

Научно-технический журнал  
2018. Т. 10. № 4

## НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

Журнал **H&ES Research** издается с 2009 года, 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.

**Журнал H&ES Research входит в перечень изданий, публикации в которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ), в систему российского индекса научного цитирования (РИНЦ), а также включен в Международный классификатор периодических изданий.**

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

- 05.11.00 Авиационная и ракетно-космическая техника
- 05.12.00 Радиотехника и связь
- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление.

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

- NEICON • CyberLenika (Open Science) • Google Scholar • OCLC WorldCat • Ulrich's Periodicals Directory • Bielefeld Academic Search Engine (BASE) • eLIBRARY.RU • Registry of Open Access Repositories (ROAR)

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции. За содержание рекламных материалов редакция ответственности 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 направить 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). Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте.

Язык публикаций: русский, английский.  
Периодичность выхода – 6 номеров в год.

© ООО «ИД Медиа Паблшер», 2018

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

ISSN 2409-5419 (Print)

ISSN 2412-1363 (Online)

Scientific and Technical Journal  
2018. Vol. 10. No. 4

## HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

**H&ES Research** is published since 2009. The journal covers achievements and problems of the Russian infocommunication, introduction of the last achievements of branch in automated control systems, development of technologies in information security, space researches, development of satellite television and navigation, research of the Arctic. The special place in the edition is given to results of scientific researches of young scientists in the field of creation of new means and technologies of space researches of Earth.

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

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

- 05.07.00 Aviation, space-rocket hardware
- 05.12.00 RF technology and communication
- 05.13.00 Informatics, computer engineering and control.

### JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

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.

POSTGRADUATE 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). All issues of the journal are in a free access on a site.

Language of publications: Russian, English.  
Periodicity – 6 issues per year.

© "Media Publisher", LLC 2018

**Учредитель:**

ООО «ИД Медиа Паблшер»

**Издатель:**

СВЕТЛАНА ДЫМКОВА

**Главный редактор:**

КОНСТАНТИН ЛЕГКОВ

**Редакционная коллегия:**

**БОБРОВСКИЙ В.И.**, д.т.н., доцент;

**БОРИСОВ В.В.**, д.т.н., профессор,

Действительный член академии  
военных наук РФ;

**БУДКО П.А.**, д.т.н., профессор;

**БУДНИКОВ С.А.**, д.т.н., доцент,

Действительный член Академии  
информатизации образования;

**ВЕРХОВА Г.В.**, д.т.н., профессор;

**ГОНЧАРОВСКИЙ В.С.**, д.т.н., профессор,

заслуженный деятель науки  
и техники РФ;

**КОМАШИНСКИЙ В.И.**, д.т.н., профессор;

**КИРПАНЕВ А.В.**, д.т.н., доцент;

**КУРНОСОВ В.И.**, д.т.н., 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.**, д.т.н., профессор;

**МОРОЗОВ А.В.**, д.т.н., профессор,

Действительный член Академии

военных наук РФ;

**МОШАК Н.Н.**, д.т.н., доцент;

**ПРОРОК В.Я.**, д.т.н., профессор;

**СЕМЕНОВ С.С.**, д.т.н., доцент;

**СИНИЦЫН Е.А.**, д.т.н., профессор;

**ШАТРАКОВ Ю.Г.**, д.т.н., профессор,

заслуженный деятель науки РФ.

**H&ES Research** зарегистрирован

Федеральной службой по надзору

за соблюдением законодательства в

сфере массовых коммуникаций и охране

культурного наследия.

Издательская лицензия

ПИ № ФС 77-60899.

**Адрес издателя:**

111024, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514.

**Адрес редакции:**

194044, Россия, Санкт-Петербург,

Лесной Проспект, 34-36, к. 1,

Тел.: +7(911) 194-12-42.

**Дизайн и компьютерная верстка:**

ОКСАНА ИВАНОВА

ok-ivanova@yandex.ru

# СОДЕРЖАНИЕ

## АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

**Мионов Е.А., Сизяков Н.П., Шестопалова О.Л.**

Прогнозирование показателей живучести космических аппаратов по результатам телеметрического контроля параметров бортовой аппаратуры и нечетким границам областей работоспособности ..... 4

**Платонов В.Н., Сумароков А.В.**

Об управлении перспективным космическим аппаратом дистанционного зондирования Земли с использованием силовых гироскопов во время выполнения съемок..... 19

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Разумов А.А.**

Использование искусственных нейронных сетей в экстраполяции недетерминированных широкополосных радиотехнических сигналов..... 30

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Гончаренко В.А.**

Концептуальные основы построения устойчивых к воздействиям автоматизированных систем специального назначения на основе адаптивных технологий ..... 38

**Кузнецов С.С., Винограденко А.М.**

Модель единой централизованной автоматизированной системы управления техническим состоянием вооружения, военной и специальной техники..... 48

**Онуфрей А.Ю., Какаев В.В., Куракин С.З., Ершов Ю.А.**

Перспективы применения учебно-тренировочных средств для подготовки военных специалистов в высших учебных заведениях ..... 55

**Рогозинский Г.Г.**

Элементы архитектуры систем сонификации как части Интернета звука ..... 64

**Хомоненко А.Д., Благовещенская Е.А., Проурзин О.В., Андрук А.А.**

Прогноз надежности кластерной вычислительной системы с помощью полумарковской модели альтернирующих процессов и мониторинга..... 72

**Ямпольский С.М.**

Методологический подход к выбору информационно-технологической основы системы информационного взаимодействия органов военного управления..... 83

# CONTENTS

## AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

### **Mironov E.A., Sisyakov N.P., Shestopalova O.L.**

Forecasting the survivability indicators of spacecrafts by the results of the board equipment telemetric control using fuzzy borders of functioning area ..... 4

### **Platonov V.N., Sumarokov A.V.**

On the attitude control for next-generation Earth surface sensing spacecraft using about controlling the next power gyros when performing observation ..... 19

## RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

### **Razumov A.A.**

Utilization of artificial neural networks in extrapolation of non-terminated broadband radio signals ..... 30

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

### **Goncharenko V.A.**

Conceptual bases for building resilient to the impacts automated systems for special purposes based on adaptive technologies ..... 38

### **Kuznetsov S.V., Vinogradenko A.M.**

Model of a single centralized automated system for controlling technical condition of armaments, military and special equipment ..... 48

### **Onufrey A.Yu., Kakaev V.V., Kurakin S.Z., Ershov Yu. A.**

Perspectives of application of educational-trainer means for training of military specialists in higher educational institutions ..... 55

### **Rogozinsky G.G.**

Elements of Sonification System Structure as a part of the Internet of Sound ..... 64

### **Khomonenko A.D., Blagoveshchenskaya E.A., Prourzin O.B., Andruk A.A.**

Prediction of reliability of cluster computing system using semi-markov model of alternating processes and monitoring ..... 72

### **Yampolsky S.M.**

Methodology of choosing informative and technological basis of the information interaction system of military management bodies ..... 83

#### **Founder:**

"Media Publisher", LLC

#### **Publisher:**

SVETLANA DYMKOVA

#### **Editor in chief:**

KONSTANTIN LEGKOV

#### **Editorial board:**

**BOBROWSKY V.I.**, PhD, Docent;  
**BORISOV V.V.**, PhD, Full Professor;  
**BUDKO P.A.**, PhD, Full Professor;  
**BUDNIKOV S.A.**, PhD, Docent,  
Actual Member of the Academy of Education Informatization;  
**VERHOVA G.V.**, PhD, Full Professor;  
**GONCHAREVSKY V.S.**, PhD, Full Professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation;  
**KOMASHINSKIY V.I.**, PhD, Full Professor;  
**KIRPANEEV A.V.**, PhD, Docent;  
**KURNOSOV V.I.**, PhD, Full 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.**, PhD, Full Professor;  
**MOROZOV A.V.**, PhD, Full Professor, Actual Member of the Academy of Military Sciences;  
**MOSHAK N.N.**, PhD, Docent;  
**PROROK V.Y.**, PhD, Full Professor;  
**SEMENOV S.S.**, PhD, Docent;  
**SINICYN E.A.**, PhD, Full Professor;  
**SHATRAKOV Y.G.**, PhD, Full Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation.

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.  
Publishing license  
ПИ № ФС 77-60899.

#### **Address of publisher:**

111024, Russia, Moscow,  
st. Aviamotornaya, 8, office 512-514;

#### **Address of edition:**

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

#### **Design and computer imposition:**

OKSANA IVANOVA  
ok-ivanova@yandex.ru

doi: 10.24411/2409-5419-2018-10092

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИВУЧЕСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ И НЕЧЕТКИМ ГРАНИЦАМ ОБЛАСТЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

**МИРОНОВ**

**Евгений Андреевич<sup>1</sup>**

**СИЗЯКОВ**

**Николай Петрович<sup>2</sup>**

**ШЕСТОПАЛОВА**

**Ольга Львовна<sup>3</sup>**

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, доцент кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, john682@mail.ru

<sup>2</sup>д.т.н., заместитель генерального директора Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга», г. Москва, Россия, nsizyakov@yandex.ru

<sup>3</sup>к.т.н., доцент, декан факультета Испытания летательных аппаратов филиала «Восход» Московского авиационного института (Национального исследовательского университета), г. Байконуре, Казахстан, neman2004@mail.ru

## АННОТАЦИЯ

В работе описано решение задачи расчета значений показателей живучести бортовой аппаратуры космического аппарата, заключающееся в получении количественных оценок вероятностей невыхода параметров технического состояния бортовой аппаратуры космического аппарата за условные границы поля допуска, определенные при допущении о воздействии на бортовую аппаратуру космического аппарата и условия ее эксплуатации внешних воздействующих факторов заданной интенсивности.

Отличительной особенностью настоящей работы является комплексное рассмотрение влияния внешних воздействующих факторов на бортовую аппаратуру космического аппарата, включая влияние как на саму бортовую аппаратуру, так и на условия ее эксплуатации. Это позволяет использовать полученные результаты для прогнозирования остаточного срока службы бортовой аппаратуры космического аппарата с учетом возможных неблагоприятных воздействий.

Показано, что воздействия внешних естественных и искусственных факторов вследствие неопределенного характера состава, интенсивности и степени проявления воздействующих факторов могут быть адекватно учтены при описании границ полей допусков параметров технического состояния бортовой аппаратуры космических аппаратов нечеткими множествами, функции принадлежности которых оцениваются на основе формализованного представления опыта экспертов с помощью нечетких лингвистических шкал и представляются в виде нечетких границ поля допуска.

Приведена математическая модель, описан состав входных и выходных данных, представлены алгоритмы решения задачи расчета значений показателей живучести бортовой аппаратуры космического аппарата, пригодные для реализации на электронно-вычислительной машине. Приведен пример расчета прогнозных значений показателей живучести бортовой аппаратуры космического аппарата по результатам телеметрического контроля температуры внутреннего контура системы терморегулирования космического аппарата.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** телеметрический контроль; техническое состояние; бортовая аппаратура космических аппаратов; прогнозирование показателей живучести; нечеткие множества; границы поля допуска.

**Для цитирования:** Миронов Е. А., Сизяков Н. П., Шестопалова О. Л. Прогнозирование показателей живучести космических аппаратов по результатам телеметрического контроля параметров бортовой аппаратуры и нечетким границам областей работоспособности // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 4. С. 4-18. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10092

## Введение

Эффективность применения космических аппаратов различного целевого назначения во многом зависит от уровня надежности и живучести их бортовой аппаратуры. Контролировать состояние бортовых систем космических аппаратов (КА) на этапах наземных испытаний и орбитального полета можно только на основе получения и обработки значений телеметрируемых параметров.

Обзор современного состояния научно-методического обеспечения прогнозирования технического состояния (ТС) и остаточного срока службы бортовой аппаратуры (БА) КА, что, в настоящее время в основу современных систем прогнозирования параметров ТС БА КА положен моно модельный подход, когда различные параметры ТС БА прогнозируются с применением одной модели [7]. Кроме того, границы полей допусков на параметры ТС БА КА обычно задаются постоянными величинами, определяемыми по принципу наихудшего сочетания наиболее неблагоприятных факторов условий эксплуатации [7–8, 14–15]. Слабыми сторонами существующего подхода являются: недостаточная универсальность базового математического обеспечения, основанного на применении одной модели, приводящая к росту методической погрешности прогнозирования ТС на широком классе процессов изменения ТС элементов и подсистем БА КА; недостаточная проработка вопросов обоснования значений границ полей допусков параметров ТС элементов и подсистем БА КА, особенно для ситуаций воздействия на КА внешних факторов с уровнями, превышающими среднестатистические. В связи с чем сделан вывод, что существующее научно-методическое обеспечение прогнозирования ТС и остаточного срока службы БА КА нуждается в совершенствовании в направлении использования полимодельного подхода [3, 8], сущность которого заключается в применении адаптивной процедуры выбора конкретной прогнозной модели из базы моделей с учетом характеристик фактической прогнозной ситуации и опыта специалистов — экспертов в области прогнозирования, формализованного в соответствующей базе знаний [12, 16].

Оценивание состава компонент вектора параметров прогнозной ситуации и их значений для случая прогнозирования живучести возможно, в силу неопределенности среды, только экспертными методами, при этом неизбежное при детерминированном описании границ поля допуска (ГПД) сужение границ поля допуска приводит на практике к снижению точности и достоверности прогнозов показателей живучести БА КА [2, 9–10].

Таким образом, актуальным направлением повышения точности и достоверности оценивания ТС БА КА, прогнозирования живучести БА КА является разработка алгоритмов и методик, позволяющих реализовать нечет-

кий подход к экспертному оцениванию ГПД параметров ТС БА КА при их нестохастическом описании [4–5].

## Постановка задачи исследований

Задача решается для обеспечения прогнозирования значений показателей живучести БА КА, которые подвергаются периодическому телеметрическому контролю в процессе эксплуатации с сохранением измеренных значений параметров в соответствующей базе данных.

Результаты измерений параметров технического состояния БА КА представляются в виде временных рядов (ВР) (упорядоченных во времени результатов измерений значений параметров через дискретные равноотстоящие интервалы времени).

Целью решения задачи является расчет значений показателей живучести БА КА, а именно — получение количественных оценок вероятностей невыхода параметров технического состояния БА КА за условные границы поля допуска, определенные при допущении о воздействии на БА КА и условия ее эксплуатации внешних воздействующих факторов заданной интенсивности.

Задача прогнозирования показателей живучести решается в два этапа. На первом этапе оценивается прогнозируемое значение вероятности невыхода скалярного параметра технического состояния БА КА за условные границы поля допуска. На втором этапе оценивается прогнозируемое значение вероятности невыхода векторного параметра технического состояния БА КА за условные границы поля допуска.

Скалярный параметр ТС БА КА отражает изменение ТС какой-либо одной составной части БА КА, либо группы составных частей БА КА (если он является обобщенным параметром ТС для данной группы оборудования). Векторный параметр технического состояния БА КА отражает изменение ТС группы составных частей БА КА.

Значения условных границ поля допуска для различных градаций параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» задаются в виде нечетких чисел с треугольной функцией принадлежности и рассчитываются по алгоритмам прогнозирования значений границ поля допуска [11].

Периодичность решения задачи определяется периодичностью выдачи выходного сигнала с блока прогнозирования временного ряда по моделям АРПСС [1], либо с блока прогнозирования временного ряда по модели МММП. [13].

Задача решается автоматизированным способом на ПЭВМ. Условия и временные характеристики конкретного решения задачи определены общим алгоритмом функционирования программного обеспечения и конкретными требованиями к прогнозированию показателей надежности и живучести БА КА.

**Состав исходных данных**

Исходными данными для решения задачи являются:  
 $\{z_{it}\} \quad t=1,2,\dots,N, i=1,\dots,n$  — значения временного ряда результатов телеметрического контроля  $i$ -го выходного параметра составной части БА КА;

$N$  — число наблюдений;

$n$  — число параметров ТС составной части БА КА;

$\tilde{z}_{it}(l)$  — прогноз наиболее вероятных значений временного ряда (ВР)  $z_{it}, l=1, 2, \dots, L$ ;

$L$  — значение максимальной величины упреждения прогноза;

$V_i(l), l=1, 2, \dots, L$  — оценки дисперсии ошибок прогноза  $i$ -го выходного параметра составной части БА КА;

$$\Delta_{ij}^B = \langle z_{ij}^{в.л.}, z_{ij}^{в.с.}, z_{ij}^{в.п.} \rangle, \Delta_{ij}^H = \langle z_{ij}^{н.л.}, z_{ij}^{н.с.}, z_{ij}^{н.п.} \rangle$$
 — значения

условных нечетких границ поля допуска  $i$ -го параметра ТС БА КА для  $j$ -й градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» с треугольной функцией принадлежности,  $j=1,2,3$  ( $j=1$  — слабая степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА;  $j=2$  — умеренная степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА;  $j=3$  — сильная степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА);

$$V_{i<3>}^{гпд} = \langle \beta_{i1}^{гпд}, \beta_{i2}^{гпд}, \beta_{i3}^{гпд} \rangle$$
 — вектор весов прогнозных оценок значений условных нечетких границ поля допуска  $i$ -го параметра ТС БА КА.

**Состав выходных данных**

Выходные данные представляют собой:

$$P_{БАij}^{ж} (l) = \langle P_{БАij}^{ж.л.}(l), P_{БАij}^{ж.с.}(l), P_{БАij}^{ж.п.}(l) \rangle$$
 — прогнозируемое значение вероятности невыхода  $i$ -го скалярного параметра технического состояния БА КА за условные нечеткие границы поля допуска, определенные для  $j$ -й градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» и  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза;

ею значение вероятности невыхода векторного параметра технического состояния БА КА за условные нечеткие границы поля допуска, определенные для  $j$ -й градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» и  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза;

$$P_{БАj}^{ж} (l) = \langle P_{БАj}^{ж.л.}(l), P_{БАj}^{ж.с.}(l), P_{БАj}^{ж.п.}(l) \rangle$$
 — прогнозируемое значение вероятности невыхода векторного параметра технического состояния БА КА за условные нечеткие границы поля допуска, определенные для  $j$ -й градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» и  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза;

ею значение вероятности невыхода векторного параметра технического состояния БА КА за условные нечеткие границы поля допуска, определенные для  $j$ -й градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» и  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза;

$l=1, 2, \dots, L, L$  — значение максимальной величины упреждения прогноза.

$V_{i<3>}^{ж} = \langle \beta_{i1}^{ж}, \beta_{i2}^{ж}, \beta_{i3}^{ж} \rangle$  — значения элементов вектора весов прогнозных оценок показателей живучести БА КА по  $i$ -му параметру ТС БА.

**Теоретические положения и основные расчетные соотношения**

Перечень принятых допущений

Изменения во времени выходного параметра составной части БА КА описывается стационарным случайным процессом, либо нестационарным случайным процессом со стационарными приращениями  $n$ -го порядка.

Тренды выходных параметров (временные зависимости, описывающие наиболее устойчивые тенденции изменения временного ряда) монотонны.

Абсолютная величина трендовой составляющей на интервале упреждения прогноза многократно превышает дисперсию отклонений временного ряда от тренда.

Значения прогнозируемого параметра в каждом временном сечении распределены по нормальному закону с математическим ожиданием  $\tilde{z}_{it}(l)$  и дисперсией  $V_i(l)$ .

**Математическая модель**

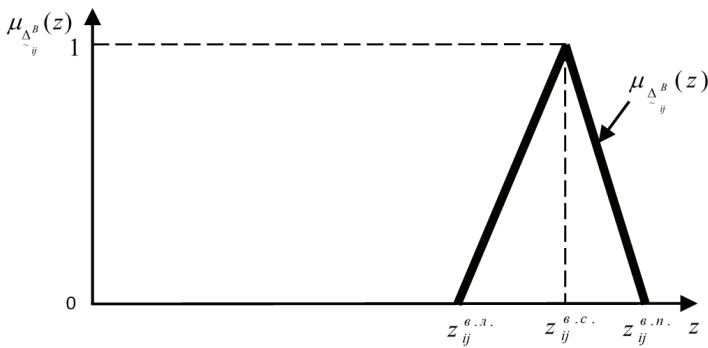
Описание модельных соотношений для прогнозирования показателя живучести БА КА по скалярному параметру технического состояния и нечетком одностороннем верхнем допуске на его значения.

Верхняя граница поля допуска параметра ТС БА КА — нечеткая верхняя односторонняя граница с треугольной функцией принадлежности, задается для  $j$ -ой градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» в виде тройки параметров

$$\Delta_{ij}^B = \langle z_{ij}^{в.л.}, z_{ij}^{в.с.}, z_{ij}^{в.п.} \rangle \tag{1}$$

Вид соответствующей функции принадлежности приведен на рис. 1.

Прогнозируемое значение вероятности невыхода  $i$ -го скалярного параметра технического состояния БА КА за условную верхнюю одностороннюю нечеткую границу поля допуска, определенную для  $j$ -ой градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА», находится для  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза как нечеткое множество значений вероятности безотказной работы, функция принадлежности которого задается тройкой:



**Рис. 1.** Функция принадлежности нечеткой верхней односторонней границы поля допуска параметра ТС БА КА

$$P_{БАij}^{ж} (l) = \langle P_{БАij}^{ж.л.}(l), P_{БАij}^{ж.с.}(l), P_{БАij}^{ж.п.}(l) \rangle, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} P_{БАij}^{ж.л.}(l) &= F(z_{ij}^{в.л.}; < a, b >), \\ P_{БАij}^{ж.с.}(l) &= F(z_{ij}^{в.с.}; < a, b >), \\ P_{БАij}^{ж.п.}(l) &= F(z_{ij}^{в.п.}; < a, b >). \end{aligned} \quad (3)$$

$F(z'; < a, b >)$  — функция распределения нормально-го (гауссова) распределения, вычисляемая на основе выражения:

$$F(z'; < a, b >) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}b} \int_{-\infty}^{z'} e^{-\frac{(z-a)^2}{2b^2}} dz, \quad (4)$$

где  $a = \bar{z}_{ii}(l), b = \sqrt{V_i(l)}, l = 1, 2, \dots, L$ .

Результат прогнозирования значения вероятности невыхода  $i$ -го скалярного параметра технического состояния БА КА за условную верхнюю нечеткую границу поля допуска, определенную для  $j$ -ой градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» и  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза, полностью описывается нечетким множеством, заданным на множестве значений вероятности с треугольной функцией принадлежности, приведенной на рис. 2.

Описание модельных соотношений для прогнозирования показателя живучести БА КА по скалярному параметру технического состояния и нечетком одностороннем нижнем допуске на его значения.

Нижняя граница поля допуска параметра ТС БА КА — нечеткая нижняя односторонняя граница с треугольной функцией принадлежности, задается для  $j$ -ой градации

параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» в виде тройки параметров

$$\Delta_{ij}^H = \langle z_{ij}^{н.л.}, z_{ij}^{н.с.}, z_{ij}^{н.п.} \rangle \quad (5)$$

Вид соответствующей функции принадлежности приведен на рис. 3.

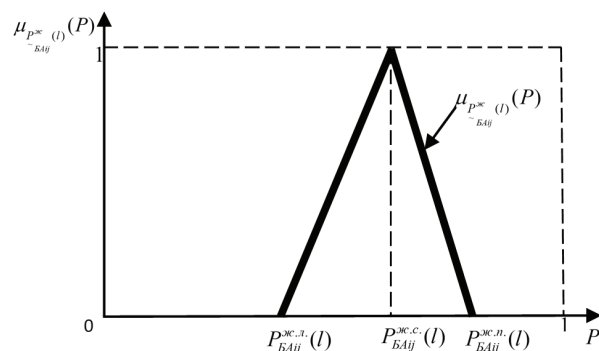
Прогнозируемое значение вероятности невыхода  $i$ -го скалярного параметра технического состояния БА КА за условную нижнюю одностороннюю нечеткую границу поля допуска, определенную для  $j$ -ой градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА», находится для  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза как нечеткое множество значений вероятности безотказной работы, функция принадлежности которого задается тройкой:

$$P_{БАij}^{ж} (l) = \langle P_{БАij}^{ж.л.}(l), P_{БАij}^{ж.с.}(l), P_{БАij}^{ж.п.}(l) \rangle, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} P_{БАij}^{ж.л.}(l) &= 1 - F(z_{ij}^{н.л.}; < a, b >), \\ P_{БАij}^{ж.с.}(l) &= 1 - F(z_{ij}^{н.с.}; < a, b >), \\ P_{БАij}^{ж.п.}(l) &= 1 - F(z_{ij}^{н.п.}; < a, b >). \end{aligned} \quad (7)$$

Результат прогнозирования вероятности невыхода  $i$ -го скалярного параметра технического состояния БА КА за условную нижнюю одностороннюю нечеткую границу поля допуска, определенную для  $i$ -ой градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА»



**Рис. 2.** Функция принадлежности прогнозируемого значения вероятности невыхода  $i$ -го скалярного параметра технического состояния БА КА за условную верхнюю одностороннюю нечеткую границу поля допуска

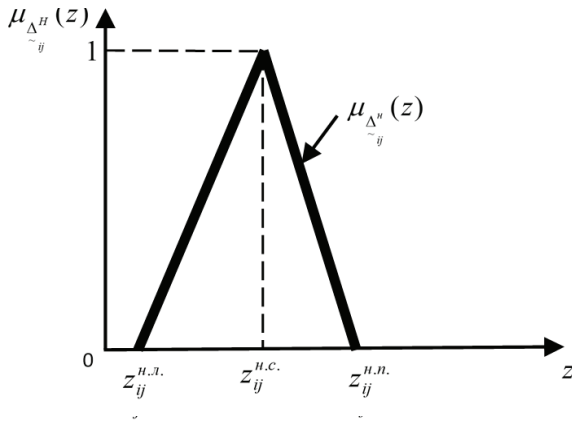


Рис. 3. Функция принадлежности нечеткой нижней односторонней границы поля допуска параметра ТС БА КА

и  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза, полностью описывается нечетким множеством, заданным на множестве значений вероятности с треугольной функцией принадлежности, аналогичной приведенной на рис. 2.

Описание модельных соотношений для прогнозирования показателя живучести БА КА по скалярному параметру технического состояния и нечетком двухстороннем допуске на его значения.

Двухсторонние границы поля допуска параметра ТС БА КА задаются двумя нечеткими множествами с треугольными функциями принадлежности:

$$\underline{\Delta}_{ij}^H = \langle z_{ij}^{н.л.}, z_{ij}^{н.с.}, z_{ij}^{н.п.} \rangle \text{ и } \underline{\Delta}_{ij}^B = \langle z_{ij}^{в.л.}, z_{ij}^{в.с.}, z_{ij}^{в.п.} \rangle \quad (8)$$

определяемыми для  $j$ -ой градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА».

Вид функций принадлежности, описывающих двухсторонние границы поля допуска, приведен на рис. 4.

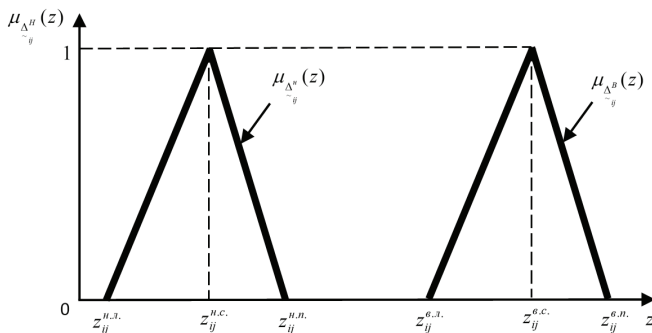


Рис. 4. Функции принадлежности нечеткой двухсторонней границы поля допуска параметра ТС БА КА

Прогнозируемое значение вероятности невыхода  $i$ -го скалярного параметра технического состояния БА КА за двухстороннюю нечеткую границу поля допуска, определенную для  $j$ -ой градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА», находится для  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза как:

$$\underline{P}_{БАij}^{\text{ж}}(l) = F(\underline{\Delta}_{ij}^B; \langle a, b \rangle) - F(\underline{\Delta}_{ij}^H; \langle a, b \rangle), \quad (9)$$

где

$$F(\underline{\Delta}_{ij}^B; \langle a, b \rangle) = \langle F_{ij}^{в.л.}, F_{ij}^{в.с.}, F_{ij}^{в.п.} \rangle, \quad (10)$$

$$F(\underline{\Delta}_{ij}^H; \langle a, b \rangle) = \langle F_{ij}^{н.л.}, F_{ij}^{н.с.}, F_{ij}^{н.п.} \rangle, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} F_{ij}^{в.л.} &= F(z_{ij}^{в.л.}; \langle a, b \rangle), \\ F_{ij}^{в.с.} &= F(z_{ij}^{в.с.}; \langle a, b \rangle), \\ F_{ij}^{в.п.} &= F(z_{ij}^{в.п.}; \langle a, b \rangle). \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} F_{ij}^{н.л.} &= F(z_{ij}^{н.л.}; \langle a, b \rangle), \\ F_{ij}^{н.с.} &= F(z_{ij}^{н.с.}; \langle a, b \rangle), \\ F_{ij}^{н.п.} &= F(z_{ij}^{н.п.}; \langle a, b \rangle). \end{aligned} \quad (13)$$

$$F(z'; \langle a, b \rangle) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b}} \int_{-\infty}^{z'} e^{-\frac{(z-a)^2}{2b^2}} dz,$$

$$a = \tilde{z}_i(l), b = \sqrt{V_i(l)}, l = 1, 2, \dots, L.$$

Параметры функции принадлежности нечеткого множества  $\underline{P}_{БАij}^{\text{ж}}$  находятся на основе правила нахождения разности двух нечетких чисел (10) и (11) как [1]:

$$\underline{P}_{БАij}^{\text{ж}}(l) = \langle P_{БАij}^{\text{ж.л.}}(l), P_{БАij}^{\text{ж.с.}}(l), P_{БАij}^{\text{ж.п.}}(l) \rangle,$$

где

$$\begin{aligned} P_{БАij}^{\text{ж.л.}}(l) &= F_{ij}^{в.л.} - F_{ij}^{н.п.}, \\ P_{БАij}^{\text{ж.с.}}(l) &= F_{ij}^{в.с.} - F_{ij}^{н.п.}, \\ P_{БАij}^{\text{ж.п.}}(l) &= F_{ij}^{в.п.} - F_{ij}^{н.п.}. \end{aligned} \quad (14)$$



Аналитическое выражение для функции принадлежности нечеткого множества  $\underline{P}_{BAij}^{\text{ж}}(l)$  может быть записано следующим образом:

$$\underline{P}_{BAij}^{\text{ж}}(l) = \left\langle p, \underline{\mu}_{\sim_{BAij}}^{\text{ж}}(p) \right\rangle, \quad (15)$$

где

$$\underline{\mu}_{\sim_{BAij}}^{\text{ж}}(p) = \begin{cases} 0, p \leq P_{BAij}^{\text{ж.л.}}(l) \\ \frac{p - P_{BAij}^{\text{ж.л.}}(l)}{P_{BAij}^{\text{ж.с.}}(l) - P_{BAij}^{\text{ж.л.}}(l)}, P_{BAij}^{\text{ж.л.}}(l) < p < P_{BAij}^{\text{ж.п.}}(l) \\ \frac{P_{BAij}^{\text{ж.п.}}(l) - p}{P_{BAij}^{\text{ж.п.}}(l) - P_{BAij}^{\text{ж.с.}}(l)}, P_{BAij}^{\text{ж.с.}}(l) < p < P_{BAij}^{\text{ж.п.}}(l) \\ 0, p \geq P_{BAij}^{\text{ж.п.}}(l) \end{cases}. \quad (16)$$

Описание модельных соотношений для прогнозирования показателя живучести БА КА по векторному параметру технического состояния

Пусть для  $n$  параметров ТС БА КА рассчитаны значения показателей живучести вида:

$$\underline{P}_{BAij}^{\text{ж}}(l) = \left\langle P_{BAij}^{\text{ж.л.}}(l), P_{BAij}^{\text{ж.с.}}(l), P_{BAij}^{\text{ж.п.}}(l) \right\rangle,$$

$$i = \overline{1, n}, j = 1, 2, 3.$$

Тип границ поля допуска каждого параметра может быть различным (односторонним верхним, односторонним нижним или двухсторонним).

Тогда прогнозируемое значение вероятности  $\underline{P}_{BAj}^{\text{ж}}(l)$  невыхода векторного параметра технического состояния БА КА за условные нечеткие границы поля допуска, определенные для  $j$ -й градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА» и  $l$ -го значения интервала упреждения прогноза может быть рассчитано на основе правила нахождения произведения положительных нечетких чисел [1].

$$\underline{P}_{BAj}^{\text{ж}}(l) = \left\langle P_{BAj}^{\text{ж.л.}}(l), P_{BAj}^{\text{ж.с.}}(l), P_{BAj}^{\text{ж.п.}}(l) \right\rangle \quad (17)$$

Так, произведение двух положительных нечетких чисел

$$\underline{P}_{BA1j}^{\text{ж}}(l) = \left\langle P_{BA1j}^{\text{ж.л.}}(l), P_{BA1j}^{\text{ж.с.}}(l), P_{BA1j}^{\text{ж.п.}}(l) \right\rangle,$$

и

$$\underline{P}_{BA2j}^{\text{ж}}(l) = \left\langle P_{BA2j}^{\text{ж.л.}}(l), P_{BA2j}^{\text{ж.с.}}(l), P_{BA2j}^{\text{ж.п.}}(l) \right\rangle, \quad \text{выполняется}$$

следующим образом:

$$\begin{aligned} \underline{P}_{BAj}^{\text{ж}}(l) &= \underline{P}_{BA1j}^{\text{ж}}(l) \otimes \underline{P}_{BA2j}^{\text{ж}}(l) = \\ &= \left\langle P_{BAj}^{\text{ж.л.}}(l), P_{BAj}^{\text{ж.с.}}(l), P_{BAj}^{\text{ж.п.}}(l) \right\rangle, \end{aligned} \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} P_{BAj}^{\text{ж.л.}}(l) &= P_{BA1j}^{\text{ж.с.}}(l) \times P_{BA2j}^{\text{ж.л.}}(l) + \\ &+ P_{BA2j}^{\text{ж.с.}}(l) \times P_{BA1j}^{\text{ж.л.}}(l) - P_{BA1j}^{\text{ж.с.}}(l) \times P_{BA2j}^{\text{ж.с.}}(l), \end{aligned} \quad (19)$$

$$P_{BAj}^{\text{ж.с.}}(l) = P_{BA1j}^{\text{ж.с.}}(l) \times P_{BA2j}^{\text{ж.с.}}(l), \quad (20)$$

$$\begin{aligned} P_{BAj}^{\text{ж.п.}}(l) &= P_{BA1j}^{\text{ж.с.}}(l) \times P_{BA2j}^{\text{ж.п.}}(l) + P_{BA2j}^{\text{ж.с.}}(l) \times \\ &\times P_{BA1j}^{\text{ж.п.}}(l) - P_{BA1j}^{\text{ж.с.}}(l) \times P_{BA2j}^{\text{ж.с.}}(l). \end{aligned} \quad (21)$$

Произведение трех и более положительных нечетких чисел осуществляется последовательным их перемножением с использованием выражений (17)–(21).

Описание модельных соотношений для определения значений элементов вектора весов прогнозных оценок показателей живучести БА КА по  $i$ -му параметру ТС БА

Значения элементов вектора  $V_{i<3>}^{\text{ж}} = \langle \beta_{i1}^{\text{ж}}, \beta_{i2}^{\text{ж}}, \beta_{i3}^{\text{ж}} \rangle$  весов прогнозных оценок показателей живучести БА КА по  $i$ -му параметру ТС БА вычисляются как

$$V_{i<3>}^{\text{ж}} = \langle \beta_{i1}^{\text{ж}}, \beta_{i2}^{\text{ж}}, \beta_{i3}^{\text{ж}} \rangle = \langle \beta_{i1}^{\text{ГПД}}, \beta_{i2}^{\text{ГПД}}, \beta_{i3}^{\text{ГПД}} \rangle. \quad (21)$$

### Алгоритм решения задачи

Общий алгоритм решения задачи «Прогнозирование показателей живучести» приведен на рис. 5.

Частный алгоритм решения подзадачи «Прогнозирование при односторонней нижней ГПД» в детализированном виде представлен на рис. 6.

Частный алгоритм решения подзадачи «Прогнозирование при двухсторонних ГПД» в детализированном виде представлен на рис. 7.

Частный алгоритм решения подзадачи «Прогнозирование при односторонней верхней ГПД» в детализированном виде представлен на рис. 8.

