modern automated control system aircraft. Voennaya Mysl. 2008. No. 9. Pp. 27–30. (In Russian).

5. Chelcov B.F., Volkov S.A. Network War of the XXI century. Vozdushno-kosmicheskaya oborona. 2008. No. 5. Pp. 14–21. (In Russian).

**Information about authors:**

Kazahov B.D., head of the department, doctor of Military Sciences, Military Space Academy;

Solovyov V.V., adjunct faculty, Military Space Academy.

**For citation:**

Kazahov B.D., Solovyov V.V. Proposals for improving the complex of automation by introducing them information modeling systems. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 56–59. (in Russian).

# МЕТОД ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПАТТЕРНОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

**Анисимов**

**Олег Витальевич**

к.т.н., доцент, доцент кафедры  
автоматики и вычислительных средств  
Ярославского высшего военного  
училища противовоздушной обороны,  
г. Ярославль, Россия,  
qwaker@inbox.ru

**Ключевые слова:**

цикл управления, сложная  
организационно-техническая система  
специального назначения,  
автоматизированная система  
управления, комплекс средств  
автоматизации, система  
интеллектуальной поддержки принятия  
решений.

АННОТАЦИЯ

При выполнении обслуживающим персоналом операций по восстановлению радиоэлектронной аппаратуры важным информационным ресурсом систем информационной поддержки является комплект электрических схем. Одним из путей сокращения времени восстановления радиоэлектронной аппаратуры является совершенствования средств автоматизации информационной поддержки обслуживающего персонала за счет сокращения времени извлечения требуемых схемных фрагментов. Это приводит к необходимости решения задачи формирования фрагментов электрических схем на основе описания их структурно-функциональных свойств в виде запросов на естественно-подобном языке с использованием терминов и понятий предметной области.

Предлагается метод решения данной задачи включающий способ формирования предметно-графической объектной модели радиоэлектронной аппаратуры, способ формирования схемно-ориентированных запросов обслуживающего персонала на естественно-подобном языке с использованием предметных понятий и терминов, а также способ формирования фрагментов электрических схем по их структурно-функциональным свойствам, заданным в схемно-ориентированных запросах обслуживающего персонала.

Формализация и общая логика разработанного метода информационной поддержки позволяют перейти к языковым интерфейсам в системах информационной поддержки обслуживающего персонала, обеспечивающим использование понятий предметной области в рамках конструкций естественного языка. Это предоставляет возможность обслуживающему персоналу использовать голосовые и текстовые запросы на естественно-подобном языке при работе с комплектом электрических схем, что обеспечивает повышение эффективности выполнения операций обслуживающим персоналом по восстановлению РЭА за счет сокращения времени извлечения требуемых фрагментов электрических схем.

Для экспериментальной проверки эффективности предлагаемого метода разработан программный комплекс, реализующий предложенный метод информационной поддержки. Выполненный эксперимент по оценке эффективности предлагаемого метода информационной поддержки показывает многократное сокращение времени извлечения требуемых схемных фрагментов и соответствующее сокращение времени восстановления на 9-14% применительно к аппаратуре, используемой в эксперименте.

Предложенный метод и его программная реализация могут быть использованы при совершенствовании существующих и создании новых систем информационной поддержки обслуживающего персонала на любом из этапов эксплуатации сложных технических комплексов, где регламентировано использование электрических схем РЭА.

## Введение

Одним из путей повышения эффективности решения задач восстановления радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) сложных технических комплексов (СТК) является использование средств автоматизации информационной поддержки обслуживающего персонала. В настоящее время автоматизированы или частично автоматизированы операции процесса восстановления, связанные с контролем и прогнозом технического состояния изделия, заказом запасных типовых элементов замены, формированием отчетных документов ремонта, а также отдельные процессы принятия решения при восстановлении РЭА.

При выполнении многих операций по восстановлению участвует обслуживающий персонал (ОП), при этом его деятельность в значительной степени связана с использованием разнородной технической информации из комплекта эксплуатационных документов на РЭА, составной частью которого является комплект электрических схем. Это обстоятельство определяет потери времени при восстановлении РЭА, которые вносят операции, связанные с извлечением и предоставлением обслуживающему персоналу требуемой технической информации. Эти операции при восстановлении радиоэлектронной аппаратуры сложных технических комплексов связаны с большими временными затратами (до 15 % от общего времени восстановления РЭА [1]).

Таким образом, имеется практическое противоречие между необходимостью сокращения времени восстановления и большими временными затратами на поиск и извлечение технической информации, требуемой ОП в процессе восстановления РЭА ЗРВ.

Существующие методы и средства информационной поддержки ОП [2] позволяют автоматизировать целый ряд операций процесса восстановления радиоэлектронной аппаратуры. Однако в них основное внимание уделено вопросам совершенствования средств автоматизации для выполнения операций локализации отказа, распознавание вида отказа, формирование сигнатуры отказа и не рассматривались вопросы совершенствования методов и способов взаимодействия ОП со средствами автоматизации, связанных с извлечением из комплекта электрических схем информации в виде фрагментов электрических схем, необходимых в процессе выполнения операций по восстановлению РЭА СТК.

Это позволяет сформулировать противоречие в науке: необходимость совершенствования методов информационной поддержки обслуживающего персонала в процессе восстановления РЭА СТК и отсутствие метода, связанного с извлечением и предоставлением требуемых фрагментов электрических схем по запросам обслуживающего персонала. Выявленное противоречие обуславливает цель работы: разработка метода информационной поддержки обслуживающего персонала, обеспечивающего сокращение времени восстановления ЗРВ за счет уменьшения времени извлечения информа-

ции в виде фрагментов электрических схем, необходимых при восстановлении РЭА.

Вопросы предоставления обслуживающему персоналу электрических схем решаются системами информационной поддержки (СИП). Особенность использования электрических схем при восстановлении РЭА состоит в том, что ОП явно или неявно оперирует некоторыми условиями, которые необходимо определять в запросах для поиска и выбора требуемых фрагментов электрических схем. Использование существующих запросных языков (SQL, LinQ и т.п.) в системах информационной поддержки не позволяют в структуре запросов учитывать особенности концептуального представления электрических схем в терминах и понятиях предметной области. Это приводит к необходимости формирования большого числа запросов для извлечения требуемой технической информации из электрических схем и негативно отражается на времени восстановления радиоэлектронной аппаратуры [3].

Для развития средств автоматизации информационной поддержки при работе ОП с электрическими схемами в процессе восстановления РЭА целесообразно осуществить переход к использованию естественно-подобного языка запросов, который позволяет использовать систему терминов, понятий и отношений, сложившуюся в нормативной и эксплуатационной документации, а также в практике эксплуатации РЭА. При таком подходе один запрос на естественно-подобном языке может содержать количество информации, равносильной нескольким запросам на существующих запросных языках [3].

## Структура метода информационной поддержки по схемно-ориентированным запросам обслуживающего персонала

Предлагаемый в работе метод информационной поддержки связан с необходимостью формирования нового вида запросов ОП, которые характеризуются использованием схемных терминов и понятий в рамках естественно-подобного языка для описания структурно-функциональных свойств требуемых схемных фрагментов и названы в работе схемно-ориентированными запросами. Метод основывается на совокупности моделей и способов работы с ними, которые учитывают различные аспекты представления электрических схем и использования в процессе восстановления РЭА СТК: предметный, графический, языковой.

На рис. 1 приведена общая структура метода, показаны основные компоненты метода и связи между ними. Основой метода выступают:

- способ формирования предметно-графической объектной модели радиоэлектронной аппаратуры для согласования понятийного и схемного представления РЭА;
- способ формирования схемно-ориентированных запросов обслуживающего персонала на естественно-подобном языке с использованием предметных понятий

и терминов для определения структурно-функциональных свойств фрагментов электрических схем РЭА;

– способ формирования фрагментов электрических схем по их структурно-функциональным свойствам, заданным в схемно-ориентированных запросах обслуживающего персонала.

В качестве исходного информационного ресурса в методе используется эксплуатационная документация  $\hat{D}$ , включающая комплект электрических схем  $\hat{S} \subseteq \hat{D}$  и нормативная документация ЕСКД на электрические схемы РЭА.

### Способ формирования предметно-графической объектной модели РЭА

Для отражения предметного аспекта РЭА предлагается рассматривать электрическую схему, как совокупность самостоятельных понятийных единиц, представляющих структурные и функциональные элементы изделия. Совокупность всех понятий, определяющих образ, ассоциированный у обслуживающего персонала со структурным элементом РЭА, представляется в виде фрейма. В качестве исходных данных для формирования фреймов выступают множества понятий  $\hat{A}$  и отношений  $\hat{R}$ , которые формируются в результате концептуального анализа данных, содержащихся на электрических схемах разных типов.

### Построение фреймовой модели РЭА

В работе используется формальное представление фрейма  $F$  в виде упорядоченного множества (кортежа) слотов:

$$F = \langle \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n \rangle, \quad (1)$$

где каждый слот  $\sigma_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) в общем виде имеет следующую структуру:

$$\sigma_i = (V_i, \delta_i), \quad (2)$$

где  $V_i$  – множество значений слота  $\sigma_i$ ,  $\delta_i$  – демон слота  $\sigma_i$ .

Построение фреймовой модели РЭА требует учета различных аспектов представления схемных элементов в предметных понятиях, в связи с чем предлагается учитывать три аспекта: сущностный, ролевой и сценарный. Сущностный аспект отражает наличие структурных элементов (сущностей), которые представляются на электрических схемах РЭА. Ролевой аспект отражает функциональную сторону изделия в терминах действий, которые выполняют компоненты РЭА, определяемые схемными структурными элементами. Наличие в модели сценарного аспекта связано с необходимостью представлять абстрактные понятия предметной области (цепь сигнала, функциональная группа, канал передачи данных и т.п.), ко-

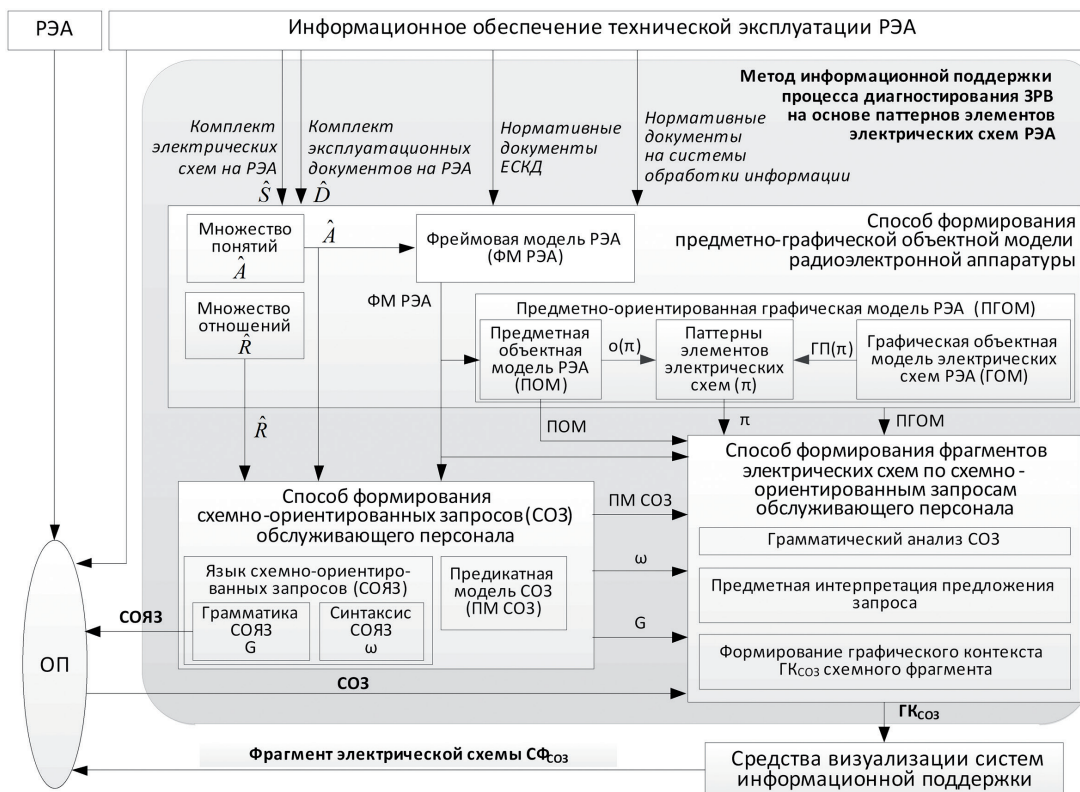


Рис. 1. Общая структура предлагаемого метода информационной поддержки по схемно-ориентированным запросам обслуживающего персонала

торые обычно явно не указываются в виде элементов электрических схем.