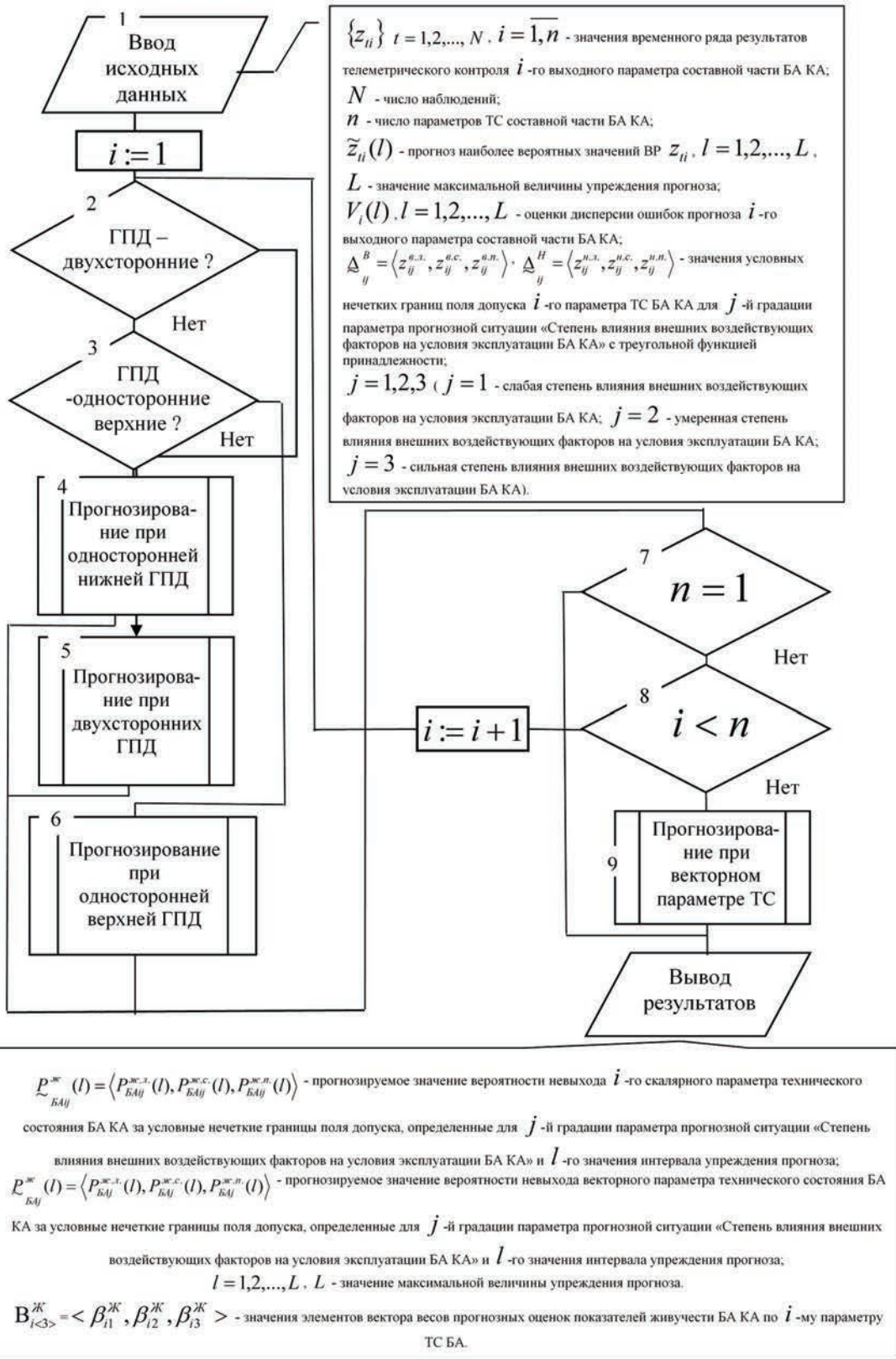


Рис. 5. Блок-схема общего алгоритма решения задачи «Прогнозирование показателей живучести»

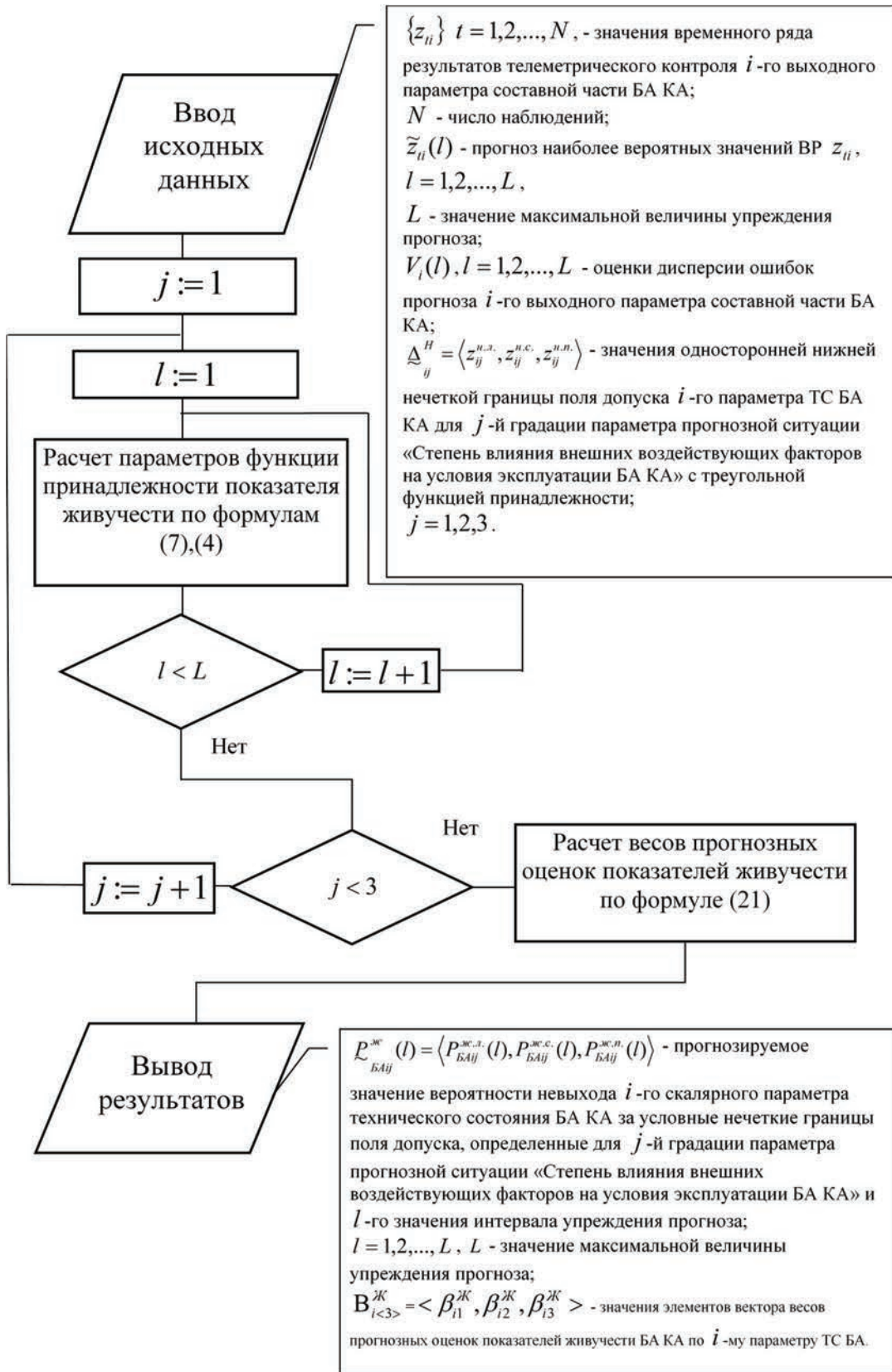


Рис. 6. Блок-схема алгоритма решения подзадачи «Прогнозирование при односторонней нижней ГПД»

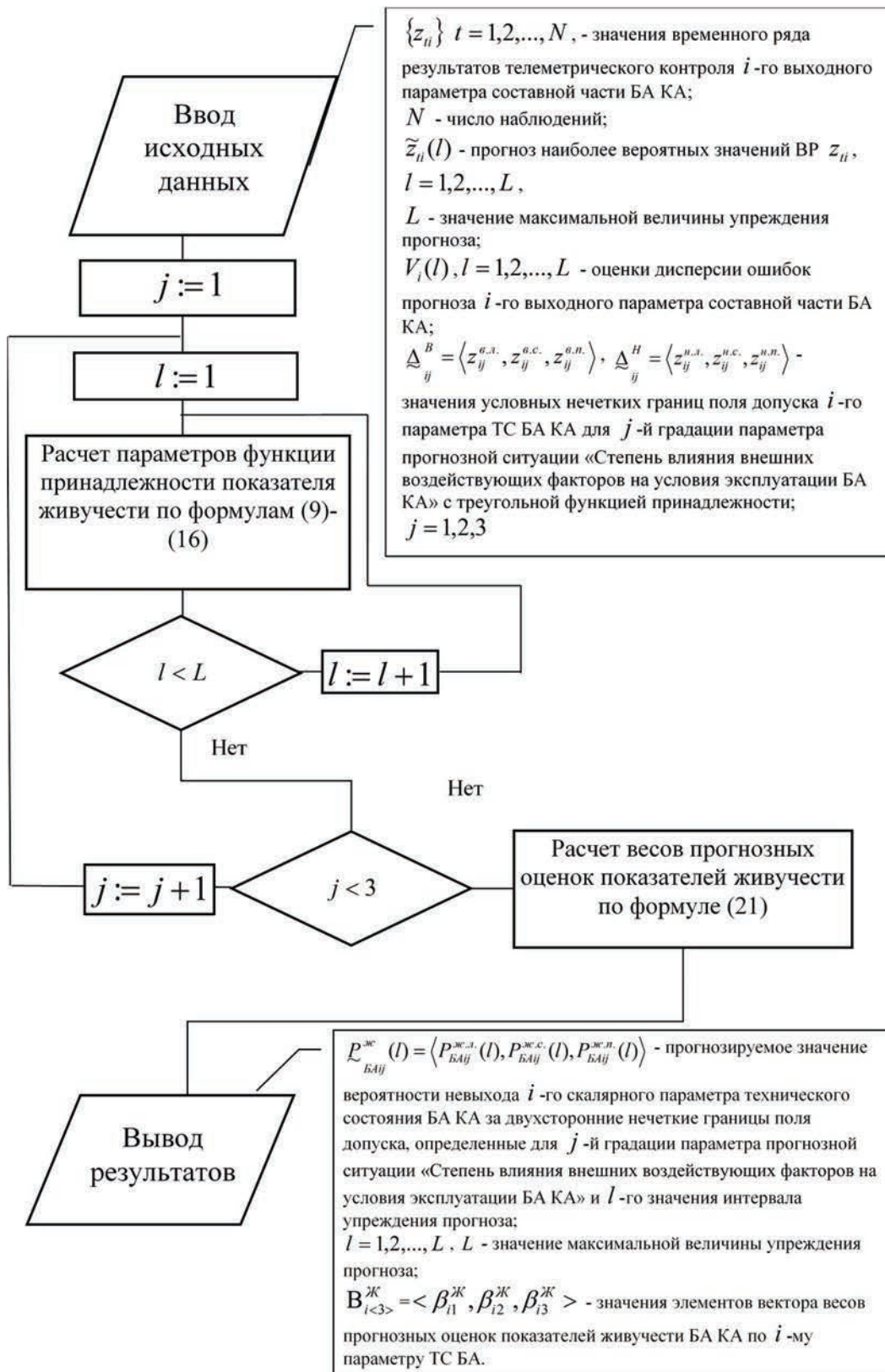


Рис. 7. Блок-схема алгоритма решения подзадачи «Прогнозирование при двухсторонней ГПД»



Рис. 8. Блок-схема алгоритма решения подзадачи «Прогнозирование при односторонней верхней ГПД»

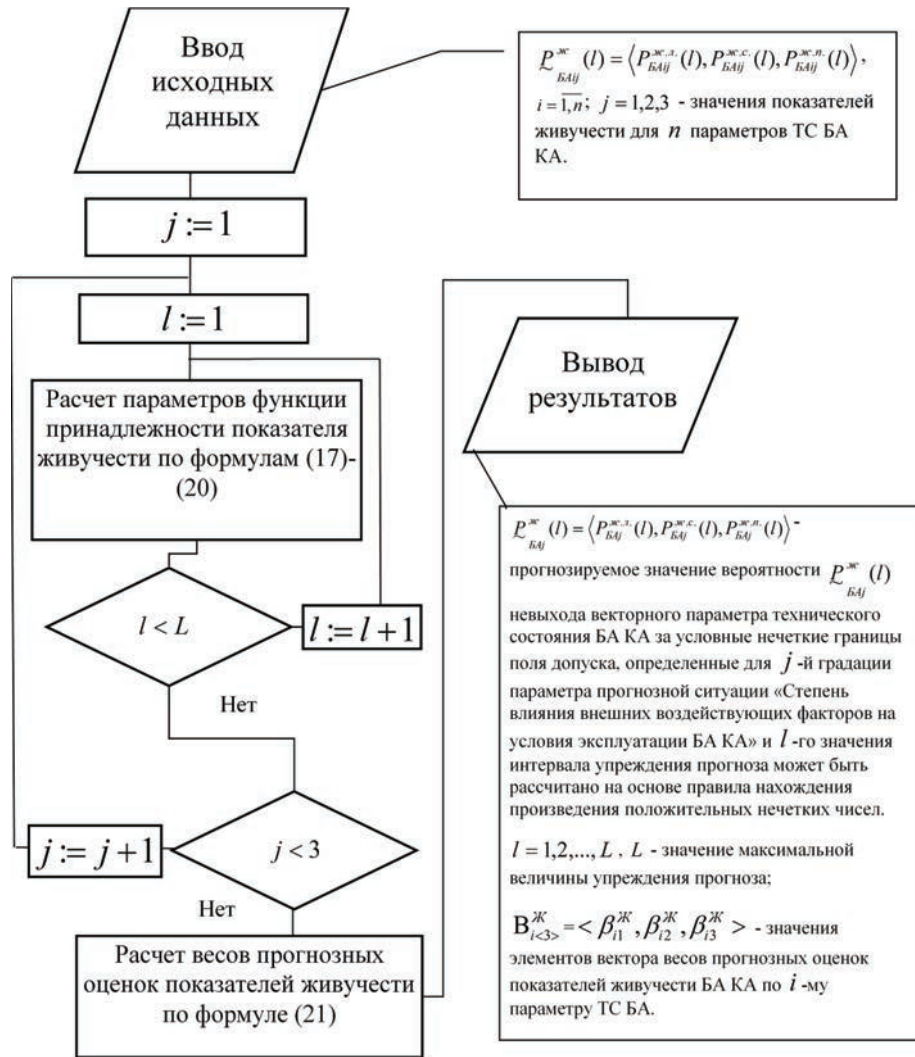


Рис. 9. Блок-схема алгоритма решения подзадачи «Прогнозирование при векторном параметре ТС»

**Пример расчета**

Состав исходных данных.

1.  $\{z_t\} t = 1, 2, \dots, 226$  — значения исследуемого ВР, представленные в таблице 1.

2.  $N = 226$  — число наблюдений;

$$3. \Delta_{i1}^B = \langle z_{i1}^{B,l}, z_{i1}^{B,c}, z_{i1}^{B,n} \rangle = \langle 31, 32, 33 \rangle,$$

$$\Delta_{i2}^B = \langle z_{i2}^{B,l}, z_{i2}^{B,c}, z_{i2}^{B,n} \rangle = \langle 30, 31, 32 \rangle,$$

$$\Delta_{i3}^B = \langle z_{i3}^{B,l}, z_{i3}^{B,c}, z_{i3}^{B,n} \rangle = \langle 29, 30, 31 \rangle$$

— значения верхней границы поля допуска параметра ТС БА КА;

$$4. \Delta_{i1}^H = \langle z_{i1}^{H,l}, z_{i1}^{H,c}, z_{i1}^{H,n} \rangle = \langle 16, 17, 18 \rangle,$$

$$\Delta_{i2}^H = \langle z_{i2}^{H,l}, z_{i2}^{H,c}, z_{i2}^{H,n} \rangle = \langle 17, 18, 19 \rangle,$$

$$\Delta_{i3}^B = \langle z_{i3}^{H,l}, z_{i3}^{H,c}, z_{i3}^{H,n} \rangle = \langle 18, 19, 20 \rangle$$

— значения нижней границы поля допуска параметра ТС БА КА.

$$5. V_{i<3>}^{ГПД} = \langle 0, 3; 0, 7; 0, 2 \rangle$$

— вектор весов прогнозных оценок значений условных нечетких границ поля допуска  $i$ -го параметра ТС БА КА.

Состав выходных данных (табл. 2).

$$V_{i<3>}^{\mathcal{K}} = \langle 0, 3; 0, 7; 0, 2 \rangle$$

— значения элементов вектора весов прогнозных оценок показателей живучести БА КА по  $i$ -му параметру ТС БА.

Таблица 1

Значения исследуемого временного ряда

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T <sup>0</sup>	26,6	27,0	27,1	27,1	27,1	27,1	26,9	26,8	26,7	26,4	26,0	25,8	25,6	25,2	25,0
№ п/п	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
T <sup>0</sup>	24,6	24,2	24,0	23,7	23,4	23,1	22,9	22,8	22,7	22,6	22,4	22,2	22,0	21,8	21,4
№ п/п	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
T <sup>0</sup>	20,9	20,3	19,7	19,4	19,3	19,2	19,1	19,0	18,9	18,9	19,2	19,3	19,3	19,4	19,5
№ п/п	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
T <sup>0</sup>	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,7	19,9	20,0	20,1	20,2	20,3	20,6	21,6	21,9	21,7
№ п/п	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
T <sup>0</sup>	21,3	21,2	21,4	21,7	22,2	23,0	23,8	24,6	25,1	25,6	25,8	26,1	26,3	26,3	26,2
№ п/п	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
T <sup>0</sup>	26,0	25,8	25,6	25,4	25,2	24,9	24,7	24,5	24,4	24,4	24,4	24,4	24,4	24,3	24,4
№ п/п	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
T <sup>0</sup>	24,4	24,4	24,4	24,4	24,5	24,5	24,4	24,3	24,2	24,2	24,0	23,9	23,7	23,6	23,5
№ п/п	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
T <sup>0</sup>	23,5	23,5	23,5	23,5	23,7	23,8	23,8	23,9	23,9	23,8	23,7	23,6	23,4	23,2	23,0
№ п/п	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
T <sup>0</sup>	22,8	22,6	22,4	22,0	21,6	21,3	21,2	21,2	21,1	21,0	20,9	21,0	21,0	21,1	21,2
№ п/п	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
T <sup>0</sup>	21,1	20,9	20,8	20,8	20,8	20,8	20,9	20,8	20,8	20,7	20,7	20,8	20,9	21,2	21,4
№ п/п	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
T <sup>0</sup>	21,7	21,8	21,9	22,2	22,5	22,8	23,1	23,4	23,8	24,1	24,6	24,9	24,9	25,1	25,0
№ п/п	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
T <sup>0</sup>	25,0	25,0	25,0	24,9	24,8	24,7	24,6	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,4
№ п/п	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195
T <sup>0</sup>	24,4	24,2	24,2	24,1	24,1	24,0	24,0	24,0	23,9	23,8	23,8	23,7	23,7	23,6	23,7
№ п/п	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
T <sup>0</sup>	23,6	23,6	23,6	23,5	23,5	23,4	23,3	23,3	23,3	23,4	23,4	23,3	23,2	23,3	23,3
№ п/п	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
T <sup>0</sup>	23,2	23,1	22,9	22,8	22,6	22,4	22,2	21,8	21,3	20,8	20,2	19,7	19,3	19,1	19,0
№ п/п	226														
T <sup>0</sup>	18,8														

Таблица 2

Значения прогнозов вероятности  $P_{\text{БАК}}^{\text{ж}}(l)$  невыхода скалярного параметра ТС БА КА за условные нечеткие границы поля допуска

Значения и вес градации параметра прогнозной ситуации «Степень влияния внешних воздействующих факторов на условия эксплуатации БА КА»	Значение шага упреждения прогноза $l$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$j = 1 ; 0,3$	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>
$j = 1 ; 0,7$	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>
$j = 1 ; 0,2$	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>	<a,b,c>

## Заключение

В статье приведен расчет значений показателей живучести БА КА, а именно — получение количественных оценок вероятностей невыхода параметров технического состояния БА КА за условные границы поля допуска параметров ТС БА КА с учетом интенсивности возможных неблагоприятных воздействий. Предложены аналитические выражения для описания нечетких границ поля допуска при односторонних и двухсторонних допусках и треугольной функции принадлежности при различных градациях степени воздействия внешних факторов. Приведены аналитические выражения и алгоритмы для оценивания параметров моделей и прогнозирования изменения параметров технического состояния БА КА в рамках классов моделей авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) и модифицированного метода максимального правдоподобия (ММП). Приведены результаты разработки математической модели прогнозирования остаточного срока службы БА КА при нечеткой информации о влиянии воздействующих факторов на условия эксплуатации. Описаны модельные соотношения для прогнозирования показателя живучести БА КА, в виде вероятности невыхода значений параметров БА КА за односторонние и двухсторонние допуски при треугольной функции принадлежности нечетких допусков, соответствующих различным градациям степени воздействия внешних факторов. Получены аналитические выражения для прогнозирования остаточного срока службы БА КА в условиях неопределенности информации о составе, интенсивности внешних воздействующих факторов и требованиях к гарантированному уровню живучести БА КА.

## Литература

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление: пер. с англ. / Под ред. В.Ф. Писаренко. М.: Мир, 1974. 406 с.
2. Гузенко В.Л., Миронов А.Н., Миронов Е.А., Шестопалова О.Л. Оценивание влияния точности определения значений границ контрольных допусков на качество функционирования оборудования непрерывного применения // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 5–2. С. 232–238.
3. Дорохов А.Н., Миронов Е.А., Платонов С.А. Полиномиальное прогнозирование надёжности бортовой аппаратуры космических аппаратов в условиях неопределенности информации о неблагоприятных воздействиях среды // Информация и космос. 2014. № 3. С. 70–76.
4. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений: пер.с англ. М.: Знание, 1974. С. 5–49.
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближённых решений: пер. с англ. М.: Мир, 1976. 166 с.
6. Козеев В.А. Прогнозирование состояния бортовых систем летательных аппаратов. МО СССР, 1981. 92 с.
7. Ломакин М.И., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л. Многомодельная обработка измерительной информации в интеллектуальных системах прогнозирования надёжности космических средств // Измерительная техника. 2014. № 1. С. 8–13.
8. Миронов А.Н. Многомодельное прогнозирование показателей долговечности технологического оборудования стартовых комплексов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2000. Т. 43. № 8. С. 39–48.
9. Миронов А.Н., Новиков А.Н., Шестопалова О.Л. Задание границ области работоспособности модернизируемого вооружения и военной техники с учетом неопределенности информации об условиях эксплуатации // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2011. № 631. С. 68–72.
10. Миронов А.Н., Пеньков М.М. Исследование влияния изменения границ полей допуска параметров элементов сложных технических систем на техническую готовность // Вестник молодых ученых. Серия «Технические науки». 2001. С. 68–73.
11. Миронов Е.А., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л., Платонов С.А. Оценивание значений границ поля допуска параметров бортовой аппаратуры космических аппаратов для стадии эксплуатации в условиях информационной неопределённости // Фундаментальные исследования. 2015. № 22 (часть 13). С. 2819–2823.
12. Айкожаев Н.М., Шестопалова О.Л. Оценка степени согласованности мнений экспертов // Сб. ст. по мат. LI междунар. студ. науч.-практ. конф. «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки» 2017. № 3(50). URL: [https://sibac.info/archive/technic/3\(50\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/3(50).pdf) (дата обращения 29.07.2018).
13. Силин В.Б., Заковряшин А.И. Автоматическое прогнозирование состояния аппаратуры управления и наблюдения. М.: Энергия, 1973. 336 с.
14. Fildes R., Lusk E.J. The choice of a forecasting model // Omega. 1984. Vol. 12. Issue 5. Pp. 427–435.
15. Makridakis S. A new approach to statistical forecasting. № 87 / 20. Fontainebleau: INSEADF, 1987. 48 p.
16. Дымов Д.В. Современное состояние и перспективы развития бортовых телеметрических систем для спутников связи ОАО «ИСС» // I-methods. 2014. Vol. 6. № 1. Pp. 5–9.



## FORECASTING THE SURVIVABILITY INDICATORS OF SPACECRAFTS BY THE RESULTS OF THE BOARD EQUIPMENT TELEMETRIC CONTROL USING FUZZY BORDERS OF FUNCTIONING AREA

### EVGENY A. MIRONOV

St-Peterburg, Russia, john682@mail.ru

### NIKOLAY P. SIZYAKOV

Moscow, Russia, nsizyakov@yandex.ru

### OLGA L. SHESTOPALOVA

Baikonur, Kazakhstan, neman2004@mail.ru

**KEYWORDS:** telemetry control; technical condition; on-board equipment of space vehicles; prediction of survivability indicators; fuzzy sets; tolerance boundary.

### ABSTRACT

This work describes the solution of the problem of calculating the values of the survivability indicators of the on-board apparatus of the spacecraft, which consists in obtaining quantitative estimates of the probabilities of non-passing parameters of the technical state of the on-board equipment of the spacecraft for the conditional boundaries of the tolerance field determined under the assumption of an impact on the airborne equipment of the spacecraft and the conditions for its operation influencing factors of a given intensity.

A distinctive feature of this work is a complex consideration of the influence of external factors on the airborne apparatus of the spacecraft, including the effect on both the onboard equipment itself and on the conditions of its operation. This makes it possible to use the results obtained to predict the residual service life of the on-board apparatus of the spacecraft taking into account possible adverse effects. The work shows that the effects of external natural and artificial factors due to the undefined nature of the composition, intensity and degree of manifestation of the influencing factors can be adequately taken into account when describing the limits of tolerance tolerance fields for the onboard equipment of spacecrafts by fuzzy sets whose membership functions are estimated on the basis of a formalized representation of experience experts with fuzzy linguistic scales and are presented in the form of fuzzy boundaries I admission.

A mathematical model is presented, the composition of the input and output data is described, algorithms for solving the problem of calculating the values of the survivability indices of the on-board ap-

paratus of a spacecraft, suitable for implementation on a PC are presented. An example is given of calculating the predicted values of the survivability indices of the on-board apparatus of the spacecraft based on the results of telemetric control of the temperature of the internal circuit of the spacecraft thermal control system.

### REFERENCES

1. Box G., Jenkins G. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day, 1970. 575 p.
2. Guzenko V.L., Mironov A.N., Mironov Ye.A., Shestopalova O.L. Evaluation of influence accuracy of border control values tolerance on the quality of functioning equipment for continuous use. *Modern high technologies*. 2016. No. 5-2. Pp. 232-238. (In Russian)
3. Dorokhov A.N., Mironov Ye.A., Platonov S.A. Polymodel reliability prediction for on-board equipment of spacecrafts vehicles under conditions of ambiguity of information concerning adverse environmental effects. *Information and Space*. 2014. No. 3. Pp. 88-94. (In Russian)
4. Zadeh L. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.* 1973. Vol. SMC-3. No. 1. Pp. 28-44.
5. Zadeh L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*. 1975. Vol. 8. Pp.199-249, 301-357; Vol. 9. Pp. 43-80.
6. Kozeyev V.A. *Prognozirovaniye sostoyaniya bortovykh sistem leta-*

*tel'nykh apparatov* [Forecasting of a condition of onboard systems of aircraft]. Ministry of Defense of the USSR, 1981. 92 p. (In Russian)

7. Lomakin M.I., Mironov A.N., Shestopalova O.L. Multimodel processing of measurement data in intelligent systems for predicting the reliability of spaceborne equipment. *Measurement techniques*. 2014. No. 1. Pp. 8-13. (In Russian)

8. Mironov A.N. Mnogomodel'noye prognozirovaniye pokazatelye dolgovechnosti tekhnologicheskogo oborudovaniya startovykh kompleksov [Multimodelling forecasting of indicators of durability of processing equipment of starting complexes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering]. 2000. Vol. 43. No. 8. Pp. 39-48. (In Russian)

9. Mironov A.N., Novikov A.N., Shestopalova O.L. Zadaniye granits oblasti rabotosposobnosti moderniziruyemogo vooruzheniya i voyennoy tekhniki s uchetom neopredelennosti informatsii ob usloviyakh ekspluatatsii [Task of borders of area of operability of modernized arms and military equipment taking into account uncertainty of information on service conditions]. *Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A. F. Mozhaiskogo*. 2011. No. 631. Pp. 68-72. (In Russian)

10. Mironov A.N., Pen'kov M.M. Issledovaniye vliyaniya izmeneniya granits poley dopuska parametrov elementov slozhnykh tekhnicheskikh sistem na tekhnicheskuyu gotovnost' [Research of influence of change of borders of tolerance zones of parameters of elements of difficult technical systems on technical readiness]. *Vestnik molodykh uchenykh. Seriya «Tekhnicheskkiye nauki»*. [Messenger of young scientists. Technical science series]. 2001. Pp. 68-73. (In Russian)

11. Mironov Ye.A., Mironov A.N., Shestopalova O.L., Platonov S.A. Evaluation values specification limits spacecraft onboard equipment

parameters on the operating stage with fuzzy information. *Fundamental research*. 2015. No. 2. Pp. 2819-2823. (In Russian)

12. Aykozhayev N.M., Shestopalova O.L. Otsenka stepeni soglasovannosti mneniy ekspertov [Assessment of degree of coherence of opinions of experts]. *Sbornik statey po materialam LI mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy rkonferentsii "Nauchnoye soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskkiye nauki"* [The collection of articles on materials LI of the international student's scientific and practical conference "Scientific community of students of the XXI century. Technical science"]. 2017. URL: [https://sibac.info/archive/technic/3\(50\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/3(50).pdf) (date of access 29.07.2018). (In Russian)

13. Silin V.B., Zakovryashin A.I. *Avtomaticheskoye prognozirovaniye sostoyaniya apparatury upravleniya i nablyudeniya* [Automatic forecasting of a condition of equipment of management and supervision]. Moscow: Energiya, 1973. 336 p. (In Russian)

14. Fildes R., Lusk E.J. The choice of a forecasting model. 1984. *Omega*. Vol. 12. Issue 5. Pp. 427-435.

15. Makridakis S. A new approach to statistical forecasting. № 87 / 20. Fontainebleau: INSEADF, 1987. 48 p.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Mironov E.A., PhD, docent, Associate Professor at the Department of Military Space Academy;

Sisyakov N.P., PhD, Deputy General Director of the JSC Central Research Radio Engineering Institute named after Academician A.I. Berg; Shestopalova O.L., PhD, docent, Dean of Aircraft Testing Faculty, A Branch «Vokhod» of the Moscow aviation institute (national research university) in Baikonur.

---

**For citation:** Mironov E.A., Sisyakov N.P., Shestopalova O.L. Forecasting the survivability indicators of spacecrafts by the results of the board equipment telemetric control using fuzzy borders of functioning area. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 4-18. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10092 (In Russian)

doi: 10.24411/2409-5419-2018-10093

# ОБ УПРАВЛЕНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫМ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИЛОВЫХ ГИРОСКОПОВ ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЪЕМОК

**ПЛАТОНОВ**

**Валерий Николаевич<sup>1</sup>**

**СУМАРОКОВ**

**Антон Владимирович<sup>2</sup>**

## АННОТАЦИЯ

В настоящее время Российская Федерация наращивает группировку космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. В рамках этих работ, а также работ по ряду зарубежных контрактов в России проводятся исследования в области создания современных автоматических систем дистанционного зондирования Земли. В результате этих исследований разрабатываются как спутники дистанционного зондирования Земли на новой технологической платформе, так и задействуются возможности российского сегмента Международной космической станции.

В работе рассмотрены режимы наблюдений перспективного космического аппарата дистанционного зондирования Земли при проведении различных видов съемок. Предполагается, что в качестве исполнительных органов используются двухступенные силовые гироскопы. Приводятся способы расширения измерительного диапазона датчика угловой скорости. В контуре управления ориентацией космического аппарата выбраны параметры управления, наблюдателя и фильтра упругих колебаний, обеспечивающие заданные технические характеристики. Приводятся результаты математического моделирования динамики контура управления ориентацией подтверждающие выполнение заданных точностных характеристик аппарата.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup>д.т.н., начальник отдела Ракетно-космической корпорации «Энергия» имени С.П.Королева, г. Королев, Россия, valery.platonov@rsce.ru

<sup>2</sup>к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Ракетно-космической корпорации «Энергия» имени С.П.Королева, г. Королев, Россия, anon.sumarokov@rsce.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гироскопы; силовые гироскопы; кинетический момент; стабилизация; угловая скорость; прецессия.

**Для цитирования:** Платонов В.Н., Сумароков А.В. Об управлении перспективным космическим аппаратом дистанционного зондирования Земли с использованием силовых гироскопов во время выполнения съемок // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 4. С. 19-28. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10093

В настоящее время Российская Федерация наращивает группировку космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. В рамках этих работ, а также работ по ряду зарубежных контрактов в России проводятся исследования в области создания современных автоматических систем дистанционного зондирования Земли. В результате этих исследований разрабатываются как спутники дистанционного зондирования Земли на новой технологической платформе [1–2], так и задействуются возможности российского сегмента Международной космической станции [3–5]. В данной работе рассматривается управление ориентацией перспективного космического аппарата (КА) с двухстепенными силовыми гироскопами в качестве основных исполнительных органов. Аппарат предназначен для съемки заданных районов земной поверхности с высоким пространственным разрешением (1,0 м при съемке в надир). Космический аппарат должен обеспечивать проведение следующих видов съемок: кадровая съемка, стереосъемка, площадная съемка, коридорная съемка, съемка полосы вдоль трассы полета. Предполагается, что КА будет функционировать на круговой солнечно-синхронной орбите с высотой 650 км и наклоном  $98^\circ$ , при этом съемки могут проводиться в диапазонах углов  $\pm 45^\circ$  по крену и  $\pm 30^\circ$  по тангажу. Для осуществления некоторых видов съемок спутником, функционирующем на орбите с указанными параметрами, требуется обеспечить возможность быстрых угловых маневров.

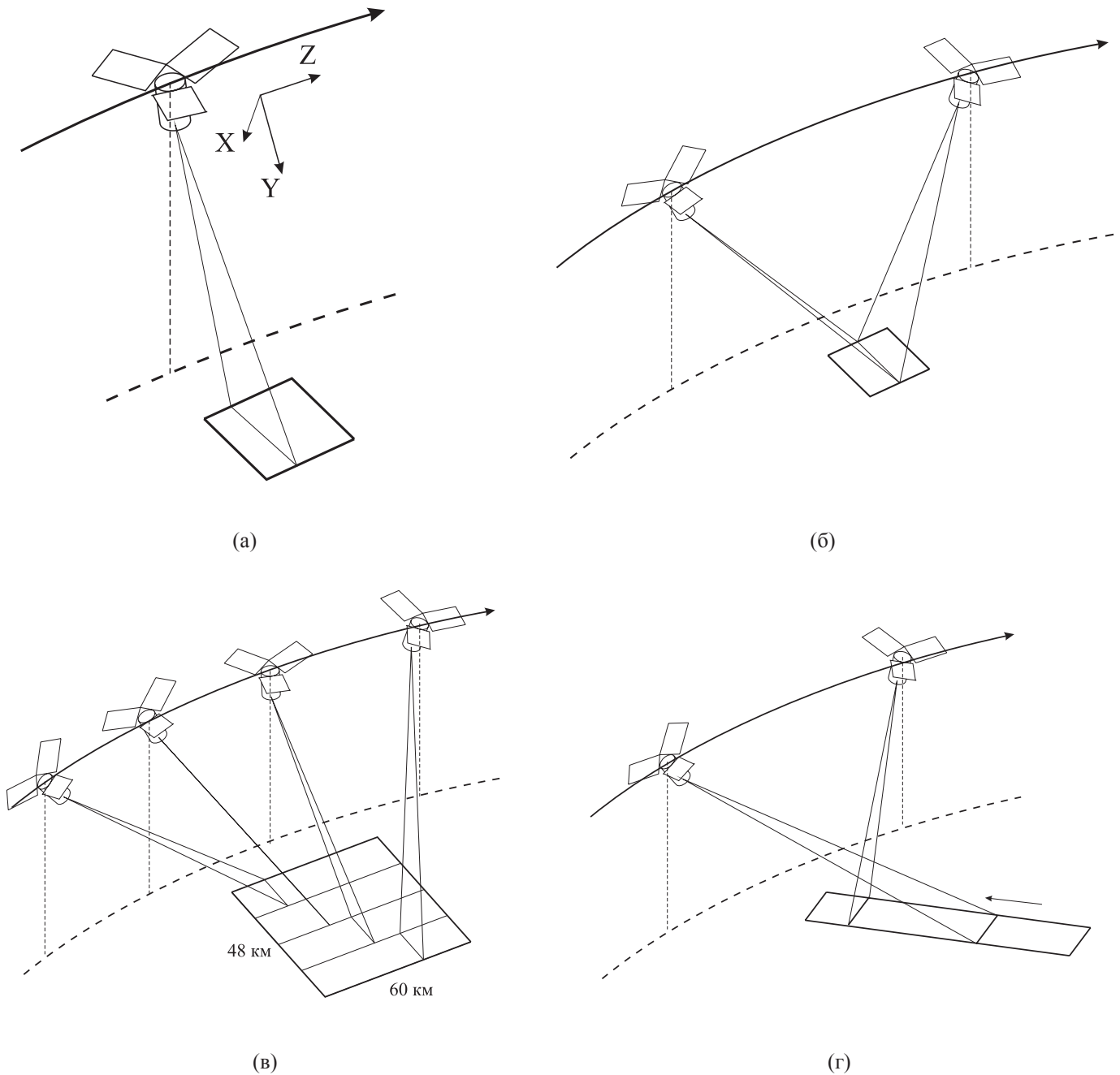
Система управления движением и навигации (СУДН) высокоманевренного КА (рис. 1) построена на основе бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) на основе датчика угловой скорости ГИВУС (имеющего четыре измерительных канала), для коррекции БИНС используются три звездных датчика ASTRO APS. Для определения положения аппарата в пространстве используется аппаратура спутниковой навигации АСН-Е. В качестве исполнительных органов на начальном этапе используются двигатели ориентации, а в условиях штатной эксплуатации двухстепенные силовые гироскопы (гиродины). Сброс накопленного кинетического момента силовых гироскопов осуществляется тремя электромагнитными электрореактивными двигателями. Предполагается, что при проведении съемок одновременно работают два звездных датчика.

Данный аппарат должен осуществлять следующие виды съемок (рис. 2): съемка полосы вдоль трассы полета (рис. 2а); стереосъемка (рис. 2б); площадная съемка (рис. 2в); коридорная съемка (рис. 2г), осуществляемая под углом к трассе полета.

Для обеспечения высокой маневренности КА в процессе проведения съемок в качестве исполнительных органов системы управления угловым движением были выбраны двухстепенные силовые гироскопы. Использование силовых гироскопов позволяет резко увеличить количество съемок в сеансах наблюдений, по сравнению с си-



Рис. 1. Приборный состав системы управления движением рассматриваемого космического аппарата



**Рис. 2.** Виды съемок, осуществляемые рассматриваемым космическим аппаратом

стемой управления движением использующей маховики, рассмотренной в работах [1–2]. За счет того, что управляющий момент, действующий на КА создается в основном путем поворота ротора гироскопа имеющего постоянную скорость вращения вокруг оси подвеса, управляющий момент системы силовых гироскопов на порядки превосходит управляющий момент маховиков. В этом случае набор и гашение угловой скорости во время проведения разворотов КА происходят практически мгновенно. В результате,

продолжительность программных разворотов значительно сокращается. Использование силовых гироскопов также позволяет осуществлять площадные съемки, проведение которых невозможно при использовании маховиков. Осложняющим обстоятельством является лишь то, что величина кинетического момента имеющихся в настоящее время в РФ двухстепенных силовых гироскопов, превосходит требуемую для рассматриваемого КА приблизительно в четыре раза. Следует также отметить, что минимальное

управляющее воздействие таких силовых гироскопов на порядок превышает минимальное управляющее воздействие маховиков. Это значительно затрудняет выполнение заданных точностных характеристик стабилизации КА при проведении съёмок. Другой проблемой для рассматриваемой системы управления КА является ограниченный диапазон измерительных каналов датчика угловой скорости ГИВУС: от минус 1.6°/с до +1.6°/с.

Предварительный анализ распределения масс проектируемого КА показал, что моменты инерции твердого тела вокруг осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  равны соответственно: 800 кгм<sup>2</sup>, 500 кгм<sup>2</sup>, 800 кгм<sup>2</sup>. Для достижения заданных параметров съемки поверхности Земли требуется при ее проведении обеспечивать точность поддержания угловой скорости вокруг осей, перпендикулярных оптической оси аппаратуры не более 0.001 °/с.

Так как наиболее динамичными режимами являются режимы площадной съемки и коридорной съемки, то в работе рассматривается возможность обеспечения точностных характеристик стабилизации именно для этих видов съемок. Размер участка площадной съемки составляет 48 км × 60 км. Данную съемку можно представить, как последовательность 4-х съемок полос 12×60 км<sup>2</sup> и трех разворотов в промежутках между съемками (рис. 2в). Длительность съёмки одной полосы составляет ~ 11 секунд. Величина угла разворота между съемками ~ 20°, при этом разворот проводится в основном по тангажу. Для обеспечения последовательной съемки 4 полос требуется время на проведение разворота составляет 20–22 с. Коридорные съемки проводятся под углами к траектории полета до ±90°. За один сеанс наблюдений продолжительностью порядка 20 минут проводится до 8 площадных или коридорных съемок.

### Оценивание точности стабилизации

В СУДН КА для управления ориентацией предполагается использовать четыре двухстепенных силовых гироскопа с кинетическим моментом  $h = 60$  Нмс каждый производства «Научно-исследовательского института командных приборов». Предполагается расположить силовые гироскопы следующим образом: оси прецессии двух из них (G1 и G2 на рис. 3) параллельны оси OX КА, а двух других (G3 и G4 на рис. 2) параллельны оси OY КА (рис. 3).

Алгоритмы управления системой, включающей четыре силовых гироскопа с попарно параллельными осями прецессии, приведены в работах [6–9]. Область вариации кинетического момента данной схемы имеет отчетливо выраженную вытянутую форму. Размеры области вариации по осям связанной системы координат OX, OY, OZ составляют ±120 Нмс, ±120 Нмс, ±240 Нмс соответственно. Для управления ориентацией данного КА будет использо-

ваться только часть области вариации кинетического момента, не превышающая сферы с радиусом 60 Нмс и центром в начале области вариации кинетического момента, так как для приборов, входящих в контур управления ориентацией, максимальная допустимая угловая скорость составляет не более 3.5°/с. Данное обстоятельство позволяет при штатном варианте управления с использованием всех 4 силовых гироскопов избежать попадания гиросистемы в особые точки [10].

Для управления системой двухстепенных силовых гироскопов используется закон управления скоростями прецессии системы, включающей  $n$  силовых гироскопов, используемый ранее в контуре управления станции «Мир» [6]–[7] и [11]. Расчет требуемого управляющего момента силовых гироскопов также осуществляется по алгоритмам, подобным, использовавшимся для орбитальной станции «Мир» [6], [11].

В процессе управления осуществляется максимизация управляющего момента, развиваемого системой силовых гироскопов. Для рассматриваемого аппарата можно полагать, что во всей используемой для управления сфере, управляющий момент составляет не менее 30 Нм в произвольном направлении.

Как было указано ранее для измерений угловой скорости используется датчик ГИВУС, имеющий четыре измерительных канала (ИК), оси которых параллельны биссектрисам разных трехгранных углов связанной системы координат OXYZ КА. При расчетах угловой скорости будем исходить из следующего положения: для расчета угловой скорости КА требуется, чтобы хотя бы три ИК были в допустимом диапазоне измерений. В этом случае максимальная величина измеряемой угловой скорости будет зависеть от направления вектора абсолютной угловой скорости в осях связанной системы координат. Таким образом, максимальная величина измеряемой угловой скорости будет лежать в диапазоне от 1.96 °/с до 4.8 °/с.

Расчет максимальной допустимой угловой скорости разворотов проводится с учетом текущего направления оси вращения КА. Это делается с целью полного использования возможностей прибора. Ввиду того, что ИК ГИВУС имеют значительную шумовую составляющую равную 0.45" (3σ), в блоке оценки угловой скорости (наблюдателе) используется алгоритм динамической фильтрации [12–14].

На стадии разработки СУДН перспективного КА были проведены расчеты частот и форм упругих колебаний конструкции КА. Наибольшее влияние на динамику КА по осям X и Z оказывают частоты колебаний солнечных батарей ~ 2 Гц. Поэтому для нивелирования влияния упругих колебаний конструкции на динамику объекта управления в контур управления был введен фильтр нижних частот на основе фильтра Баттерворта 2-го порядка.

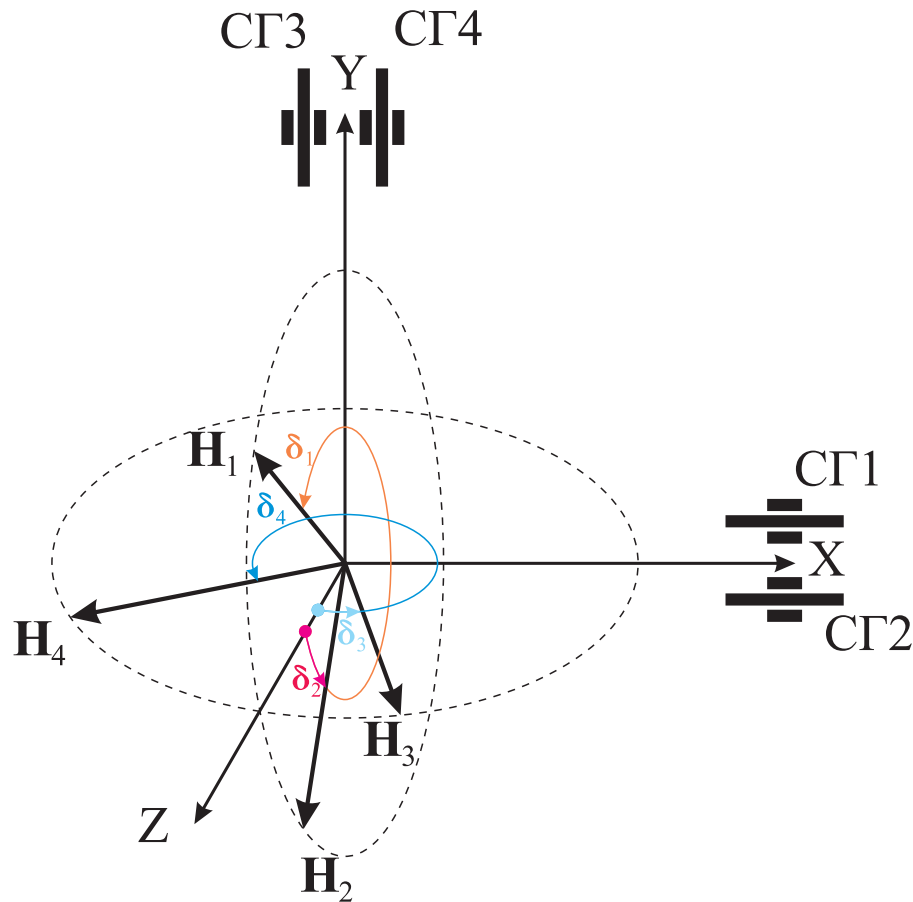


Рис. 3. Схема расположения силовых гироскопов

С использованием теории оптимального управления [12, 14] были выбраны параметры управления, наблюдателя и фильтра упругих колебаний обеспечивающие заданные технические характеристики. В результате полоса пропускания регулятора составляет 1.2 рад/с. Полоса пропускания наблюдателя была выбрана равной 6 рад/с. Частота среза фильтра упругих колебаний составляет 6 рад/с.

Выбранные параметры обеспечивают заданные технические характеристики ориентации КА и стабилизацию упругих колебаний с учетом разбросов динамических характеристик.

#### Результаты математического моделирования

Для оценки точности стабилизации КА во время проведения площадных съемок и коридорных съемок, было проведено математическое моделирование. При моделировании использовались бортовые программы контура управления ориентацией. Шаг расчетов бортовой ЦВМ предполагался равным 0.2 с. Применялись штатные циклограммы обмена бортового компьютера с моделью прибора ГИВУС с учетом возникающих задержек передачи

данных и моделью силовых гироскопов соответствующие протоколам обмена между реальной аппаратурой.

При проведении моделирования в динамической модели КА учитывались упругие тоны колебаний конструкции КА до 10 Гц с максимальными разбросами динамических параметров.

Для выбранных силовых гироскопов максимальная задаваемая угловая скорость прецессии подвеса составляет 57.3 °/с, минимальная составляет 0.0069°/с. При моделировании считалось, что возможно задание любой скорости в диапазоне от минимальной до максимальной с шагом, равным минимальной скорости. Дополнительная, к динамике описываемой, ошибка отработки предполагалась равной  $\pm(1\%+0,0069^\circ/\text{с})$  от заданной скорости. Учитывались возмущающие моменты, создаваемые приводами главной оси силовых гироскопов в процессе поддержания скоростей вращения роторов.

На рис. 4 приведены графики изменений компонент угловой скорости КА относительно требуемой угловой скорости при проведении площадной съемки в осях связанной системы координат. На интервале времени от 200

до 400 секунд совершаются четыре разворота. В начале данного интервала КА ориентируется в дежурной инерциальной солнечной ориентации. На 220 секунде задается разворот в ориентацию для съемки первой полосы участка наблюдений. Разворот для перехода на вторую полосу задается на 282 секунде, разворот на третью полосу на 316 секунде и разворот на четвертую полосу на 350 секунде. На рис. 5 приведено окончание четвертого разворота и переходный процесс перед съемкой. Разворот и переходный процесс завершаются через 15 секунд после начала разворота, примерно за 6–7 секунд до начала съемки. Из рисунков видно, что при проведении съемок по всем осям КА обеспечиваются угловые скорости стабилизации менее 0.001 %/с.

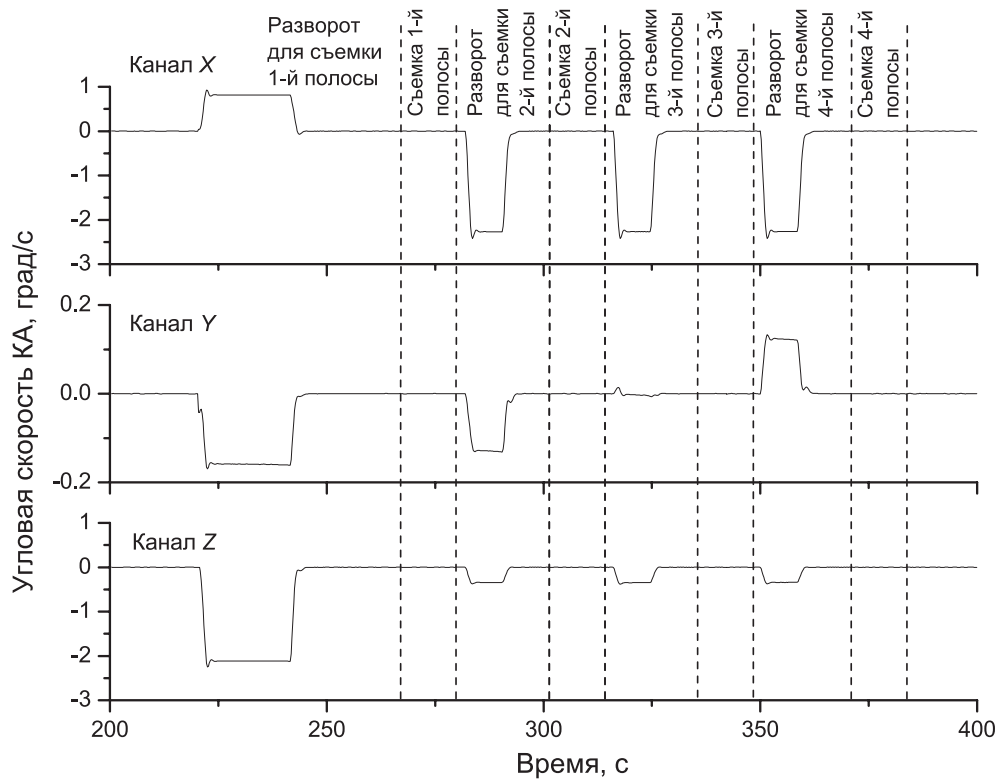
На рис. 6 приведены графики изменений компонент угловой скорости аппарата относительно требуемой угловой скорости при проведении коридорной съемки в направлении перпендикулярном трассе полета в осях связанной системы координат. В момент времени 960 секунд задается разворот для перехода из орбитальной ориентации [15–16] в ориентацию для начала коридорной съемки. Съемка осуществляется в интервале от 985 до 1040 секунд. По окончании съемки задается разворот обратно в орбитальную ориентацию.

На рис. 7 приведено окончание разворота и переходный процесс перед съемкой. Разворот и переходный процесс завершаются через 25 секунд после начала разворота, примерно за 4–5 секунд до начала съемки. Из рисунков видно, что при проведении съемок по всем осям КА обеспечиваются угловые скорости стабилизации менее 0.001 %/с.

**Заключение**

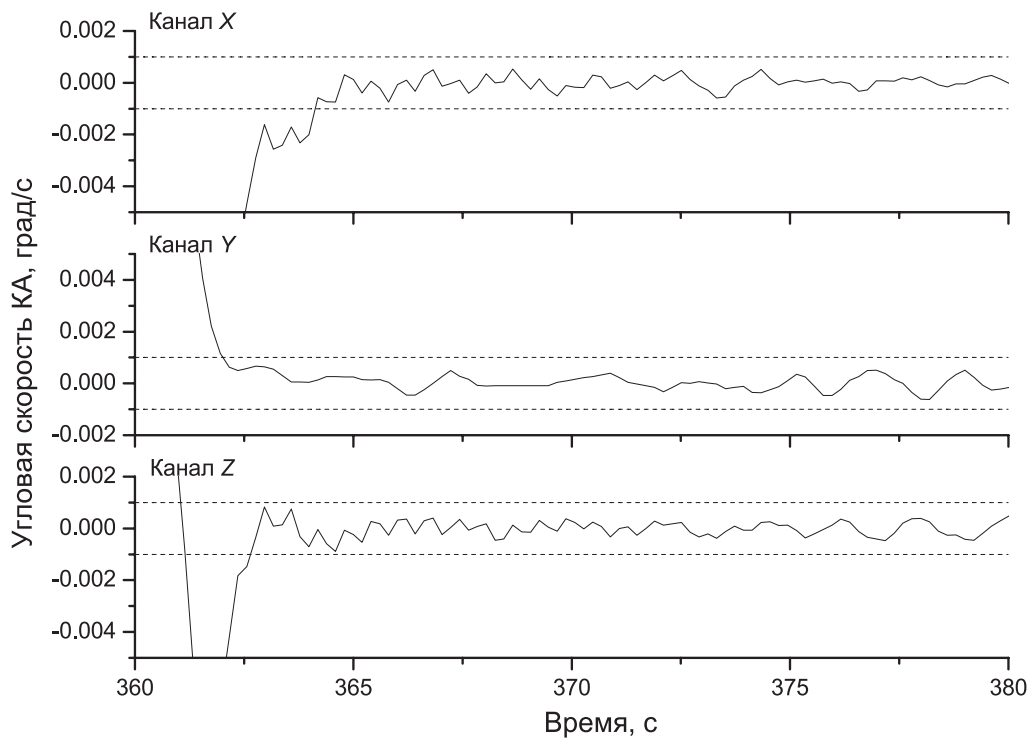
В докладе рассмотрен режим наблюдений перспективного КА при проведении площадных и коридорных съемок. В системе управления движением и навигации в качестве исполнительных органов используются двухстепенные силовые гироскопы, величина кинетического момента которых превышает требуемую для данного КА приблизительно в четыре раза. Измерительные каналы датчика угловой скорости имеют недостаточный для КА дистанционного зондирования Земли диапазон измерений.

В контуре управления ориентацией КА выбраны параметры управления, наблюдателя и фильтра упругих колебаний, обеспечивающие заданные технические характеристики. Приведенные результаты математического моделирования подтверждают возможность выполнения режима площадной съемки и требуемые точности стабилизации.

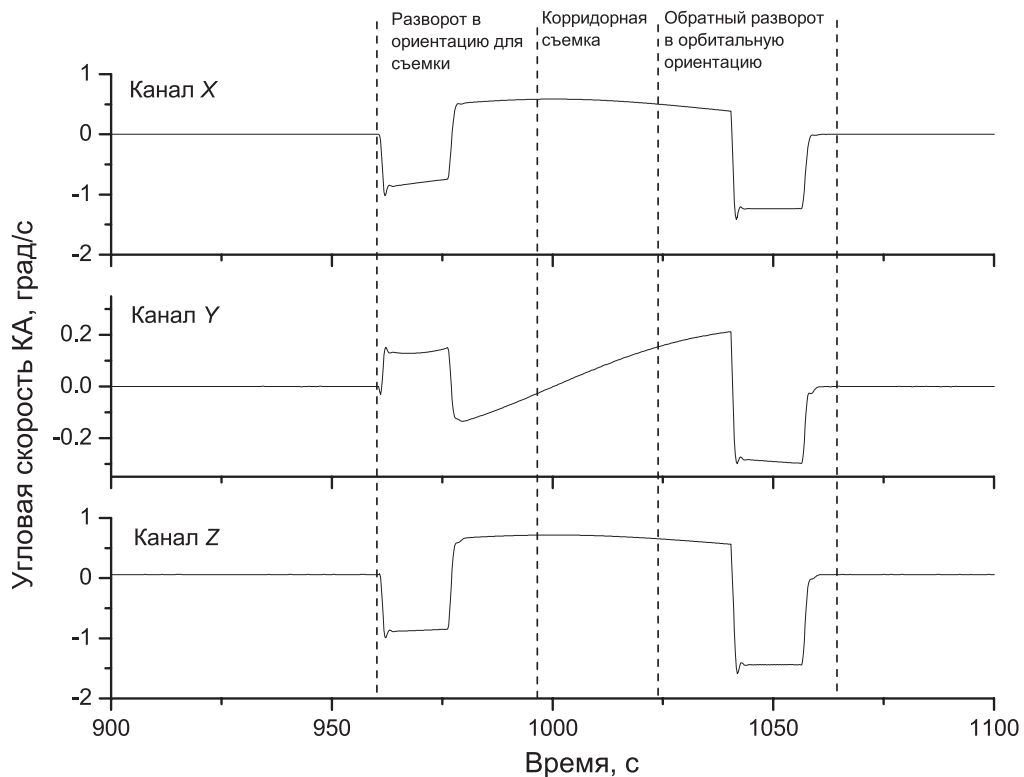


**Рис. 4.** Поведение углов ориентации относительно требуемых значений в процессе проведения площадной съемки

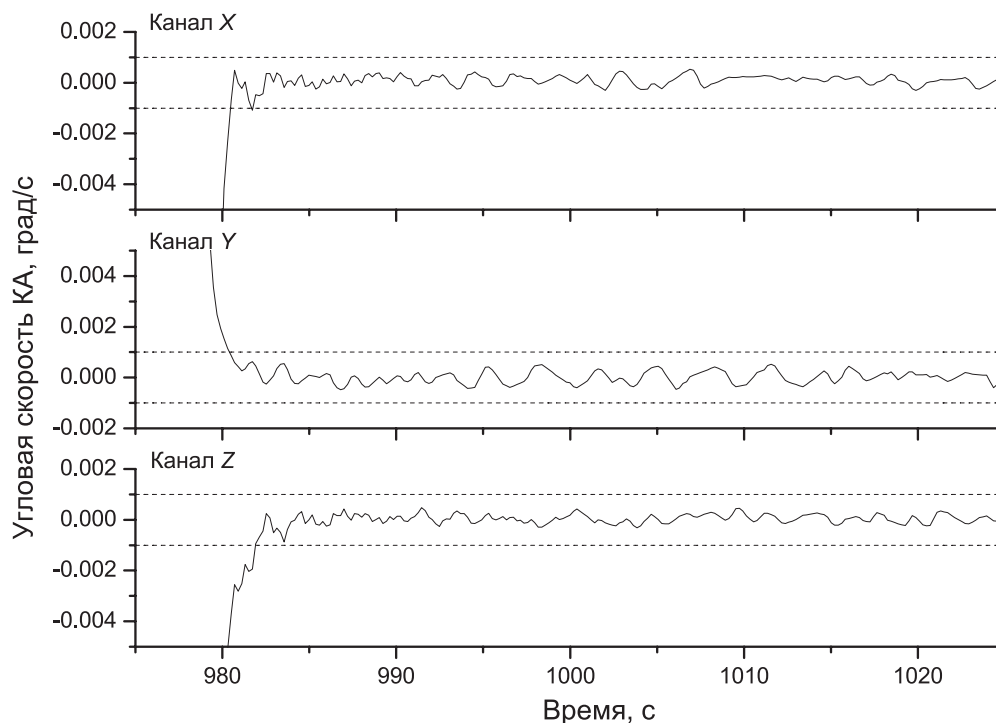




**Рис. 5.** Поведение угловых скоростей относительно требуемых значений в процессе проведения площадной съемки



**Рис. 6.** Поведение углов ориентации относительно требуемых значений в процессе проведения корридорной съемки



**Рис. 7.** Поведение угловых скоростей относительно требуемых значений в процессе проведения коридорной съемки

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-08-01635.

### Литература

1. Богачев А. В., Платонов В. Н., Тимаков С. Н. Анализ возможности обеспечения точностных характеристик стабилизации перспективного космического аппарата, предназначенного для дистанционного зондирования Земли // Космонавтика и ракетостроение. 2013. № 2. С. 83–89.
2. Платонов В. Н. О точности стабилизации космического аппарата дистанционного зондирования земли без использования информации инерциальных датчиков // Космическая техника и технологии. 2014. № 3. С. 33–38.
3. Сумароков А. В. Наведение камеры высокого разрешения при видеосъемке поверхности земли с МКС // Материалы XVII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» / Под. общ. ред. Академика РАН В. Г. Пешехонова. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», 2015. С. 561–568.
4. Сумароков А. В. О наведении камеры высокого разрешения, установленной на борту МКС, посредством двухосной поворотной платформы // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2016. № 4. С. 85–97. DOI: 10.18698/0236-3933-2016-4-85-97
5. Воронин Ф. А., Пахмутов П. А., Сумароков А. В. О модернизации информационно-управляющей системы российского сегмента Международной космической станции // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 1. С. 109–122. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-1-109-122
6. Платонов В. Н., Сумароков А. В. Обеспечение точностных характеристик стабилизации перспективного космического аппарата при проведении площадных съёмки поверхности Земли // Космонавтика и ракетостроение. 2017. № 3. С. 125–132.
7. Платонов В. Н. Закон управления системой гиростабилизаторов // Труды V научно-технической конференции молодых специалистов предприятия. Калининград МО: НПО «Энергия», 1977. С. 57–69.
8. Crenshaw J. W. 2-Speed, a single gimbal control moment gyro attitude control system // AIAA Paper. 1973. No. 73-895. Pp.1–10.
9. Branets V. N., Weinberg D. M., Werestchagin V. P., Danilov-Nitusov N. N., Legostaev V. P., Platonov V. N., Semenov U. P.,

*Semjchkin V.S., Chertok B.E., Sheremetyevsky N.N.* Development Experience of the Attitude Control System Using Single-Axis Control Moment Gyros for Long-Term Orbiting Space Stations // *Acta Astronautica*. 1988. Vol. 18. Pp. 91.

10. *Токарь Е. Н., Платонов В. Н.* Исследование особых поверхностей систем безупорных гироскопов // *Космические исследования*. 1978. Т. 16. Вып. 5. С. 675–685.

11. *Кульба В. В., Микрин Е. А., Павлов Б. В., Платонов В. Н.* Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов. М.: Наука, 2006. 579 с.

12. *Брайсон А., Хо Ю.* Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972. 544 с.

13. *Бранец В. Н., Платонов В. Н., Сумароков А. В., Тимаков С. Н.* О стабилизации спутника связи, несущего

маховики, без использования датчиков углов и угловых скоростей // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2008. № 1. С. 127–137.

14. *Александров В. В., Болтянский В. Г., Лемак С. С., Парусников Н. А., Тихомиров В. М.* Оптимальное управление движением. М.: Физматлит, 2005. 376 с.

15. *Борисенко Н. Ю., Сумароков А. В.* Об ускоренном построении орбитальной ориентации грузовых и транспортных кораблей серий «Союз МС» и «Прогресс МС» // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2017. № 5. С. 131–141. DOI: 10.7868/S0002338817050110

16. *Сумароков А. В., Тимаков С. Н.* Об одной адаптивной системе управления угловым движением спутника связи // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2008. № 5. С. 131–141.

---

## ON THE ATTITUDE CONTROL FOR NEXT-GENERATION EARTH SURFACE SENSING SPACECRAFT USING ABOUT CONTROLLING THE POWER GYROS WHEN PERFORMING OBSERVATION

**VALERY N. PLATONOV,**

Korolev, Russia, valery.platonov@rsce.ru

**ANTON V. SUMAROKOV,**

Korolev, Russia, anton.sumarokov@rsce.ru

### ABSTRACT

Now the Russian Federation increases group of spacecrafts of remote sensing of Earth. Within these works, and also works on a number of foreign contracts in Russia researches in the field of creation of modern automatic systems of remote sensing of Earth are carried out. As a result of these researches are developed as satellites of remote sensing of Earth on a new technological platform, and possibilities of the Russian segment of the International space station will be involved. In work modes of supervision of the perspective spacecraft of remote sensing of Earth are considered at carrying out different types of shootings. It is supposed that as executive bodies two-sedate power gyroscopes are used. Ways of expansion of a measuring range of the sensor of angular speed are given. In a contour of management parameters of management, the observer and the filter of the elastic fluctuations, the providing set technical characteristics are chosen as orientation of the spacecraft. Results of mathematical modeling of

**KEYWORDS:** single-gimbal control moment gyros; kinetic momentum; stabilization; angular rate; precession.

dynamics of a contour of management by orientation confirming implementation of the set tochnostny characteristics of the device are given.

### REFERENCES

1. Bogachev A.V., Platonov V.N., Timakov S.N. Capabilities Analysis to Ensure the Accuracy Characteristics of the Prospective Spacecraft Stabilization, Designed for the Remote Sensing of the Earth. *Cosmonautics and rocket engineering*. 2013. No. 2. Pp. 83–89. (In Russian)
2. Platonov V.N. About accuracy of an earth remote sensing spacecraft attitude-keeping without using data from inertial sensors. *Space technique and technologies*. 2014. No. 3. Pp. 33–38. (In Russian)
3. Sumarokov A.V. Navedenie kamery vysokogo razresheniya pri videos'emke poverhnosti zemli s MKS [Setting high definition camera when video filming the Earth's surface from the ISS]. *Materials XVII*

- of conference of young scientists «Navigation and traffic control». Ed. V.G. Peshekhonova. [Proceedings of the Conference of Young Scientists on Navigation and Motion Control, Ed. By V.G. Peshekhonov]. St. Petersburg: Elektropribor, 2012. Pp. 561-568. (In Russian)
4. Sumarokov A.V. On pointing of high resolution camera mounted on the international space station using biaxial rotating platform. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 2016. No. 5. Pp. 85-97. DOI: 10.18698/0236-3933-2016-4-85-97 (In Russian)
  5. Voronin F.A., Pakhmutoy P.A., Sumarokov A.V. On information-control system modernization introduced in the Russian segment of international space station. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 2017. No. 1. Pp. 109-122. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-1-109-122. (In Russian)
  6. Platonov V.N., Sumarokov A.V. Supplying for Stabilization Accuracy of Next-Generation Spacecraft when Conducting Earth Surface Area Mapping. *Cosmonautics and rocket engineering*. 2017. No. 3. Pp. 125-132. (In Russian)
  7. Platonov V.N. Zakon upravleniya sistemoy girostabilizatorov [Control law for the system of gyrostabilisers]. *Trudy V nauchno-tehnicheskoi konferentsii molodyh spetsialistov predpriyatiya* [Proceedings of the V of scientific and technical conference of young specialists of the enterprise]. Kaliningrad MO: NPO "Energiya". 1977. Pp. 57-69. (In Russian)
  8. Crenshaw J.W. 2-Speed, a single gimbal control moment gyro attitude control system. *AIAA Paper*. 1973. No. 73-895. Pp. 1-10.
  9. Branets V.N., Weinberg D.M., Werestchagin V.P., Danilov-Nitusov N.N., Legostaev V.P., Platonov V.N., Semenov U.P., Semjchkin V.S., Chertok B.E., Sheremetyevsky N.N. Development Experience of the Attitude Control System Using Single-Axis Control Moment Gyros for Long-Term Orbiting Space Stations. *Acta Astronautica*. 1988. Vol. 18. 91 p.
  10. Tokar' E.N., Platonov V.N. Issledovanie osobyh poverhnostei sistem bezupornyyh girodinov [Research of the Singular Surfaces for the Systems of Unsupported Gyros]. *Kosmicheskie issledovaniya* [Cosmic Research]. 1978. Vol. 16. No. 5. Pp. 675-685. (In Russian)
  11. Kul'ba V.V., Mikrin E.A., Pavlov B.V., Platonov V.N. *Teoreticheskie osnovy proektirovaniya informatsionno-upravlyayuschih sistem kosmicheskikh apparatov* [Theoretical Basis of Designing Spacecrafts Information and Control Systems]. Moscow: Nauka, 2006. (In Russian)
  12. Bryson A.E., Ho Yu. *Applied optimal control: optimization, estimation, and control*. Waltham, Mass.: Blaisdell Pub. Co., 1969. 481 p.
  13. Branets V.N., Platonov V.N., Sumarokov A.V., Timakov S.N. Stabilization of a wheels carrying communication satellite without angle and angular velocity sensors. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2008. Vol. 47. No. 1. Pp. 118-128.
  14. Aleksandrov V.V., Boltyanskii V.G., Lemak S.S., Parusnikov N.A., Tihomirov V.M. *Optimal'noe upravlenie dvizheniem* [Optimal motion control]. Moscow: Fizmatlit, 2005. 376 p. (In Russian)
  15. Borisenko N. Yu., Sumarokov A.V. On the rapid orbital attitude control of manned and cargo spacecraft Soyuz MS and Progress MS. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2017. Vol. 56. No. 5. Pp. 886-895.
  16. Sumarokov A.V., Timakov S.N. On an adaptive control system for angular motion of a communication satellite. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2008. Vol. 47. No. 5. Pp. 795-805.

**INFORMATION ABOUT AUTHORS:**

Platonov V.N., PhD, Head of department Research and Development center of S.P. Korolyev Rocket and Space Public Corp. Energia; Suamrokov A.V., PhD, Senior scientist of Research and Development center of S.P. Korolyev Rocket and Space Public Corp. Energia.

---

**For citation:** Platonov V.N., Sumarokov A.V. On the attitude control for next-generation Earth surface sensing spacecraft using about controlling the power gyros when performing observation. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 19-28. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10093 (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)

doi: 10.24411/2409-5419-2018-10094

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭКСТРАПОЛЯЦИИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

**РАЗУМОВ**

**Анатолий Алексеевич**

## АННОТАЦИЯ

В работе проанализировано и описано возможное применение искусственных нейронных сетей в вопросах технического прогнозирования. Радиотехнические науки с достаточной точностью могут определить вероятностное развитие сигнала, используя понятия экстраполяции. Доказательным и оптимальным является применение нейронных сетей в экстраполяции радиотехнических сигналов. Процесс модернизации и прогресс в науке провоцирует человека попытаться предсказать вероятностное развитие будущего. Целью настоящей работы является необходимость разобраться в аспектах нейронных сетей для определения успеха функционирования экстраполяции недетерминированных широкополосных радиотехнических сигналов на нейронных сетях. Проведено множество исследований в данных областях, которые свидетельствуют, что, в целом, искусственные нейронные сети хорошо справляются со сложной экстраполяцией, составляют высокую конкуренцию статистической обработке на основе теории вероятности.

Внедрение искусственных нейронных сетей на сегодняшний день имеет интенсивный характер развития. С каждым годом это направление становится актуальнее, необходимость использовать искусственный интеллект возрастает, этого требует глобальная автоматизация процессов, используемых в обществе.

В настоящее время существует множество методов прогнозирования. Некоторые из проанализированы и сравнены с искусственными нейронными сетями в настоящей работе. Так, например, показано, что прогнозирование с использованием метода статистической обработки, требует большой затраты сил, времени и денег. В отличие от нейронных сетей, которые исключают недостатки статистического метода и могут быть автоматизированы и интегрированы в любые системы обработки сигналов и эмпирических зависимостей.

Искусственные нейронные сети широко используются в экстраполяции радиотехнических сигналов. В данной работе рассмотрены применяемые программные средства, алгоритмы и методы искусственных нейронных сетей.

## Сведения об авторе:

студент Южно-Уральского  
государственного университета,  
г. Челябинск, Россия, anatolii1496@mail.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экстраполяция; искусственные нейронные сети; сигнал; метод; алгоритм.

**Для цитирования:** Разумов А. А. Использование искусственных нейронных сетей в экстраполяции недетерминированных широкополосных радиотехнических сигналов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 4. С. 30–36. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10094

Каждый из нас хоть раз задумывался о будущем, начиная с предположения о том, какая погода будет следующим днем и заканчивая динамикой поведения сложных зависимостей на месяцы вперед, не говоря уже о возможных прогнозах модернизации технологий, заглядывая далеко в будущее. Предсказанием занимались испокон веков. Многие люди хотели узнать, что с ними произойдет, какие события их ожидают. Такое желание подталкивает людей анализировать происходящее и предвидеть грядущие явления. Тяготение человека к новому лежит в основании движущей силы процесса модернизации и прогресса, а конкуренция между друг другом выдвигает самый лучший вариант с высоким качеством использования. Таким образом, сам человек оказывается фундаментальным двигателем научно-технического прогресса.

Понимание предсказаний ограничивается разумными рамками, в которых есть место для собственного вложения и инноваций. На основании предшествующего поведения зависимостей выстраивается наиболее оптимальное и вероятностное изменение наблюдаемой величины, это и есть экстраполяция. Экстраполяция проводится на искусственных нейронных сетях (ИНС). На сегодняшний день направление «машинное обучение», в которое входят ИНС, имеет интенсивный характер развития. С каждым годом это направление становится актуальнее, необходимость использовать искусственный интеллект возрастает, т.к. происходит глобальная автоматизация процессов, где в наблюдении и контроле человеком ситуации нет необходимости.

В настоящее время существует множество методов прогнозирования. Некоторые наиболее распространённые способы далее будут рассмотрены, проанализированы и сравнены с ИНС. Если рассматривать прогнозирование с помощью статистической обработки, то затраты сил, времени, денег уходит намного больше, при этом необходимо иметь специалиста, разбирающегося в этом. С точки зрения корреляционной составляющей, рассматривать влияние каждой временной точки на другие и их дальнейших комбинаций нецелесообразно. Нейронные сети исключают недостатки статистического метода и могут быть автоматизированы и интегрированы в любые системы обработки сигналов и эмпирических зависимостей. Из этого можно сделать вывод, что под влиянием всех минусов, статистика уступает нейронным сетям.