В соответствии с этим фреймовую модель ФМ РЭА целесообразно формировать на основе множеств фреймов трех видов: фреймов-экземпляров  $\Phi^1$ , фреймов-ролей  $\Phi^2$  и фреймов-сценариев  $\Phi^3$ , причем для каждого вида фрейма правила построения имеют свои особенности [4].

Фреймы-экземпляры создаются для всех структурных элементов схемы, в качестве которых на схемах выступают условные графические обозначения блоков, ячеек, разъемов, шлейфов, а также для такого абстрактного понятия как электрическая цепь (цепь).

Общее представление функциональности изделия осуществляется на основе фреймов-ролей. Использование ролевого описания позволяет отразить в предметных понятиях функциональное представление изделия, ассоциированное с комплектом электрических схем на изделие. При формировании фреймов-ролей основной выступает не структура изделия, а выполняемые изделием функциональные задачи и функции. Поэтому для формирования фреймов-ролей требуется определить множество всех функциональных задач (функций)  $\Psi = \{\Psi^{(1)}, \Psi^{(2)}, \dots, \Psi^{(N_\Psi)}\}$ , которые целесообразно использовать для отражения функциональности изделия, и создать соответствующих набор функциональных моделей для всех структурных уровней РЭА.

Совокупность фреймов-экземпляров и фреймов-ролей не позволяет оперировать абстрактными понятиями предметной области (цепь прохождения сигнала, цепь зависимых сигналов, каналов и трактов прохождения сигналов), которые отражают взаимозависимость/взаимовлияние сигналов и определяют сущности, не представленные в виде структурных элементов электрических схем. Для работы с такими абстрактными понятиями в терминах предметной области предлагается использовать фреймы-сценарии.

Для формирования фреймов-сценариев необходимо для каждой функциональной задачи  $\Psi^{(i)} \in \Psi, i = \overline{1, N_\Psi}$ , определить все отношения функциональных зависимостей между сигналами и функциональными задачами (функциями), что выполняется путем соответствующего анализа комплекта электрических схем и функциональной модели РЭА.

Таким образом определяются три множества  $\Phi^1$ ,  $\Phi^2$  и  $\Phi^3$  фреймов-экземпляров, фреймов-ролей и фреймов-сценариев соответственно, которые в совокупности образуют фреймовую модель ФМ РЭА:

$$\text{ФМ РЭА} = \Phi^1 \cup \Phi^2 \cup \Phi^3. \quad (3)$$

Фреймовая модель ФМ РЭА позволяет в предметных понятиях РЭА и электрических схем представить структурную, функциональную, идентификационную и параметрическую модели РЭА.

По своей структуре фреймовая модель хорошо согласуется с объектно-ориентированным подходом к моделированию и может быть использована для предметного объектного описания РЭА. Однако фреймовая

модель не содержит средств, которые предназначены для графического объектного описания РЭА в виде электрической схемы.

Для обеспечения согласования графического представления элементов РЭА на схемах с предметными понятиями, определенными на основе фреймовой модели, разработаны две модели: предметная объектная модель РЭА (ПОМ) и графическая объектная модель электрических схем РЭА (ГОМ), согласование которых осуществляется в рамках одной предметно-графической объектной модели (ПГОМ) РЭА.

Формирование моделей ПОМ и ГОМ представляет собой самостоятельную задачу, которая требует учета и взаимного согласования целого ряда следующих аспектов в соответствии с принципами объектно-ориентированного подхода:

- предметного представления РЭА в виде фреймовой ФМ РЭА;

- графического представления электрических схем РЭА в средствах визуализации СИП;

- графического представление электрических схем в соответствии с правилами ЕСКД.

Решение рассматриваемой задачи, с одной стороны, требует выделения из фреймовой модели ФМ РЭА элементов, имеющих законченный предметный смысл (блок, ячейка, разъем, маркировка, позиционное обозначение и т.п.), а, с другой стороны, выделения на электрической схеме РЭА графических элементов, несущих смысловую предметную нагрузку. В соответствии с принципами объектно-ориентированного подхода выделение таких элементов целесообразно выполнять в виде объектов, что определило название обоих вышеназванных моделей.

### Построение предметной объектной модели РЭА

Построение предметной объектной модели (ПОМ) начинается с формирования фреймов-прототипов, определяющих на основе ФМ РЭА структуру классов, которые являются основой для формирования множества объектов в соответствии с представлением радиоэлектронной аппаратуры в ФМ РЭА. Исходными данными для этого является множество фреймов, образующих фреймовую модель ФМ РЭА. Каждый из фреймов необходимо поставить в соответствие одному из трех типов фреймов: фреймов-экземпляров  $\Phi^1$ , фреймов-ролей  $\Phi^2$  или фреймов-сценариев  $\Phi^3$ . В соответствии с этим формируются три типа фреймов-прототипов  $\Phi_{\Pi}^1, \Phi_{\Pi}^2$  и  $\Phi_{\Pi}^3$ .

На основе совокупности фреймов-прототипов  $\Phi_{\Pi}^1, \Phi_{\Pi}^2$  и  $\Phi_{\Pi}^3$  формируется объединенное множество  $\Omega = \{\sigma^1, \sigma^2, \dots, \sigma_M\}$  слотов по следующему правилу:

$$\Omega = \sigma(\Phi_{\Pi}^1) \cup (\Phi_{\Pi}^2) \cup (\Phi_{\Pi}^3) \quad (4)$$

где  $\sigma(\Phi_{\Pi}^i)$  набор всех слотов фреймов-прототипов  $\Phi_{\Pi}^i$ .

Дальнейший анализ совокупности слотов  $\Omega$  направлен на их классификацию в соответствии с прин-

ципами объектно-ориентированного подхода. Для этого множество  $\Omega$  разбивается на три подмножества:

$\Omega_B$  – совокупность слотов, которые имеют визуализируемое представление на электрических схемах (надпись, позиционное обозначение, маркировка, разъем, ячейка и т.д.) и определяют совокупность типов классов  $H_K$ ;

$\Omega_C$  – совокупность слотов - скаляров, которые не используются при визуализации электрических схем (тип сигнала, название функции, название функциональной задачи и т.д.) и определяет совокупность полей классов  $H_P$ ;

$\Omega_D$  – совокупность слотов, значениями которых являются демоны (демон цепей прохождения сигнала, демон цепей зависимости сигнала и т.д) и определяют совокупность типов методов классов  $H_M$ .

Это позволяет сформировать множество классов  $\hat{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_{Q_K}\}$ , которые определяют предметное описание РЭА, соответствующее объектно-ориентированному подходу к декомпозиции ФМ РЭА.

Для формирования предметного объектно-ориентированного представления РЭА с каждым фреймом  $F \subseteq$  ФМ РЭА сопоставляются соответствующие классы  $K(F) \in \hat{K}$  и производится заполнение полей этих классов значениями, определяемыми слотовой структурой фрейма  $F$ . В результате на основе каждого из классов  $K_j \in \hat{K}$  формируется множество объектов  $O(K_j)$ , которые в совокупности образуют предметную объектную модель (ПОМ), адекватную фреймовой модели РЭА:

$$ПОМ = O(K_1) \cup O(K_2) \cup, \dots, O(K_{Q_K}). \quad (5)$$

Каждое множество  $O(K_j)$  определяет не только некоторый набор объектов, но также и предметное значение этого объекта в соответствии с типом класса.

Учитывая, что в этой записи  $O(K_j)$  является множеством объектов, целесообразно использовать другую форму записи ПОМ, отражающую объектное представление ФМ РЭА:

$$ПОМ = \{o_1, o_2, \dots, o_m\}. \quad (6)$$

где  $m$  обозначает общее число различных созданных объектов

$o_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ) в модели ПОМ.

Использование двух форм (5) и (6) записи ПОМ определяет не только объектное представление, но также задает соответствие между объектами модели и предметными понятиями, связанными с этими объектами.

### Построение графической объектной модели электрических схем РЭА

Для совмещения понятийного и визуального представления электрических схем предлагается использовать объектную модель схемных элементов на основе паттернов. Паттерн следует рассматривать, как шаблон (виджет), предназначенный для визуального представления предметных понятий, соответствующим

структурным элементам на электрических схемах. Использование паттернов позволяет обеспечить согласование объектов ПОМ РЭА с примитивами вывода, определяемыми возможностями графической системы СИП.

При определении паттернов необходимо каждое предметное понятие, определяющее поле класса, представить в виде объекта, который выступает в качестве основы для формирования графических единиц визуализации схемных объектов. В соответствии с этим всякий паттерн формально можно представить в виде двухэлементного кортежа:

$$\pi = \langle O(\pi), ГП(\pi) \rangle. \quad (7)$$

В структуре (7) паттерна  $\pi$  одновременно отражены два аспекта схемных элементов – предметный и графический. Предметный аспект в структуре паттерна представляется набором  $O(\pi)$  объектов ПОМ, а графический – набором  $ГП(\pi)$  примитивов вывода.

Паттерны формируются для каждого типа схемных элементов с учетом их предметного объектного описания в ПОМ и используемых графических примитивов вывода. Разнообразие графических примитивов определяется видом и сложностью визуализируемого объекта. Совокупность всех различных используемых графических примитивов вывода образует графическую объектную модель электрических схем РЭА  $ГОМ = \{ГП_1, ГП_2, \dots, ГП_{L_T}\}$ .

### Предметно-графическая объектная модель РЭА

Определяя графические примитивы вывода, соответствующие объектам ПОМ, можно сформировать множество паттернов, совокупность которых образует предметно-графическое объектное описание  $\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_B\}$  радиоэлектронной аппаратуры, которое целесообразно представить в виде предметно-графической объектной модели ПГОМ. Эта модель образуется объединением моделей ПОМ и ГОМ, что формально можно записать следующим образом:

$$ПГОМ = \langle ПОМ, ГОМ \rangle. \quad (8)$$

Совместное применение моделей ПОМ и ГОМ в форме предметно-графической объектной модели ПГОМ позволяет согласовать графическое представление и понятийное описание электрических схем для использования естественно-подобных языков в запросах обслуживающего персонала при решении прикладных задач цикла восстановления РЭА с использованием СИП. Однако, наличие возможности использовать только имеющиеся совокупности предметных терминов и понятий недостаточно для определения языка запросов. Поэтому разрабатываемый метод информационной поддержки ОП должен включать языковые средства, которые позволяют выразить предметное содержание запроса в естественно-подобной языковой структуре запросов.



Это требует решения задачи определения и формализация структуры запросов, которые обеспечивают обслуживающему персоналу возможность описания цели и условий на естественно-подобном языке с использованием терминов и понятий предметной области, необходимых для формирования и представления требуемых фрагментов электрических схем. Такие языковые запросы предлагается назвать схемно-ориентированными запросами (СОЗ).

### **Способ формирования языковых схемно-ориентированных запросов**

Решение научной задачи, связанной с разработкой способа формирования языковых схемно-ориентированных запросов, осуществляется за счет решения двух частных задач: разработка формализованного описания структуры языкового схемно-ориентированного запроса и представление такого запроса на естественно-подобном языке.

### **Модель схемно-ориентированных запросов на основе логики предикатов первого порядка**

Языковый схемно-ориентированный запрос в целом соответствует общепринятой структуре запроса: <Запрос> = <Команда><Данные>. При этом поле <Команда> у всех СОЗ основывается на использовании, по крайней мере, двух команд, которые могут быть ассоциированы, например, со словами «Показать» и «Скрыть». Цель запроса с командой «Показать» состоит в определении схемных фрагментов с необходимой информацией для визуального представления. Запроса с командой «Скрыть» используется при визуальном отображении схем РЭА для скрытия схемных фрагментов, соответствующих требуемым условиям.

Поле <Данные> определяет задаваемые обслуживающим персоналом условия, которым должны удовлетворять элементы электрических схем, отображаемые в составе графических фрагментов. Условия определения множества элементов схемы могут задаваться непосредственно свойством (совокупностью свойств) одного элемента  $x$  схемы либо опосредованно через другие схемные элементы  $y$ ,  $z$  и т.д., имеющие связи не только с элементом  $x$ , но и между собой. При формировании условий на основе отношений целесообразно использовать предикатную форму записи, которая основывается на логике предикатов первого порядка, что позволяет создавать сложные высказывания, которые при формальной записи используют операции алгебры логики (и, или, не) и кванторы существования и общности.