Также используют прогнозирование на основе Фурье-преобразования, основываясь на спектральных характеристиках, которые могут в достаточной мере описывать предысторию сигнала. «Состав» и принцип работы искусственных нейронных сетей также будет описан в этой статье. Для реализаций нейро-сетевых вычислений существует множество специализированных программных средств. Все вычисления удобно производить в пакете прикладных

программ Matlab, либо в бесплатном программном обеспечении Python, предварительно загрузив все необходимые библиотеки. Кроме того, используют и другие программные обеспечения, однако всё упирается в наличие готовых библиотек с уже реализованными функциями.

Актуальность темы исследования несомненна, т.к. в настоящее время используется в разных областях. Применяется в предсказаниях погоды, в бизнесе, особенно распространено в финансовых сферах, в радиолокационных системах для сопровождения маневрирующих целей, в электронике для нелинейного моделирования и анализа отказа микросхем, автоматических управлениях летательных объектов, и т.д.

Современные исследования показывают, что анализировать случайный сигнал или некую зависимость предпочтительно спектральным методом. Некоторые исследователи делают упор на узкую полосу низкой частоты сигнала. Они считают, что глобальные перегибы сигнала важнее высокочастотных флуктуаций. Действительно, по наблюдаемому набору низкочастотных гармонических составляющих можно отследить динамику изменения сигнала, но не для каждой задачи данный метод является правильным решением, т.к. может быть необходимость наблюдать малейшие изменения, которые могут в себе нести косвенные воздействия внешних или каких-либо других факторов. Раскладывать изначальный сигнал на гармоники можно через фильтр низких частот. Разложив имеющуюся зависимость в спектр, набор более простых функций, их необходимо скомбинировать и разделить весь спектр на несколько частей от 3 до 5. Количество частей зависит от ширины спектра сигнала, если сигнал является широкополосным, то для точности весь спектр разбивается на большее число частей. Эти части подразделяются на низкочастотные, средней частоты, высокочастотные. В каждой из частей имеется набор функций, которые необходимо усреднить, т.е. посчитать математическое ожидание для каждой временной точки. Далее все расчеты проводятся с несколькими функциями, в зависимости от того, на сколько групп был разбит спектр.

Возможность экстраполировать дальние значения ограничена, т.к. будет возрастать ошибка, спрогнозированные точки будут сильно отклоняться от истинных. Поэтому дальность прогноза у групп разная, соответственно низкочастотный сигнал можно спрогнозировать на большее количество точек, чем высокочастотный. Как же после прогнозирования восстановить исходный сигнал вместе с экстраполяцией? Для этого необходимо высчитать среднеквадратическое отклонения функций средней и высокой частоты. Сложить все экстраполированные точки и наложить среднеквадратическое отклонение на интервалы, где точки функций средней и высокой частоты не прогнозировались. Тем самым, будет наблюдаться интервал,

в котором с доверительной вероятностью может находиться истинное значение функции.

Искусственные нейронные сети используются для разных задач. Они были основаны на предположении о работе нейронов низшего уровня в мозге, но непосредственного отношения к нему не имеют, а позаимствовали только структуру и параллелизм. Нейронная сеть является нелинейной и представляет собой алгоритмический аппарат, функционирующий на квазинеуронах, которые реализуют простейшие алгебраические действия с последующей их подстройкой. Основной механизм работы ИНС: во время обучения на вход подается сигнал, который посредством возбуждения нейронов изменяется таким образом, чтобы минимально отличаться от целевой функции, которая является последующими значениями входного сигнала. Под целевые значения или желаемый результат подгоняются входные — это процедура называется обучение с учителем.

Вид нейронной сети зависит от поставленной задачи, опытным путем выявлено, что для прогнозирования выгоднее применять двухслойные сети с задержками. В процессе исследования можно варьировать как количество нейронов в первом слое, так и задержку, начиная с нулевой. Количество нейронов в первом слое подбирается вручную, но слишком большое количество для данной задачи не приемлемо. Существуют определенные зависимости между числом входов (количество нейронов равняется числу входов) и размером обучающей выборки, однако эти отношения не использовались, но отдавалось предпочтение к использованию экспериментального метода с установлением оптимального соотношения «число входов — польза».

Разбиение обучающих данных также играет большую роль в продуктивности сети и влияет на некоторые аспекты, например, косвенно затрагивает алгоритм оценки качества, а именно способ накопления ошибок сети, оказывает прямое влияние на количество входов и выходов нейронной сети. Формирование обучающих выборок делится на три типа: последовательное, групповое, смешанное. В последовательном случае входы и целевой вектор обучающих выборок формируется в виде массива формата cell, т. е. массив ячеек с одной строкой, в котором каждый элемент хранит реализации для определенного момента времени. Каждый момент времени является динамической величиной и содержит в себе  $N$  реализаций или выборок, их количество задается вручную, например, 10 значений функции, но данные величины не являются последовательными в исходной функции, а определенными моментами времени в каждой из выборок. Допустим, если есть две выборки по два значения в каждой, то в последовательном виде в первой ячейке будет лежать первые значения из каждой выборки. В групповом случае входы и целевой вектор формируются в виде массива формата

double. Данный массив содержит временные последовательности для каждой реализации, разделенная функция на выборки остается неизменной. Размерность реализаций сугубо личный выбор.

Самая важная часть обучения нейронной сети — это тренировка, от неё напрямую зависит качество функционирования сети. Тренировка сети содержит в себе много настраиваемых параметров, каждый из которых необходимо выбрать и настроить, проанализировав всевозможные варианты. Первый шаг — инициализация сети — это расстановка значений весов синапсов и смещений, соответственно это и задает начальный курс, правильность выполнения задачи. Для каждого настраиваемого параметра существует значение по умолчанию, в инициализации стандартный вариант — случайная расстановка значений. Их значения выставляются небольшими, чтобы в процессе обучения не возникал паралич сети, вдобавок предотвращает ряд других некорректных случаев. Например, если выставить все значения одинаковые и большие, а функция имеет неравномерность распределения значений, то сеть не сможет правильно перестроить весовые коэффициенты. Также используют другие функции инициализации, они имеют ряд преимуществ, но не всегда являются наилучшими по сравнению со стандартной, возможно длительность обучения увеличиться на небольшое количество времени.

Второй шаг — это выбор глобального алгоритма минимизации ошибки. Исходя из вида обучающих данных накапливаются значения ошибок сети, ошибки сети характеризуются разностью целевых значений и полученных на выходе. Существует множество алгоритмов, их относят к трем группам, первого порядка с использованием градиента, второго порядка — методы Ньютона и Квазиньютоны. В каждой из групп имеется набор алгоритмов, в которых присутствуют свои достоинства и недостатки. Мы рассмотрим алгоритм градиентного спуска первого порядка и квазиньютоны алгоритм Левенберга-Маркварда. Оба метода исследовались на двухслойной нейронной сети. Алгоритм градиентного спуска для поставленной задачи один из нескольких с самой быстрой сходимостью, но имеющий маленькую устойчивость во время обучения, проявляется это в отклонении от уменьшения ошибки, говоря другими словами, разность между выходными и целевыми значениями после нескольких итераций возрастает. Поэтому параметр максимального количества ошибок на проверочном множестве необходимо выставлять вручную побольше, чем по умолчанию, чтобы обучение не застряло в локальном минимуме. Также могут возникать случаи долгой сходимости в конце оптимизации — эта проблема должна быть решена самой нейронной сетью, при обнаружении «застывания» обучения, сеть «встряхивает» свои значения, добавляя в них случайную величину. Второй



метод Левенберга-Маркварда отличается высокой точностью аппроксимации на обучающем множестве, но время обучения довольно высоко и соответственно необходимо достаточное количество памяти, т.к. в процессе вычисления приходится хранить объемные матрицы Якоби и Гессе, а также производить с ними действия. Однако для экономии памяти можно настроить декомпозицию, которая позволяет хранить лишь части матрицы. Каждый из методов имеет внутри себя множество настраиваемых параметров, один из них — это метод одномерного поиска. Он обеспечивает поиск минимума вдоль заданного направления, на каждой итерации вычисляет величину шага исходя из минимума целевой функции, проделанные действия можно назвать задачей минимизации функции одной переменной. Для каждого из алгоритмов метод одномерного поиска установлен свой метод по умолчанию, но их можно менять и задавать, исходя из личных побуждений, начиная с простых, таких как метод золотого сечения, половинного деления и продолжая гибридными, которые содержат в себе комбинации более простых. Конечный результат оценивается своей функцией, он показывает отличие полученных данных от желаемых. Его также можно изменить, самые распространенные — это среднеквадратическое отклонение и среднее абсолютное отклонение. Вдобавок к полноценным алгоритмам имеется возможность подстраивать и варьировать величины, которые в удачном и правильном случае могут кардинально изменить ход обучения и повлиять на конечный результат. Такими параметрами являются, в случае градиентного спуска — это параметр скорости настройки, который используется для вычисления приращений весов синапсов, соответственно, чем больше его значение, тем выше приращение, такая величина сохраняется на протяжении как минимум двух итераций и автоматически пересчитывается. В случае алгоритма Левенберга-Маркварда — это параметр «мю», данная величина воздействует на скорость сходимости и в зависимости от значения переключается между двумя методами аппроксимации. Рекомендуется выставлять значения не слишком маленькие, в пределах от 0,5 и до 1. Перечисленные выше параметры имеют субъективный характер и не являются идеальным вариантом для реализации экстраполяции, поэтому стоит их использовать, а не оставлять по умолчанию.

Все эти основные параметры подстраивают нейронную сеть под определенную эмпирическую зависимость, делая всё, чтобы аппроксимированная функция в точности описывала целевые значения. Действительно, чем меньше разностная ошибка, тем лучше воспроизводиться функция на обучающем множестве, однако слишком точная аппроксимация ведет к невозможности прогнозировать будущие значения, для которых не подверглись подстройке синаптические коэффициенты — это называется переобучением. Действие переобучения распространяется

глубоко в рамках обучающей выборки. Поэтому, если количество исходных данных мало, то не стоит слишком точно их описывать. Возможное решение — это уменьшение количества нейронов в слое.

При достаточной размерности обучающей выборки стоит использовать алгоритм Левенберга-Маркварда, выходные данные более точно описывают поведение скачков функции, чем у градиентного спуска. Но оба варианта отражают динамику поведения сигнала и амплитуду локальных минимумов и максимумов. Убедиться в этом можно будет чуть дальше. Появляется дилемма, какие алгоритмы использовать в процессе обучения, определенно конкретный алгоритм отсутствует, необходимо исследовать скомбинированные внутренности сети для каждого нового сигнала и определить наилучший, единого стандарта для прогнозирования в целом не существует.

Постановка задачи и её решение. В качестве исходных данных был представлен массив значений сигнала с тысячами моментами времени. Данную выборку можно классифицировать как изменяющиеся двумерные координаты крылатой ракеты. Задачей является предсказать сигнал в последующие моменты. Обучающая выборка была стандартная с последовательным представлением данных, на каждые пятьдесят значений приходилось одно эталонное, с последующим перебором пятьсот значений и шагом в одно значение.

На рис. 1 представлен спрогнозированный сигнал на сто точек вместе с целевым и доверительным интервалом.

По рис. 1 можно отследить нарастание отклонения спрогнозированного сигнала (данная функция выделена маленькими окружностями) от истинных значений (функция с окружностями большего радиуса). Это обуславливается невозможностью прогноза далеких значений, поэтому примерное и возможное изменение дальнейших точек показывает доверительный интервал (сплошные линии), в котором с большой вероятностью должен колебаться «хвост» целевой функции. Таким образом, начиная с первой точки и по сороковую, можно считать, что визуальное совпадение сигналов является приемлемым, а последующие значения с нарастающей ошибкой компенсируются вычисленным доверительным интервалом.

На рис. 2 проиллюстрировано прогнозирование сигнала с двумя методами тренировки сети без использования спектрального метода.

В качестве примера на рис. 2 приведены сигналы с использованием двух выше описанных методов обучения. С визуальной точки зрения наименьшее отклонение от истинных временных промежутков имеет зависимость, обучаемая методом Левенберга-Маркварда, подтверждением является численное значение стандартного отклонения, что меньше величины отклонения методом градиентного спуска.

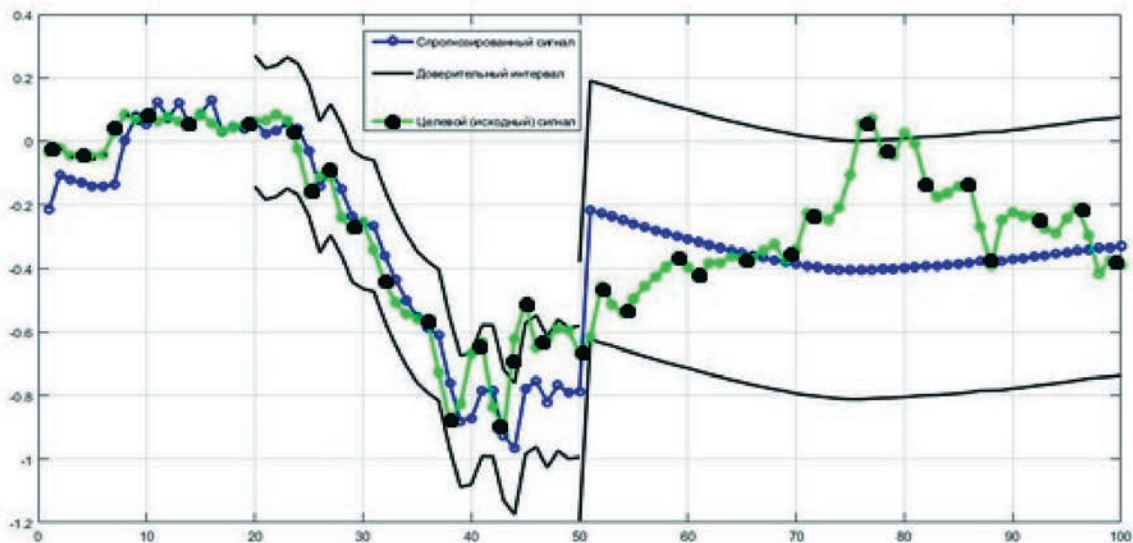


Рис. 1. Спрогнозированный сигнал

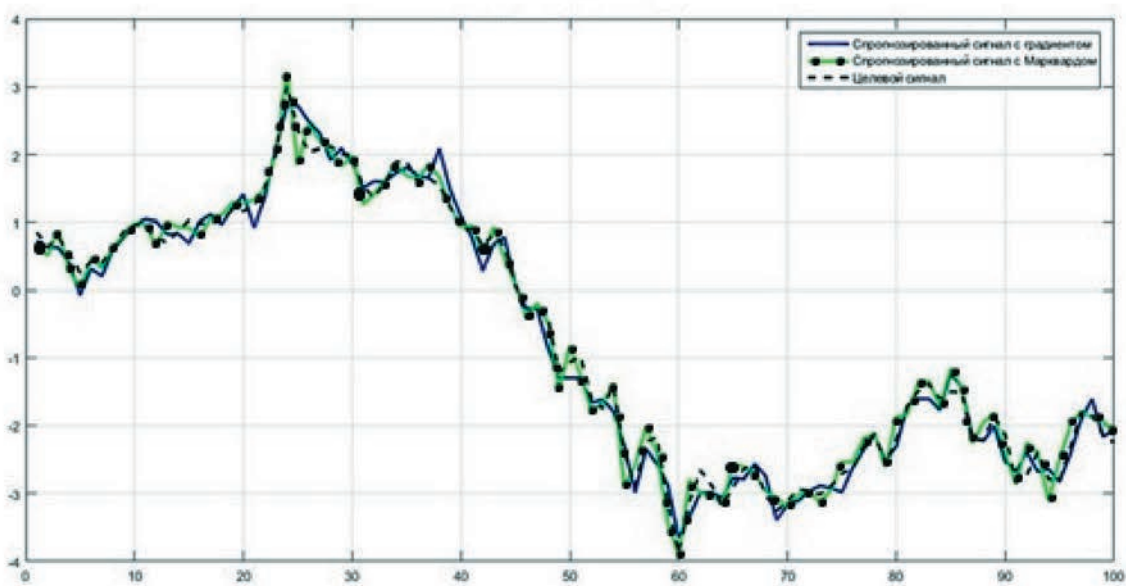


Рис. 2. Сравнение результатов прогнозирования двумя методами

Рассмотренные моменты ИНС можно анализировать и менять в лучшую сторону, возможно, для таких задач нужно нормировать данные в другом диапазоне, использовать другую — собственную функцию ошибок, пробовать разные варианты и просчитывать оптимальный. Вероятно, эти изменения позволят улучшить результат прогнозирования. Т.е. существует направление, в котором можно двигаться. Ведь добиться идеальной архитектуры и «внутренности» искусственной нейронной сети — это только первый шаг, второй — это удачное обучение с подстройкой всех весовых

значений, которые позволят и обеспечат мгновенное прогнозирование в режиме реального времени.

Целью исследования было разобраться какие аспекты нейронной сети рассмотреть, чтобы убедиться в успехе функционирования экстраполяции недетерминированных широкополосных радиотехнических сигналов на нейронных сетях. Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что, в целом, искусственные нейронные сети хорошо справляются со сложной экстраполяцией, составляют высокую конкуренцию статистической обработке на

основе теории вероятности. Думаю, данный метод экстраполяции получит широкое распространение во всех инфраструктурах и будет совершенствоваться, пока не выйдет на лидирующий уровень.

### Литература

1. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. М.: Радиотехника, 2001. 256 с.
2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
3. Медведев В. С., Потемкин, В. Г. Нейронные сети. М.: Диалог МИФИ, 2001. 630 с.
4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: пер. с польск. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
5. Татузов А. Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. М.: Радиотехника, 2009. 432 с.
6. Галушкин А. И. Теория нейронных сетей. М.: ИПРЖР, 2000. 416 с.
7. Галушкин А. И. Нейрокомпьютеры. М.: ИПРЖР, 2000. 532 с.
8. Гуляев А. К. Визуальное моделирование в среде MATLAB. СПб.: Питер, 2000. 432 с.
9. Battiti R. First and second order methods for learning: Between steepest descent and Newton's method // Neural Computation. 1992. Vol. 4. No. 2. Pp. 141–166.
10. Beale E. M. L. A Derivation of Conjugate Gradients // In Numerical Methods for Nonlinear Optimization / Edited by F.A. Lootsma. London: Academic Press, 1972. Pp. 39–43.
11. Hagan M.T., Menhaj M. Training feedforward networks with the Marquardt algorithm // IEEE Transactions on Neural Networks. 1994. Vol. 5. No. 6. Pp. 989–993.
12. Kohonen T. Self-Organization and Associative Memory. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 235 p.
13. Kohonen T. Self-Organizing Maps, Second Edition. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 501 p.
14. Moller M. F. A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning // Neural Networks. 1993. Vol. 6. Pp. 525–533.
15. Rumelhart D. E., Hinton G. E., Williams R. J. Learning representations by back-propagating errors // Nature. 1986. Vol. 323. Pp. 533–536.

---

## USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN EXTRAPOLATION OF NON-TERMINATED BROADBAND RADIO ENGINEERING SIGNALS

**ANATOLIY A. RAZUMOV,**

Chelyabinsk, Russia, anatolii1496@mail.ru

**KEYWORDS:** extrapolation; artificial neural network; signal; method; algorithm.

### ABSTRACT

This work analyzes and describes the potential application of artificial neural networks in the field of technical forecasting. Technical science with sufficient accuracy can determine the probabilistic development of the signal, using the concepts of extrapolation. Optimal is the use of neural networks in the extrapolation of radio signals. The process of modernization and progress in science provokes a person to try to predict the probabilistic development of the future. The purpose of this article is to understand the aspects of neural networks for determining the success of the operation of extrapolation of nondeterministic broadband radio-technical signals on neural networks.

A lot of research has been carried out in these fields, which show that, in general, artificial neural networks are coping well with complex ex-

trapolation, they make a high competition for statistical processing based on probability theory.

The introduction of artificial neural networks today has an intensive development character. Every year this direction becomes more urgent, the need to use artificial intelligence increases, this requires global automation of processes used in society.

Currently, there are many forecasting methods. In this article some of them we will analyze and compare with artificial neural networks. So, for example, we will show that forecasting using the statistical processing method requires a lot of effort, time and money. Unlike neural networks that eliminate the disadvantages of the statistical method and can be automated and integrated into any signal pro-

cessing and empirical dependencies.

Artificial neural networks are widely used in the extrapolation of radio engineering signals. In this article we will consider the software tools, algorithms and methods of artificial neural networks.

#### REFERENCES

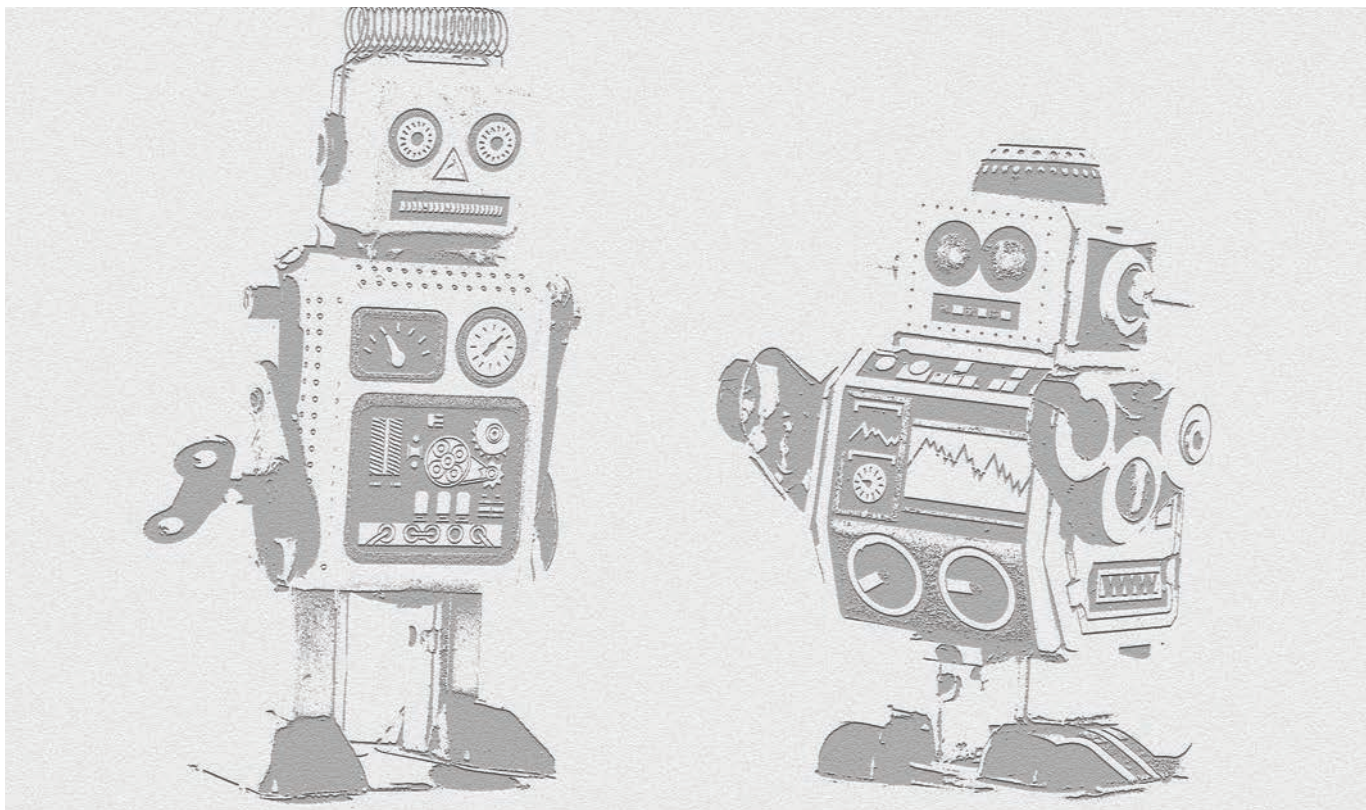
1. Golovko V.A. *Nejronnyeseti: obuchenie, organizacija i primenenie* [Neural Networks: training, organization and application]. Moscow: Radiotekhnika, 2001. 256 p. (In Russian)
2. Gonorovskij I.S. *Radiotekhnicheskie cepi i signaly* [Radio circuits and signals]. Moscow: Radio isvjaz', 1986. 512 p. (In Russian)
3. Medvedev V.S., Potemkin V.G. *Nejronnyeseti* [Neural networks]. Moscow: DIALOG MIFI, 2001. 630 p. (In Russian)
4. Osovskij S. *Nejronnye seti dlja obrabotki informacii: per. s pol'sk* [Neural networks for information processing]. Moscow: Finansy i statistika, 2002. 344 p. (In Russian)
5. Tatzov A.L. *Nejronnyeseti v zadachahradiolokacii* [Neural networks in radar-location]. Moscow: Radiotekhnika, 2009. 432 p. (In Russian)
6. Galushkin A.I. *Teorija nejronnyh setej* [The theory of neural networks]. Moscow: IPRZhR, 2000. 416 p. (In Russian)
7. Galushkin A.I. *Nejrokomp'jutery* [Neurocomputers]. Moscow: IPRZhR, 2000. 532 p. (In Russian)

8. Gul'tjaev A.K. *Vizual'noe modelirovanie v srede MATLAB*. [Visual modeling in Matlab]. St. Petersburg: Piter, 2000. 432 p. (In Russian)
9. Battiti R. First and second order methods for learning: Between steepest descent and Newton's method. *Neural Computation*. 1992. Vol. 4. No. 2. Pp. 141-166.
10. Beale E. M. L. *A derivation of conjugate gradients*. In *Numerical Methods for Nonlinear Optimization*. Edited by F.A. Lootsma. London: Academic Press, 1972. 231 p. (In English)
11. Hagan M.T., Menhaj M. Training feedforward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*. 1994. Vol. 5. No. 6. Pp. 989-993.
12. Kohonen T. *Self-Organization and Associative Memory*. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 235 p.
13. Kohonen T. *Self-Organizing Maps*. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag. 1997. 501 p.
14. Moller M. F. A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning. *Neural Networks*. 1993. Vol. 6. Pp. 525-533.
15. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*. 1986. Vol. 323. Pp. 533-536.

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Razumov A.A., student of the South Ural State University.

**For citation:** Razumov A.A. Use of artificial neural networks in extrapolation of non-terminated broadband radio engineering signals. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 30-36. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10094 (In Russian)



МОСКВА 30.10.2018

# НАУКА И АСУ 2018

## ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ **30/10/2018**

по теоретическим и прикладным  
проблемам развития и совершенствования  
АСУ специального назначения **Москва**

при информационной поддержке

**H&ES**  
RESEARCH**T-Comm**  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И ТРАНСПОРТ

научно-технический журнал  
**ИНФОРМАЦИЯ  
КОСМОС**

[intech-spb.com/conferences/](http://intech-spb.com/conferences/)  
[konferencia\\_asu\\_vka@mail.ru](mailto:konferencia_asu_vka@mail.ru)

doi: 10.24411/2409-5419-2018-10095

# КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ К ВОЗДЕЙСТВИЯМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**ГОНЧАРЕНКО**

**Владимир Анатольевич**

## Сведения об авторе:

к.т.н., доцент, профессор кафедры  
информационно-вычислительных систем  
и сетей Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
vlango@yandex.ru

## АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрен концептуальный подход к обеспечению устойчивости функционирования информационной инфраструктуры автоматизированных систем специального назначения на основе адаптивных технологий. Определено понятие устойчивости функционирования системы как комплексного свойства системы, характеризующего ее способность выполнять свои функции в условиях действия различных возмущающих факторов, а также восстанавливать свои характеристики при выводе из устойчивого состояния. Предложена концепция построения устойчивых к воздействиям систем, опирающаяся на базовые основы построения распределенных систем, описание свойств устойчивости, описание системы дестабилизирующих факторов, концептуальную модель системы обеспечения устойчивости, методологии анализа устойчивости и синтеза системы обеспечения устойчивости.

Разработана концептуальная модель системы обеспечения устойчивости распределенных систем, учитывающая неопределенность описания элементов системы, различные виды реакций на действие возмущающих факторов, и позволяющие перейти к формализации моделей и методов оценивания устойчивости функционирования автоматизированных систем в условиях возмущающих воздействий.

Рассмотрены различные архитектурные решения по обеспечению устойчивости функционирования центров обработки данных, в основе которых лежит концепция кластеризации глобальных сетей.

Предложены состав системы адаптивного обеспечения устойчивости функционирования автоматизированных систем специального назначения и методика ее построения. Показаны возможности использования локальных и глобальных кластерных технологий при построении системы обеспечения устойчивости функционирования автоматизированных систем специального назначения в условиях дестабилизирующих воздействий. Рекомендовано в качестве компонентов системы обеспечения устойчивости использовать как уже имеющиеся в структуре информационных объектов элементы систем обеспечения информационной безопасности, управления сетью, резервного копирования, так и новые элементы, основанные на глобальном адаптивном управлении устойчивым функционированием автоматизированной системы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированная система специального назначения; устойчивость функционирования; неопределенность; кластерные технологии; адаптивные технологии; концептуальная модель.

**Для цитирования:** Гончаренко В.А. Концептуальные основы построения устойчивых к воздействиям автоматизированных систем специального назначения на основе адаптивных технологий // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 4. С. 38-47. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10095

## Введение

Процесс внедрения перспективных информационных технологий при создании автоматизированных систем специального назначения (АССН) осложняется большим количеством различных источников и потребителей информации, их организационной и территориальной распределенностью, непрерывным изменением состава и содержания решаемых задач, и как следствие, повышением рисков нарушения работоспособности таких систем. Поэтому требуются адекватные решения по построению устойчивой информационной инфраструктуры АССН, предотвращению угроз нарушения их устойчивого функционирования [1–3]. Информационно-вычислительные системы и сети АССН должны быть адаптированы к потоку решаемых задач, к структуре АССН, к воздействию дестабилизирующих факторов [1]. В статье предложен концептуальный подход к построению устойчивых к воздействиям распределенных АССН, использующих сетевые модели с неопределенностью и адаптивные принципы управления устойчивостью [4–6]. Рассмотрены архитектурные решения по обеспечению устойчивости. Предложена архитектура системы обеспечения устойчивости функционирования АССН на основе адаптивных технологий.

## Основные понятия и концепция построения устойчивых систем

Организационно-технические системы в условиях противоборства и борьбы за спорные ресурсы решают свои задачи с использованием следующих подсистем (рис. 1):

- **целевая подсистема** — подсистема, выполняющая целевые задачи функционирования системы (разведка, контроль, управление, анализ, обработка данных, эксплуатация и т. д.);
- **атакующая подсистема** — подсистема, нарушающая нормальное выполнение задач целевой подсистемой противника;
- **защитная подсистема** — подсистема, обеспечивающая защиту основной деятельности целевой подсистемы от атакующей подсистемы противника;
- **управляющая подсистема** — подсистема, осуществляющая процессы переработки информации и вырабатывающая управляющие воздействия на остальные подсистемы.

АССН является целевой подсистемой, одной из наиболее уязвимых составляющих которой является ИТ-инфраструктура.

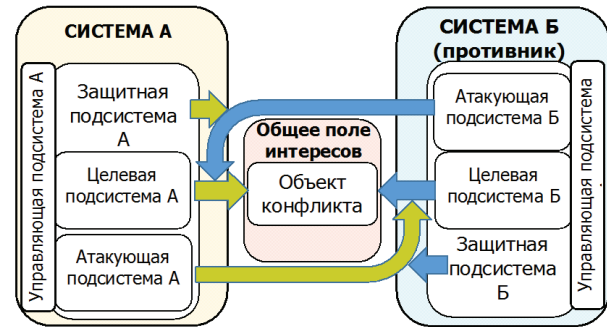


Рис. 1. Модель функционирования системы в условиях деструктивных воздействий

Основной задачей управления АССН как динамической распределенной системой является обеспечение устойчивости ее функционирования на основе адаптации внутреннего состояния системы к постоянно изменяющейся внешней среде [5–7].

В соответствии с ГОСТ 34.003–90 под **устойчивостью АСУ военного назначения** понимается комплексное свойство системы, характеризующее *живучестью*, *помехоустойчивостью* и *надёжностью* (рис. 2). Применительно к сетевым объектам ГОСТ Р 53111–2008 трактует устойчивость как способность сети выполнять свои функции при выходе из строя части элементов сети в результате воздействия дестабилизирующих факторов.

Однако необходимо отметить по крайней мере две существенные стороны устойчивости — *способности сохранять* и *способности восстанавливать* свои характеристики в условиях возмущений [6]. Дадим общее определение устойчивости функционирования сложной системы.

**Определение. Устойчивость функционирования сложной системы** — комплексное свойство системы, характеризующее её способность выполнять свои функции в условиях действия различных возмущающих факторов, а также восстанавливать свои характеристики при выводе из устойчивого состояния.

Таким образом, **главная задача** обеспечения устойчивости функционирования сложной системы — создание условий для непрерывного функционирования системы в окружении агрессивной среды, а также реализация эффективных методик (способов) восстановления системы после нарушения процесса функционирования [3, 8].

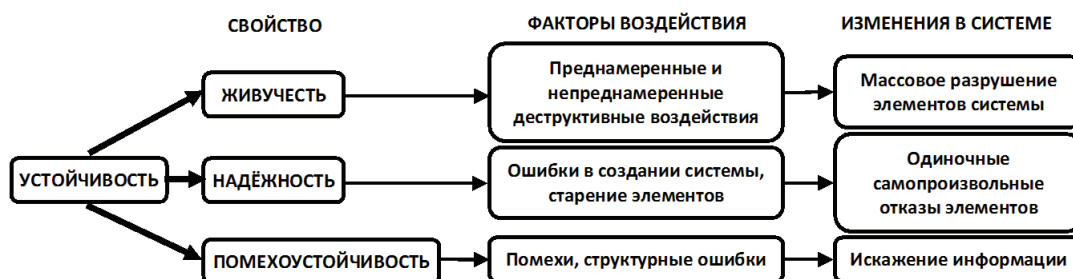


Рис. 2. Характеристика основных свойств устойчивости систем

Для решения данной задачи была разработана **концепция построения устойчивых к воздействиям систем**, общая структура которой приведена на рис. 3. Концепция опирается на базовые основы построения распределенных систем, описание свойств устойчивости и системы дестабилизирующих факторов, концептуальную модель системы обеспечения устойчивости, методологии анализа устойчивости и синтеза системы обеспечения устойчивости [6, 9].

**Базовые основы** построения распределенных систем, механизмы их функционирования и взаимодействия с внешней средой подробно изложены в [10]. **Свойства устойчивости** проявляются через принципы обеспечения устойчивости, требования к устойчивости, показатели устойчивости и элементы системы обеспечения устойчивости.

**Основными принципами** построения и функционирования устойчивой к воздействиям информационной инфраструктуры распределенных автоматизированных систем являются:

**1. ВЫСОКАЯ НАДЕЖНОСТЬ** (стойкость к сбоям и отказам вычислителей, памяти и средств передачи данных; обеспечение высокой надежности и непрерывной готовности всех компонентов системы).

**2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ** (отсутствие единой точки отказа на различных уровнях иерархии;

резервирование не отдельных устройств, а функций, сервисов; наличие нескольких способов реализации одной функциональности; резервирование функциональных задач отдельных объектов за счет ресурсов, заложенных в смежных объектах).

**3. БЫСТРАЯ ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТЬ** (минимизация и оптимизация циркулирующей в АССН информации; восстановление и сохранность информации как на отдельных компьютерах, так и на распределенных БД; унификация, стандартизация и модульность информационных ресурсов, программных и технических средств).

**4. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ АДАПТИВНОСТЬ** (адаптивность сетевой инфраструктуры к изменяющимся потребностям приложений, включая изменение функций элементов и структуры их взаимосвязей; возможность изменения архитектуры, включая реконфигурацию, деградацию и восстановление функционального состояния; динамическое перераспределение ресурсов и нагрузки между объектами; масштабирование ресурсов в реальном масштабе времени по мере увеличения нагрузки).

**5. РАСПРЕДЕЛЕННАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ** (возможность автоматического развертывания программного обеспечения; возможность автономного функционирования распределенных подсистем).