При таком подходе к формализации структуры СОЗ все свойства схемных элементов  $x$ ,  $y$  и  $z$ , которые определяются условиями разных видов, целесообразно записывать в форме предикатов на основе необходимых отношений. При этом собственно условие может быть представлено в виде составной формулы на основе операций алгебры логики.

Предикатная модель СОЗ основывается на использовании двух языковых элементов – термов и предикатов. При этом термы соответствуют понятиям и объектам, которые определяются в используемой фреймовой модели ФМ РЭА, как концептуальной модели РЭА. В качестве термов целесообразно использовать типы структурных элементов схемы и значения их атрибутов, а также функциональные элементы модели и значения их атрибутов.

Для формирования множества предикатов в структуре СОЗ необходимо проанализировать отношения между предметными переменными, ассоциированными с понятиями ФМ РЭА, и представить их в виде терминов естественного языка, которые используются для описания этих отношений.

Объединение в структуре запроса нескольких простых предложений в одно сложное предложение предлагается осуществлять с использованием, например, наречий. В частности, предлагается использовать придаточный определительный оборот с союзным словом «который», а также наречие «причем», так, что использование данного наречия требует представления присоединяемого простого предложения в базовой предикативной форме.

Использование перечисленных правил и приемов формирования предложений позволяет определить структуру поля «Данные» языкового схемно-ориентированного запроса, которая в целом соответствует грамматическим требованиям построения предложений на естественном языке.

### **Естественно-подобный язык схемно-ориентированных запросов**

Описанные выше правила определяют общую структуру языковых схемно-ориентированных запросов в виде предложений на естественно-подобном языке, который в работе назван «языком схемно-ориентированных запросов» (СОЯЗ). В качестве примера запроса на таком языке может служить следующее предложение «Показать ячейку, которая входит в цепь прохождения сигнала А1, причем ячейка содержит разъем Ш1».

Использование языковых схемно-ориентированных запросов в системах информационной поддержки основывается на правилах построения предложений СОЗ, описанных в терминах теории формальных грамматик и представленных в форме РБНФ. Использование в схемно-ориентированных запросах естественно-подобного языка, включающего понятия и термины предметной области, определяет необходимость описывать в правилах языка не только синтаксис СОЗ, но также и множество смыслов запросов с точки зрения предметной области, т.е. семантику языка.

Совокупность синтаксических и семантических правил разработанного языка позволяет автоматически выполнять грамматический разбор схемно-ориентированных запросов со стороны обслуживающего персонала в системах информационной поддержки [5].

### Способ формирования фрагментов электрических схем по схемно-ориентированным запросам обслуживающего персонала

Применение СОЯЗ позволяет формировать фрагменты электрических схем по схемно-ориентированным запросам обслуживающего персонала, что приводит к необходимости разработки соответствующего способа. С прикладной точки зрения предлагаемый способ формирования фрагментов электрических схем основан на интерпретации схемно-ориентированных запросов и предназначен для выполнения автоматического анализа условий, определяемых обслуживающим персоналом в запросах, и подготовки графических фрагментов электрических схем, содержащих требуемую техническую информацию, для визуализации [6].

В этом способе осуществляется интеграция всех моделей, предложенных в работе для языкового описания СОЗ, для концептуального представления РЭА на основе фреймовой модели ФМ РЭА, предметной объектной модели ПОМ РЭА и графической объектной модели ГОМ. Разнообразие используемых моделей позволяет при интерпретации отделить предметный аспект от графического аспекта представления РЭА, тесно связанного с визуализацией схем средствами отображения информации. Сама визуализация электрических схем и их фрагментов решается стандартными средствами графических систем и не рассматривается при разработке способа интерпретации запросов.

Функционально преобразование для реализации предлагаемого способа формирования фрагментов электрических схем по СОЗ на основе комплекта электрических схем  $S$  может быть представлено в виде оператора интерпретатора  $I$ , применение которого к запросу со стороны обслуживающего персонала обеспечивает автоматическое формирование графического контекста  $ГК_{СОЗ} = I(S, СОЗ)$  в виде набора паттернов для визуализации соответствующего схемного фрагмента  $СФ_{СОЗ}$  (рис. 2).

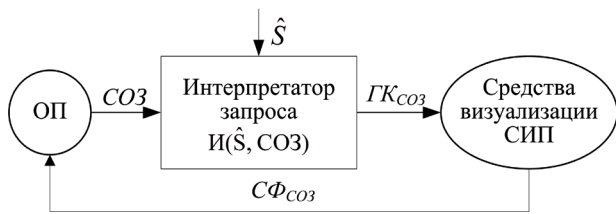


Рис. 2. Структура способа формирования фрагментов электрических схем

Алгоритмически интерпретатор  $I(S, СОЗ)$  реализуется в виде последовательности процедур, назначение каждой из которых определяется общей задачей интерпретации:

- грамматический анализ СОЗ для выделения команды запроса и предложения запроса;
- предметная интерпретация предложения запроса;

– формирование графического контекста  $ГК_{СОЗ}$  схемного фрагмента  $СФ_{СОЗ}$ .

Формирование графического контекста  $ГК_{СОЗ}$  основывается на совмещении двух представлений  $\pi_{СОЗ}$  и  $O_{СОЗ}$  требуемого схемного фрагмента. Контекстная структура каждого формируемого паттерна  $\pi \in \pi_{СОЗ}$  образуется путем заполнения всех предметных элементов паттернов значениями свойств из соответствующих объектов  $o \in O_{СОЗ}$ . Тем самым осуществляется конфигурирование понятийной и графической структуры паттерна  $\pi \in \pi_{СОЗ}$ . При этом контекстная структура формируемых паттернов схемных элементов определяется выбранными правилами размещения графических примитивов  $ГП$  на основе соответствующего паттерна-шаблона. Интегрированные таким образом данные полностью определяют графический контекст  $ГК_{СОЗ}$ , достаточный для визуализации схемного фрагмента  $СФ_{СОЗ}$  с помощью графических средств СИП.

Формализация и общая логика разработанного метода информационной поддержки позволяют перейти к языковым интерфейсам в системах информационной поддержки обслуживающего персонала, обеспечивающим использование понятий предметной области в рамках конструкций естественного языка. Это предоставляет возможность обслуживающему персоналу использовать голосовые и текстовые запросы на естественно-подобном языке при работе с комплектом электрических схем, что обеспечивает повышение эффективности выполнения операций обслуживающим персоналом по восстановлению РЭА за счет сокращения времени извлечения требуемых фрагментов электрических схем.

### Результаты экспериментальной проверки эффективности предлагаемого метода информационной поддержки обслуживающего персонала

Для экспериментальной проверки эффективности предлагаемого метода разработан программный комплекс ПК-ИП, реализующий предложенный метод информационной поддержки ОП (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613287). Эксперимент проводился применительно к восстановлению реальной аппаратуры в составе СТК. При этом в качестве показателя эффективности метода использовался выигрыш во времени извлечения фрагментов электрических схем, определяемых условиями, задаваемыми по схемно-ориентированным запросам исследователя в ПК-ИП, относительно времени извлечения таких же фрагментов по запросам исследователя в существующих системах информационной поддержки. Общий эффект применения метода оценивался по улучшению значения времени восстановления РЭА.

Выполненный эксперимент по оценке эффективности предлагаемого метода информационной поддержки показывает многократное сокращение времени извлечения требуемых схемных фрагментов

и соответствующее сокращение времени восстановления на 9-14% применительно к аппаратуре, используемой в эксперименте.

### Заключение

Разработанный метод рекомендуется использовать для работы с комплектом электрических схем в составе электронного дела изделия, ориентированного на использование всеми участниками жизненного цикла СТК. Предложенный метод и его программная реализация могут быть использованы при совершенствовании существующих и создании новых систем информационной поддержки обслуживающего персонала на любом из этапов эксплуатации СТК, где регламентировано использование электрических схем РЭА.

### Литература

1. Быкадоров А. К., Кульбак Л.И. и др. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. Под ред. Лавриненко В.Ю. М.: Высшая школа, 1978. 320 с.
2. Рыбакин А.А., Курчидис В.А, Анисимов О.В., Игнатъев С.В. Модели радиоэлектронной аппаратуры как

основа организации информационных интерфейсов в системах автоматизации технической эксплуатации. Монография, М.: Изд. ООО «Норд». 2013. 88 с.

3. Рыбакин А.А, Курчидис В.А, Анисимов О.В., Игнатъев С.В. Использование схемного запроса в средствах информационной поддержки обслуживающего персонала при восстановлении радиоэлектронных средств: монография. Санкт-Петербург: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2014. 94 с.

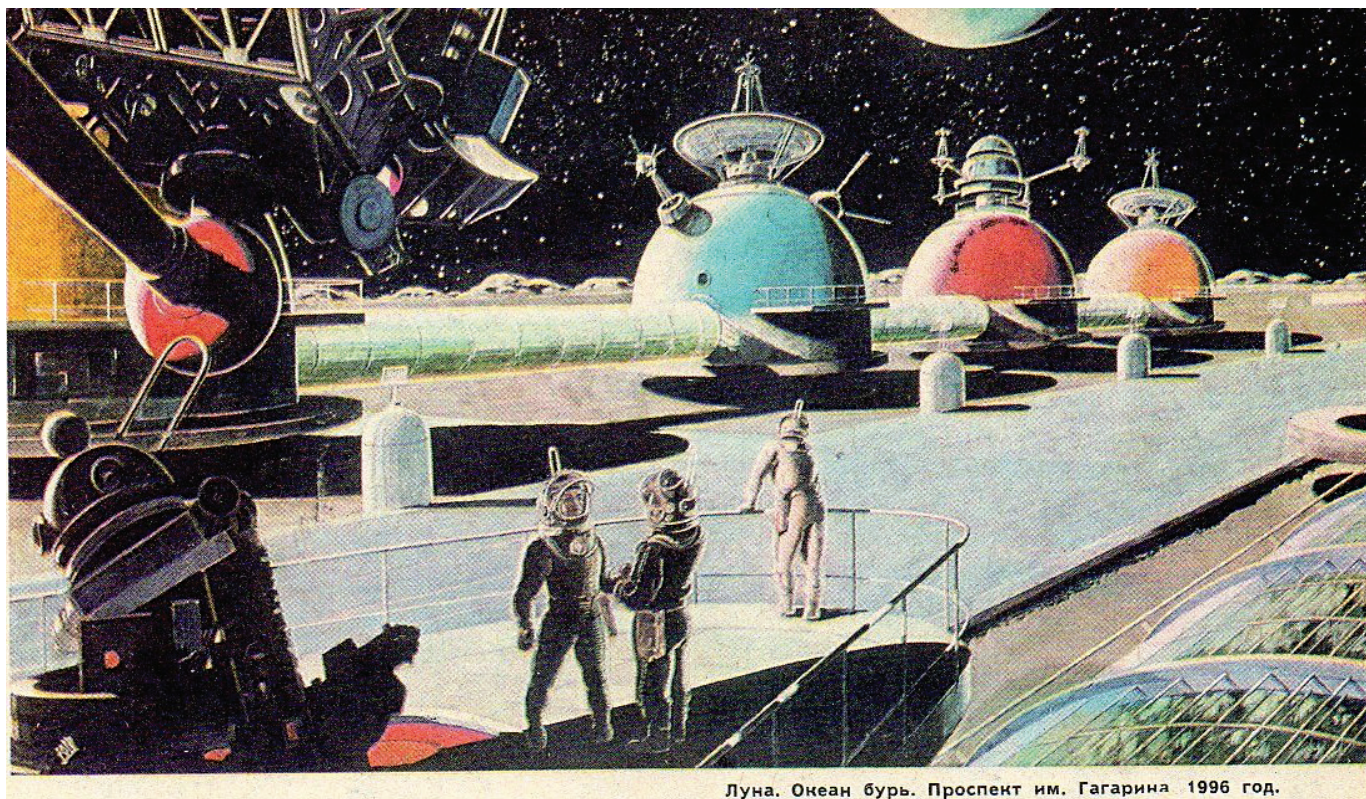
4. Анисимов О.В., Курчидис В.А., Попов Т.А. Концептуальное представление электрических схем радиоэлектронной аппаратуры на основе фреймовой модели // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. № 2. С. 20–28.

5. Сеймур Гинзбург. Математическая теория контекстно-свободных языков. М.: Мир. 1970. 326 с.