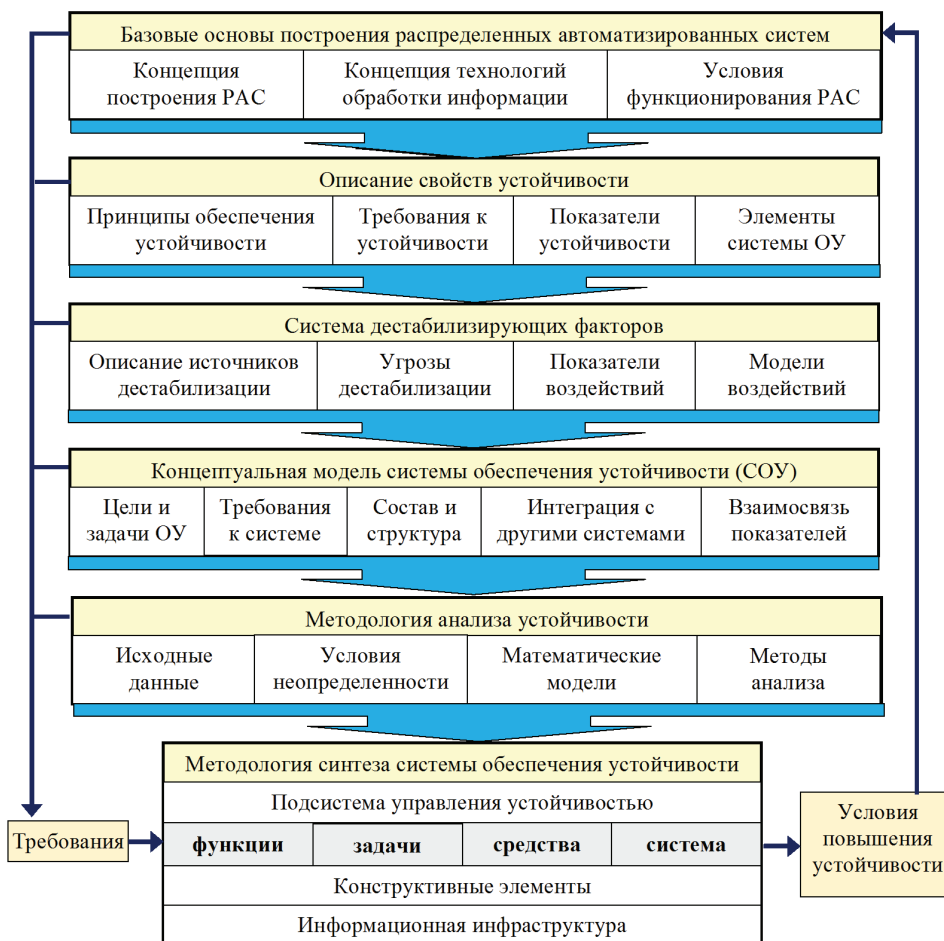


Рис. 3. Общая структура концепции построения устойчивых систем



**6. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ УПРАВЛЯЕМОСТЬ** (интеллектуальная обработка отказов, включая механизмы упреждения нарушений и парирования отказов на основе обучающих алгоритмов; удаленное интеллектуальное управление компонентами в любое время из любой точки защищенного доступа; возможность перемещения центров управления инфраструктурой по сети; распределенность архитектуры средств управления сетевой инфраструктурой).

**7. КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИЩЕННОСТЬ** (превентивная минимизация уязвимостей; адекватность, непрерывность и многоуровневость защиты; самозащита системы защиты).

**Основными показателями** устойчивости автоматизированных систем выступают:

– **вероятность безотказной работы системы** при определенном уровне воздействия  $i$ -го типа (комплексного воздействия);

– **распределение времени восстановления системы** до заданного минимального уровня после воздействия  $i$ -го типа (комплексного воздействия);

– **коэффициент готовности**  $K_r = T_n / (T_n + T_{\text{пр}})$ , где  $T_n$  — суммарное время исправной работы системы,  $T_{\text{пр}}$  — суммарное время вынужденного простоя; или  $K_r = T_{\text{ср}} / (T_{\text{ср}} + T_{\text{в}})$ , где  $T_{\text{ср}}$  — среднее время наработки на отказ системы,  $T_{\text{в}}$  — среднее время восстановления системы

– **коэффициент оперативной готовности**  $K_{\text{ор}}(t_p) = P(t_p) \cdot K_r$ , где  $P(t_p)$  — вероятность сохранения работоспособного состояния при деструктивном воздействии;

– **вероятность связности маршрута сети** и др.

**Основными дестабилизирующими факторами**, воздействующими на информационную инфраструктуру АССН, являются [11]:

– случайные отказы и сбои сетевого и серверного оборудования;

– невыявленные ошибки программного обеспечения;

– ошибки исходных данных программ;

– скачки напряжения и пропадание электропитания в сети;

– некорректные действия пользователей и администраторов АССН;

– природные катаклизмы и неблагоприятные климатические условия, приводящие к повреждению или уничтожению элементов аппаратуры;

– случайные и преднамеренные помехи, приводящие к искажению информации АССН;

– скачкообразно изменяющийся трафик от абонентов системы;

– воздействие вредоносных программ;

– информационно-технические воздействия на объекты АССН.

В качестве **показателей воздействий** могут выступать различные вероятностно-временные характеристики системы, такие как вероятность отказа в обслуживании, интенсивность

воздействия, мощность воздействия, величина вероятного ущерба, коэффициент снижения производительности системы из-за влияния воздействий, коэффициент неготовности и т.д.

**Модель воздействий**, как правило встраивается в разрабатываемую модель функционирования системы в виде совокупности параметров модели.

Устойчивость распределенных автоматизированных систем к различным видам воздействий может быть классифицирована по виду нарушения устойчивости:

– отказоустойчивость (устойчивость к отказам техники);

– ошибкоустойчивость (устойчивость к ошибкам ПО);

– термоустойчивость, влагоустойчивость (стойкость к климатическим факторам);

– удароустойчивость, ударопрочность (устойчивость к механическим воздействиям);

– помехоустойчивость (устойчивость к радиоэлектронным воздействиям);

– живучесть (устойчивость к повреждению элементов системы);

– киберустойчивость (устойчивость к программно-аппаратным воздействиям);

– нагрузоустойчивость (устойчивость к резкому увеличению рабочей нагрузки);

– катастрофоустойчивость (устойчивость к техногенным и стихийным катастрофам).

**Концептуальная модель системы обеспечения устойчивости** распределенных АССН основана на принципах стойкости, избыточности, адаптации и упреждения [6].

Существует четыре основных подхода к построению устойчивых к воздействиям систем:

– **обеспечение стойкости** (выбор элементной базы с высокими показателями безотказности и стойкости к воздействию дестабилизирующих факторов);

– **обеспечение избыточности** (введение различных видов резервирования — структурного, функционального, временного, информационного и др.);

– **обеспечение адаптации** (обеспечение адаптивности архитектуры системы к внешним воздействиям и отказам с помощью динамического изменения параметров, реконфигурации и постепенной деградации технических характеристик устройств и систем) [12];

– **обеспечение упреждения** (прогнозирование внешних воздействий и упреждение нарушения устойчивости системы на основе интеллектуальных методов и средств управления).

**Первый подход** основан на разработке высоконадёжной элементной базы и требует значительного совершенствования технологий производства.

**Второй подход** является в настоящее время доминирующим и используется как при обеспечении высокой надёжности (отказоустойчивости) при не очень надёжной элементной базе, так и при обеспечении живучести в условиях внешних деструктивных воздействий по элементам информационной инфраструктуры (ИИ).

Однако, при отсутствии адаптивных интеллектуальных технологий замены отказавших элементов и систем, перестроения их структуры даже высокорезервированные системы превращаются в груду металла. Поэтому *третий подход* имеет значительные перспективы.

Развитие адаптивных технологий приводит нас к *четвертому подходу*, который позволяет заблаговременно отреагировать на косвенные признаки нарушения устойчивости и является перспективой для построения современных распределенных информационных систем.

На рис. 4 приведена обобщенная концептуальная модель системы с адаптивным управлением устойчивостью. Адаптивные системы предназначены для управления объектами и процессами в условиях априорной и текущей неопределенности в описании моделей объектов и внешних возмущений (внешней среды), когда такая неопределенность существенно влияет на качество управления и его результаты. Система с адаптивным управлением устойчивостью состоит из *объекта управления* (информационно-вычислительной системы) и *системы обеспечения устойчивости*, включающей регулятор (подсистему мониторинга и управления) и подсистему адаптации и целеполагания [5–6, 12].

Входы  $X$ ,  $V$  и  $U$  соответствуют целевым, деструктивным и управляющим воздействиям. Целевые воздействия на объект представляют собой воздействия рабочей нагрузки, формируемой потоком решаемых задач. Регулятор (*подсистема монито-*

*ринга и управления*) на основании сигналов с датчиков о входах  $X$ ,  $V$ , состоянии  $A$  и выходе  $Y$  формирует сигнал управления  $U$  в соответствии с алгоритмом адаптации  $\phi$  и целью управления  $Z$ . Подсистема адаптации и целеполагания представляет собой второй контур управления, получающий информацию с входов и выхода системы, а также с выхода регулятора [5].

При проектировании системы с адаптивным управлением устойчивостью, моделировании и исследовании процессов ее функционирования возникает необходимость учета неопределенности информации о состоянии объекта, характеристиках его входных и выходных потоков. Данная неопределенность может быть различных типов и обобщенно представляется мерой неопределенности  $P$ :  $X' = P(X)$ ,  $V' = P(V)$ ,  $A' = P(A)$ ,  $Y' = P(Y)$ , т.е. некоторым формальным преобразованием над исходными данными [13], затрудняющим исследование.

Будем различать три уровня неопределенности – *неизвестность*, соответствующая начальному этапу изучения объекта, когда информация об объекте практически отсутствует; *недостоверность*, когда процесс сбора исходных данных ещё не завершён из-за нехватки ресурсов (неполнота, недостаточность, недоопределенность и т.д.); и *неоднозначность*, когда вся требуемая информация об объекте собрана, но полностью определенное описание объекта не получено, поскольку неопределенность свойственна самой природе описываемого объекта (случайность, нечёткость, многозначность и т.д.). Описа-

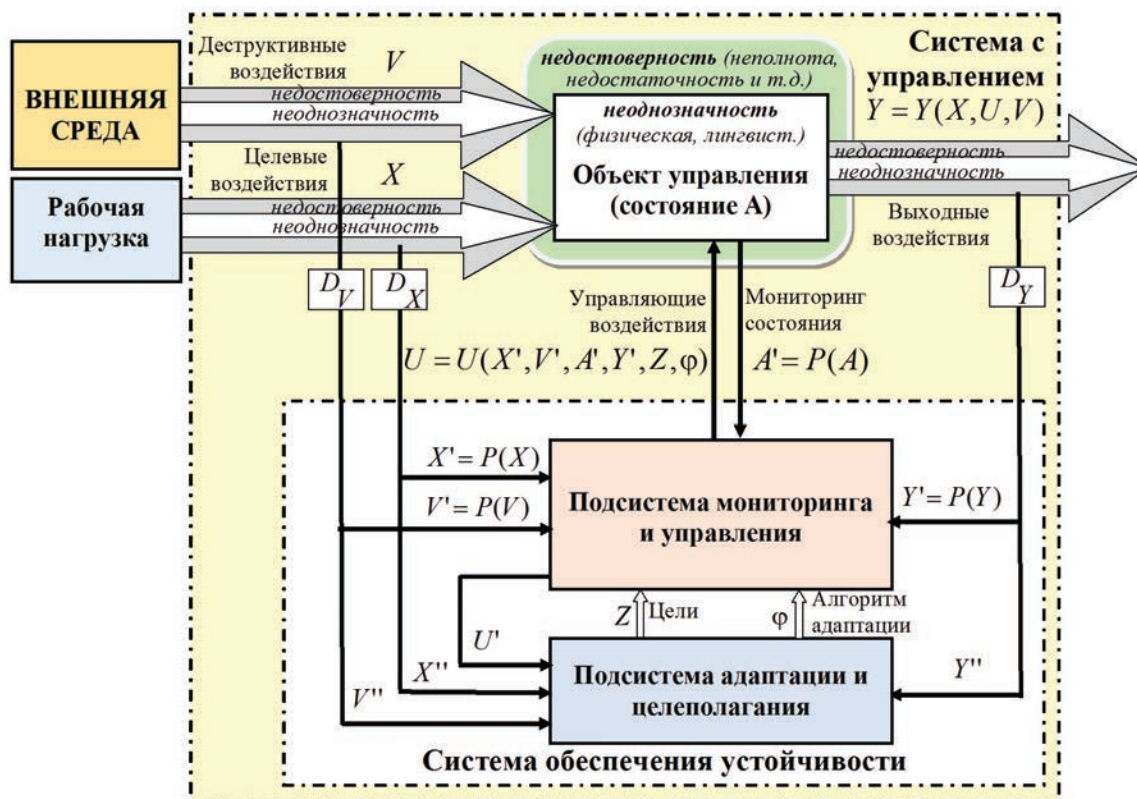


Рис. 4. Общая структура концепции построения устойчивых систем

ние моделей сложных систем с неопределенностью и методов их исследования изложено в работах [13–14].

Поскольку объект управления представляет собой распределенную сетевую инфраструктуру, адаптивное управление устойчивостью будет относиться к различным объектам системы, разнесенным на большие расстояния. Главной проблемой при этом будет учет запаздывания управления и передачи данных между удаленными объектами.

**Методология анализа устойчивости** должна учитывать как процедуру формирования исходных данных, так и условия неопределенности, возникающие при построении модели и реализации системы в реальных условиях функционирования. В предлагаемой концепции данный аспект детально проработан и реализован в формальном аппарате представления случайных процессов обслуживания с возмущающими воздействиями и неопределенностью параметров [13]. Математические модели и методы анализа должны учитывать сетевую структуру исследуемого объекта и природу дестабилизирующих факторов [9, 11, 15].

**Методология синтеза системы обеспечения устойчивости** предполагает определение основных требований к функциям, задачам, средствам и системе в целом [9, 16]. Например, в [17] синтез подсистемы управления устойчивостью проводится на основе контроля скорости передачи для гетерогенной сети с произвольной топологией и временными задержками.

### Архитектурные решения по обеспечению устойчивости центров обработки данных

**Центр обработки данных (ЦОД)** представляет собой объединение большого количества программных и аппаратных платформ различного типа (таких как серверы, дисковые массивы, ленточные библиотеки, средства резервирования и репликации данных, средства обеспечения надежного функционирования). Основой ЦОД является вычислительная инфраструктура.

В настоящее время перспективной является трехуровневая структура информационно-технического обеспечения системы управления Вооруженных Сил РФ, включающая:

- **уровень единого сетевыориентированного пространства данных**, включая хранение, предоставление и ведение информационных ресурсов, обеспечение доступности данных в режиме реального времени, предоставление сетевых информационных услуг и др.;

- **уровень информационно-телекоммуникационных сервисов**, включающая функциональные подсистемы транспортной сети, телекоммуникационных сервисов, обеспечения информационной безопасности, информационных сервисов;

- **уровень формирования и потребления информационных ресурсов (ИР)**, включая ввод, обработку и использование ИР, пользование услугами почты, файлового обмена и т. д., решение информационно-расчетных задач, автоматизированную подготовку документов и др.

Единое сетевыориентированное пространство данных будет представлять собой совокупность взаимосвязанных между

собой центров обработки данных, каждый из которых имеет в своем составе вычислительный комплекс (мэйнфрейм), серверное и сетевое оборудование, комплекс хранения данных, комплекс резервного копирования данных, комплекс программных средств.

**Целью решений** по созданию вычислительной инфраструктуры ЦОД является:

- 1) **сведение к минимуму ущерба** при возможных внешних и внутренних воздействиях;

- 2) **прогнозирование и предотвращение** таких воздействий;

- 3) **обеспечение масштабируемости** по производительности, безопасности, объемам обработки, хранения и предоставления данных.

В качестве архитектурных решений для рассмотренной концептуальной модели при решении задач обеспечения устойчивости функционирования автоматизированных систем специального назначения целесообразно применить **кластерные технологии**. **Кластер** — это группа соединенных между собой и координируемых серверов, совместно выполняющих общий набор приложений, воспринимаемая клиентами и приложениями как **единая система**.

Кластерные решения делятся на три основных категории:

1. **Кластеры высокой готовности (High-Availability Clusters** — HA-кластеры), или отказоустойчивые, применяются для недопущения прекращения обслуживания в случае выхода из строя основного сервера. Как правило, в этом случае используется дублирующий сервер.

2. **Кластеры с балансировкой нагрузки (Load-Balancing Clusters** — LB-кластеры) обеспечивают более эффективное использование ресурсов вычислительной системы за счет автоматического перераспределения нагрузки с помощью коммутатора-диспетчера [18].

3. **Кластеры высокой производительности (High Performance Computing Clusters** — HPC-кластеры) обычно применяются для организации научных вычислений, где требуется высокая масштабируемость и использование всех процессорных мощностей для решения одной задачи. Задача должна быть способна к распараллеливанию.

В основе архитектурных решений по обеспечению устойчивости функционирования ЦОДов лежит **концепция кластеризации глобальных сетей** [19]. Концепция предусматривает построение **глобальной многоуровневой кластерной системы**, когда кластерными технологиями охвачены как отдельные объекты, так и глобальная сеть в целом. Например, балансировка нагрузки [18] или резервирование могут производиться между территориально удаленными объектами, что требует соответствующего обоснования **временных задержек** в управлении (диспетчеризации) и обработке данных.

Перечислим ряд решений по кластеризации глобальных сетей [19]:

**Кластеризация глобальной АС с попарным резервированием объектов**. Реализация этой архитектуры обеспечивает

наивысший уровень живучести и позволяет равномерно распределять нагрузку, используя для этого как основные, так и резервные средства кластера.

**Многоуровневая кластеризация.** Кластеризацией могут быть охвачены как отдельные компьютеры, узлы, объекты, так и глобальная АС в целом. Глобальный кластер при этом обеспечивает только живучесть. Приложения и данные разделены.

**Кластеризация с распределенными ресурсами.** Простота масштабирования и высокая живучесть архитектуры достигаются за счет *снижения производительности* из-за временных и алгоритмических издержек на избыточность и удаленность. При этом используются RAID-технологии и система передачи данных с высокой пропускной способностью.

### Архитектура адаптивной системы обеспечения устойчивости функционирования автоматизированных систем

Для реализации подлинно устойчивой архитектуры АСЧН решений по избыточности недостаточно. Необходима реализация *системы обеспечения устойчивости функционирования (СОУФ)* АСЧН соответствующего уровня, основанной на ряде адаптивных технологий.

Для реализации распределенных вычислений в условиях неопределенности среды и деструктивных воздействий применяются ряд *современных адаптивных технологий*:

- 1) Web-сервисы;
- 2) Virtualization (виртуализация);
- 3) Mesh-сети (ячеистая топология);
- 4) Grid Computing (грид-вычисления);
- 5) Neuro Computing (нейрокомпьютерные вычисления);
- 6) Autonomic Computing (автономные вычисления или самоуправляемые системы);
- 7) Cloud Computing (облачные вычисления);
- 8) Fog Computing (туманные вычисления).

К основным *методам адаптации* АСЧН и ее компонентов относят [5, 12, 18]:

- 1) методы адаптации структуры вычислительной системы;
- 2) изменение логических функций адаптируемых элементов;
- 3) адаптивно настраиваемые и перестраиваемые логические модули;
- 4) адаптивное перераспределение программ между процессорами;
- 5) адаптивные алгоритмы балансировки нагрузки (диспетчеризации);
- 6) адаптивная коммутация (перераспределение каналов) при изменении потоков;
- 7) адаптивные мониторинг и управление сетями;
- 8) адаптивные алгоритмы (протоколы) маршрутизации пакетов и контроля перегрузок;
- 9) адаптивное управление настройками параметров сетевых протоколов и устройств;
- 10) адаптивное обнаружение и предотвращение компьютерных атак и др.

Исходя из вышесказанного, *адаптивная система обеспечения устойчивости функционирования АСЧН* должна включать в свой состав ряд подсистем (рис. 5).

Ключевой подсистемой, осуществляющей координацию компонентов СОУФ, является *подсистема управления устойчивостью*, на которую замыкаются остальные системы.

*Подсистема регистрации и учета* предназначена для регулярного сбора, фиксации и выдачи по запросам сведений обо всех событиях, способных повлиять на обеспечение устойчивости функционирования системы (в т. ч. об обращениях к защищаемым ресурсам).

*Подсистема обеспечения целостности* контролирует целостность программного и информационного окружения, а также резервирование и восстановление данных и программ.

*Подсистема распределения нагрузки и ресурсов.* Основной элемент адаптивного управления вычислительной мощностью (производительностью) системы.

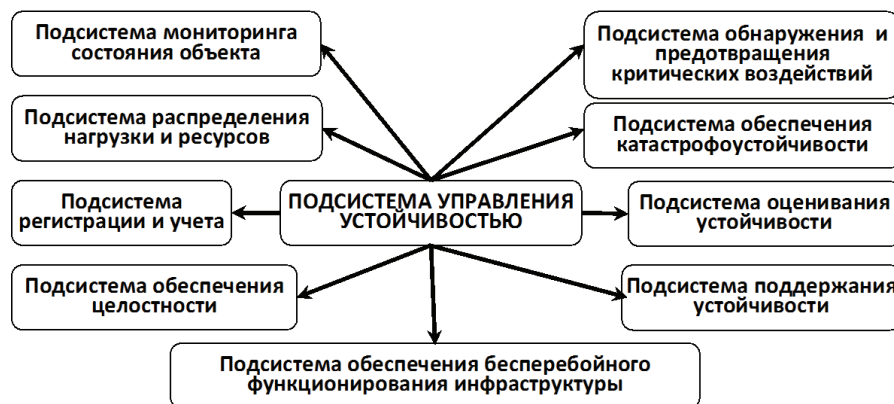


Рис. 5. Состав системы обеспечения устойчивости АСЧН

**Подсистема мониторинга состояния объекта** позволяет контролировать широкий спектр рабочих характеристик системы, определять базис ее устойчивого функционирования и выявлять любые отклонения от этого базиса в виде потенциальных сетевых неисправностей или «узких» мест системы. На основании данных мониторинга строится модель управления, которая позволяет своевременно реагировать на серьезные проблемы.

**Подсистема обнаружения и предотвращения критических воздействий** предназначена для своевременного обнаружения критических воздействий на систему и реализации в реальном времени действий по предотвращению данных воздействий (в том числе от вредоносных программ, несанкционированного доступа, сетевых вторжений, DDoS-атак и др.)

**Подсистема обеспечения бесперебойного функционирования инфраструктуры** нужна для защиты энергоснабжения, поддержания микроклимата в зоне эксплуатации объекта.

**Подсистема оценивания устойчивости** должна обеспечивать своевременное обнаружение признаков нарушения устойчивости для принятия адекватных мер реагирования.

**Подсистема поддержания устойчивости** служит для своевременного срабатывания средств защиты в случаях, когда возможна или произошла потеря управляемости системой. Путем блокирования и перезапуска определенных процессов, ресурсов и абонентов система стабилизирует производительность и информационные потоки. Подсистема способна компенсировать ошибки управления, фильтрации, диспетчеризации, управления доступом.

**Подсистема обеспечения катастрофоустойчивости** предназначена для защиты от техногенных катастроф и стихийных бедствий. Узлы размещаются в разных помещениях, на разных этажах здания, в разных районах города или даже в разных городах или странах (соответственно локальный кластер, кампусный кластер, метрокластер, континентальный кластер). Катастрофоустойчивые элементы информационной инфраструктуры АССН строятся по принципу аппаратной, программной и информационной избыточности.

## Заключение

Таким образом, при проведении концептуального моделирования сформулирована проблема построения адаптивно управляемой распределенной автоматизированной системы, предложены принципы построения и функционирования АССН, устойчивых к воздействиям, рассмотрена обладающая новизной обобщенная концептуальная модель системы обеспечения устойчивости функционирования АССН с неопределенностью исходных данных на основе адаптивных технологий. Показаны возможности использования кластерных технологий для обеспечения устойчивости функционирования АССН в условиях деструктивных воздействий. Сделан вывод о необходимости создания на этапе проектирования целевой системой адаптивной системы обеспечения ее устойчивости. Концепция, изложенная в статье, может быть практически использована при построении систем обеспечения устойчивости АССН, в качестве компонентов которых могут вы-

ступать как уже имеющиеся в структуре информационных объектов элементы систем обеспечения информационной безопасности, управления сетью, резервного копирования, так и новые элементы, основанные на глобальном адаптивном управлении устойчивым функционированием АССН.

## Литература

1. Петренко С.А. Проблема устойчивости функционирования киберсистем в условиях деструктивных воздействий // Труды института системного анализа Российской академии наук. 2010. Т. 52. С. 68–105.
2. Легков К.Е., Буренин А.Н. Об устойчивости управления серверным оборудованием современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Т-сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 12. С. 47–50.
3. Есиков Д.О. Задачи обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем // Программные продукты и системы. 2015. № 4 (112). С. 133–141.
4. Андерсон Б., Битмид Р., Джонсон К. мл., Кокотович П., Кошут Р., Марилз И., Прали Л., Ридл Б. Устойчивость адаптивных систем: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 263 с.
5. Гончаренко В.А. Теория и практика управления информационно-вычислительными средствами НАКУ в условиях неопределенности внешних воздействий на основе адаптивных технологий // Труды 3-й Военно-научной конференции Космических Войск. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2007. Т. 3. С. 317–321.
6. Гончаренко В.А. Концептуальная модель обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем военного назначения на основе адаптивных технологий // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: сб. статей III Всероссийской науч.-практической конф. (Санкт-Петербург, 14-15 декабря 2016 г.). СПб.: Арт-Экспресс, 2016. Т. 1. С. 250–254.
7. Легков К.Е. Основные направления развития методологии управления сложными инфокоммуникационными системами специального назначения // Т-сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 2. С. 41–46.
8. Петренко С.А. Способы обеспечения устойчивости функционирования киберсистем в условиях деструктивных воздействий // Труды института системного анализа Российской академии наук. 2010. Т. 52. С. 106–151.
9. Петренко С.А. Концепция поддержания работоспособности киберсистем в условиях информационно-технических воздействий // Труды института системного анализа Российской академии наук. 2009. Т. 41. С. 175–193.
10. Бушуев С.Н. Организация распределенного преобразования информации в информационно-технических системах. СПб.: ВАС, 1994. 226 с.
11. Гончаренко В.А. Оценивание устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей к деструктивным воздействиям на основе учета связности маршрутов // Вестник Российского

нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2015. № 1. С. 96–100.

12. Антонов В.Н., Терехов В.А., Тюкин И.Ю. Адаптивное управление в технических системах. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2001. 244 с.

13. Гончаренко В.А. Формальный аппарат представления случайных процессов обслуживания с возмущающими воздействиями и неопределенностью параметров // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. Вып. 648. С. 13–18.

14. Буранова М.А., Карташевский В.Г. Анализ времени ожидания для узла сети типа G/D/1 при неточном знании параметров трафика // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. № 1. С. 24–33.

15. Михайлов Р.Л., Макаренко С.И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих

факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4(12). С. 69–79.

16. Кунцевич В.М. Анализ устойчивости и синтез устойчивых систем управления одним классом нелинейных нестационарных систем // Труды института математики и механики УРО РАН. 2006. Т. 12. № 2. С. 98–107.

17. Rezaie B., Motlagh M-R.J., Khorsandi S., Analoui M. Global stability analysis of computer networks with arbitrary topology and time-varying delays // Journal of Zhejiang University SCIENCE C. 2010. Vol. 11. Issue 3. Pp. 214–226.

18. Гончаренко В.А. Модели адаптивного перераспределения нагрузки в кластерных вычислительных системах // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2008. Т. 51. № 3. С.32–37.

19. Залецанский Б.Д., Черников Д.Я. Кластерная технология и живучесть глобальных автоматизированных систем. М.: Финансы и статистика, 2005. 384 с.

## CONCEPTUAL BASES FOR BUILDING RESILIENT TO THE IMPACTS OF AUTOMATED SYSTEMS FOR SPECIAL PURPOSES BASED ON ADAPTIVE TECHNOLOGIES

**VLADIMIR A. GONCHARENKO,**

St-Petersburg, Russia, vlango@yandex.ru

### ABSTRACT

The work considers a conceptual approach to ensuring the stability of the functioning of the information infrastructure of automated special-purpose systems based on adaptive technologies. The concept of stability of functioning of system is defined how the complex property of system characterizing its ability to perform the functions in the conditions of action of various revolting factors and also to restore the characteristics at a conclusion from a stable state.

The concept for building resilient to the impacts of systems, leaning on fundamental bases of creation of distributed systems, the description of properties of stability, the description of system of destabilizing factors, conceptual model of system of support of stability, methodology of the analysis of stability and synthesis of system of support of stability is offered. The conceptual model of system of support of stability of distributed systems considering uncertainty of the description of elements of system, different types of responses to action of the perturbing factors, and allowing to pass to formalization of models and methods of estimation of stability of functioning of automated systems in the conditions of the perturbing influences is developed.

Different architectural solutions for ensuring the stability of data centers

**KEYWORDS:** automated system special purpose, stability of functioning, uncertainty, clustering technology, adaptive technology, conceptual model.

functioning based on the concept of clustering of global networks are considered.

The composition of the system of adaptive stability ensuring of the functioning of automated systems for special purposes and the methodology for its construction are proposed. The possibilities of using local and global cluster technologies for building a system for ensuring the stability of the functioning of automated systems for special purposes under conditions of destabilizing effects are shown. It is recommended to use as components of the system of sustainability, as already existing in the structure of information objects, elements of information security management systems, network management, backup, and new elements based on global adaptive management of the stable functioning of the automated system.

### REFERENCES

1. Petrenko S.A. Problema ustoychivosti funktsionirovaniya kibersistem v usloviyakh destruktivnykh vozdeystviy [The Problem of functioning stability of cyber systems in the conditions of destructive influences]. *Trudy Instituta sistemnogo analiza rossiyskoy akademii nauk* [Proceeding of the Institute for Systems Analysis of the Russian Academy of Science]. 2010. Vol. 52. Pp. 68–105. (In Russian)

2. Legkov K.E., Burenin A.N. About stability of control of the server equipment of the modern infocommunication networks of the special purpose. *T-comm*. 2014. Vol. 8. No. 12. Pp. 47-50. (In Russian)
3. Esikov D.O. The problems of ensuring distributed information systems sustainability. *Programmnye produkty i sistemy* [Software and systems]. 2015. No. 4 (112). Pp. 133-141. (In Russian)
4. Anderson B.D.O., Bitmead R.R., Johnson C.R., Kokotovic P.V., Kosut R.L., Mareels I.M.Y., Praly L. and Riedle B.D. *Stability of Adaptive Systems: Passivity and Averaging Analysis*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1986. 326 p.
5. Goncharenko V.A. Teoriya i praktika upravleniya informacionno-vychislitel'nymi sredstvami NAKU v usloviyah neopredelennosti vneshnih vozdeystvij na osnove adaptivnykh tekhnologij [Theory and practice of management of information and computing means of the NAKU in conditions of uncertainty of external influences based on adaptive technologies]. *Trudy 3-j Voenno-nauchnoj konferencii Kosmicheskikh Vojsk* [Proc. of the 3rd Military-scientific conference of the Space Forces]. St. Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhajskogo Publ, 2007. Vol. 3. Pp. 317-321. (In Russian)
6. Goncharenko V.A. Konceptual'naja model' obespechenija ustojchivosti funkcionirovanija raspredelennykh informacionnykh sistem voennogo naznacheniya na osnove adaptivnykh tekhnologij [Conceptual model of maintenance of stable functioning of distributed information systems for military purposes on the basis of the adaptive technologies] *Sovremennye problemy sozdaniya i ekspluatcii vooruzhenija, voennoj i special'noj tehniki: sb. statej III Vserossijskoj nauch.-prakticheskoj konf.* [Proc. articles III all-Russian scientific-practical conference "Modern problems of creation and operation of weapons, military and special equipment" (St. Petersburg, 14-15 December 2018)]. St. Petersburg: Art-Ekspress, 2016. Vol. 1. Pp. 250-254. (In Russian)
7. Legkov K.E. The main directions of the methodology development of managing complex informational and communication systems for special purposes. *T-comm*. 2013. Vol. 7. No. 2. Pp. 41-46. (In Russian)
8. Petrenko S.A. Sposoby obespechenija ustojchivosti funkcionirovaniya kibersistem v usloviyah destruktivnykh vozdeystvij [Ways to ensure functioning stability of cyber systems in conditions of destructive influences]. *Trudy Instituta sistemnogo analiza rossijskoj akademii nauk* [Proceeding of the Institute for Systems Analysis of the Russian Academy of Science]. 2010. Vol. 52. Pp.106-151. (In Russian)
9. Petrenko S.A. Konceptciya podderzhanija rabotosposobnosti kibersistem v usloviyah informacionno-tekhnicheskikh vozdeystvij [The concept of maintenance of workability of cybersystems in the conditions of information and technical influences]. *Trudy Instituta sistemnogo analiza rossijskoj akademii nauk* [Proceeding of the Institute for Systems Analysis of the Russian Academy of Science]. 2009. Vol. 41. Pp.175-193. (In Russian)
10. Bushuev S.N. *Organizacija raspredelennogo preobrazovanija informacii v informacionno-tekhnicheskikh sistemah* [The organization distributed information processing in information technology systems]. St. Petersburg: Voenno-akademiya svyazi Publ., 1994. 226 p. (In Russian)
11. Goncharenko V.A. Evaluation of information telecommunication networks stability to destructive effects based on the connectivity of routes. *Vestnik of Russian New University. Ser. Complex systems: models, analysis and control*. 2015. No. 1. Pp. 96-100. (In Russian)
12. Antonov V.N., Terekhov V.A., Tyukin I. Yu. *Adaptivnoe upravlenie v tehniceskikh sistemah* [Adaptive control in technical systems]. St. Petersburg: Sankt-peterburgskij universitet Publ., 2001. 244 p. (In Russian)
13. Goncharenko V.A. Formal'nyj apparat predstavlenija sluchajnykh processov obsluzhivaniya s vozmushhajushhimi vozdeystvijami i neopredelennost'ju parametrov [The formal apparatus of representation of stochastic processes of service with the disturbance and uncertainty parameters] *Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A. F. Mozhajskogo* [Proc. of the Mozhaisky Military Aerospace Academy]. 2015. Release 648. Pp. 13-18. (In Russian)
14. Buranova M.A., Kartashevskiy V.G. The Analysis of the Latency Period for Knot of Network of the G/D/1 Type at Inaccurate Knowledge of Parameters of the Traffic. *Informacionnye tekhnologii i telekommunikacii* [Information technology and telecommunications]. 2017. Vol. 5. No. 1. Pp. 24-33. (In Russian)
15. Mikhaylov R.L., Makarenko S.I. Estimating Communication Network Stability Under the Conditions of Destabilizing Factors Affecting it. *Radio and telecommunication systems*. 2013. No. 4(12). Pp. 69-79. (In Russian)
16. Kuntsevich V.M. Analiz ustoychivosti i sintez ustoychivyykh sistem upravleniya odnim klassom nelineynykh nestacionarnyykh sistem [Stability analysis and synthesis of stable control systems by one class of nonlinear nonstationary systems]. *Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki UrO RAN* [Proceedings of Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics UB RAS]. 2006. Vol. 12. No. 2. Pp. 98-107. (In Russian)
17. Rezaie B., Jahed-Motlagh M.R., Khorsandi S., Analoui M. Global stability analysis of computer networks with arbitrary topology and time-varying delays. *Journal of Zhejiang University Science C (Computer & Electronics)*. 2010. Vol. 11. Issue 3. Pp. 214-226.
18. Goncharenko V.A. Models of adaptive load redistribution in cluster computing systems. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Priborostroyeniye* [Journal of Instrument Engineering]. 2008. Vol. 51. No. 3. Pp. 32-37. (In Russian)
19. Zaleshanskij B.D., Chernihov D. Ja. *Klasternaja tekhnologija i zhivuchest' global'nykh avtomatizirovannykh sistem* [Cluster technology and the survivability of global automated systems]. Moscow: Finance and Statistics, 2005. 384 p. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Goncharenko V.A., PhD, Docent, Professor at the Department of Information and Computing Systems and Networks of the Military Space Academy.

doi: 10.24411/2409-5419-2018-10096

# МОДЕЛЬ ЕДИНОЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

**КУЗНЕЦОВ**

**Сергей Владимирович<sup>1</sup>**

**ВИНОГРАДЕНКО**

**Алексей Михайлович<sup>2</sup>**

## АННОТАЦИЯ

Обоснована необходимость в разработке и внедрении единой централизованной автоматизированной системы управления техническим состоянием техники связи и автоматизированных систем управления. Представлена модель объединенной централизованной автоматизированной системы управления техническим состоянием техники связи и автоматизированных систем управления, позволяющей оптимизировать ее работу, уменьшить вероятность принятия ошибочных решений, повысить производственные возможности и сократить затраты ремонтных органов на всех уровнях системы технического обеспечения за счет внедрения средств автоматизации технического обслуживания и ремонта техники связи и автоматизированной системы управления. Организационной основой функционирования автоматизированной системы управления техническим состоянием является регламентация взаимодействия органов военного управления и частей связи при решении задач технического обеспечения вооружения и военной техники и технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления. Технологической основой формирования автоматизированной системы управления техническим состоянием является конвергенция современных контрольно-измерительных и информационно-телекоммуникационных технологий, позволяющих существенно повысить эффективность системы управления техническим обеспечением связи и автоматизированных систем управления на всех организационно-технических уровнях. Технической основой формирования автоматизированной системы управления техническим состоянием является внедрение в подразделениях технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления всех уровней автоматизированных систем контроля и диагностирования на основе использования автоматизированных унифицированных магистрально-модульных и сетевых измерительных систем единого стандарта, виртуальных средств измерений, успешное применение которых в войсках показало их эффективность при проведении технического обслуживания и ремонта техники связи, решения задач постоянного мониторинга телекоммуникационных ресурсов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированная система управления; техническое состояние; техника связи; техническое обеспечение связи; телекоммуникационные ресурсы.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup>главный конструктор «Информтехпроект» – Главный конструктор по системе технического обеспечения связи и автоматизированной системы управления системы связи ВС РФ, Московская обл., г. Мытищи, Россия, ksv@info-tp.ru

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, докторант кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия Vinogradenko.a@inbox.ru

**Для цитирования:** Кузнецов С.С., Винограденко А.М. Модель единой централизованной автоматизированной системы управления техническим состоянием вооружения, военной и специальной техники // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 4. С. 48-54. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10096



Многие существенные проблемы технического обеспечения связи и автоматизированной системы управления (ТОС и АСУ) связаны с недостаточной эффективностью процесса управления, отставанием развития информационно-управляющих систем от потребностей, дезинтеграцией и несогласованностью внедрения сетевых и программных продуктов, трудностями внедрения современных информационных технологий в практику деятельности должностных лиц органов военного управления ТОС и АСУ на всех уровнях [1].

Действующие информационные системы, в основном, ориентированы на облегчение труда должностных лиц органов ТОС и АСУ при решении задач учета техники связи и АСУ, обобщения данных предоставляемых подчиненными формированиями в жестком нормативном формате с последующим их перманентным уточнением до получения очередного донесения, управления производственными ресурсами подчиненных ремонтных органов и органов снабжения, без учета реальных и актуальных данных по потребностям войск и возможностям органов управления при реализации мероприятий ТОС и АСУ, в том числе контроля технического состояния, технического обслуживания и ремонта техники связи (ТС) [2].

Главная цель ТОС и АСУ достигается выполнением следующих основных задач [3–6]:

- обеспечение войск техникой связи, АСУ и (военно-техническим имуществом) ВТИ;
- организация правильной эксплуатации ТС и АСУ, поддержании её в работоспособном состоянии в период всего жизненного цикла до ее списания;
- организации восстановления ТС и АСУ, вышедшей из строя в результате отказов, аварий и боевых повреждений.

Состояние ТС и АСУ в 2016 г. в целом обеспечило устойчивое управление войсками и позволило выполнить поставленные задачи по поддержанию системы связи и АСУ Вооруженных Сил Российской Федерации в готовности к применению.

Для реализации Указа и поручения Президента Российской Федерации в войска стало поступать значительное количество новой техники. В условиях возросших поставок современной ТС и АСУ своевременное восстановление гарантийной ТС и АСУ предприятиями-изготовителями является важным фактором регулирования ее технического состояния и в значительной степени влияет на боеготовность соединений и воинских частей.

В настоящее время в Вооруженных Силах Российской Федерации эксплуатируется более 20% ТС и АСУ с гарантийными сроками эксплуатации. По результатам выхода из строя гарантийной ТС и АСУ Главным управлением Связи ВС Российской Федерации совместно с управлением заказов по совершенствованию техниче-

ской основы системы управления (УЗС ТОСУ), военными представительствами МО РФ и предприятиями промышленности предпринимаются меры по повышению качества поставляемой в войска ТС и АСУ.

В целях получения достоверной информации о качестве ТС и АСУ в ВС РФ организована подконтрольная эксплуатация (ПЭ) ТС и АСУ в различных климатических условиях [2]. Постановке на подконтрольную эксплуатацию в 2016 г. подлежало более 1000 ед. ТС и АСУ 42 типов. В соответствии с донесениями военных округов на подконтрольную эксплуатацию было поставлено только 48% от плана. Отсутствие сведений по оставшимся образцам ТС и АСУ не позволяет объективно оценить эксплуатационную надежность этих изделий, выявить их конструктивные недостатки. Потеря статистических данных о надежности изделий приводит к тому, что в войска от предприятий-изготовителей поступает ТС и АСУ, имеющая конструктивные недоработки и заводские дефекты. После окончания гарантийных сроков ремонт «сырой» ТС и АСУ выполняется в рамках государственных контрактов за счет МО РФ на протяжении всего жизненного цикла изделия, что ведет к неэффективному расходованию денежных средств.

Не менее важной задачей технического обеспечения связи и АСУ является организация ремонта (восстановления) ТС и АСУ. Для восстановления ТС и АСУ общего назначения войск, воинских формирований и органов РФ привлекаются ремонтно-восстановительные части и подразделения по ремонту средств связи, а также ремонтные предприятия ОАО «Оборонсервис» и предприятия промышленности.

В соответствии со сложившимся на сегодняшний момент положением, основной целью развития системы ТОС и АСУ является создание в кратчайшие сроки взаимосвязанной структуры, включающей в себя научно-производственные, эксплуатационные и ремонтно-восстановительные органы, под управлением единой автоматизированной системы и обеспечивающей поддержание максимально возможной обеспеченности войск работоспособной (исправной), готовой к применению по назначению ТС и АСУ в мирное и военное время.

Решение задачи повышения уровня готовности ТС, качества их технического обслуживания и ремонта, выполнения других мероприятий ТОС и АСУ, в войсках связи, эффективности функционирования органов военного управления ТОС и АСУ должно основываться на создании объединенной единой централизованной автоматизированной системы управления техническим состоянием ТС (АСУТС).

АСУТС предназначена для осуществления объективного контроля и управления техническим состоянием ТС на стационарных объектах связи и в частях (подраз-

делениях) связи постоянной готовности, предназначенных для развертывания элементов полевой компоненты ОАЦСС, а также в ремонтно-восстановительных частях и организациях МО (далее — части связи), предоставления должностным лицам органам военного управления всех уровней актуальных данных в реальном времени о фактическом состоянии ТС частей связи, их боеспособности в целом, результаты прогнозирования состояния на требуемый период и интеллектуализированную поддержку принятия решений по обеспечению заданного уровня готовности ТС.

АСУТС должна иметь трехуровневую архитектуру, отражающую иерархию построения системы технического обеспечения войск и содержащую три условных уровня — «войсковая часть» — «округ» — «центр».

Организационной основой функционирования АСУТС является регламентация взаимодействия органов военного управления и частей связи при решении задач технического обеспечения ВВСТ и ТОС и АСУ в частности, определяемая действующими нормативными документами, в том числе приказами МО РФ, директивами и указаниями других уполномоченных должностных лиц Минобороны по вопросам ТОС и АСУ, табелями срочных донесений, а также различными Руководствами, ГОСТами и другими документами, составляющими нормативную базу функционирования системы ТОС и АСУ.

Технологической основой формирования АСУТС является конвергенция современных контрольно-измерительных и информационно-телекоммуникационных технологий, позволяющих существенно повысить эффективность системы управления ТОС и АСУ на всех организационно-технических уровнях за счет расширения функциональных возможностей в направлениях [5–8]:

- постоянного оперативного инструментального контроля технического состояния ТС, функционирующей в режиме непрерывного длительного применения (например, на стационарных объектах связи), и периодического контроля технического состояния ТС, функционирующей в режиме многократного циклического применения в частях связи при проведении периодического технического обслуживания;

- сбора, хранения и анализа информации о техническом состоянии ТС, других данных объективного контроля и учета, с использованием современных информационных сервисноориентированных технологий с целью предупреждения возникновения кризисных ситуаций вследствие непрогнозируемого увеличения потока внезапных отказов и оптимального управления остаточным ресурсом ТС;

- информационной поддержки управления процессом восстановления ТС, качества информационного обмена на постоянно действующих связях;

- сбора, хранения и анализа информации о проводимых работах, расходах запасов материально-технических средств для обеспечения выполнения мероприятий ТОС и АСУ, в том числе ЗИП, оптимального управления этими запасами с учетом затрат на их создание и содержание;

- аудита и оценки достоверности и объективности сведений о фактическом состоянии ТС, в том числе представляемых сведений для истребования нарядов на ремонт на предприятиях МО и промышленности, а также на списание, обоснованности заявок на материально-технические средства и других данных по ТОС и АСУ;

- обеспечения сетевого безопасного автоматизированного обмена данными о техническом состоянии ТС, возникновении проблем ТОС и АСУ между войсковыми частями, органами военного управления всех уровней, а также предприятиями промышленности, проектными и научно-исследовательскими организациями, задействованными при решении задач управления качеством ТС на стадиях полного жизненного цикла (ЖЦ).

Технической основой формирования АСУТС является внедрение в подразделениях ТОС и АСУ всех уровней автоматизированных систем контроля и диагностирования (АСКД) на основе использования автоматизированных унифицированных магистрально-модульных и сетевых измерительных систем единого стандарта, виртуальных средств измерений (СИ), успешное применение которых в войсках показало их эффективность при проведении технического обслуживания и ремонта ТС, решения задач постоянного мониторинга телекоммуникационных ресурсов [17]. То есть область применения АСКД распространяется не только на контроль и измерение параметров ТС, но и на автоматизированное измерение параметров и характеристик каналов, трактов и сетевых ресурсов (в том числе анализ ведомственных специализированных телекоммуникационных протоколов).

Наибольшее распространение в войсках получили АСКД создаваемые проектно-компоновочным способом по ГОСТ РВ 51996 на основе измерительных и технологических модулей по ГОСТ Р 51884 с использованием технологии VXI, что обеспечило возможность масштабирования контрольно-измерительного и диагностического оборудования путем добавления отдельных измерительных модулей в зависимости от решаемых задач, увеличения числа виртуальных СИ путем изменения специального программного обеспечения (СПО) и добавления новых программных модулей, расширения номенклатуры объектов контроля путем разработки оператором дополнительных алгоритмов проверок с помощью встроенного специализированного конструктора алгоритмов и др.

Помимо решения основной функциональной задачи по контролю и измерению параметров ТС, каналов и трак-

тов, учитывая широкие базовые технические возможности, закладываемые в конструкцию АСКД, применение данных измерительных комплексов позволит реализовать информационно-телекоммуникационный функционал АСУТС на уровне «войсковая часть» без использования дополнительных отдельных аппаратных средств. То есть решение функциональных задач сбора, хранения и анализа информации о техническом состоянии ТС, информационной поддержки восстановления ТС, хранения и предоставления накопленных знаний по порядку проведения технического обслуживания и ремонта ТС, в том числе в формате СПО, справочной информации (руководств, инструкций, схем, алгоритмов диагностирования и др.), обеспечения сетевого обмена данными и других задач, решаемых в АСУТС, будет осуществляться с помощью программно-аппаратных средств АСКД.

Следует отметить, что в аспекте обеспечения информационной безопасности функционирования АСУТС, данные, циркулирующие в контуре уровней «войсковая часть» — «округ», не содержат сведений, составляющих государственную тайну, так как включают в себя информацию исключительно о динамике изменения показателей, движении материально-технических средств и т.п., и не касаются сведений об организационно-штатной структуре, фактической укомплектованности и других данных, характеризующих боеготовность и боеспособность формирований в целом.

Создание, последующая техническая поддержка эксплуатации и совершенствование АСУТС должно осуществляться на всех стадиях полного ЖЦ на основе принципов проектного подхода, создания единого проектного офиса на базе предприятия (организации) требуемого уровня компетенции по проблемам ТОС и АСУ под эгидой соответствующего центрального органа военного управления.

В целях формирования технологической и технической основ создания АСУТС должны быть разработаны следующие основные информационные модули [9–16]:

— инструментального контроля технического состояния ТС в частях связи с использованием АСКД в автоматическом и автоматизированном режимах;

– управления восстановлением ТС и устранением проблем в области ТОС и АСУ;

– сбора, хранения, актуализации информации о техническом состоянии ТС, качестве телекоммуникационных ресурсов на действующих связях;

– анализа динамики деградиционных изменений параметров ТС, характеристик каналов, трактов и сетевых ресурсов, прогнозирования расхода ресурса ТС, снижения готовности, возникновения инцидентов и проблем при эксплуатации ТС;

– модерации и обновления базы знаний по порядку и методам выполнения измерений и операций диагности-

рования ТС, актуализации библиотеки алгоритмов контроля и диагностирования, в том числе в формате СПО;

– управления запасами ТС, материально-технических средств, в том числе ЗИП, для обеспечения технического обслуживания и ремонта ТС;

– аудита и оценки достоверности и объективности сведений о фактическом состоянии ТС, заявок на ремонт, материально технические средства, выделение финансовых средств и других запросов на обеспечение заданного уровня готовности войсковых частей;

– ведения подконтрольной эксплуатации и авторского надзора в рамках системы управления качеством и надежностью ТС на стадии эксплуатации;

– взаимодействия с предприятиями промышленности при проведении опытной (лидерной) эксплуатации, ведения рекламационной работы в рамках системы управления качеством и надежностью ТС на стадии производства.

Таким образом, внедрение АСУТС позволит:

– повысить оперативность системы управления ТОС и АСУ, сократить время на принятие решений при реализации мероприятий ТОС и АСУ, в том числе ремонта, поставок и др.;

– уменьшить вероятность принятия ошибочных решений и повысить продуктивность функционирования органов военного управления, отдельных должностных лиц, эффективность управления ТОС и АСУ в целом;

– повысить эффективность управления запасами ТС и материально-техническими средствами, что позволит сократить объемы создаваемых запасов и сократить затраты на их создание и содержание;

– повысить производственные возможности и сократить затраты ремонтных органов на всех уровнях системы ТОС и АСУ за счет внедрения средств автоматизации технического обслуживания и ремонта ТС, увеличения уровня адекватности потребностям и достаточности запасов запасных частей при проведении ремонтных работ.

## Литература

1. Заяц С. В., Семёнов С. С., Чихачёв А. В. Развитие системы технического обеспечения связи и автоматизации // Военная мысль. 2014. № 11. С. 37–40.

2. Заяц С. В., Чихачёв А. В. Проблемы управления жизненным циклом средств (комплексов) связи и автоматизированных систем управления // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. 2016. С. 211–213.

3. Борзыкин Д. В., Заяц С. В., Згерский Р. В. Перспективные средства технического обслуживания и ремонта средств связи в полевых условиях // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. 2016. С. 137–142.

4. Харченко Е. Б., Чихачев А. В., Заяц С. В. Анализ состояния и перспективы развития системы технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. 2016. С. 11–15.

5. Бурьянов О. Н., Веселовский А. П., Винограденко А. М. Оперативный контроль технического состояния подвижных электротехнических объектов // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. 2016. С. 178–184.

6. Будко П. А., Винограденко А. М., Литвинов А. И. Экспериментальные исследования кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 9. С. 53–58.

7. Будко П. А., Винограденко А. М., Литвинов А. И. Реализация кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 8. С. 37–44.

8. Винограденко А. М., Ладонкин О. В., Юров А. С. Система мониторинга технического состояния подвижных объектов военного назначения с использованием беспроводных технологий // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 1. С. 51–55.

9. Патент РФ 90916. Система для контроля технического состояния радиоэлектронных объектов / Винограденко А. М., Федоренко И. В., Семененко А. В. Заявл. 05.08.2009. Оpubл. 20.01.2010. Бюл. № 2. 6 с.

10. Патент РФ 2450335. Способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой и устройство для его осуществления / Будко Н. П., Будко П. А., Винограденко А. М., Дорошенко Г. П.,

Рожнов А. В., Минеев В. В., Мухин А. В. Заявл. 11.07.2011. Оpubл. 10.05.2012. Бюл. № 13. 5 с.

11. Патент РФ 96676. Система контроля параметров технологических объектов / Винограденко А. М., Федоренко И. В. Заявл. 09.03.2010. Оpubл. 10.08.2010. Бюл. № 22. 6 с.

12. Винограденко А. М. Модель системы мониторинга контролируемых объектов диспетчерского пункта управления // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 1. С. 65–72.

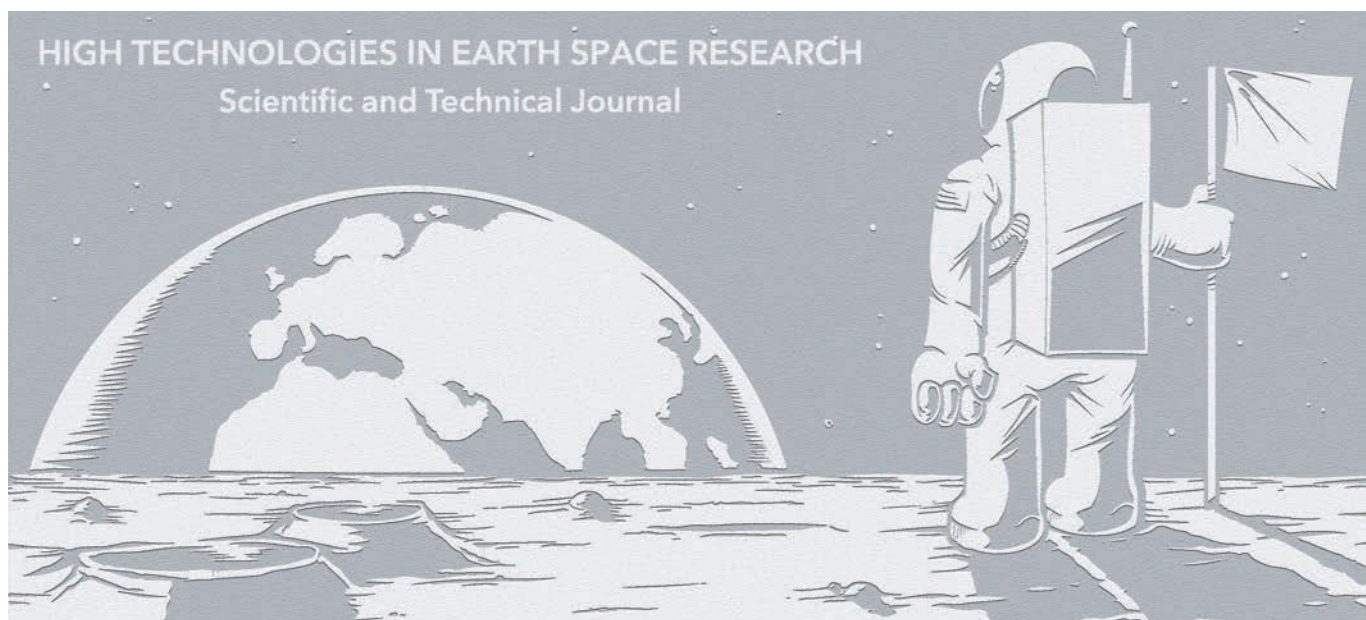
13. Патент РФ 2413977. Устройство для контроля радиоэлектронных объектов / Винограденко А. М., Федоренко В. В., Федоренко И. В. Заявл. 05.08.2009. Оpubл. 10.03.2011. Бюл. № 7. 4 с.

14. Патент РФ 2354055. Устройство для измерения сигналов / Винограденко А. М., Федоренко В. В. Заявл. 23.07.2007. Оpubл. 27.04.2009. Бюл. № 12. 7 с.

15. Патент РФ 2617982. Устройство для сигнализации отклонений параметра при допусковом контроле / Будко П. А., Веселовский А. П., Педан А. В., Литвинов А. И., Винограденко А. М. Заявл. 21.03.2016. Оpubл. 28.04.2017. Бюл. № 13. 6 с.

16. Патент РФ 2624921. Устройство автоматического включения резерва / Будко П. А., Веселовский А. П., Литвинов А. И., Винограденко А. М. Заявл. 12.07.2016. Оpubл. 11.07.2017. Бюл. 20. 5 с.

17. Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M. Decision of the problems of the multiplexing and smoothings to telemetry information by means of local-polynomial models of the measured processes // Information systems and technology. 2009. Vol. 4 (54). Pp. 112–117.



## MODEL OF A SINGLE CENTRALIZED AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROLLING TECHNICAL CONDITION OF ARMAMENTS, MILITARY AND SPECIAL EQUIPMENT

**SERGEY V. KUZNETSOV,**

Moscow region, Mytisci, Russia, ksv@info-tp.ru

**ALEXEY M. VINOGRADENKO,**

St-Peterburg, Russia, Vinogradenko.a@inbox.ru

**KEYWORDS:** automated control system; technical condition; communication technology; technical support communication; telecommunication resources.

### ABSTRACT

The necessity in the development and implementation of a single centralized automated system for control of technical condition of communication equipment and automated control systems. The model combined the centralized automated management system of technical condition of communication equipment and automated control systems allowing to optimize its performance, decrease the likelihood of poor decision-making, increase production capabilities and reduce costs of repair administration at all levels of the system of technical support through the implementation of automation, maintenance and repair of equipment communications and automated control system. The organizational basis of functioning of the automated control system of technical condition is the regulation of interaction of bodies of military management and communication parts at the decision of tasks of technical support of weapons and military equipment and technical support of communications and automated control systems. The technological basis of the formation of the automated system of control of technical condition is the convergence of modern measuring and information-telecommunication technologies, which greatly improve the efficiency of the management system of technical support of communications and automated control systems at all organizational and technical levels. The technical basis for the formation of the automated system for maintenance management is the implementation in the departments of technical communications and automated control systems at all levels of automated systems of control and diagnostics through the use of automated unified trunk-modular and network measurement systems uniform standard, virtual measurement tools, successful application of which the troops showed their effectiveness in the maintenance and repair of equipment connection, the decision of tasks of constant monitoring of telecommunication resources.

### REFERENCES

1. Zayats C.V., Semenov S.S., Tchihachev A.V. The development of technical communication and automation. *Military thought*. 2014. No. 11. Pp. 37-40. (In Russian)
2. Zayats C.V., Tchihachev A.V. Problem lifecycle management tools (facilities) communication and automated control systems. *Problems the technical support of troops in modern conditions*. 2016. Pp. 211-213. (In Russian)
3. Borzikin D.V., Zayats C.V., Zgerskiy R.V. Promising tools for maintenance and repair of means of communication in the field. *Problems the technical support of troops in modern conditions*. 2016. Pp. 137-142. (In Russian)
4. Hartchenko E.B., Zayats C.V., Tchihachev A.V. Analysis of the status and prospects of development of system of technical support of communications and automated control systems. *Problems the technical support of troops in modern conditions*. 2016. Pp. 11-15. (In Russian)
5. Burianov O.N., Veselovskiy A.P., Vinogradenko A.M. Operational control of technical condition of movable electrical facilities. *Modern problems of creation and operation of weapons, military and special equipment*. 2016. Pp. 178-184. (In Russian)
6. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Litvinov A.I. Experimental study of the kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*. 2014. No. 9. Pp. 53-58. (In Russian)
7. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Litvinov A.I. Implementation of the kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*. 2014. No. 8. Pp. 37-44. (In Russian)
8. Vinogradenko A.M., Ladonkin O.V., Yurov A.S. System for condition monitoring of mobile objects for military purposes with the use of wireless technologies. *T-Comm*. 2015. Vol. 9. No. 1. Pp. 51-55. (In Russian)

9. Patent RF 90916. *Sistema dlya kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya radioelektronnykh ob'ektov* [System for monitoring technical state of radio electronic facilities]. Vinogradenko A.M., Fedorenko I.V., Semenenko A.V. Declared 05.08.2009. Published 20.01.2010. Bulletin No. 2. 6 p. (In Russian)

10. Patent RF 2450335. *Sposob raspredelennoy kontrolya i adaptivnogo upravleniya mnogourovnevnoy sistemoy i ustroystvo dlya ego syshchestvleniya* [Method for distributed monitoring and adaptive control of a multi-level system and device for its implementation]. Budko P.A., Budko N.P., Vinogradenko A.M., Doroshenko G.P., Roghnov A.V., Mineev V.V., Muhin A.V. Declared 11.07.2011. Published 10.05.2012. Bulletin No. 13. 5 p. (In Russian)

11. Patent RF 96676. *Sistema kontrolya parametrov tekhnologicheskikh ob'ektov* [The system of control of parameters of technological objects]. Vinogradenko A.M., Fedorenko I.V. Declared 09.03.2010. Published 10.08.2010. Bulletin No. 22. 6 p. (In Russian)

12. Vinogradenko A.M. The model of the system of monitoring of controlled objects of the control point management. *Neurocomputers: development, application*. 2016. No. 1. Pp. 65-72. (In Russian)

13. Patent RF 2413977. *Ustroystvo dlya kontrolya radioelektronnykh ob'ektov* [Device for controlling electronic objects]. Vinogradenko A.M., Fedorenko V.V., Fedorenko I.V. Declared 05.08.2009. Published 10.03.2011. Bulletin No 7. 4 p. (In Russian)

14. Patent RF 2354055. *Ustroystvo dlya ismereniya signalov* [A device for measuring signals]. Vinogradenko A.M., Fedorenko V.V. Declared 23.07.2007. Published 27.04.2009. Bulletin No. 12. 7 p. (In Russian)

15. Patent RF 2617982. *Ustroystvo dlya signalizatsii otkloneniy parametrov pri dopyskovom kontrole* [Device for signalling deviation of the parameter with tolerance control]. Budko P.A., Veselovsky A.P., Pedan A.V., Litvinov A.I., Vinogradenko A.M. Declared 21.03.2016. Published 28.04.2017. Bulletin No. 13. 6 p. (In Russian)

16. Patent RF 2624921. *Ustroystvo avtomaticheskogo vklyucheniya rezervy* [The device of automatic inclusion of reserve]. Budko P.A., Veselovsky A.P., Litvinov A.I., Vinogradenko A.M. Declared 12.07.2016. Published 11.07.2017 r. Bulletin No. 5 p. (In Russian)

17. Fedorenko V.V., Vinogradenko A.M. Decision of the problems of the multiplexing and smoothings to telemetry information by means of local-polynomial models of the measured processes. *Information systems and technology*. 2009. No. 4 (54). Pp. 112-117. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Kuznetsov S. V., Main designer of "Informtekhproekt" - Main designer of the system of technical communication and automation systems automation system of the Armed forces of the Russian Federation; Vinogradenko A. M., PhD, docent, doctoral candidate, Military Academy of telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny.

**For citation:** Kuznetsov S. V., Vinogradenko A. M. Model of a single centralized automated system for controlling technical condition of armaments, military and special equipment. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 48-54. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10096 (In Russian)



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10097

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

**ОНУФРЕЙ**

**Андрей Юрьевич<sup>1</sup>**

**КАКАЕВ**

**Виталий Викторович<sup>2</sup>**

**КУРАКИН**

**Сергей Зосимович<sup>3</sup>**

**ЕРШОВ**

**Юрий Алексеевич<sup>4</sup>**

### Сведения об авторах:

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, onufrey\_a@mail.ru

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, начальник отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, kakaev\_vv@mail.ru

<sup>3</sup>к.т.н., доцент, начальник сектора Санкт-Петербургского филиала Акционерного общества «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца», г. Санкт-Петербург, Россия, kurakin@smtп.ru

<sup>4</sup>к.т.н., начальник группы отдел Главного управления научно-исследовательской деятельности и технологического сопровождения передовых технологий (инновационных исследований) Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва, Россия, ershofqq@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

Эффективность применения систем военного назначения существенно зависит от качества подготовки военных специалистов, эксплуатирующих эти системы. Перспективным направлением повышения качества подготовки военных специалистов является применение учебно-тренировочных средств, позволяющих проводить обучение и тренировки по отработке порядка действий обслуживающего персонала в различных условиях изменения внешней обстановки, технического состояния средств и информационного взаимодействия с вышестоящими командными пунктами.

В настоящее время проводится внедрение в учебный процесс высших военных учебных заведений учебно-тренировочных средств, предназначенных для подготовки военных специалистов, эксплуатирующих радиолокационные станции высокой заводской готовности метрового и дециметрового диапазонов типа «Воронеж-М» и «Воронеж-ДМ».

Учебно-тренировочные средства для подготовки военных специалистов в высших учебных заведениях могут применяться для:

- теоретических форм обучения (лекций, семинаров, самостоятельной работы), включая контроль знаний, по различным видам подготовки с целью формирования необходимых знаний у обучаемых на основе проведения занятий с использованием обучающих систем;
- практических форм обучения (практических занятий, командно-штабных учений, военно-специальных игр) и смешанных форм обучения (групповых занятий) по специальной подготовке на основе проведения тренировок на учебно-тренировочных средствах с целью получения обучаемыми необходимых практических навыков.

В работе на основе сравнительного анализа учебно-тренировочных средств для радиолокационных станций высокой заводской готовности «Воронеж-М» и «Воронеж-ДМ» рассмотрены основные принципы построения унифицированных учебно-тренировочных комплексов для радиолокационных станций. Структурно в составе учебно-тренировочных средств выделены две основные составляющие: учебно-тренировочный комплекс, включающий технические и программные средства, и учебно-методический комплекс, включающий учебно-методическое обеспечение для проведения учебных занятий на учебно-тренировочном комплексе.

На основе опыта разработки учебно-тренировочных комплексов для радиолокационных станций высокой заводской готовности определены перспективные направления совершенствования учебно-тренировочных средств и их применения в высших военных учебных заведениях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** учебно-тренировочные средства; учебно-тренировочный комплекс; учебно-методический комплекс; электронные учебные пособия; теоретическая и практическая подготовка; обучение; тестирование; тренировка, контрольная проверка, радиолокационные станции высокой заводской готовности..

**Для цитирования:** Онуфрей А.Ю., Какаев В.В., Куракин С.З., Ершов Ю.А. Перспективы применения учебно-тренировочных средств для подготовки военных специалистов в высших учебных заведениях // Научное издание «Технологии в космических исследованиях Земли». 2018. Т. 10. № 4. С. 55–63. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10097

## Введение

Важнейшей составляющей систем военного назначения являются информационные средства — радиолокационные станции (РЛС) различных типов, осуществляющие непрерывный контроль воздушно-космического пространства. Перспективным направлением совершенствования информационных средств является создание радиолокационных станций высокой заводской готовности (РЛС ВЗГ), а также учебно-тренировочных средств (УТС) для подготовки военных специалистов, эксплуатирующих эти системы.

В основу создания РЛС ВЗГ положен модульный принцип построения, при котором РЛС разделяется на специализированную частотно-зависимую часть (ЧЗЧ) и унифицированную частотно-независимую часть (УЧНЧ), применяемую для построения РЛС различных частотных диапазонов (М, ДМ, СМ). Особенностью построения РЛС ВЗГ является также то, что в их состав включаются штатные учебно-тренировочные комплексы (УТК) для подготовки номеров боевых расчетов, эксплуатирующих эти системы в процессе несения боевого дежурства.

- Создаваемые РЛС ВЗГ являются сложными техническими изделиями и требуют от эксплуатирующего персонала высокого уровня их технической подготовки и владения специальными навыками, а от боевого расчета — изучение персоналом принципов построения и функционирования изделия;

- отработка профессиональных навыков работы, технического обслуживания и ремонта изделия;

- повышение слаженности боевых расчетов дежурных сил, выполняющих задачу боевого дежурства;

- повышение уровня обученности личного состава.

Для достижения поставленных целей с помощью УТС РЛС ВЗГ в войсках решаются следующие задачи:

- теоретическая подготовка (обучение) личного состава боевых расчетов по технической, тактической и специальной подготовке;

- практическая подготовка (тренировка) личного состава боевых расчетов по специальной подготовке с целью освоения и отработки навыков, необходимых для выполнения своих функциональных обязанностей и инструкций;

- контроль, регистрация и оценка качества подготовки обучаемых на всех этапах проведения теоретической и практической подготовки.

УТС обеспечивают проведение теоретических занятий по технической, тактической и специальной подготовке, а также практических занятий по специальной подготовке путем проведения тренировок по отработке порядка действий лиц боевого расчета в различных условиях изменения внешней обстановки, технического состояния средств и информационного взаимодействия с вышестоящими командными пунктами.

Особенностью внедрения УТС РЛС ВЗГ в учебный процесс ВУЗов МО РФ является то, что они разрабатывались совместно с созданием РЛС ВЗГ и первоначально нашли применение в войсках, а в высших учебных заведениях МО РФ их применение весьма ограничено. При этом для применения УТС в ВУЗах МО РФ требуется их доработка с целью адаптации к специфике организации учебного процесса в высших учебных заведениях, в частности необходима существенная переработка его учебно-методического обеспечения с целью реализации профессиональных образовательных программ в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (ФГОС ВО) [1].

## 1. Современное состояние учебно-тренировочных средств РЛС в высших военных учебных заведениях

В современных условиях, исходя из того, что основным видом деятельности высших военных учебных заведений является подготовка специалистов для эксплуатации сложных технических систем, отвечающих квалификационным требованиям в соответствии со специальностью их подготовки, важным направлением повышения качества специалистов является внедрение автоматизированных обучающих систем (АОС) и комплексов учебно-тренировочных средств (УТС), позволяющих интенсифицировать учебный процесс [2–8].

Основное назначение автоматизированных обучающих систем (АОС) — формирование знаний и контроль качества их усвоения обучаемыми. Основное назначение комплексов учебно-тренировочных средств (УТС) — формирование навыков, необходимых специалистам при эксплуатации сложных технических систем реального времени и которые могут быть получены только в процессе проведения тренировок.

Процесс подготовки специалистов при использовании АОС и УТС включает проведение учебных занятий с использованием средств вычислительной техники, предназначенных для автоматизации процесса подготовки специалистов.

Применение учебно-тренировочных средств РЛС ВЗГ в высших учебных заведениях (ВУЗах) МО РФ позволяет решать следующие задачи [1]:

1. Проведение теоретической подготовки специалистов на основе проведения учебных занятий с использованием обучающих систем (лекций, групповых занятий).

2. Проведение контроля знаний обучаемых при текущем контроле успеваемости на основе системы тестирования с использованием контрольных тестов.

3. Проведение практической подготовки специалистов на основе проведения тренировок на учебно-тренировочных средствах с целью получения обучаемыми необходимых практических навыков (практических занятий, командно-штабных учений, военно-специальных игр).



4. Проведение контрольных проверок с целью определения качества полученных практических навыков (контрольных занятий).

Использование УТС позволяет интенсифицировать обучение, повысить эффективность обучения за счёт обеспечения его индивидуальности, реализовать принцип самостоятельности в обучении и высокую степень управления познавательным процессом. Кроме того, при проведении комплексных тренировок с распределением ролей номеров боевых расчетов обеспечивается слаживание работы операторов, деятельность которых связана с эксплуатацией сложных технических систем реального времени.

В настоящее время в высших учебных заведениях МО РФ, хотя и в ограниченном составе, применяются учебно-тренировочные средства, предназначенные для подготовки военных специалистов, эксплуатирующих радиолокационные станции высокой заводской готовности (РЛС ВЗГ) метрового и дециметрового диапазонов типа «Воронеж-М» и «Воронеж-ДМ». В частности, учебно-тренировочные средства (устаревшей модификации) для РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ» нашли применение в Военной академии воздушно-космической обороны имени Маршала Советского Союза Г. К. Жукова (г. Тверь), а учебно-тренировочные средства для РЛС ВЗГ «Воронеж-М» — в Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург).

Следует отметить, что УТС, разработанные для объектов РЛС ВЗГ «Воронеж-М» и РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ», имеют существенные отличия в подходах к их построению и характеризуются определенными достоинствами и недостатками [9–11].

Достоинствами УТК, разработанных для объектов РЛС ВЗГ «Воронеж-М» являются:

1. Средства УТК могут использоваться в качестве запасного командного пункта (ЗКП) изделия.

2. Рабочие места (РМ) УТК для номеров боевых расчетов (БР) — штатные.

Основными недостатками УТК, разработанных для объектов РЛС ВЗГ «Воронеж-М», являются:

1. Высокая стоимость УТК из-за использования штатных РМ.

2. Возможность проведения практической подготовки на специализированных штатных местах только номеров боевых расчетов, для которых они предназначены, с ограничением возможностей по теоретической подготовке.

3. Ограниченные возможности для проведения слаживания различных составов боевых расчетов из-за специализации рабочих мест.

4. Невозможность обучения номеров боевых расчетов РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ».

Достоинствами УТК, разработанных для объектов РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ» являются:

1. Более низкая стоимость УТК из-за использования универсальных РМ.

2. Возможность проведения как теоретической, так и практической подготовки номеров боевых расчетов на всех рабочих местах УТК.

3. Использование универсальных РМО, что позволяет проводить тренировки на них с различным составом номеров боевых расчетов.

4. Возможность проведения комплексных тренировок для слаживания различных составов боевых расчетов.

5. Использование ПЭВМ моделирования, что обеспечивает возможность создания комплексных сценариев тренировок, включая имитацию внешней обстановки, технического состояния средств и взаимодействия с КП (ЗКП).

6. Организация учебного процесса на УТК на основе тематического плана учебных занятий и учета результатов обучения в электронном журнале.

Недостатком УТК, разработанного для объектов РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ» является, то, что обучение и тренировки проводятся на универсальных рабочих местах, эмулирующих реальные РМ номеров боевых расчетов.

Анализ указанных недостатков и достоинств современных учебно-тренировочных средств, применяемых в вузах МО РФ и войсках, показывает, что каждый из подходов к построению УТК имеет отдельные преимущества. Однако, с целью сокращения затрат на разработку и сопровождение учебно-тренировочных средств целесообразно сформировать принципы построения унифицированных УТК для перспективных РЛС. На следующих этапах необходимо с учетом унификации УТС рассмотреть возможность их использования в высших учебных заведениях МО РФ.

Для рассмотрения принципов построения унифицированных УТС дадим более подробную характеристику учебно-тренировочных средств РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ», являющихся наиболее проработанными средствами.

## **2. Характеристика учебно-тренировочных средств РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ»**

### **2.1. Основные принципы построения УТС РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ»**

В основу создания УТС для РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ» положены принципы построения унифицированных учебно-тренировочных комплексов (УТК) для радиолокационных станций высокой заводской готовности [11].

К основным принципам построения УТК относятся:

1. Принцип идентичности представления информации на средствах УТК и рабочих местах лиц боевого расчета.

2. Принцип максимального приближения условий выполнения задач на рабочих местах УТК и боевых постах.