6. Анисимов О.В., Курчидис В.А., Попов Т.А. Способ формирования схемных фрагментов по голосовым запросам обслуживающего персонала в системах информационной поддержки // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т.7. № 4. С. 28–34.

### Для цитирования:

Анисимов О.В. Метод информационной поддержки процесса диагностирования сложных технических комплексов на основе паттернов элементов электрических схем радиоэлектронной аппаратуры // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 60–68.



Луна. Океан бурь. Проспект им. Гагарина 1996 год.

## METHOD OF INFORMATION SUPPORT FOR THE PROCESS OF DIAGNOSIS FOR COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS BASED ON PATTERNS OF ELECTRICAL CIRCUITS ELEMENTS OF ELECTRONIC EQUIPMENT

**Anisimov Oleg Vitalievich,**  
Yaroslavl, Russian, qwaker@inbox.ru

### Abstract

A set of electrical circuits is an important information resource of information support systems when a staff is performing recovery operations on the electronic equipment. The improvement of automation means of the staff information support due to reduction of time required to drive circuit fragments is a way to shorten the recovery time electronic equipment. This leads to the necessity of solving the problem of formation of electrical circuit's fragments on the base of their structural and functional properties description in the form of requests for natural-like language using the terms and concepts of the subject area.

The article proposes a way to solving this problem. This way includes a method of forming the subject-graphic object model of electronic equipment, the method of forming the circuit-oriented staff queries at natural-like language with subject concepts and terms, as well as the method of forming the fragments of electrical circuits on their structural and functional properties defined in the schema-oriented staff queries.

Formalization and the overall logic of the developed information support method allows to go to the language interfaces in the staff support information systems, ensuring the use of subject concepts on the base of the natural language constructions. This allows a staff to use the voice and text queries into natural-like language when working with a set of electrical circuits. This enhances the efficiency of staff operations to restore the electronic equipment by reducing the retrieval time for required electric circuit's fragments.

The program complex, that implements the proposed method of information support, is developed for experimental verification of the proposed method effectiveness. The performed experiment shows multiple reduced time of extraction of the required circuit fragments and the corresponding reduction of

recovery time to 9-14% with respect to the equipment, used in the experiment.

The proposed method and its software implementation can be used to improve existing and to create new systems of staff information support at any operation stage of complex technical systems, where a use of electrical circuits of electronic equipment is regulated.

**Keywords:** Recovery of radio electronic equipment, information support, electrical scheme, scheme-oriented query, pattern.

### References

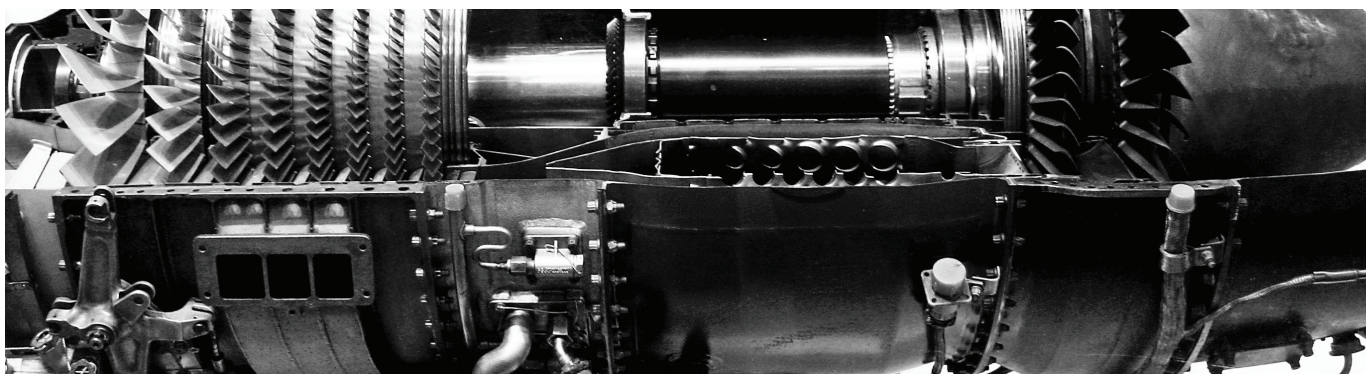
1. Bikadorov A.K., Culbak, L.I., *Osnovy ekspluatatsii radioelektronnoy apparatury* [Basics of exploitation of electronic equipment]. Moscow: Vysshaya shkola. 1978. 320 p.
2. Ribakin A.A., Kurchidis V.A., Anisimov O.V., Ignatiev S.V. *Modeli radioelektronnoy apparatury kak osnova organizatsii informatsionnykh interfeysov v sistemakh avtomatizatsii tekhnicheskoy ekspluatatsii*. Monografiya [Models of electronic equipment as a basis for organizing information interfaces in automation systems technical exploitation. The monograph]. Moscow: Nord Publ. 2013. 88 p. (In Russian).
3. Ribakin A.A., Kurchidis V.A., Anisimov O.V., Ignatiev S.V. [Using the schemes query of information support to staff at the recovery of electronic means. The monograph]. St. Petersburg: Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky. 2014. 94 p. (In Russian).
4. Anisimov O.V., Kurchidis V.A., Popov T.A. Conceptual representation of electrical schemes electronics based on frame model. *H&ES Research*. 2015. No.2. Pp. 20–28.
5. Ginsburg S, *Matematicheskaya teoriya kontekstno-svobodnykh yazykov* [The Mathematical Theory of Context-free Languages]. Moscow: Mir. 1970. 326 p. (In Russian).
6. Anisimov O.V., Kurchidis V.A., Popov T.A. Method of formatting schematics fragments a voice query service personnel for information support systems. *H&ES Research*. 2015. Vol.7. No.4. pp. 28–34. (In Russian).

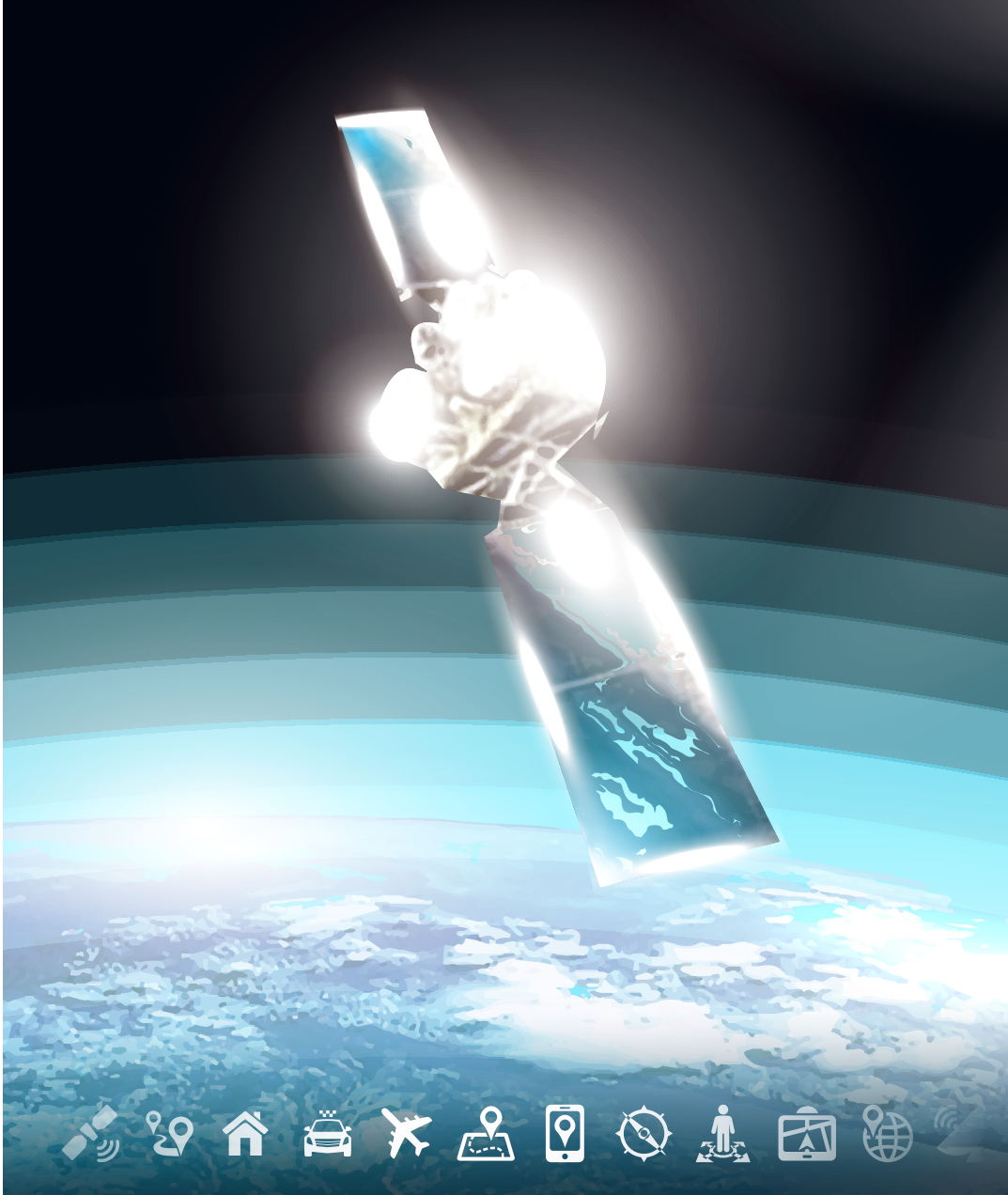
### Information about authors:

Anisimov O.V., Associate Professor of automation and computing means, Military Anti-aircraft High School, Yaroslavl.

### For citation:

Anisimov O.V. Method of information support for the process of diagnosis for complex technical systems based on patterns of electric circuits elements of electronic equipment. *H&ES Research*. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 60–68. (in Russian).





# НАВИТЕХ

N 55°44.984' E 37°32.762'

# 10–13.05

# 2 0 1 6

## 8-я международная выставка



### Навигационные системы, технологии и услуги

Организатор:  
ЗАО «Экспоцентр»

При поддержке:

- Ассоциации «ГЛОНАСС / ГНСС – Форум»
- НП «ГЛОНАСС»

Под патронатом  
Торгово-промышленной палаты РФ



12+  
Реклама



H&ES RESEARCH

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»

[www.navitech-expo.ru](http://www.navitech-expo.ru)

# QUESTIONS OF THE ORGANIZATION AND MODELS OF FUNCTIONING OF MODERN INFOCOMMUNICATION NETWORKS

**Burenin Andrey Nikolaevich,**

*Ph.D., associate professor, chief specialist of JSC «Research Institute «Rubin», St. Petersburg, Russian, konferencia\_asu\_vk@mail.ru*

**Legkov Konstantin Evgenyevich,**

*Ph.D., deputy head of the Department automated systems of control, Military Space Academy, St. Petersburg, Russian, constl@mail.ru*

**Levko Igor Vladimirovich,**

*Ph.D., senior lecturer of the Department automated systems of control, Military Space Academy, St. Petersburg, Russian, konferencia\_asu\_vk@mail.ru*

**Keywords:** *infocommunication system, infocommunication network, level network, base level, intermediate level, infrastructure level, flow models.*

ABSTRACT

Based on the analysis of the main directions of development of information systems and telecommunications networks concluded about the need for their convergence in infocommunication system or network (ICS). It is necessary to fully and timely meet the the needs of users of various levels in information and telecommunication services with the required level of stability and security.

The ICS developed and created at present are substantially different from each other and from the general appearance of the perspective ICS. To provide information and telecommunication services used by many software and hardware. They allow officials of control centers to share any kind of messages and receive information services at a specified time and with the required quality.

This article describes the interaction and major organizational components of ICS. The variants of architectural description of ICS and it description by collection of network-level model are offered.

Basic models of flow requirements specific to each level of ICS and the properties of these flows are considered. The flow type is determined by the needs of the officials of the control centers and processes of functioning of the ICS.

Based on the analysis the following conclusions were made. Any representation of the real requirements flows in level networks by stationary flow model (primitive, Palma, recurrent, recurrent delay, Bernoulli, generalized self-similar, etc.) must be scientifically justified (on their use in dynamic models of level components of ICS). So flow models comprises a much more complex models that describes the states of the communication and server equipment, level networks and ICS as a whole.

Now within developing communication systems of different function the structures intended for full and timely satisfaction of needs of users of a various rank in information and telecommunication services with ensuring of steady and safe functioning of these structures in the conditions of natural and artificial hindrances, failure and equipment damage, and also strengthening of information influences of various violators more and more distinctly are allocated. As such structures expansion of so-called infocommunication networks on the basis of modern technical, technological and organizational solutions [1, 2] is reasonably planned.

Wide information of the processes occurring in various corporations and departments, leads to introduction of a set of the information and directory systems realizing demanded information technologies, departments ensuring functioning of them and divisions. Along with the information processes, processes of integration of corporate or departmental information, directory systems in uniform infocommunication networks (ICS) in which granting to users and means both information, and telecommunication services is carried out in recent years became essential is unified by the corresponding hardware-software complexes of the services supported by a wide range of telecommunication

networks as a part of ICS. Thereby it is provided granting to all users of a full range of the services connected with exchange of information, its transfer, delivery and consumption, and also processing, storage and accumulation.

As a rule, various ICS, being a part of the Uniform network of telecommunication (UNT) of the Russian Federation, essentially differ from each other needs for resources, scope, structure, possibilities, real capacity, and also safety and stability.

At the same time, a telecommunication basis of many corporate or departmental communication systems now are outdated (so-called, inherited) secondary communication networks while the modern telecommunication kernel of these systems only is created.

Shape, the nomenclature and the main characteristics of existing (inherited) secondary networks of many communication systems was defined as features of construction of communication systems of the Russian Federation in former years, and processes of creation and UNT Russian Federation expansion.

Along with development of corporate networks of a speech transmission and data, in recent years the past and at the beginning of a present century projects on expansion of the modern telecommunication networks focused on an exchange of speech and data, integrating various networks of data transmission, a documentary exchange, telephone and cable systems and intended for association of existing networks on the basis of the ISDN, FR, IP and MPLS technologies over SDH or ATM [1–3] were at different times carried out.

Appeal of use of these technologies to convergence of existing communication networks is determined as their functional completeness by granting to users of the services necessary for maintenance of modern of information, and existence of a wide profile of samples of switchboards and routers both of domestic development and production, and foreign. Besides the combination of these technologies meets the requirements of openness on strengthening of services and extension of the list of supported network technologies, that is creates necessary conditions for creation of a modern telecommunication kernel of ICS, taking into account transition in a mobile radio communication to communication networks of the 4th and 5th generations.

At the same time, ICS developed and created now, despite the general tendency of their construction according to concepts of networks of the following generation (NGN) and global information infrastructure (GII), depending on features of their application, from shown requirements for ensuring information security, often essentially differ from each other and from the general shape of perspective ICS.

So, in some of created ICS partially or principles of broadband digital networks with integration of services (B-ISDN), with connection of information systems as users are substantially realized.

The main lack of ICS constructed on concept B-ISDN, that they can be created only separately from existing networks is, and at their expansion it is necessary to replace

almost in one stage all part of the out-of-date network equipment that in practice extremely is not favorable and realizable only for certain financially successful customers.

Therefore B-ISDN did not receive wide application both in corporate networks, and in networks of the general using (them the Internet and the Internet essentially pressed similar networks).

Therefore prospects of creation of ICS are connected with concepts of GII and networks of the following generation (NGN networks), thus as ICS we will understand the concept of creation of the infocommunication systems providing granting an unlimited (increased) set of information and telecommunication services with flexible possibilities on their management, personalisation and creation of new services at the expense of standardization of the information and network decisions, assuming realization of a universal transport network with the distributed switching, removal of functions of providing information and telecommunication services in terminal network knots and integration with traditional and existing communication networks.

Basis of architectural creation of ICS is the transport network (as a rule, two-level), access networks, knots of information services, knots of telecommunication services and knots of management of services.

In modern ICS the two-level transport communication network entering into their structure, is multiprotocol and provides transfer of different types of information with use of various protocols of transfer (ATM, FR, IP-MPLS, MPLS over ATM), i.e. realizes universal service of transfer which consists in transparent information transfer of users between the network terminations (access networks) without any analysis or processing of its contents.

For providing information services and services of telecommunications in ICS numerous hardware-software means are used, which allow users to exchange any kinds of messages (speech, video, data) to receive information services at any time and with the set quality. Means of ICS also allow to unify procedures of providing access to infocommunication services for various users, and also to organize gateway interaction with users of other networks.

Conceptually ICS should include four organizational components (fig. 1):

- users who are sources and recipients of information and services, use this information for the organization of the daily activity;

- information devices (information appliances) which are used for storage, data processing, and provide access to information and services;

- the communication infrastructure which carries out information transfer between geographically remote information devices (it can be presented in the form of a transport network and access networks);

- actually information which includes, first of all, a video information, speech, data, and also the applied software (the user appendices), allowing to convert the message from an original form (speech, the image, computer graphics, video) in the electronic form available to use by other users.

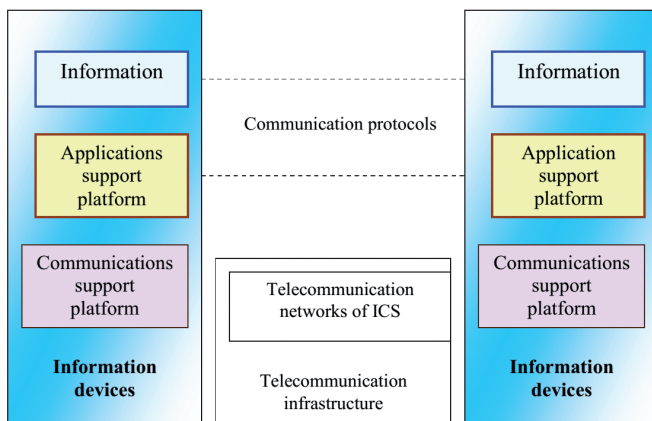


Fig. 1. Interaction of the main a component infocommunication system

Platforms of support of communications – this terminal equipment of data, modems, devices of access of different function, Ethernet switchboards, routers etc.

As accessors the DSL access line, a network of a cable television, the optical line of access, the radio communication channel, the satellite channel, the radio access line are used a subscriber line of communication to automatic telephone exchange or the digital switchboard.

As the ICS telecommunication networks are used: telephone system of communication of the general using, primary communication network, networks of data transmission of various standards (X.25, FR, ATM, IP-MPLS), restrictedly Internet. All listed program and the ICS hardware components, and also the services rendered on their basis, are objects of management of an automated control system (ACS) of ICS.

The structure of ICS connects among themselves in a whole network resources, storage and data processing devices, and also resources of the intermediate software to offer users standard services and to support their applications. Means of ensuring of information security belong to these means within ICS, calculations for rent of paths at UNT Russian Federation, and also means of system management (network management and management of services). Without participating directly in information transformation from one form in another, means of the intermediate software allow to regulate this process, providing optimum distribution, security and controllability of the ICS network resources.

Information services and services of telecommunications, and also appendices of users are under construction of separate components – construction blocks. Presence of these or those a component defines properties and possibilities of ICS resources.

Within ICS all services are characterized by transactions which are carried out by the user at service inquiry/activation. Thus appendices of the user allow to get full driver's license on use of this service, under condition of an authorized access.

Users can use infocommunication services of directly or by means of the user appendices. Thus all components of the

user appendices should be supported in ICS, which, as well as services, usually unite in packages to create for the specific user demanded difficult service or to provide access to the appendix. The general structure of the services provided in ICS within its functional architecture, is given on fig. 2.

The traditional telecommunication services provided by ICS, as a rule, offer users of technology for access to knots of concrete services, but can support and appearing new telecommunication services (except for base services) while the information technologies being a basis of information services, offer use of the user appendices only for the access/the organization of concrete services. In ICS networks convergence of all elements is step by step carried out as already today to get access to the majority of new communication services it is impossible without the user appendices (Internet browsers, post programs, appendices for coding and a speech transmission on IP networks).

The range of services which are usually provided within modern ICS, is rather wide. It can dynamically change together with change of available resources. Therefore it is often expedient to classify certain components of services, rather than services. Thus each component of service depends on a resource necessary for its support.

In the whole ICS makes set of databases, means of processing of information, cooperating communication networks and a set of terminals of users. Thus access to the ICS information resources is realized by means of the services of the new type which have received the name of infocommunication services. It is supposed that they will prevail in ICS of perspective communication systems already in the near future.

Now the main development of infocommunication services for the majority of inhabitants of the countries is carried out within the computer Internet, access to which services is carried out through providers and traditional communication networks. At the same time in most cases services the Internet, in view of a full disclosure of this

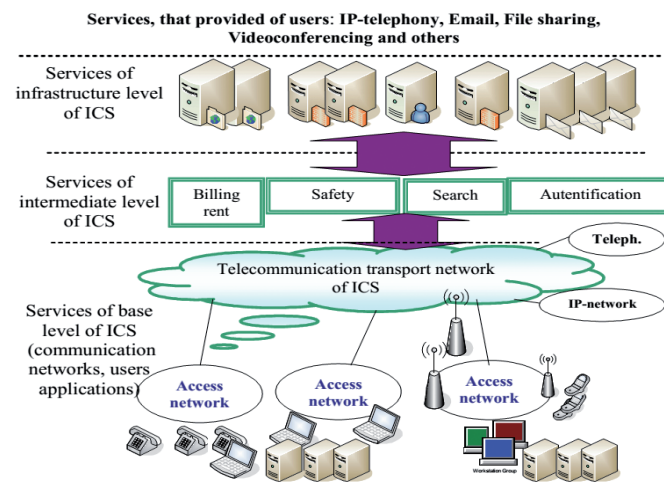


Fig. 2. Multilevel functional architecture infocommunication system



network, lack of demanded level of safety and functioning guarantees in the emergency situations, limited possibilities of users provided to changing appendices do not meet their requirements. In this regard development of infocommunication services is carried out with simultaneous expansion of functionality of networks as a part of ICS.

To the main technological features distinguishing infocommunication services from services of traditional communication networks, it is possible to carry the following:

- infocommunication services appear at top levels of model of interaction of open systems (OSI) while services of traditional networks are provided at representative, session, transport and network levels;
- the majority of infocommunication services assumes existence of a client part and server; the client part is realized in the equipment of the user, and server - on the special allocated ICS hub called by knot of services;
- infocommunication services, as a rule, assume information transfer of multimedia which is characterized by high speeds of transfer and asymmetry of entering and proceeding information streams;
- difficult multipoint configurations of network connections are often necessary for providing infocommunication services;
- for infocommunication services a variety of applied protocols and possibilities on management of services is characteristic from the user;
- for identification of subscribers of infocommunication services additional addressing within this infocommunication service is, as a rule, used.

The majority of infocommunication services are "appendices", their functionality is distributed between the equipment of "supplier" of service and the terminal equipment of the user. As a result, functions of the terminal equipment also should be carried to structure of infocommunication service that it is necessary to consider at their regulation.

The model defining participants of process of providing of infocommunication services and their relationship, also differs from model of traditional services of telecommunication in which three main participants were presented only: operator, subscriber and user. The new model assumes existence of the entrusted service provider which renders infocommunication services. Thus the supplier is the consumer of services of the transfer provided by the ICS transport network.

The generalized information architecture of perspective ICS is presented on fig. 3. The basis it is made by a universal transport network and the networks of access realizing functions of transport level and level of management of switching and transfer.

Into structure of a transport network enter:

- the transit knots which are carrying out functions of transfer of information and switching;
- the terminal (boundary) knots providing access of subscribers to services of a transport network;
- the controllers of the alarm system which are carry-

ing out functions of processing of information of the alarm system, management of calls and connections;

- the locks, allowing to carry out connection of traditional communication networks;
- flexible multiprotocol switchboards (softswitch).

Controllers of the alarm system can be taken out in the separate devices intended for an service of several knots of switching. Use of the general controllers allows to consider them as uniform system of switching and the alarm system, distributed on ICS networks. Such decision not only simplifies algorithms of establishment of connections, but also is the most economic for providing all services as allows to replace expensive systems of high-capacity switching small, reliable, flexible and available at cost.

Terminal/terminal-transit ICS transport network knots, in principle, can carry out functions of knots of services, i.e. the structure of functions of boundary knots can be expanded at the expense of addition of functions of granting enough simple telecommunication services and for creation of such knots the technology of flexible switching (Soft Switch) which also allows to coordinate various systems of the alarm system can be used.

Infocommunication services assume realization on the basis of functional model of the distributed (regional) databases. Access to databases will usually be organized with LDAP protocol use. Thus the concept of creation of ICS in many respects leans on the system and technical solutions which have been already developed by the international organizations of standardization.