3. Принцип воспроизведения записанных эпизодов оперативно-тактической обстановки и технического состояния РЛС в масштабе реального времени.

4. Принцип блочно-модульного построения УТК.
5. Принцип автономности функционирования УТК.
6. Принцип адаптивного управления режимами функционирования и формирования сценариев учебных занятий.

7. Принцип универсальности рабочих мест.

Концепция построения унифицированных учебно-тренировочных средств предусматривает наличие в составе УТС трех основных составляющих [11]:

- вычислительных средств для построения рабочих мест (РМ УТК);
- программного обеспечения УТК (ПО УТК);
- учебно-методического комплекса (УМК) для обеспечения проведения занятий на УТК.

Поскольку вычислительные средства и программное обеспечение функционально неразделимы, можно выделить две основные составляющие, входящие в учебно-тренировочные средства:

- УТК, состоящий из технических и программных средств, а также элементов общего оснащения;
- УМК, включающий методические разработки, электронные учебные пособия, плакаты, фильмы.

## 2.2. Структура и составляющие УТС РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ»

Структура УТС РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ», применяемых в войсках и построенных на основе приведенных принципов построения унифицированных УТК, представлена на рис. 1.

Рассмотрим особенности построения составляющих УТС на основе опыта создания УТС для РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ» [12–15].

Учебно-тренировочный комплекс (УТК) РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ» включает:

### 1. Технические средства.

Состав технических средств УТК приведен на рис. 2.

В состав технических средств УТК входят шесть универсальных рабочих мест операторов (РМО) и одно рабочее место инструктора (РМИ), соединенные сетью FastEthernet.

Количество РМО определено составом номеров боевого расчета, достаточным для проведения слаживания. В УТК предусмотрено три РМО для номеров оперативно-командного состава (КДС, ПКДС, ДИ) и три РМО для инженерно-технического состава (начальников боевого расчета (НБР) и инженеров эксплуатационных отделов).

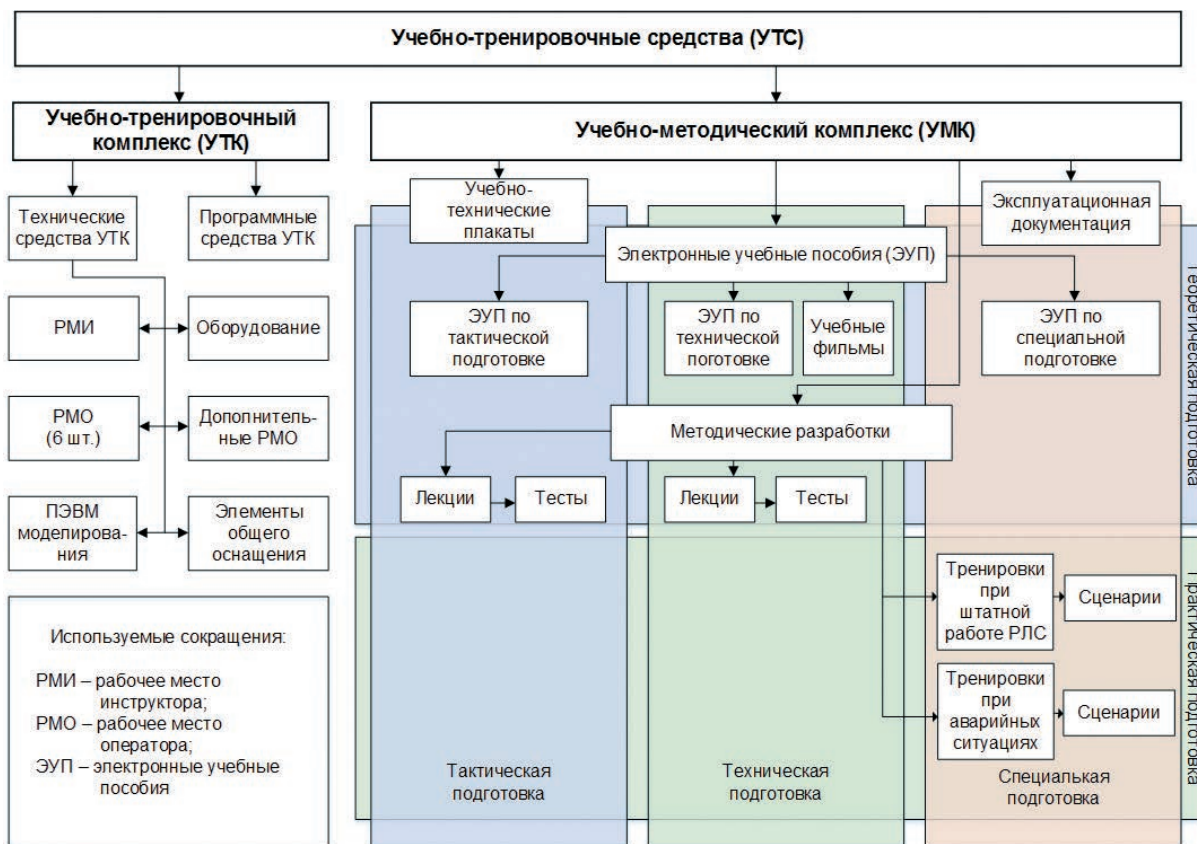


Рис. 1. Структура УТС РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ»

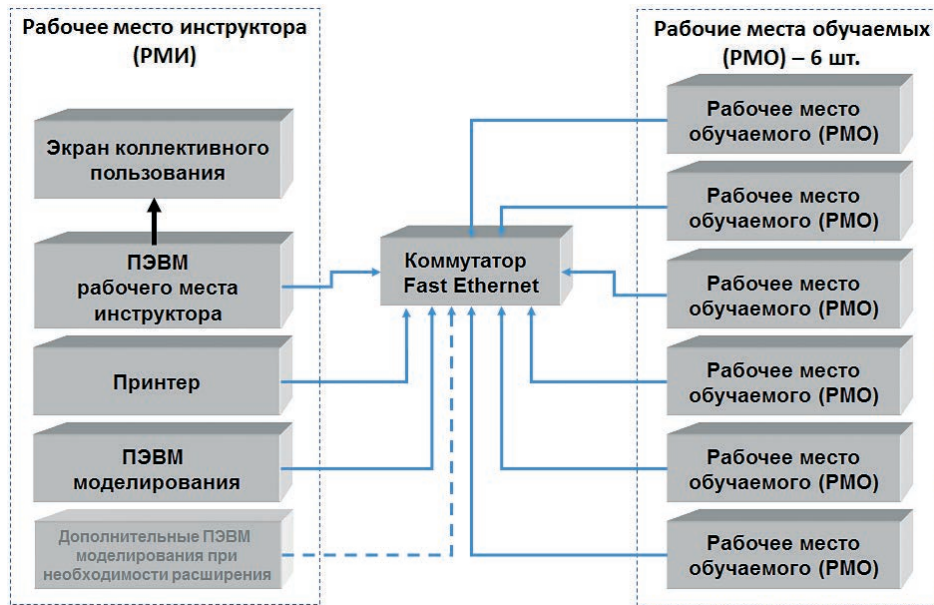


Рис. 2. Состав технических средств УТК РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ»

В состав РМИ входят:

- ПЭВМ рабочего места инструктора, включающего экран коллективного пользования;
- ПЭВМ моделирования, имеющая повышенную производительность;
- принтер.

Требования по обеспечению моделирования различных ситуаций, возникающих при функционировании РЛС, накладывают повышенные требования к производительности ПЭВМ моделирования. Функциональные возможности УТК напрямую зависят от наличия тех или иных комплексов программ, развернутых на ПЭВМ моделирования.

В случае технической необходимости расширения функциональных возможностей УТК, ПЭВМ моделирования может быть дополнена одной или несколькими ПЭВМ, на которых может быть размещено программное обеспечение, моделирующее функционирование РЛС и имитирующее работу штатной аппаратуры при изменении внешней обстановки, технического состояния средств, информационного взаимодействия с вышестоящими командными пунктами (КП), в том числе, при возникновении аварийных ситуаций.

2. *Элементы общего оснащения*, включающие символику и принадлежности, обеспечивающие при проведении занятий необходимый антураж, приближающий практические занятия к боевому дежурству.

3. *Программное обеспечение УТК* (ПО УТК), предназначенное для проведения теоретической подготовки путем работы с электронными учебными пособиями (ЭУП) и тестирования знаний обучаемых, а также практической подготовки

путем проведения тренировок по различным сценариям изменения внешней обстановки, технического состояния средств и информационного взаимодействия с вышестоящими КП. Для проведения практической подготовки в состав ПО УТК включаются адаптированные комплексы программ из состава штатного ФПО РЛС и имитаторы аппаратуры РЛС.

В состав ПО УТК входят пять комплексов программ:

- комплекс программ обеспечения функционирования УТК;
  - комплекс программ теоретической подготовки;
  - комплекс программ режима обучения;
  - комплекс программ режимов тренировки и контрольной проверки;
  - комплекс программ общесистемного ПО.
- Исходя из целей, стоящих перед УТС, имеются следующие режимы функционирования УТК:
- а) режимы теоретической подготовки:
    - режим работы с ЭУП (техническая, тактическая и специальная подготовка);
    - режим тестирования (техническая, тактическая подготовка);
  - б) режимы практической подготовки:
    - режим обучения (специальная подготовка);
    - режим тренировки (специальная подготовка);
    - режим контрольной проверки (специальная подготовка).

Перечисленные режимы работы в зависимости от типа занятия выбирает инструктор на РМИ, а также обучаемые на РМО. Выбор осуществляется в программной оболочке «Единая среда запуска». Из программной обо-

лочка «Единая среда запуска» на РМИ можно задать тот или иной режим РМИ или РМО, запустить выполнение сценария занятия, управлять выводом информации на экран коллективного доступа, вызывать данные, хранимые в электронном журнале.

На рабочем месте инструктора можно также менять настройки самой среды, управлять учетными записями обучающихся, редактировать электронные учебные пособия и сценарии занятий.

Наиболее востребованным режимом функционирования УТК РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ» является режим практической подготовки — режим тренировки. Его отличительными особенностями являются [6]:

1. Создание единого оперативно-тактического фона обучения.

2. Моделирование функционирования средств РЛС, внешней ракетно-космической и радиоэлектронной обстановки, а также взаимодействия с вышестоящим командным пунктом.

3. Моделирование обработки информации в целевом и помеховом каналах на основе штатного программного обеспечения.

4. Имитация командно-технического управления аппаратурой РЛС на основе применения штатной программы технического управления и контроля.

5. Отображение состояния ракетно-космической обстановки и технического состояния средств РЛС на основе применения штатной программы диалога и отображения.

6. Проведение тренировок лиц боевого расчета в соответствии с заданными сценариями, регистрация и хранение результатов тренировки, выдача необходимых отчетов.

Рассмотрим составляющие *учебно-методического комплекса (УМК)* из состава УТС РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ», предназначенного для обеспечения проведения учебных занятий на УТК при обучении и проведении тренировок номеров боевых расчетов в войсках.

В состав УМК входят:

Методические разработки, включающие материалы теоретических и практических занятий по технической, тактической и специальной подготовке, тесты для проверки знаний по теоретической подготовке и сценарии проведения тренировок на практических занятиях, порядки действий лиц боевого расчета в различных ситуациях при проведении занятий по специальной подготовке, демонстрационные пособия, поясняющие порядки действий лиц боевого расчета в конкретных ситуациях.

Электронные учебные пособия (ЭУП), включающие материалы по технической, тактической и специальной подготовке, представленные в электронном виде, и учебные фильмы, реализованные в виде отдельных ЭУП.

Эксплуатационная документация и учебно-технические плакаты по РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ», используемые

в качестве дидактических материалов при проведении учебных занятий.

Для повышения наглядности занятий по специальной подготовке на всю номенклатуру тренировок разработаны демонстрационные пособия по форме презентаций, включающие анимированные порядки действий, озвученные доклады, алгоритмы действий, нормативы и хронометраж отработки действий при заданной ситуации.

### 3. Направления совершенствования УТС РЛС ряда ВЗГ и их применения в высших учебных заведениях МО РФ

Для применения УТС, разработанных для РЛС ряда ВЗГ, в ВУЗах МО РФ требуется их доработка с целью адаптации к специфике организации учебного процесса в высших учебных заведениях.

К основным особенностям применения УТС в ВУЗах МО РФ относятся:

– организация учебного процесса на основе реализации профессиональных образовательных программ и образовательных технологий в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (ФГОС ВО), определяющими требования к формированию определенных компетенций у выпускников;

– необходимость существенной переработки учебно-методического обеспечения УТС для их адаптации к целям и задачам учебной программы по специальности и направлению подготовки выпускников;

– количество рабочих мест УТС должно обеспечивать возможность проведения учебных занятий на УТС с личным составом учебных групп;

– программное обеспечение УТС должно обеспечивать возможность подготовки обучающихся по разным специальностям подготовки выпускников.

На основе опыта разработки УТК для РЛС ВЗГ с целью внедрения УТС в учебный процесс высших учебных заведений МО РФ целесообразно определить следующие основные принципы построения унифицированных УТК для ВУЗов МО РФ:

1. Унификация вычислительных средств для построения рабочих мест операторов (РМО) УТК, обеспечивающая возможность применения унифицированных УТК для подготовки специалистов для эксплуатации объектов РЛС ВЗГ «Воронеж-М» и РЛС ВЗГ «Воронеж-ДМ». При этом вычислительные средства для построения универсальных РМО должны быть реализованы на базе универсальных ПЭВМ типа Intel с целью снижения общей стоимости комплекса.

2. Количество рабочих мест операторов УТК должно соответствовать количеству обучающихся в учебной группе (подгруппе). При этом распределение рабочих мест определяется потребностью одновременной подготовки

лиц боевых расчетов в соответствии с планом и сценарием проведения учебного занятия (тренировки).

3. При построении рабочего места инструктора (РМИ) в его состав включается отдельная ПЭВМ моделирования для реализации различных сценариев внешней целевой и помеховой обстановки, изменения технического состояний средств РЛС и имитации взаимодействия с вышестоящими КП.

4. Обеспечение программной настраиваемости РМО УТК на использование для подготовки номеров боевых расчетов оперативно-командного состава и командно-технического состава.

5. Адаптация программно-алгоритмического обеспечения УТС к условиям и специфике подготовки специалистов в высших военных учебных заведениях МО РФ, обеспечивающая автономность работы УТК и возможность развёртывания в учебных классах ВУЗов МО РФ.

## Выводы

1. Перспективным направлением повышения качества подготовки военных специалистов является применение учебно-тренировочных средств (УТС), позволяющих проводить обучение и тренировки по отработке порядка действий обслуживающего персонала при различных ситуациях, возникающих в процессе боевого дежурства.

2. Особенностью внедрения УТС в учебный процесс ВУЗов МО РФ является то, что они разрабатывались совместно с созданием РЛС ВЗГ и первоначально нашли применение в войсках, а в высших учебных заведениях МО РФ их применение весьма ограничено. При этом для применения УТС в ВУЗах МО РФ требуется их доработка с целью адаптации к специфике организации учебного процесса в высших учебных заведениях.

3. УТС в ВУЗах МО РФ могут применяться для реализации:

а) теоретических форм обучения (лекций, семинаров, самостоятельной работы), включая контроль знаний, по различным видам подготовки;

б) практических (практических занятий, командно-штабных учений, военно-специальных игр) и смешанных форм обучения (групповых занятий) по специальной подготовке.

При этом могут использоваться основные методы обучения: устное изложение, показ, тренировка, практическая и самостоятельная работа.

4. Применение разработанных УТС в ВУЗах МО РФ позволяет повысить качество подготовки военных специалистов и сократить время на их подготовку к выполнению задач боевого дежурства в войсках.

## Литература

1. Приказ Министра обороны РФ от 15 сентября 2014 г. N670 «О мерах по реализации отдельных положений

статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. N273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) // Система ГАРАНТ. URL: <http://base.garant.ru/70791866>.

2. Стручков А. М. Противоречия развития компьютерных учебно-тренировочных средств, предназначенных для теоретического обучения // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 55–60.

3. Печников А. Н., Ветров Ю. А. Проектирование и применение компьютерных технологий обучения. СПб: Балт. гос. техн. ун-т, 2003. С. 12–13.

4. Татаринцов А. А. Анализ и оценка технического уровня существующих УТС и других технических средств обучения // Сб. стат. 20 межвуз. НТК ВМИРЭ им. А. С. Попова. СПб.: ВМИРЭ, 2009. С. 27–30.

5. Ефремов О. Ю. Военная педагогика. СПб.: Питер, 2008. 640 с.

6. Скотников А. А., Погребняк Р. Н. Пути тренажерной подготовки войск // Военный парад. 2007. № 2 (80). С. 60–62.

7. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Филинь, 2003. 616 с.

8. Римашевский А. А., Ильин В. А., Праводелов А. С. Компьютерная система обучения и тренажа (КСОТ) для военно-морского института // Морской сборник. 2006. № 5. С. 32–35.

9. Логовский А. С., Ковальчук А. Н., Павлов В. А., Харбин Д. А. Основы построения и функционирования РЛС ВЗГ. Монография. Тверь: ВА ВКО, 2015. 204 с.

10. Логовский А. С., Лепешкин С. А., Шульга И. Н., Богомаз Д. В. Концепция построения и применения автоматизированных учебно-тренировочных средств в учебном процессе для подготовки специалистов по эксплуатации РЛС дальнего обнаружения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 4. С. 4–8.

11. Куракин С. З., Якубовский С. В., Улиско М. Н. Разработка концепции создания унифицированных учебно-тренировочных комплексов для радиолокационных станций высокой заводской готовности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 6. С. 8–12.

12. Бугаев В. С., Куракин С. З., Мирошниченко С. А., Якубовский С. В. Перспективные направления совершенствования учебно-тренировочных средств для РЛС высокой заводской готовности // Сб. статей «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники» 3 том. Материалы III-й Всероссийской научно-практической конференции. СПб: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2017. С. 354–359.

13. Бугаев В. С., Куракин С. З., Якубовский С. В. Опыт создания и направления развития учебно-тренировочных средств радиолокационного вооружения высокой заводской готовности // Сборник научных трудов «Проблемы

обороноспособности и безопасности». М.: ФГБНУ «Экспертно-аналитический центр», 2015. Вып. 14. С. 224–231.

14. Бугаев В.С., Куракин С.З., Якубовский С.В. Разработка программных средств автоматизации подготовки эксплуатирующего персонала радиолокационных станций высокой заводской готовности // Сборник научных трудов «Проблемы обороноспособности и безопасности». М.: ФГБНУ «Экспертно-аналитический центр», 2016. Вып. 16. С. 185–196.

15. Бугаев В.С., Куракин С.З., Якубовский С.В. Создание учебно-тренировочных средств радиолокационных станций высокой заводской готовности // Научно-технический сборник трудов научно-технической конференции «Проблемы создания и испытаний вооружений ракетно-космической обороны». М.: НИИЦ ЦНИИ ВВКО МО РФ, 2016. С. 161–169.

---

## PERSPECTIVES OF APPLICATION OF EDUCATIONAL-TRAINER MEANS FOR TRAINING OF MILITARY SPECIALISTS IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

**ANDREY YU. ONUFREY,**

St. Petersburg, Russia, onyfrey\_a@mail.ru

**VITALIY V. KAKAEV,**

St. Petersburg, Russia, kakaev\_vv@mail.ru

**SERGEY Z. KURAKIN,**

St. Petersburg, Russia, kurakin@smtp.ru

**YURI A. ERSHOV,**

Moscow, Russia, ershofqq@mail.ru

**KEYWORDS:** training facilities; training facility; training complex; educational-methodical complex; electronic training manuals; electronic textbooks; theoretical and practical preparation; training; testing; control check; verification; radar station of high factory readiness; high-availability radar stations.

### ABSTRACT

The effectiveness of use of military systems depends significantly on quality of training of the military specialists, which exploiting these systems. The perspective direction of improvement of quality of training of military specialists is application of the educational-trainer means, which allow for training and training in working out the procedure for operating personnel in various conditions of changing the external situation, technical condition of the means and information interaction with higher command posts.

Currently, higher military educational institutions used the training funds for the training of military specialists operating radar station of high factory readiness meter and decimeter ranges of the types «Voronezh-M» and «Voronezh-DM».

Training facilities for the training of military specialists in higher education institutions can be used for:

- theoretical training of specialists with the purpose of formation of necessary knowledge of the trainees on the basis of the automated training sessions;
- control of knowledge of trainees on the basis of system testing using the test cases;
- practical training of specialists on the basis of training at the training tools with the aim to receive trainees the necessary practical skills;

- out reference checks to determine the quality of the obtained practical skills.

In article on the basis of the comparative analysis of training facilities for VZG radar «Voronezh-M» and «Voronezh-DM» discusses the concept and principles of standardized training systems for radar. Structurally in the composition of the training funds allocated two principal components: training facilities, including hardware and software, and training complex including training and methodological support for training at the training centers.

Based on the experience of development of training complexes for radar high factory readiness identified promising directions of improvement of training aids and their applications in higher military educational institutions.

### REFERENCES

1. О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» / Приказ Министра обороны Российской Федерации от 15 сентября 2014 г. № 670. [About measures for implementation of separate provisions of Article 81 of the Federal Law of 29 December 2012 № 273-FZ «On Education in Russian Federation» / The Order of the Minister

- of Defense of the Russian Federation of 15 September 2014. No. 670]. (In Russian)
2. Struchkov A.M. The development contradictions of computer training facilities for classroom training. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2013. No. 2. Pp. 55-60. (In Russian)
  3. Pechnikov A.N., Vetrov Y.A. *Proektirovanie i primenenie komp'yuternykh tekhnologij obucheniya* [Design and application of computer training technology]. St. Petersburg: Baltic state technical University Publ., 2003. Pp. 12-13. (In Russian)
  4. Tatarinov A.A. Analiz i ocenka tekhnicheskogo urovnya sushchestvuyushchih UTS i drugih tekhnicheskikh sredstv obucheniya [Analysis and evaluation of the technical level of the existing training tools and other technical training]. *Sbornik statej 20 mezhvuzovskoj NTK VMIRE im. A.S. Popova* [The collection of articles 20 interuniversity scientific and technical conference of VMIRE named after A.S. Popov]. St. Petersburg: Voenno-Morskoy Institut Radioelektroniki im. A.S. Popova Publ., 2009. Pp. 27-30. (In Russian)
  5. Efremov O.Y. *Voennaya pedagogika* [Military pedagogy]. St. Petersburg: Piter, 2008. 640 p. (In Russian)
  6. Skotnikov A.A., Pogrebnyak R.N. Puti trenazhernoj podgotovki vojsk. [The way of the army training]. *Voennyj parad* [Military parade]. 2007. No. 2 (80). Pp. 60-62. (In Russian)
  7. Bashmakov A.I., Bashmakov I.A. *Razrabotka komp'yuternykh uchebnikov i obuchayushchih sistem*. [Development of computer textbooks and training systems]. Moscow: Filin, 2003. 616 p. (In Russian)
  8. Rimashevsky A.A., Ilyin V.A., Pravodelov A.S. Komp'yuternye sistemy obucheniya i trenazha dlya voenno-morskih institutov [Computer systems of education and training for the naval institutes]. *Morskoy sbornik* [Sea collection]. 2006. No. 5. Pp. 32-35 (In Russian)
  9. Logovsky A.S., Lepeshkin S.A., Shulga I.N., Bogomaz D.V. *Osnovy postroeniya i funkcionirovaniya RLS VZG*. [Fundamentals of construction and operation of radar stations of high factory readiness]. Monograph. Tver: Voennaya akademiya Vozdushno-kosmicheskoy Oborony Imeni Marshala Sovetskogo Soyuza G.K. Zhukova Publ., 2015. 204 p. (In Russian)
  10. Logovsky A.S., Kovalchuk A.N., Pavlov V.A., Kharebin D.A. The concept of construction and application of automated training equipment in the educational process for training specialists for the exploitation of long range radar. *T-Comm*. 2016. Vol. 10. No. 4. Pp. 4-8. (In Russian)
  11. Kurakin S.Z., Yakubovsky S.V., Ulisko M.N. Razrabotka koncepcii sozdaniya unificirovannykh uchebno-trenirovochnykh kompleksov dlya radiolokacionnykh stancij vysokoj zavodskoj gotovnosti [Development of the concept of standardized training systems for radar stations of high factory readiness]. *T-Comm*. 2016. Vol. 10. No. 6. Pp. 8-12. (In Russian)
  12. Bugaev V.S., Kurakin S.Z., Miroshnichenko S.A., Yakubovsky S.V. Razrabotka koncepcii sozdaniya unificirovannykh uchebno-trenirovochnykh kompleksov dlya radiolokacionnykh stancij vysokoj zavodskoj gotovnosti. [The perspective directions of enhancement of trainer means for radar station of high factory readiness]. *Sbornik statej «Sovremennye problemy sozdaniya i ehkspluatacii vooruzheniya, voennoj i special'noj tekhniki»*. 3 tom. *Materialy III-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [The collection of articles "Modern problems of creation and operation of weapons, military and special equipment". 3 volume. Materials of the III All-Russian scientific and practical conference]. St. Petersburg: VKA of A.F. Mozhaysky, 2017. Pp. 354-359. (In Russian)
  13. Bugaev V.S., Kurakin S.Z., Yakubovsky S.V. Opyt sozdaniya i napravleniya razvitiya uchebno-trenirovochnykh sredstv radiolokacionnogo vooruzheniya vysokoj zavodskoj gotovnosti [The experience of creating and directing the development of training and training facilities for radar weapons of high factory readiness]. *Sbornik nauchnykh trudov «Problemy oboronosposobnosti i bezopasnosti»* [The collection of scientific works "Problems of Defense and Security"]. Moscow: FGBNU "Expert Analytical Center", 2015. No. 14. Pp. 224-231. (In Russian)
  14. Bugaev V.S., Kurakin S.Z., Yakubovsky S.V. Razrabotka programnykh sredstv avtomatizacii podgotovki ehkspluatiruyushchego personala radiolokacionnykh stancij vysokoj zavodskoj gotovnosti. [Development of software to automate the training of operating personnel of radar stations of high factory readiness]. *Sbornik nauchnykh trudov «Problemy oboronosposobnosti i bezopasnosti»* [The collection of scientific works "Problems of Defense and Security"]. Moscow: Expert-Analytical Center, 2016. No. 16. Pp. 185-196. (In Russian)
  15. Bugaev V.S., Kurakin S.Z., Yakubovsky S.V. Sozdanie uchebno-trenirovochnykh sredstv radiolokacionnykh stancij vysokoj zavodskoj gotovnosti. [Creation of educational and training facilities of radar stations of high factory readiness]. *Nauchno-tekhnicheskij sbornik trudov nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Problemy sozdaniya i ispytaniy vooruzhenij raketno-kosmicheskoy oborony»* [Scientific and technical collection of works of scientific and technical conference "Problems of creation and testing of weapons of rocket and space defense"]. Moscow: Central Research Institute of the Air Forces of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2016. Pp. 161-169. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Onufrey A.Yu., PhD, professor, leading researcher of the Military Institute (research and development) Mozhaysky Military Space Academy; Kakaev V.V., PhD, docent, head of department of the Military Institute (research and development) Mozhaysky Military Space Academy; Kurakin S.Z., PhD, docent, head of sector of the St. Petersburg branch Joint Stock Company «Academician A.L. Mintz Radiotechnical institute»; Ershov Yu. A., PhD, head of the group of the department of the Main Department of research and technological support of advanced technologies (innovative research) of the Ministry of defense of the Russian Federation.

**For citation:** Onufrey A.Yu., Kakaev V.V., Kurakin S.Z., Ershov Yu. A. Perspectives of application of educational-trainer means for training of military specialists in higher educational institutions. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 55-63. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10097 (In Russian)

doi: 10.24411/2409-5419-2018-10098

## ЭЛЕМЕНТЫ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМ СОНИФИКАЦИИ КАК ЧАСТИ ИНТЕРНЕТА ЗВУКА

**РОГОЗИНСКИЙ**  
**Глеб Гендрихович**

### АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются системные вопросы построения комплексов полимодально-го мониторинга со слоем представления данных в виде неречевого звука. Задача исследования аудиальных систем как частного случая полимодальных интерфейсов пользователя обусловлена необходимостью перераспределения информационной нагрузки на человека-оператора, развитием ассистивных технологий, миниатюризацией визуальных компонентов интерфейсов пользователя и дальнейшими тенденциями к аугментации окружающей среды. Совокупность методов звукового неречевого представления данных составляет основу сонификации, находящейся на стыке акустики, звукового дизайна, компьютерных музыкальных технологий, обработки данных, технологий data mining и инфотелекоммуникаций. В работе предложены перспективные приложения сонификации в срезе современной пост-NGN платформы. Даны предполагаемые пути конвергенции рассматриваемых приложений. Раскрыт программно-аппаратный аспект построения систем сонификации и других сопутствующих систем с использованием аудиальной модальности. Приведены особенности открытого протокола OSC (Open Sound Control) для обмена сообщениями внутри сетей компьютерных устройств генерации и обработки звука. Дан пример возможного обмена сообщениями на основе OSC между интерфейсом пользователя и сервером сонификации. Приведен сравнительный анализ современных языков компьютерной музыки и обработки сигналов с точки зрения использования для задач построения комплексов сонификации. Описана инфраструктурная модель Интернета звука как конвергенции различных звуковых систем, включающих в себя аудиальные компоненты интерфейсов операторов ситуационных центров, подсистемы Data over Audio внутри VANET- и WBAN- сегментов, ассистивные компоненты в рамках сетей носимых и имплантируемых устройств, облачные технологии для задач сонификации, киберфизические и кибербиологические структуры.

### Сведения об авторе:

к.т.н., доцент кафедры радиосвязи и вещания  
Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникации  
имени профессора М.А. Бонч-Бруевича,  
с.н.с. Институт проблем транспорта  
имени Н.С. Соломенко Российской академии  
наук, г. Санкт-Петербург, Россия,  
gleb.rogozinsky@gmail.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сонификация; киберфизические системы; интернет звука; инфраструктура; программно-аппаратные решения.

**Для цитирования:** *Рогозинский Г.Г.* Элементы архитектуры систем сонификации как части Интернета звука // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 4. С. 64–71. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10098



## Введение

*Сонификация*, как совокупность методов представления различных данных с помощью неречевого звука, начинает свою историю с работ Крамера (Kramer) [1], Бараша (Barrass) [2], Эдворти (Edworthy) [3] и других, появившихся в конце 90х годов XX века на стыке акустики, компьютерных музыкальных технологий и анализа данных.

В наши дни элементы сонификации получают разнообразное применение в различных системах мониторинга, однако, существующие методы сонификации не обладают достаточным инструментарием для системного подхода к аудиальному представлению состояния сложных систем, в том числе и *киберфизических*, как наиболее актуальных сегодня в контексте Четвертой промышленной революции (Industry 4.0). Киберфизические системы представляют собой новую технологическую парадигму, объединяющую различные информационно-телекоммуникационные системы с позиций интеграции в единое целое слоя физических элементов и их информационных (кибернетических) представлений (цифровых теней) [4].

Ранее предложен ряд методов и моделей в рамках системного подхода к сонификации киберфизических систем [5–8], что позволило формализовать связи между киберфизической средой и звуковыми пространствами, определяющими звуковые объекты, формирующие тезаурус сонификации.

Указанные исследования носят, главным образом, теоретический характер, и на пути к практической реализации, в первую очередь, требуют определения соответствующей сетевой архитектуры и программных решений.

## Интернет звука и конвергенция звуковых технологий

Одной из характерных особенностей современных инфотелекоммуникационных технологий является их высокая конвергентность. Рассматривая частные вопросы сонификации в рамках более общей картины использования звуковых технологий, отметим наиболее вероятные конвергентные пути. Обозначение таких направлений позволит точнее сформулировать требования к будущим полимодальным системам и выявить наиболее перспективные конвергентные траектории.

Системы сонификации, изначально рассчитанные для задач звукового предъявления информации, в срезе современных аудиовизуальных технологий довольно близки к технологиям *звуковой аугментации*, т.е. дополнительного озвучивания тех или иных физических объектов для повышения информативности этих объектов. Среди последних на сегодняшний день наиболее важным приложением звуковой аугментации являются электромобили, так как уже многие страны с внедрением гибридных или полностью электрических двигателей столкнулись с новыми проблемами в сфере дорожной безопасности. При относительно низких

скоростях (до 30 км/ч) электромобили являются практически бесшумным транспортным средством и представляют существенную угрозу для пешеходов и велосипедистов. Этот факт обуславливает необходимость дополнительного озвучивания электромобилей [9]. Этому вопросу в последнее время было посвящено множество публикаций и исследований, обобщая которые следует прийти к выводу о том, что какой бы ни была звуковая аугментация транспорта, ее алгоритмы должны обладать когнитивными свойствами [10]. Это связано и с грядущим переходным этапом, когда автотранспорт с гибридными двигателями будет нуждаться в звуковой аугментации лишь на участках бестопливной работы, и с вопросами акустической экологии, и с запросами на индивидуальность и брендовость. Эти аспекты приводят к неэффективности использования набора подготовленных звуков, и при наличии полимодальных компонент интерфейса водителя, включающих в себя звуковую подсистему, последняя может взять на себя дополнительные функции по интеллектуальной звуковой аугментации автомобиля.

Следующей конвергентной компонентой являются технологии передачи данных по звуку (Data over Sound или Data over Audio). На данный момент есть как минимум два мультиплатформенных мессенджера, использующих технологии передачи различных данных по беспроводной акустической связи т.е. используя динамик устройства-отправителя и микрофон устройства-получателя. Это Chirp [11] и LISNR [12]. В контексте M2M соединений передача данных по звуку имеет ряд положительных особенностей. Звуковая передача требует минимум аппаратных элементов. Достаточно иметь излучатель (громкоговоритель) и приемник (микрофон) акустических сигналов. Кроме традиционного случая распространения в воздухе, акустические сигналы способны распространяться в жидкостях и в твердых телах на значительные расстояния. Среди приложений Data over Sound можно отметить бесконтактную идентификацию и т.д. Использование технологий Data over Sound требует наличия звуковой подсистемы и, следовательно, может быть реализовано за счет имеющейся полимодальной системы, включающей в себя аудиальную компоненту.

Слияние технологий Data over Sound и VANET-сетей позволит ввести новые способы V2X соединений. В частности, V2I (Vehicle-to-Infrastructure) соединение может быть реализовано по звуковому каналу, т.е. речь идет о звуковой идентификации автомобиля элементами «умной» инфраструктуры, например, «умной» стоянкой. Это не требует подключения транспортного средства к какой-либо беспроводной сети и упростит проектирование подобных систем. В частности, устаревшие комплекты бортового оборудования для взаимодействия способом Data over Sound должны просто обеспечить воспроизведение звука.

Общая совокупность звуковых технологий, как в одномодальном, так и в полимодальном аспекте, в контексте

современных тенденций дает нам право говорить об Интернете звука (Internet of Sound), как отдельном сегменте перспективных инфотелекоммуникационных технологий.

### Сетевая инфраструктура комплексов сонификации

На рис. 1 представлены приложения Интернета звука, образованные на основе различных систем сонификации, в том числе, как частных случаев полимодального представления данных, звуковой аугментации физической среды и т.д.

На данном рисунке выделено шесть основных сегментов: модель ситуационного центра с полимодальными компонентами мониторинга, WBAN-сегмент с полимодальной аугментацией, VANET-сегмент, сегмент киберфизических/кибербиологических объектов и облачное хранилище с набором сервисов.

**WBAN-сегмент с полимодальной аугментацией.** Сети носимых и имплантируемых устройств являются одним из перспективных компонентов пост-NGN платформы. В первую очередь, данные сети были разработаны

для решения задач телемедицины. Однако к исследованиям автора ближе всего находится приложение WBAN как персональная носимая часть интерфейсов систем контроля и мониторинга, а также для компенсации утраты зрительной способности у инвалидов по зрению.

В плоскости Data over Sound в этом сегменте раскрывается множество инновационных приложений — от бесконтактных индивидуальных систем идентификации (например, система «водитель — транспортное средство», «работник — интерфейс системы») до отдельных компонентов интерфейса пользователя.

**VANET-сегмент с передачей данных по аудио и полимодальными компонентами интерфейсов.** Сети транспортных объектов VANET также являются целевой областью для рассматриваемых в статье технологий. Внутри кабины транспортного средства водитель получает возможность работы с полимодальным интерфейсом. В этом случае аудиальная и тактильная модальности являются основными вспомогательными компонентами, которые позволяют сохранить внимание водителя на дорожной ситуации.