The solution of numerous problems of design, creation, expansion and management of ICS is possible only in the presence of their rather correct formalized description with use of the certain mathematical designs reflecting key parameters and laws of functioning, essential to achievement of the purposes for which achievement ICS are created.

The ICS model grows out of formalization of system and its elements, i.e. constructions accurate formal (in an ideal, mathematical) their description with necessary extent of approach to reality [3]. The essence of formalization is in general reduced to the following. As ICS mathematical model and its elements define dependence of characteristics of conditions on parameters, first of all it is necessary to solve a question of a choice of set of characteristics and parameters. As characteristics of conditions it is expedient to choose such functions which, on the one hand, would provide convenience of determination of required sizes at research ICS and its elements with a modeling method, and with another - would give the chance to receive enough their simple mathematical model. The choice of the parameters characterizing process of functioning of ICS, is caused by those factors which should be considered at formalization of process [3]. However, as a rule, there is no possibility to specify any formal rules for a choice of characteristics of conditions and parameters of studied ICS that, in turn, excludes from consideration the questions connected with completeness and uniqueness of system of characteristics [3, 4, 6].

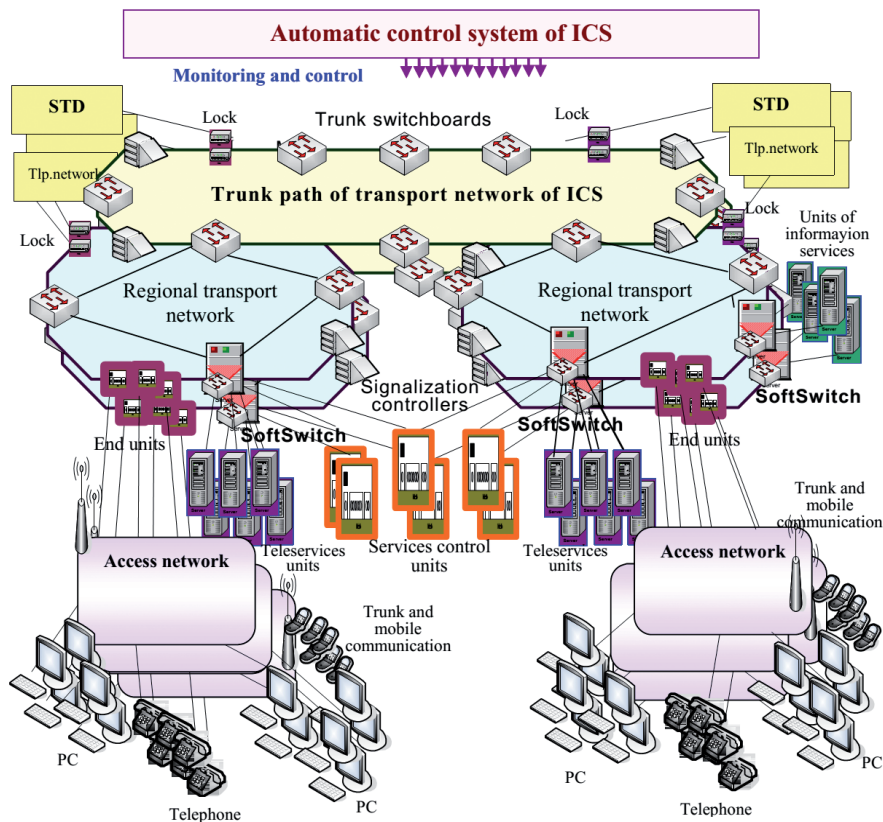


Fig. 3. The Generalized information architecture perspective infocommunication system

Essential influence on process of functioning of ICS is rendered by random factors. For the formal mathematical description of various casual objects of ICS it is expedient to use likelihood schemes of casual events, random variables and casual processes [4–8].

At the same time, the accounting of the factors, which influence is not defining for an assessment of characteristics and parameters of a network and its elements, will bring only to that mathematical models become too bulky and badly foreseeable, and accuracy of the solution of tasks thus practically does not increase [6, 8].

As in quality a basis of the purpose of creation of ICS is representation to users of various information and telecommunication services of demanded quality, as its base logic model the multilevel functional architecture represented on fig. 2 can be taken. At this ICS it is expedient to present the three-level network model which each level is set by a certain network of the services, rendering the fixed services of concrete level of ICS: infrastructure, intermediate and base, fig. 4.

Each level network of services is described by the count of  $G(Y_A, H_b)$ ,  $G(J_A, E_b)$  and  $G(R_A, Q_b)$ , representing model according to a network of services of infrastructure, intermediate and base levels of ICS.

The ICS models entered by consideration level infrastructure, intermediate and base components (IL, MWL and BL) define its functioning in the conditions of various

casual and deliberate influences, characterizing its such important property as stability. Thus as models of stability of ICS in the plane of its level representation the following expressions can be offered:

$$P\{f[Q_{IC}(V_{IC}, G_{IC}, U_{IC})] \geq f_{IC}\} \geq P_{IC}, \quad (1)$$

where  $f[Q_{IC}(V_{IC}, G_{IC}, U_{IC})]$  – functional of quality of functioning of IC ICS;

$Q_{IC}(V_{IC}, G_{IC}, U_{IC})$  – the stochastic function characterizing process of functioning of IC ICS;

$V_{IC}, G_{IC}$  – respectively fixed and indignant parameters (characteristics) of functioning of IC ICS;

$G_{IC} = \varphi_{IC}(I_{RP}, I_{RV}, I_{KA})$ , and  $I_{RP}, I_{RV}, I_{KA}$  the indignations characterizing impact on IC ICS respectively of casual and deliberate hindrances, refusals and computer attacks.

$$P\{f[Q_{MWC}(V_{MWC}, G_{MWC}, U_{MWC})] \geq f_{MWC}\} \geq P_{MWC}, \quad (2)$$

where  $f[Q_{MWC}(V_{MWC}, G_{MWC}, U_{MWC})]$  – functional of quality of functioning of MWC ICS;

$Q_{MWC}(V_{MWC}, G_{MWC}, U_{MWC})$  – the stochastic function characterizing process of functioning of MWC ICS;

$V_{MWC}, G_{MWC}$  – respectively fixed and indignant parameters (characteristics) of functioning of MWC ICS;

$G_{MWC} = \varphi_{MWC}(Z_{RP}, Z_{RV}, Z_{KA})$ , and  $Z_{RP}, Z_{RV}, Z_{KA}$  – the indignations characterizing impact on MWC ICS respectively of casual and deliberate hindrances, refusals and computer attacks.

$$P\{f[Q_{BC}(V_{BC}, G_{BC}, U_{BC})] \geq f_{BC}\} \geq P_{BC}, \quad (3)$$

where  $f[Q_{BC}(V_{BC}, G_{BC}, U_{BC})]$  – functional of quality of functioning of BC ICS;

$Q_{BC}(V_{BC}, G_{BC}, U_{BC})$  – the stochastic function characterizing process of functioning of BC ICS;

$V_{BC}, G_{BC}$  – respectively fixed and indignant parameters (characteristics) of functioning of BC ICS;

$G_{BC} = \varphi_{BC}(V_{\beta}, V_{RV}, V_{KA})$ , and  $V_{\beta}, V_{RV}, V_{KA}$  the indignations characterizing impact on BC ICS respectively of casual and deliberate hindrances, refusals and computer attacks.

Thus work of ICS we will consider steady if inequalities (1)–(3) are carried out.

The most convenient and complete description of standard structure of each level of ICS is reached by representation it in the form of corresponding *the column*  $G(Y, B)$ , which set of tops of  $Y = \{Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_j, \dots, Y_N\}$ , and a set of arches of  $B = \{b_{ij}\}$ . The capacity of a set of  $B$  depends on degree of connectivity of knots of level and cannot exceed size  $0,5N(N-1)$ . To each element  $b_{ij}$  of a set of  $B$  quite certain pair  $(Y_i, Y_j) \in Y$  is put in compliance.

In turn, to each element  $Y_i \in Y$  is put in compliance a certain knot of a network of level, and to the element  $b_{ij} \in B$  – a certain branch of this network. To each arch the column  $b_{ij} \in B$  is attributed the size  $l_{ij}$  equal to weight of a branch of a network of level of ICS, connecting the  $Y_i$  hub with the  $Y_j$  hub. Besides, to each arch  $b_{ij}$  the set of  $K_{ij} = \{k_{ij1}, \dots, k_{ijc}, \dots, k_{ijm}\}$  which element  $k_{ijc}$  is equal to number of virtual channels with the corresponding capacity  $v_{ijc}$ , is put in compliance.

The structure of each level of ICS can be set also various matrixes. The matrix of connectivity of the level network  $D_{cm}$  « $m$ » of ICS allows to describe connections of knots of a network of level with each other. Under condition of a fairness of virtual channels in branches it is a symmetric square-law matrix of an order of  $N$ :

$$D_{cm} = |d_{ij}|, \quad d_{ij} = 0, 1; \quad \forall m=1, 2, 3 \quad (4)$$

Weight factors of branches of each network of level of ICS it can be set by a matrix of  $L = |l_{ij}|$  which each element is equal to weight of the branch connecting the  $Y_i$  and  $Y_j$  hubs.

The qualitative and quantitative structure of branches of a network of level of ICS can be described by a set of matrixes of capacity  $K = \{K_c\}$  which element  $K_c$  represents a matrix of number of virtual channels  $K_c = |k_{ijc}|$ .

Thus, the structure of a network of level of ICS is represented a set of matrixes of structure of  $S_m = \{L_m, K_m, V_m\}$ .

Owing to final reliability and survivability of complexes and the equipment of an level network, its structure does not remain invariable. Separate virtual channels and knots of an level network can fail and be restored. Therefore the structure of a network of each level of ICS will constantly change in the course of its work.

Special difficulty at the mathematical description of ICS is played by models of processes proceeding in it, and

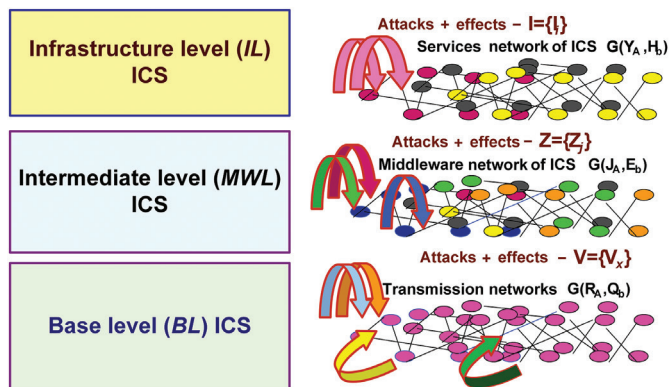


Fig. 4. Three-level network model of infocommunication system

first of all, processes of receipt and service of requirements of rendered services of various services and services of each functional level. It is represented perspective these processes proceeding on each of three functional levels of ICS to describe mathematically uniformly in the form of the corresponding models of service [4–8]. Differently, (IL, MWL or BL) ICS connected with processing of information it is expedient to present each element of an infrastructure, intermediate or basic level to MWL the model of service described by expression for probabilities of a condition of each module of service of level or ICS components:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t, m, j)}{dt} = -P_0(t, m, j)\lambda(m, j) + \mu_{m, j} P_1(t, m, j); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_i(t, m, j)}{dt} = (i+1)\mu_{m, j} P_{i+1}(t, m, j) - i\mu_{m, j} P_i(t, m, j) + \lambda(m, j) P_{i-1}(t, n, j), \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_n(t, m, j)}{dt} = -n\mu_{m, j} P_n(t, m, j) + \lambda(m, j) P_{n-1}(t, m, j) \\ j = 1, \dots, N_m; \quad m = 1, 2, 3 \end{cases} \quad (5)$$

where  $\lambda(m, j)$  and  $\mu_{m, j}$  – according to intensity of receipt of requirements of service and service of requirements;

$P_i(t, m, j)$  probability of finding of the module « $j$ » of service of level « $m$ » of architecture of ICS ( $m=1, 2, 3$  respectively for BL, MWC and IC) in the corresponding condition.

According to (5) dynamic models of each element « $i$ » of a base component, element « $k$ » of an intermediate component and element « $r$ » of the ICS infrastructure component it is possible to present as the modules of service described by systems of the stochastic differential equations, respectively expressions:

$$\begin{cases} \frac{dP_0^{BC}(i, t)}{dt} = -P_0^{BC}(i, t)\lambda_{BC}(i) + \mu_{BC}(i) P_1^{BC}(i, t); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_{n(i)}^{BC}(i, t)}{dt} = -n(i)\mu_{BC}(i) P_{n(i)}^{BC}(i, t) + \lambda_{BC}(i) P_{n(i)-1}^{BC}(i, t). \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \frac{dP_0^{MWC}(k,t)}{dt} = -P_0^{MWC}(k,t)\lambda_{MWC}(k) + \mu_{MWC}(k)P_1^{MWC}(k,t); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_{n(k)}^{MWC}(k,t)}{dt} = -n(k)\mu_{MWC}(k)P_{n(k)}^{MWC}(k,t) + \lambda_{MWC}(k)P_{n(k)-1}^{MWC}(k,t) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \frac{dP_0^{IC}(r,t)}{dt} = -P_0^{IC}(r,t)\lambda_{IC}(r) + \mu_{IC}(r)P_1^{IC}(r,t); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_{n(r)}^{IC}(r,t)}{dt} = -n(r)\mu_{IC}(r)P_{n(r)}^{IC}(r,t) + \lambda_{IC}(r)P_{n(r)-1}^{IC}(r,t) \end{cases} \quad (8)$$

In models (6)–(8) setting entrance processes are flows of requirements of receiving services with intensities  $\lambda_{BC}(i) \forall i = 1, \dots, n_{BC}$ ,  $\lambda_{MWC}(k) \forall k = 1, \dots, n_{MWC}$ ,  $\lambda_{IC}(r) \forall r = 1, \dots, n_{IC}$  and days off – flows of messages of the service which intensities are defined by probabilities  $P_{n(i)}^{BC}(i,t)$ ,  $P_{n(k)}^{MWC}(k,t)$ ,  $P_{n(r)}^{IC}(r,t)$ .

To complete the picture it is necessary to consider base models of flows of the requirements typical for each of levels of ICS.

Flows of requirements, characteristic for a network of each level of ICS decide on the one hand by needs of users, and on another - processes of functioning of ICS. The main properties of flows of requirements are important.

The stationarity or nonstationarity is one of the main properties of flows of the requirements characterizing dependence of their likelihood testimonials from of time.

Other property of information streams is absence, partial presence or presence of aftereffect which characterizes likelihood development of process of receipt of requirements depending on background.

And, at last, the third property of flows of requirements is the ordinariness or the absence of ordinariness characterizing possibility of receipt at the same time of several requirements.

The important characteristic of the streams circulating in each ICS level network, function of distribution of a time interval between two next arriving requirements and dependence or independence of random variables of time intervals between two arriving requirements is.

According to the given properties and characteristics of flows of the requirements circulating in the ICS level networks, the most applied when modeling processes in it, are: primitive (or stationary) stream; stream of Palm; stream of Erlang; recurrent stream; a recurrent stream with delay; stream of Bernulli; self-similar (or fractal) stream; non-stationary stream.

The primitive information stream possesses all three properties, i.e. it is ordinary, stationary and without aftereffect. For this stream the probability of that on time site  $\tau$  will arrive exactly  $k$  of requirements (messages, packages, shots, cells), is defined by the following expression

$$P\{N(t, \tau) = k\} = \frac{\alpha^k e^{-\alpha}}{k!} \quad (9)$$

where  $\alpha = \lambda\tau$ , and  $\lambda$  – intensity of a stream.

Naturally the model of a primitive information stream though it is rather often used by researchers and designers of networks owing to its simplicity and sufficient accuracy of reproduction of real internodal streams, by their consideration in settlement tasks for the so-called periods of the greatest loading, in case of ICS it not always adequately reflects real processes of receipt of requirements in dynamics of functioning of ICS in which as show supervision, loading constantly changes, and in the ICS separate networks (is more often in a number of networks of a basic level and an intermediate level) effects of grouping of requirements and aftereffect (i.e. a stream loses property of ordinariness and absence of aftereffect) are quite often shown.

Stationary, ordinary information streams of Palm are more the general streams regarding an assumption of limited aftereffect. In order that it was possible to call information stream a stream of Palm it is necessary and enough that this stream was a recurrent stream at which functions of distribution of periods between two arrived requirements  $F(t) = P\{\tau \leq t\}$  satisfied to a ratio

$$F_1(t) = \lambda \int_0^t 1 - F(u) du \quad (10)$$

In this plan the primitive stream is also a stream of Palm at which time intervals between the next arriving requirements are distributed equally under the indicative law and are independent among themselves. Thus, the stream of Palm, excellent from primitive, is formed when intervals between the next arriving requirements (messages, packages, shots, cells) are represented by random variables with excellent from indicative the distribution law.

In a stream of Palm of an event of receipt of requirements can come only during the so-called "defiant" moments.

Special case of a stream of Palm are a stream of Erlang. A « $k$ » order stream of Erlang with parameter  $\lambda$  is the stream of Palm at which intervals between arriving requirements are distributed under the « $k$ » order law of Erlang. As a rule, the stream of Erlang turns out from a primitive stream at its «sifting» through service knot at which in an initial primitive stream only each « $k$ » the requirement remains, and all the others remain (or jump out) in service knot. In such stream  $\Delta t^{(k)}$  between two next requirements it is possible to present time interval in the form of the sum of  $k$  of the independent random variables distributed on the indicative law with parameter  $\lambda$ :

$$\Delta t^{(k)} = \sum_{i=1}^k t_i \quad (11)$$

The primitive stream and stream of Palm are special cases, so-called recurrent streams with the delay, defined by functions of distribution  $F_1(t) = P\{\tau_1 \leq t\}$  and  $F(t) = P\{\tau_k \leq t\} \forall k = 2, \dots, n$  (for a primitive stream  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ , and for a stream of Palm –  $F_1(t) = \lambda \int_0^t 1 - F(u) du$ ).

If  $t_1, t_2, \dots$ , – the moments of receipt of requirements,  $z_k = t_k - t_{k-1}$ ,  $k \geq 1$ ;  $t_0 = 0$ , transformation of Laplas-Stilyles of the corresponding functions of distribution will become:

$$f_1(s) = Me^{-sz_1}; f(s) = Me^{-sz_k}, k \geq 2$$

$$F_n(t) = P\{t_n \leq t\}, f_n(s) = Me^{-sz_n}, n \geq 1 \quad (12)$$

As  $t_n = z_1 + \dots + z_n$ , and  $z_1, \dots, z_n$  - sizes independent in aggregate,

$$f_n(s) = f_1(s)[f(s)]^{n-1}, n \geq 1. \quad (13)$$

Having used the device of making functions it is possible to receive:

$$\pi(z, s) = \frac{1 - f_1(s) + z[f_1(s) - f(s)]}{s[1 - zf(s)]} \quad (14)$$

If information stream is purely recurrent (i.e.  $F_1(t) = F(t)$ ),

$$\pi(z, s) = \frac{1 - f(s)}{s[1 - zf(s)]} \quad (15)$$

The corresponding expression for a stream of Palm takes a form:

$$\pi(z, s) = \frac{1}{s} - \frac{f(1-z)}{s^2} \frac{1 - f(s)}{s[1 - zf(s)]}. \quad (16)$$

For a recurrent stream the probability of that in the range of time duration  $\Delta t$  will arrive exactly  $k$  of requirements, is equal

$$P_k(\Delta t) = \int_0^{\Delta t} P_{k-1}(\Delta t - x) dF(x). \quad (17)$$

The population mean of number of requirements of the recurrent stream falling on an interval in length  $\Delta t$ , is determined by a formula:

$$m(\Delta t) = \int_0^{\Delta t} [1 + m(\Delta t - x)] dF(x) =$$

$$= F(\Delta t) + \int_0^{\Delta t} m(\Delta t - x) dF(x). \quad (18)$$

In certain cases arriving on knots of the networks which are a part of ICS, real flows of requirements, it is possible to set model of a stream of Bernulli. Such stream turns out, for example, at collection of information from the subordinated elements a component and when collecting confirmations on performance of teams of management. Bernulli flow is such information stream, in which requirements arrive independently from each other, but unlike a primitive stream, at which the source of requirements (messages, packages, references, multimedia of data) is considered infinite, in stream of Bernulli their number is fixed, and each requirement surely will occur in this interval. Making function of number of requirements (messages, packages, references, multimedia of data) for stream of Bernulli will make:

$$\Pi(z, \Delta t) = \prod_{j=1}^k [1 + (z-1)F_j(\Delta t)] \quad (19)$$

where  $F(\Delta t) = \int_0^{\Delta t} f(t) dt$ , a  $f(t)$  - density of receipt of requirements.

Then the probability of receipt in the range of exactly  $i$  of requirements (messages, packages, references, multimedia of data) will make:

$$P_i = \frac{1}{i!} \frac{d^i}{dz^i} \prod_{j=1}^k [1 + (z-1)F_j(\Delta t)]_{z=0}. \quad (20)$$

For  $i = 1, 2, \dots, k$  these probabilities are defined by expressions:

$$P_1 = P_0 \sum_{\gamma=1}^k \frac{F_\gamma(\Delta t)}{1 - F_\gamma(\Delta t)};$$

$$P_2 = P_0 \sum_{\gamma, j}^k \frac{F_\gamma(\Delta t)F_j(\Delta t)}{[1 - F_\gamma(\Delta t)][1 - F_j(\Delta t)]}; \quad (21)$$

$$P_k = \prod_{\gamma=1}^k F_\gamma(\Delta t).$$

In the simplest type stream of Bernulli, when

$$f(t) = \begin{cases} (\Delta t)^{-1} & \text{over } 0 \leq t < \Delta t \\ 0 & \end{cases} \quad (22)$$

the probability of receipt exactly  $r$  of requirements in an interval  $[0, \Delta \tau]$  will make:

$$P_k(\Delta t) = G_k^r \left( \frac{\Delta \tau}{\Delta t} \right)^r \left( 1 - \frac{\Delta \tau}{\Delta t} \right)^{k-r}. \quad (23)$$

In recent years, loading research for some networks which are a part of ICS, such as the Ethernet networks, ISDN subnets by a packet transmission of the user's interfaces given on channels  $D$ , networks of the all-channel alarm system of Construction Department No. 7, the ATM network by video transfer with variable speed and in some other cases, allowed to find the phenomenon of structural similarity of statistical characteristics of package loading at its measurement in different time scales (self-similarity or fractal properties). As the main property of a self-similar stream - preservation of structure of autocorrelation function regardless of parameter of aggregation of a stream of  $m$ , is obvious that properties of self-similarity arise in the course of transformation of a bit stream to a stream of cells more often.

The correlated stationary likelihood process  $N(n_k, k=1, 2, 3...)$  with function of autocorrelation  $K_N(k)$  it can be transformed to new temporary sequence  $N^{(m)}(n_i^{(m)}, i=1, 2, 3...)$  with autocorrelation function  $z^{(m)}(k)$  by a way

of averaging of initial sequence of  $N$  on not being crossed consecutive blocks in the size of  $m$ .

Process (stream) of  $N$  is called as precisely self-similar (or fraktaloobrazny), if  $z^{(m)}(k) = z(k)$  for all  $m=1,2,3$ ;  $k=1,2,3$  and if compound process become  $N$  indistinguishable from process concerning their functions of autocorrelation. Such properties all processes with fractal properties possess. However difficulties of modeling and calculation of switching systems, servers and other elements of service of each level of ICS on which streams with fractal properties arrive, result in complexity, and a thicket and to impossibility of their formal description. It should be noted that properties of self-similarity (fractal) some known streams, for example, stream of Bernulli which it is possible to consider as a special case of a self-similar stream possess also.

Thus, the approach offered in article to the description of modern ICS in the form of multilevel network architecture, allows to present each functional level model of a network of services, and each functional component of service of concrete level – system of the stochastic differential levels which are setting dynamics of its conditions.

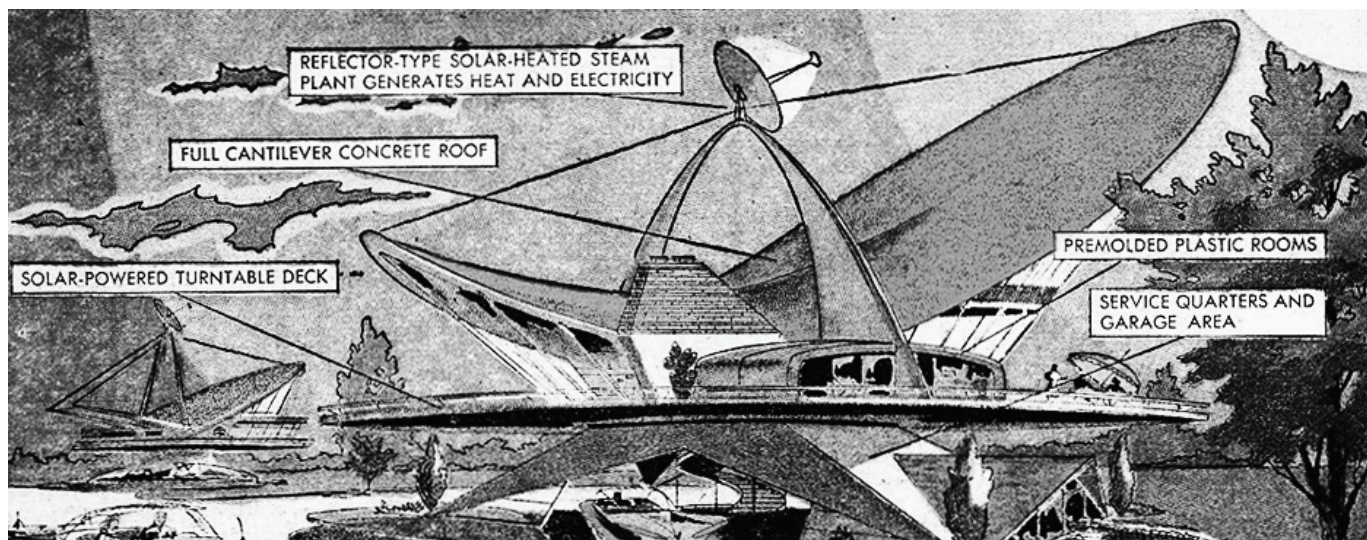
At the same time, it is necessary to consider that any representation of real flows of requirements of service in the ICS level networks model of a stationary stream (primitive, stream of Palm, recurrent, recurrent with delay stream of Bernulli, generalized self-similar etc.) should be scientifically proved in respect of their use in dynamic models level an ICS component since models of streams enter into much more difficult models describing conditions of the switching and server equipment, and also level networks and ICS as a whole.

## Literature

1. Goldstein B.S., Kucheryavy A.E. Seti svyazi post-NGN [Communication network of post-NGN]. SPb.: BHV-Petersburg, 2013.
2. Burenin A.N., Legkov K.E. Sovremennye infokommunikatsionnye sistemy i seti spetsial'nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya: Monografiya. [Modern infocommunication systems and special purpose networks. Basics of creation and control]. Moscow: Media Publisher, 2015. 348 p. (In Russian).
3. Legkov K.E. Modeli upravleniya protsessami obmena v sluzhbe peredachi i dostavki faylov infokommunikatsionnykh setey spetsial'nogo naznacheniya. [Model of management of exchange processes in service of transfer and delivery of files of infocommunication networks special purpose]. H&ES Research. 2014. No. 4. Pp. 38–43.
4. Kleynrok L. Vychislitel'nye sistemy s ocheredyami. [Computing systems with turns]. Moscow: Mir, 1979.
5. Kleynrok L. Teoriya massovogo obsluzhivaniya. [Theory of mass service]. Moscow: Mashinostroenie. 1979.
6. Saul'yev V.K. Matematicheskie metody teorii massovogo obsluzhivaniya. [Mathematical methods of the theory of mass service]. Moscow: Statistika. 1979.
7. Zakharov G.P. Metody issledovaniya setey peredachi dannykh. [Methods of research of networks of data transmission]. Moscow: Radio i svyaz. 1982.
8. Barucha-Read A.T. Elementy teorii markovskikh protsessov i ikh prilozheniya. [Element of the theory of markovsky processes and their appendix]. Moscow: Nauka. 1969.
9. Klimov G.P. Stokhasticheskie sistemy massovogo obsluzhivaniya. [Stochastic systems of mass service]. Moscow: Nauka, 1966.

## For citation:

Burenin A.N., Legkov K.E., Levko I.V. Questions of the organization and models of functioning of modern infocommunication networks. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 70–79.



## ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

**Буренин Андрей Николаевич,**

г. Санкт-Петербург, Россия, konferencia\_asu\_vka@mail.ru

**Легков Константин Евгеньевич,**

г. Санкт-Петербург, Россия, constl@mail.ru

**Легко Игорь Владимирович,**

г. Санкт-Петербург, Россия, konferencia\_asu\_vka@mail.ru

### Аннотация

На основе анализа основных тенденций развития информационных систем и телекоммуникационных сетей сделан вывод о необходимости их конвергенции в инфокоммуникационные системы или сети (ИКС) с целью полного и своевременного удовлетворения потребностей пользователей различного ранга в информационных и телекоммуникационных услугах с обеспечением требуемого уровня устойчивости и безопасности.

Развернутые и создаваемые в настоящее время ИКС существенно отличаются друг от друга и от общего облика перспективной ИКС. Для предоставления информационных и телекоммуникационных услуг используются многочисленные программно-аппаратные средства. Они позволяют должностным лицам пунктов управления обмениваться любыми видами сообщений и получать информационные услуги в заданное время и с требуемым качеством.

В данной статье приведено описание и взаимодействие основных организационных компонент ИКС. Предложены варианты архитектурного построения ИКС и ее описание совокупностью сетевых уровневых моделей, моделей устойчивости уровневых компонент и укрупненными

моделями обслуживания требований на получение услуг уровня ИКС.

Рассмотрены базовые модели потоков требований, характерных для каждого из уровней ИКС, и свойства этих потоков. Вид потока определяется потребностями должностных лиц пунктов управления и процессами функционирования самой ИКС.

На основании проведенного анализа сделаны следующие выводы. Любое представление реальных потоков требований на обслуживание в уровневых сетях ИКС моделью стационарного потока (примитивного, Пальма, рекуррентного, рекуррентного с запаздыванием, Бернулли, обобщенного самоподобного и т.д.) должно быть научно обосновано в плане их использования в динамических моделях уровневых компонент ИКС. Так как сами модели потоков входят в значительно более сложные модели, описывающие состояния коммутационного и серверного оборудования, а также уровневых сетей и ИКС в целом.

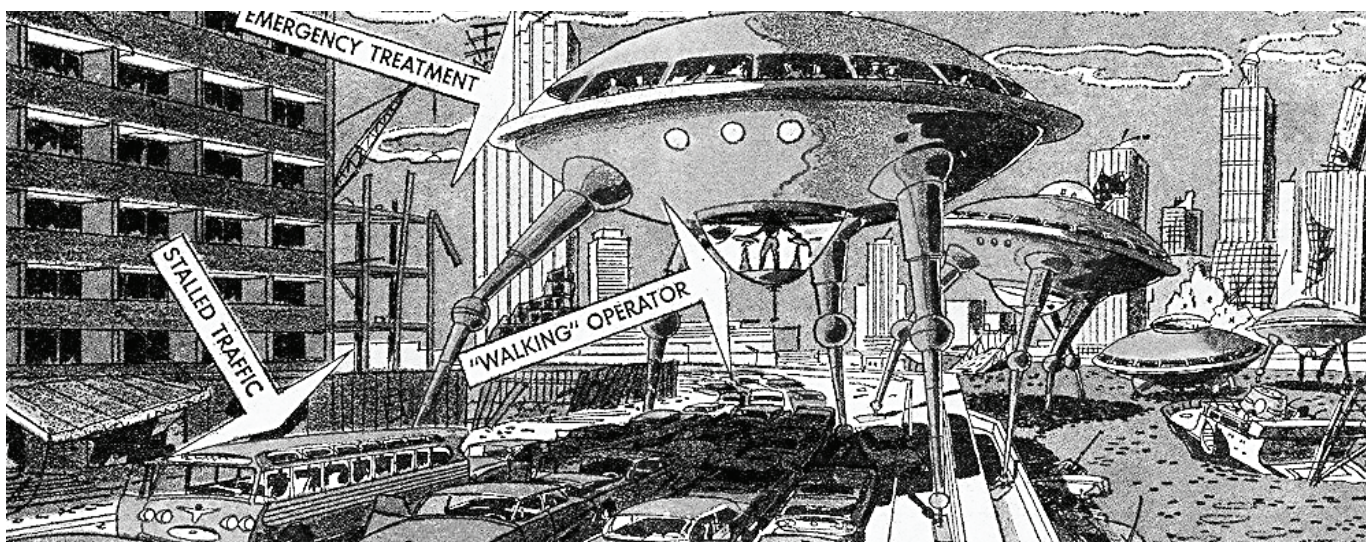
**Ключевые слова:** инфокоммуникационная система, инфокоммуникационная сеть, уровневая сеть, базовый уровень, промежуточный уровень, инфраструктурный уровень, модели потоков.

### Информация об авторе:

Буренин А.Н., к.т.н., доцент, главный специалист ОАО «Научно-исследовательский институт «Рубин»; Легков К.Е., к.т.н., заместитель начальника кафедры автоматизированных систем управления Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского; Левко И.В., к.т.н., старший преподаватель кафедры автоматизированных систем управления Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

### Для цитирования:

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.



## 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 с аннотацией - 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), 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).
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 сносков (если автор

непрерывно хочет указать нормативный документ или сослаться на свою диссертацию). 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 (по стандарту Harvard).

В конце размещается полная информация об авторах (возможно размещение кратких автобиографий): фамилия, инициалы, должность, ученая степень, ученое звание, место работы (организация) и другие данные с надписью (Information about authors).

Все названия издательств и журналов должны быть транслитерированы, а не переведены. Названия организаций в списках литературы (Труды Академии...) должны быть четко выверены с данными организации и иметь официальное английское наименование, которое указано на их сайте или также транслитерированы. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала.

10. Статья предоставляется в электронном виде, единым файлом, имеющим следующую структуру: заглавие статьи, сведения об авторах, ключевые слова, аннотация, текст статьи (включая иллюстрации, таблицы и формулы), пристатейный список литературы, англоязычный блок. Также представляется отдельная папка с экспортированными изображениями рисунков и формул в формате TIFF, по требованиям указанным в п.2. Тексты в рисунках должны быть читаемы.

11. К статье прилагается экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати и две рецензии кандидатов или докторов наук по профилю планируемой публикации материалов (сканированные копии в электронном виде).

Все материалы высылаются электронной почтой в адрес журнала: HT-ESResearch@yandex.ru

Редакция принимает к публикации статьи на английском языке.

**Внимание!** Редакция оставляет за собой право отклонить представленные материалы, оформленные не по указанным правилам.

## MANUSCRIPT REQUIREMENTS

### Format

1. All files should be submitted as a Word document.
2. Articles should be between 15000 and 20000 characters (incl. spaces).
3. Article Title to be submitted in native language and English. A title of not more than eight words should be provided.

### Author Details (in English and native language)

Details should be supplied on the Article Title Page including:

- \* Full name of each author
- \* Position, rank, academic degree
- \* Affiliation of each author, at the time the research was completed
- \* Full postal address of the affiliation
- \* E-mail address of each author
- \* Structured Abstract (in English and native language)
- \* Abstract should be: informative (no general words), original, relevant (reflects your papers key content and research findings); structured (follows the logics of results presentation in the paper), concise (between 250 and 300 words).
- \* Purpose (mandatory)
- \* Design/methodology/approach (mandatory)
- \* Findings (mandatory)
- \* Research limitations/implications (if applicable)
- \* Practical implications (if applicable)
- \* Social implications (if applicable)
- \* Originality/value (mandatory)

It is appropriate to describe the research methods/methodology if they are original or of interest for this particular research. For papers concerned with experimental work describe your data sources and

data procession technique. Describe your results as precisely and informatively as possible. Include your key theoretical and experimental results, factual information, revealed interconnections and patterns. Give special priority in your abstract to new results and long-term impact data, important discoveries and verified findings that contradict previous theories as well as data that you think have practical value.

Conclusions could be associated with recommendations, estimates, suggestions, hypotheses described in the paper.

Information contained in the title should not be duplicated in the abstract. Try to avoid unnecessary introductory phrases (e.g. the author of the paper considers).

Use the language typical of research and technical documents to compile your abstract and avoid complex grammatical constructions. The text of the abstract should include key words of the paper.

### Keywords (in English and native language)

Please provide up to 5 keywords on the Article Title Page, which encapsulate the principal topics of the paper.

### Figures

All figures should be of high quality, legible and numbered consecutively with arabic numerals. All figures (charts, diagrams, line drawings, web pages/screenshots, and photographic images) should be submitted in electronic form preferably in color as separate files, that match the following parameters: TIFF format (quality of figures not less than 300 dpi).

### References

References to other publications must be in Harvard style and carefully checked for completeness, accuracy and consistency.