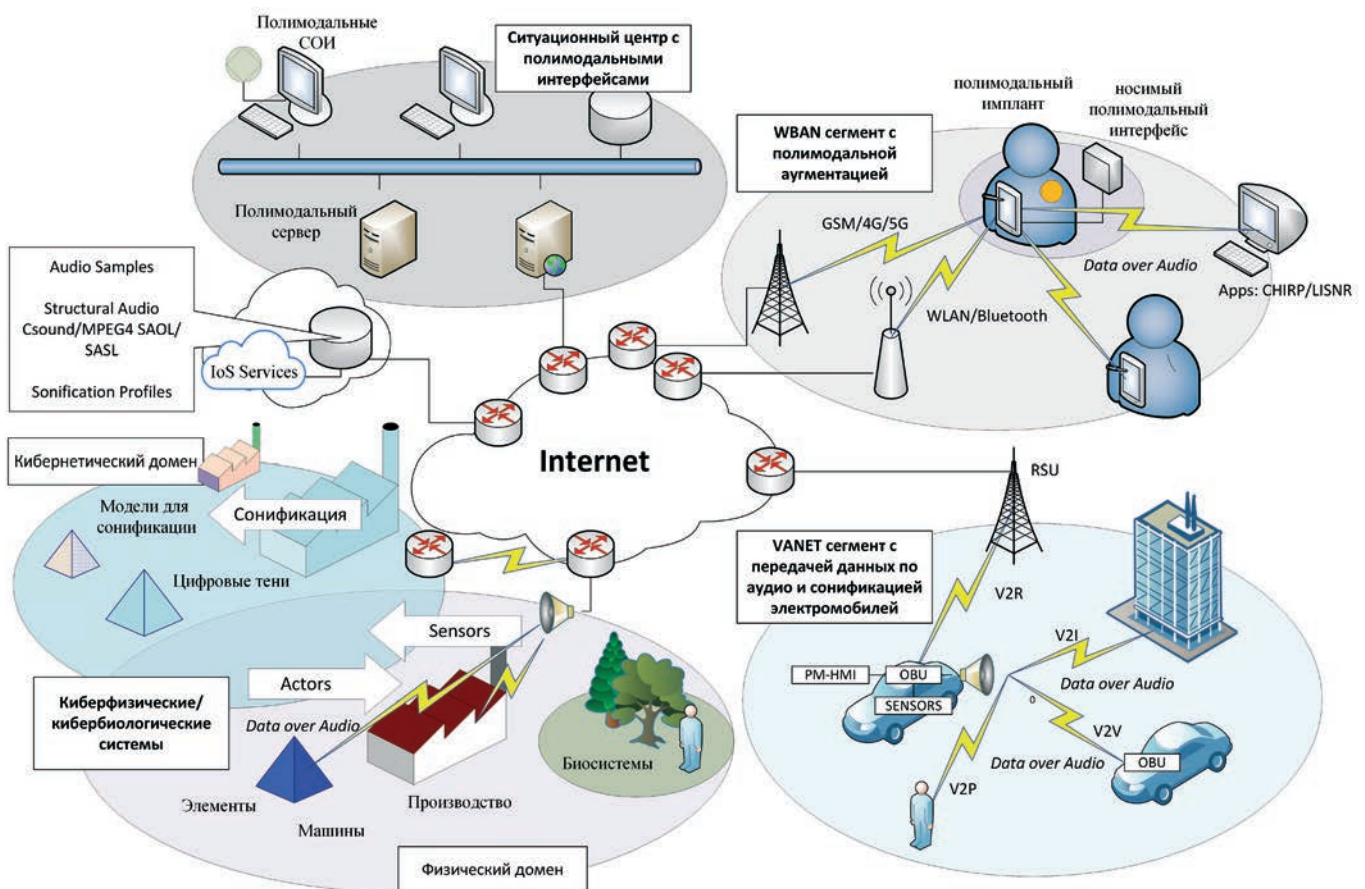


Рис. 1. Основные сегменты перспективной сетевой инфраструктуры Интернета звука

Снаружи транспортное средство через каналы Data over Sound может осуществлять взаимодействие с элементами инфраструктуры (V2I), другими транспортными средствами (V2V) и пешеходами (V2P). Важные преимущества технологий Data over Sound в этом сегменте — отсутствие приоритизации и удобство ad-hoc соединения.

**Ситуационные центры** представляют собой классическую инфраструктурную компоненту, дополненную перспективными технологиями, в частности, полимодальностью. Операторы ситуационных центров с помощью полимодальных интерфейсов, в случае их корректного проектирования, получают возможность снизить стресс и информационный перегруз за счет перераспределения информационной нагрузки.

Данный сегмент может пересекаться с WBAN-сегментом, в том случае, когда WBAN-сеть на операторе полностью или частично интегрируется с компонентами средств отображения информации ситуационного центра, о чем было упомянуто ранее.

**Облачное хранилище и сервисы.** Облачные хранилища обеспечивают доступ к библиотекам инструментов синтеза и обработки звука для сонификации. Благодаря существующим языкам компьютерной музыки, таким как Csound, Pure Data и прочие, возможно стандартизованное описание модульных структур синтезаторов, участвующих в сонификации, и новых программных моделей на их основе. Облачные сервисы позволяют осуществить рендеринг новых звуковых объектов из кода онлайн, интеллектуальный поиск требуемых компонент звуковых ландшафтов [13], параметрическое описание пользовательских звуков, преобразование описаний синтезаторов из одного языка в другой [14], реализацию генеративных моделей систем сонификации [15].

### Протокол OSC для взаимодействия между мультимедийными системами

С переносом действия во внутрисетевое пространство сложных систем, возникает вопрос о протоколах взаимодействия между устройствами сонификации, как частным случаем систем Интернета звука.

Практически единственным протокольным решением на сегодняшний день является OSC (Open Sound Control) [16]. Данный протокол изначально разрабатывался для обеспечения высокоскоростных коммуникаций в интерактивных компьютерно-музыкальных средах. Исследователи часто противопоставляют OSC протоколу MIDI (Musical Instrument Digital Interface), с 1983 года являющемуся «монополистом» в области сетей электронных музыкальных инструментов. Однако, с инфраструктурной точки зрения, протокол MIDI обеспечивает коммуникацию с терминальными устройствами, т.е. с аппаратными средствами электронной музыки — синтезаторами и другими физическими приборами. Поддержка OSC среди подобных устройств

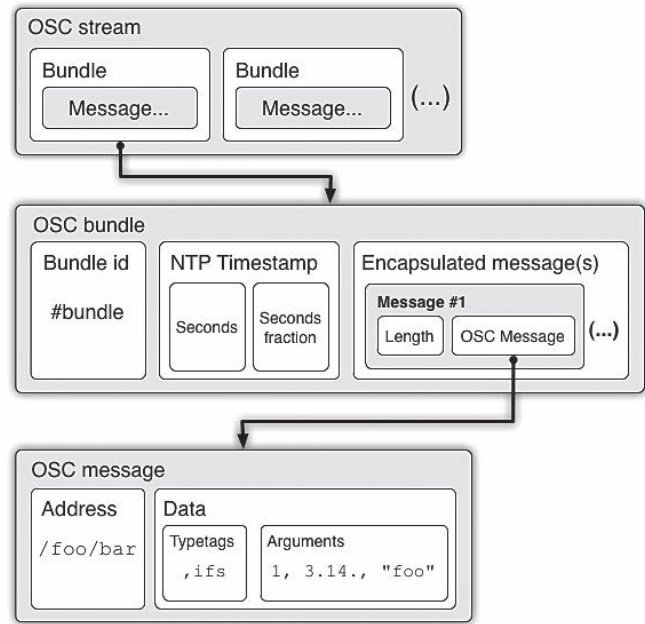


Рис. 2. Структура OSC-потока [17]

минимальна. Ни один из вышедших с момента появления протокола OSC синтезаторов не обеспечил поддержку этого протокола, однако существует несколько контроллеров с поддержкой OSC, например, Monome. С другой стороны, единственным стабильным решением для передачи MIDI через IP-сеть является RTP-MIDI (RFC4695), так же известный как AppleMIDI. Для приема/передачи потока MIDI сообщений требуется отдельный порт, что приводит к необходимости установки драйверов.

Протокол OSC является открытым. К его преимуществам следует отнести поддержку на прикладном уровне практически всеми известными мультимедиа приложениями. Структура OSC-потока приведена на рис. 2.

Благодаря открытому формату сообщений, OSC предоставляет пользователю возможность формировать собственный тезаурус сообщений. В ряде случаев это является причиной для критики OSC, в связи с этим ведутся попытки к созданию стандартизованных тезаурусов сообщений на базе OSC, например, TUIO и SYN.

Ниже предложен минимальный набор сообщений для обмена в задачах сонификации. Временная диаграмма обмена представлена на рис. 3.

Описание команд:

*Start* — запускает процесс сонификации. При этом от клиента к серверу сонификации передается OSC-сообщение *\*/#start*.

Символ *#* в протоколе OSC зарезервирован под служебное использование.

При получении команды *#start*, сервер отвечает командой *#reply* и набором параметров, с которыми был запущен

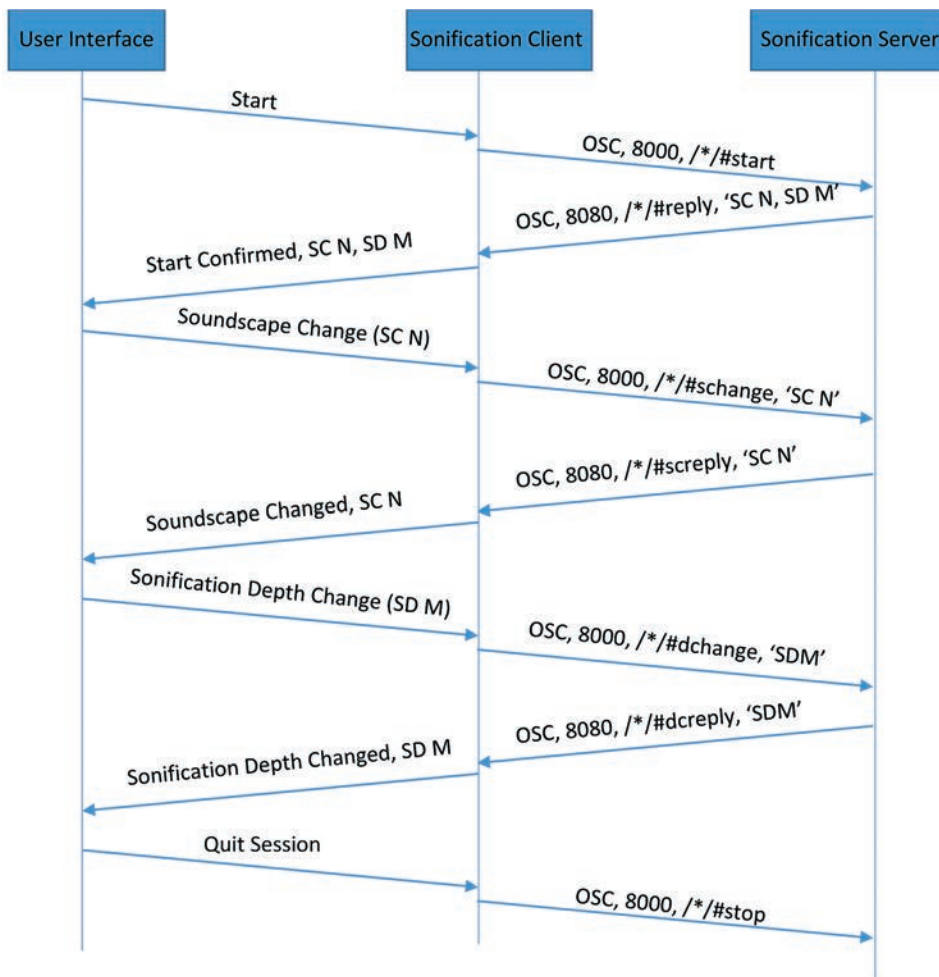


Рис. 3. Пример OSC-сессии между интерфейсом пользователя и сервером сонификации

процесс сонификации. В частности, *Soundscape* (звуковой ландшафт) определяет действующий набор используемых инструментов (звуков) для сонификации, а *SonificationDepth* определяет выбранную глубину сонификации.

С помощью команд `#schange` и `#dchange` пользователь имеет возможность изменить текущий звуковой ландшафт и глубину сонификации.

Команда `#stop` закрывает рабочую сессию.

### Программные аспекты систем сонификации

С точки зрения программной реализации звукового ядра различных приложений, составляющих основу перспективных систем, о которых шла речь выше, следует отметить существование так называемых языков компьютерной музыки, позволяющих на высоком уровне абстракции программировать различные алгоритмы синтеза и обработки звука.

Существует множество критериев сравнения указанных языков, однако с учетом необходимого условия работы на встраиваемых системах (*embedded systems*) и открыто-

сти программного кода, фактически в поле зрения остаются три системы — Csound, Pure Data и SuperCollider. Сравнительный анализ этих языков приведен в таб. 1.

Все приведенные в таб. 1 языки обладают значительным количеством API к популярным языкам программирования, включая наиболее актуальные сегодня Python, Java и Haskell. Csound и Pure Data стабильно работают на мобильных платформах (Android и iOS). SuperCollider портирован на Android и iOS, однако статус проекта существенно ниже.

SuperCollider не поддерживает работу в браузере. Для Pure Data существует минимальный порт на JS. Csound стабильно работает в большинстве браузеров. Как было сказано ранее, все три системы могут работать на встраиваемых устройствах на базе ОС Линукс, однако SuperCollider более требователен к аппаратным характеристикам системы, чем две другие программы. Pure Data и Csound могут работать на «железе» без ОС. Такой возможности не существует для SuperCollider.

Тем самым мы приходим к выводу о том, что Csound является наиболее предпочтительным на сегодняшний

Таблица 1

Сравнительный анализ Csound, Pure Data и SuperCollider

	Моб. порт	Web	Встр. системы	Железо без ОС
<i>Csound</i>	++	++	++	+
<i>Pure Data</i>	++	+	++	+
<i>SuperCollider</i>	+	–	+	–

день языком компьютерной музыки для перспективных систем Интернета звука, описанных в данной статье.

Также стоит отметить возможность существования общей программной эко-среды для Csound и Pure Data, т.е. Pure Data в процессе своей работы может обращаться к Csound API. Кроме того, все три системы, как и те, что остались вне рассмотрения, поддерживают OSC и могут обмениваться данными через него.

### Заключение

Приведенные в статье положения позволяют сделать вывод о перспективах использования неречевого звука, как частного случая полимодального комплекса отображения информации, для различных целей, в том числе для управления транспортными системами, снижения нагрузки на оператора ситуационных центров, для использования в комплексе ассистивных технологий для инвалидов по зрению.

Различные современные технологии, базирующиеся на использовании в том или ином виде звуковых сигналов, в перспективе конвергируют в общую форму под названием Интернет звука (Internet of Sound).

Технологии структурного аудио, использующие открытые кроссплатформенные решения способны решить задачи по созданию необходимых звуковых объектов. Для передачи между системами целесообразно использовать существующий открытый платформенно-независимый протокол OSC.

Совокупность данных мер должна повысить безопасность при управлении транспортными средствами, степень иммерсии оператора в контролируемую систему, уровень интеграции в социум инвалидов по зрению.

### Литература

1. *Kramer G.* An introduction to auditory display // Auditory Display: Sonification, Audification, and Auditory Interfaces. 1994. Pp. 1–78.
2. *Barrass S.* A perceptual framework for the auditory display of scientific data // ACM Transactions on Applied Perception. 1994. Vol. 2(4). Pp. 389–402.
3. *Edworthy J.* Does sound help us to work better with machines? A commentary on Rautenberg's paper "About the Impor-

tance of Auditory Alarms During the Operation of a Plant Simulator // Interacting with Computers. 1998. Vol. 10. Pp. 401–409.

4. *Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Синягов С.А.* Кибер-физические системы как основа цифровой экономики // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. No. 2. Pp. 18–25.

5. *Сотников А.Д., Rogozинский Г.Г.* Мультидоменная модель инфокоммуникаций как основа построения аудиальных интерфейсов для мультимедийных информационных систем // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 5. С. 77–82. (In English)

6. *Rogozинский Г.Г., Комашинский В.И.* Модифицированная доменная модель мультисенсорного мониторинга киберфизических систем // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 4 (38). Ч. 3. С. 177–182.

7. *Rogozинский Г.Г.* Мультидоменный подход и модели объектов киберфизического пространства в задачах отображения информации // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 4. С. 88–93.

8. *Rogozинский Г.Г.* Три класса звуковых пространств для проектирования систем сонификации // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 1. С. 59–64.

9. *Stinson E.* EVS are Dangerously Quiet. Here's What They Could Sound Like. URL: <https://www.wired.com/2017/04/evs-dangerously-quiet-heres-sound-like/> (дата обращения 30.06.18).

10. *Ustwo Auto.* A Glance at the Future of External Vehicular Sound. URL: <https://www.ustwo.com/blog/a-glance-at-the-future-of-external-vehicular-sound/> (дата обращения 30.06.18).

11. Официальный сайт Chirp. URL: <https://chirp.io/solutions> (дата обращения 30.06.18).

12. Официальный сайт LISNR. URL: <https://lisnr.com/technology/> (дата обращения 1.07.18).

13. *Cherny E., Lilius J., Brusila J., Mouromtsev D., Rogozinsky G.* An approach for structuring sound sample libraries using ontology // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 649. Pp. 202–214.

14. *Rogozinsky G., Chesnokov M., Cherny E.* Pch2csd: An application for converting Nord Modular G2 patches into Csound code // Proceedings of the 14<sup>th</sup> Sound and Music Conference (SMC). 2017. Pp. 415–421.

15. *Рогозинский Г.Г., Щекочихин А.В.* Обучаемый генетический алгоритм в задаче автоматизированной сетевой музыкальной композиции // Сборник трудов 2-й Международной научно-технической конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Интернет вещей 5G» (СПб, 7 декабря 2016 г.). 2016. С. 71–75.

16. Спецификация Open Sound Control 1.0. URL: <http://opensoundcontrol.org/> (дата обращения 1.07.18).

17. *Schmeder A., Freed A., Wesse D.* Best Practices for Open Sound Control. LinuxAudio Conference, 2010. URL: <http://lac.linuxaudio.org/2010/papers/37.pdf> (дата обращения 1.07.18).

## ELEMENTS OF SONIFICATION SYSTEM STRUCTURE AS A PART OF THE INTERNET OF SOUND

**GLEB G. ROGOZINSKY,**

St. Petersburg, Russia, [gleb.rogozinsky@gmail.ru](mailto:gleb.rogozinsky@gmail.ru)

**KEYWORDS:** sonification; cyber-physical systems; Internet of Sound; infrastructure; software-hardware solution.

### ABSTRACT

The work reviews the system aspects of polymodal monitoring systems including non-speech representation layer. The necessity of the human operator's information load redistribution, assistive technologies development, visual interfaces miniaturization and further augmentation of environment demand the research of the auditory displays as separate components of the user polymodal interfaces. The complex of auditory non-speech data representation methods forms the basis of the sonification study, at the crossing of acoustics, sound design, computer music technologies, data processing, data mining and informational telecommunications. The paper proposes perspective applications of sonification in the field of modern post-NGN platform. The suggested convergent directions of the reviewed applications are given. The paper also presents the software-hardware aspects of sonification systems development, together with others using auditory components. The Open Sound Protocol (OSC) for computer music and sound processing systems exchange is reviewed, including an example of message exchange between user interface and sonification server. The comparison of computer music languages is given in the context of sonification system development. The paper also describes the Internet of Sound structure as a convergence of various sound-based systems, including auditory displays of control centers, Data over Audio components inside VANET- and WBAN- segments, assistive technologies based on on-body and implanted devices, sonification cloud technologies, cyber-physical and cyber-biological structures.

### REFERENCES

1. Kramer G. An introduction to auditory display. *Auditory Display: Sonification, Audification, and Auditory Interfaces*. 1994. Pp. 1-78.
2. Barrass S. A perceptual framework for the auditory display of scientific data. *ACM Transactions on Applied Perception*. 1994. Vol. 2(4). Pp. 389-402.
3. Edworthy J. Does sound help us to work better with machines? A commentary on Rautenberg's paper 'About the importance of auditory alarms during the operation of a plant simulator'. *Interacting with Computers*. 1998. Vol. 10. Pp. 401-409.
4. Kupriyanovsky V.P., Namiyot D.E., Sinyagov S.A. Cyber-physical systems as a base for digital economy. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Vol. 4. No. 2. Pp. 18-25. (In Russian)
5. Sotnikov A.D., Rogozinsky G.G. The multi-domain infocommunication model as the basis of an auditory interfaces development for multimedia informational systems. *T-Comm*. 2017. Vol. 11. No. 5. Pp. 77-82.
6. Rogozinsky G.G., Komashinsky V.I. Modified multi domain model of cyber-physical systems monitoring. *Morskije intellektual'nye tekhnologii* [Marine intellectual technologies]. 2017. No. 4 (38). Pt. 3. Pp. 177-182. (In Russian)
7. Rogozinsky G. Multi-Domain Approach and Models of Cyber-Physical Objects in Information Representation Systems. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2017. Vol. 3. Iss. 4. Pp. 88-93. (In Russian)
8. Rogozinsky G.G. On three sound space classes for sonification system design. *T-Comm*. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 59-64. (In Russian)
9. Stinson E. EVS are Dangerously Quiet. Here's What They Could

Sound Like. URL: <https://www.wired.com/2017/04/evs-dangerously-quiet-heres-sound-like/> (date of access 30.06.18)

10. Ustwo Auto. A Glance at the Future of External Vehicular Sound. URL: <https://www.ustwo.com/blog/a-glance-at-the-future-of-external-vehicular-sound/> (date of access 30.06.18).

11. Chirp. URL: <https://chirp.io/solutions> (date of access 30.06.18).

LISNR. URL: <https://lisnr.com/technology/> (date of access 1.07.18).

12. LISNR. URL: <https://lisnr.com/technology/> (date of access 1.07.18).

13. Cherny E., Lilius J., Brusila J., Mouromtsev D., Rogozinsky G. An approach for structuring sound sample libraries using ontology. *Communications in Computer and Information Science*. 2016. Vol. 649. Pp. 202-214.

14. Rogozinsky G., Chesnokov M., Cherny E. Pch2csd: An application for converting Nord Modular G2 patches into Csound code. *Proceedings of the 14<sup>th</sup> Sound and Music Conference (SMC)*. 2017. Pp. 415-421.

15. Rogozinsky G.G., Schekotchikhin A.V. On Interactive Learning Genetic Algorithm for Automatic Network Music Composition. 2nd Young Researchers International Conference on the INternet of Things and ITsENablers: "Io Tand 5G". 2016. Pp. 71-75. (In Russian)

16. Open Sound Control 1.0. URL: <http://opensoundcontrol.org/> (date of access 1.07.18).

17. Schmeder A., Freed A., Wesse D. Best Practices for Open Sound Control. LinuxAudio Conference, 2010. URL: <http://lac.linuxaudio.org/2010/papers/37.pdf> (date of access 1.07.18).

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Rogozinsky G.G., PhD, Associated Professor, Department of Radio-communications and Broadcasting, The Bonch-Bruевич State University of Telecommunication. Senior Researcher, Solomenko Institute of Transport Problems the Russian Academy of Sciences.

**For citation:** Rogozinsky G.G. Elements of Sonification System Structure as a part of the Internet of Sound. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 64-71. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10098 (In Russian)



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10099

# ПРОГНОЗ НАДЕЖНОСТИ КЛАСТЕРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ПОЛУМАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ АЛЬТЕРНИРУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И МОНИТОРИНГА

**ХОМОНЕНКО**

**Анатолий Дмитриевич<sup>1</sup>**

**БЛАГОВЕЩЕНСКАЯ**

**Екатерина Анатольевна<sup>2</sup>**

**ПРОУРЗИН**

**Олег Владимирович<sup>3</sup>**

**АНДРУК**

**Алена Антоновна<sup>4</sup>**

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационные и вычислительные системы Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, khomonenko@pgups.ru

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, заведующая кафедрой высшей математики Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, kblag2002@yahoo.com

<sup>3</sup>старший преподаватель кафедры информационные и вычислительные системы Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I г. Санкт-Петербург, Россия, pvo777@yandex.ru

<sup>4</sup>ведущий электроник Санкт-Петербургского информационно-вычислительного центра, г. Санкт-Петербург, Россия, aaandruk@gmail.com

## АННОТАЦИЯ

Предлагается подход к расчету характеристик надежности кластерной вычислительной системы из двух взаимозаменяемых серверов. Цель статьи заключается в повышении точности расчета характеристик надежности кластерной системы, достигаемом путем введения предпосылок о не экспоненциальном распределении длительности безотказной работы и восстановления серверов. Описана полумарковская модель такой системы в виде двух условно независимых случайных процессов восстановления. Для учета не экспоненциального закона распределений длительности безотказной работы и восстановления серверов кластера рассмотрен двумерный процесс до момента двойного отказа. При любом начальном состоянии, когда один сервер работает, а другой – нет, момент двойного отказа наступает, когда оба сервера находятся в состоянии ремонта. В качестве показателя надежности вычислительного кластера используется среднее время безотказной работы кластера, определяемое через вероятность застать кластерную систему в рабочем состоянии в произвольный момент времени. Обосновано использование аналитических выражений для расчета среднего времени безотказной работы вычислительного кластера из двух серверов, один из которых находится в горячем резерве. При этом важной отличительной особенностью рассмотренной полумарковской модели надежности вычислительного кластера является то, что длительности восстановления отказавшего сервера могут иметь произвольный закон распределения. Для уточнения характеристик надежности кластерной вычислительной системы обсуждается возможность использования инструментальных средств мониторинга. Приводятся результаты численных расчетов характеристик надежности кластерной вычислительной системы. Основным результатом – аналитическая оценка влияния коэффициента вариации не экспоненциального распределения длительности восстановления сервера в используемой модели надежности на значение среднего времени безотказной работы кластера, показывающая насколько повышается точность расчета этого показателя надежности кластерной вычислительной системы из двух взаимозаменяемых серверов. Обоснована целесообразность уточнения характеристик надежности кластерной вычислительной системы с помощью инструментальных средств мониторинга.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** полумарковская модель надежности; кластерная вычислительная система; длительность восстановления; среднее время безотказной работы; надежность.

**Для цитирования:** Хомоненко А.Д., Благовещенская Е.А., Проурзин О.В., Андрук А.А. Прогноз надежности кластерной вычислительной системы с помощью полумарковской модели альтернирующих процессов и мониторинга // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 4. С. 72–82. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10099



## Введение

Обоснование и прогнозная оценка характеристик надежности вычислительных систем является актуальным направлением исследований для критически важных систем. К числу вычислительных систем, ориентированных на достижение высоких характеристик надежности в настоящее время относятся кластерные вычислительные системы [1]. В нашей статье предлагается подход к расчету характеристик надежности кластерной вычислительной системы из двух взаимозаменяемых серверов. При этом используется полумарковская модель такой системы в виде двух условно независимых случайных процессов восстановления [2–3]. В качестве основного показателя надежности используется среднее время безотказной работы вычислительного кластера, состоящего из двух серверов. Приведены аналитические формулы для вычисления основных величин, входящих в выражение для расчета среднего времени безотказной работы вычислительной кластерной системы [2–3]. Приводятся результаты численных расчетов характеристик надежности кластерной вычислительной системы. Для уточнения характеристик надежности кластерной вычислительной системы затрагиваются вопросы использования инструментальных средств мониторинга [4–6].

Основной результат — оценка влияния коэффициента вариации не экспоненциального распределения длительности восстановления сервера на значение среднего времени безотказной работы кластера, показывающая насколько повышается точность расчета этого показателя надежности кластерной вычислительной системы из двух взаимозаменяемых серверов. Для повышения точности расчета прогнозных характеристик предлагается использование подхода на основе комбинированной оценки характеристик [7–9]: путем априорной (путем моделирования) и опытной оценок (по данным эксплуатации и мониторинга) характеристик надежности. Обсуждается также возможное уточнение характеристик надежности кластерной вычислительной системы на основе данных мониторинга.

## 1. Характеристика кластерных вычислительных систем

Кластер — это множество компьютеров, связанных высокоскоростными каналами связи, функционирующих как единая система [1]. По существу кластер образуется из отдельных компьютеров, имеющих процессор, память (оперативную и внешнюю), подсистему ввода/вывода, операционную систему и т.п. При объединении компьютеров поддерживаются межкомпьютерные коммуникации, осуществляемые путем передачи сообщений. Компьютеры, входящие в состав кластера, принято называть узлами кластера. В общем случае в кластере могут применяться однородные и неоднородные узлы.

К общим требованиям, предъявляемым к кластерным системам, относятся: высокая готовность; высокое быстродействие; масштабирование; общий доступ к ресурсам и удобство обслуживания. Кластерные системы высокой готовности можно отнести к разряду актуальных современных решений по удовлетворению требований, предъявляемых со стороны заказчиков, обслуживающих критически важные системы.

В настоящее время распространены несколько типов систем высокой готовности. При этом кластерные системы реализуют технологии, обеспечивающие высокий уровень отказоустойчивости при самой низкой стоимости. Отказоустойчивость кластера обеспечивается дублированием жизненно важных компонент. Максимально отказоустойчивая система должна не иметь ни единой точки, то есть активного элемента, отказ которого может привести к потере функциональности системы. Такую характеристику обычно называют — NSPF (No Single Point of Failure — отсутствие единой точки отказа).

При построении систем высокой готовности, главная цель — обеспечить минимальное время простоя. Для этого необходимо: чтобы ее компоненты были высоконадежными; чтобы она была отказоустойчива, желательно, чтобы не имела точек отказов; она была удобна в обслуживании и разрешала проводить замену компонент без останова.

Обеспечение максимальной надежности осуществляется путем использования электронных компонент высокой и сверхвысокой интеграции, поддержания нормальных режимов работы. Отказоустойчивость обеспечивается путем использования специализированных компонент (ЕСС, Chip Kill модули памяти, отказоустойчивые блоки питания, и т.п.), а также с помощью технологий кластеризации.

На основе кластеризации достигается такая схема функционирования, когда при отказе одного из компьютеров задачи перераспределяются между другими узлами кластера, которые функционируют исправно. Причем одной из важнейших задач производителей кластерного программного обеспечения является обеспечение минимального времени восстановления системы в случае сбоя, так как отказоустойчивость системы нужна именно для минимизации внепланового простоя.

Удобство в обслуживании служит уменьшению плановых простоев (например, замены вышедшего из строя оборудования) и является одним из важнейших параметров систем высокой готовности. И если система не решает заменять компоненты без выключения всего комплекса, то ее коэффициент готовности уменьшается.

На рис. 1 приведена типовая схема двухузловой кластера высокой готовности с общим дисковым хранилищем, подключенным непосредственно к узлам кластера [1].

Отказоустойчивые кластеры разделяются на 3 основных типа:

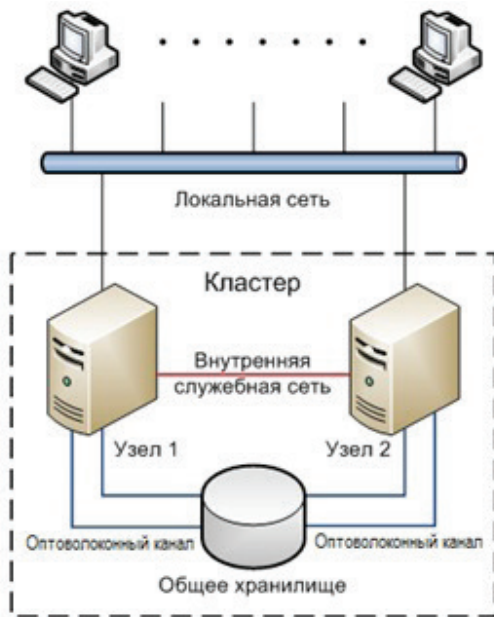


Рис. 1. Типовая схема двух узлового кластера высокой готовности

С *холодным резервом* или активный/пассивный. Активный узел выполняет запросы, а пассивный ждет его отказа и включается в работу, когда таковой произойдет. Пример — резервные сетевые соединения, в частности, Алгоритм связующего дерева. Например, связка DRBD и HeartBeat/Corosync.

С *горячим резервом* или активный/активный. Все узлы выполняют запросы, в случае отказа одного нагрузка перераспределяется между оставшимися. То есть кластер распределения нагрузки с поддержкой перераспределения запросов при отказе. Используют практически все кластерные технологии, например, Microsoft Cluster Server. OpenSource проект OpenMosix.

С *модульной избыточностью*. Применяется в случае, когда простой системы недопустим. Все узлы одновременно выполняют один и тот же запрос (так, что результат достижим и при отказе любого узла), из результатов берется любой. Необходимо гарантировать, чтобы результаты разных узлов были одинаковы (различия не повлияют на дальнейшую работу).

При проектировании и эксплуатации кластерных вычислительных систем важным является прогнозный расчет характеристик их надежности путем моделирования [10–14], а также возможность уточнения этих характеристик при их эксплуатации на основе использования средств мониторинга. В их числе различают проприетарные системы, например IBM Tivoli, а также системы с открытым исходным кодом, распространяемые по лицензии GPL (GNU Public License), например, Cacti, Nagios, Zabbix и др. [6–7]. Рассмотрим комплексное решение названных задач.

## 2. Характеристика моделей надежности кластерных систем

Модели надежности кластерных вычислительных систем рассматривались в ряде работ [13–15] при различных предположениях и ограничениях. В частности, в работе [13] для построения математической модели надежности кластера используется математический аппарат цепей Маркова, позволяющий моделировать сложные системы с учетом ряда условий: различные интенсивности отказов, конечное время перехода в активный режим обслуживания запросов, горячее резервирование и т. п. С целью упрощения разработки модели автор исследует подсистему узлов обработки данных и подсистему хранения данных по отдельности, считая их независимыми с точки зрения надежности. В [14] предложен подход к анализу надежности аппаратного и программного обеспечения кластерных вычислительных систем. Кластерная система моделируется как неприводимая цепь Маркова с рабочими состояниями, отказа и восстановления. Поведение при отказе и восстановлении характеризуется с точки зрения частоты и продолжительности восстановления отказа и сбоя для одного процессора в кластере и для всей кластерной системы.

В работе [15] рассматривается моделирование надежности и анализ кластерной системы путем определения надежности аппаратного обеспечения, операционной системы и прикладного программного обеспечения, которые необходимо реализовать для достижения различных уровней надежности и сопоставимой степени согласованности данных. Описываются уровни надежности с точки зрения обнаружения неисправностей, восстановления неисправностей, неустойчивости данных и согласованности данных. Авторы предлагают модель надежности Маркова для сбора данных об обнаружении и восстановлении неисправностей. Демонстрируют, как предложенный экономичный метод отказоустойчивости может обеспечить количественное повышение надежности в приложениях с использованием кластерных архитектур.

В работах [16–17] решаются более сложные задачи, связанные с оцениванием и обеспечением надежности кластерных вычислительных систем. В частности, в статье [16] решена задача комплексной оценки надежности сетевого кластера, учитывающая надежность аппаратного и программного обеспечения. Создана модель оценки надежности программного обеспечения, позволяющая оценивать надежность на основании статистики проявления ошибок во время тестирования и эксплуатации. Разработанная модель позволяет анализировать различные варианты поведения системы, которые задаются путем ввода экспертных оценок.

В статье [17] решается задача оптимизации объединения в кластеры резервированных серверов различного функционального назначения. Показано, что при много-

уровневой конфигурации коммуникационной подсистемы для обеспечения высокой отказоустойчивости и надежности целесообразно объединение в кластеры разнотипных по функциональности серверов.

Систематическое изложение вопросов моделирования надежности современных вычислительных систем и их программного обеспечения содержится в ряде публикаций, в частности, в [10, 12, 18–19]. С позиций прикладного использования и теоретических позиций наибольший интерес представляет исследование и применение моделей, позволяющих оценивать характеристики надежности вычислительных кластеров при законах распределения длительностей отказов и восстановлений, отличных от экспоненциального закона.

При этом аналитические выражения удастся получить в некоторых отдельных случаях [11]. В качестве примера можно привести статью [20]. В настоящей статье предлагается распространить предложенный в статье [3] подход на случай численно-аналитической оценки характеристик надежности кластерной вычислительной системы, состоящей из двух взаимозаменяемых серверов.

### 3. Полумарковская модель надежности вычислительного кластера

**Постановка задачи и обозначения.** Рассмотрим два альтернирующих процесса (альт-процесса) восстановления, соответствующих двум параллельно функционирующим агрегатам (каналам) технической системы [3]. Каждый процесс имеет два возможных состояния: рабочее  $w$  и нерабочее  $z$ , где состояние  $z$  соответствует интервалу ремонта после отказа или необходимого профилактического обслуживания. В точках разрыва процессы предполагаются непрерывными справа. Эти процессы предполагаются независимыми друг от друга до момента перекрывания нерабочих интервалов (т.н. «двойной отказ»), когда оба процесса в одно и то же время имеют состояние  $z$ .

Итак, пусть  $X(t)$  и  $Y(t)$  — два независимых альт-процесса с двумя состояниями  $w$  (работа) и  $z$  (восстановление). При фиксированных начальных значениях  $X(0) = x$  и  $Y(0) = y$  ( $x, y \in \{z, w\}$ ) распределения  $P_x^X$  и  $P_y^Y$  этих процессов определяются плотностями распределения длин своих интервалов  $f_z, f_w$  и  $g_z, g_w$  соответственно. Совместное распределение  $P_{x,y}$  этих процессов (распределение пары  $(X, Y)$ ) определяется условием независимости компонентов этой пары.

Введем следующие обозначения [3]:

$a_w(k)$  — интервалы безотказной работы первого сервера, занумерованные по порядку с начала процесса  $X(t)$  или в порядке их появления в описании некоторого события,  $f_w$  — плотности распределения длин этих интервалов;  
 $a_z(k)$  и  $f_z$  — интервалы ремонта первого сервера и плотности распределения их длин;

$b_w(k)$  и  $g_w$  — интервалы безотказной работы второго сервера и плотности распределения их длин;

$b_z(k)$  и  $g_z$  — интервалы ремонта второго сервера и плотности распределения их длин.

$|a|$  — длина интервала  $a$ , все интервалы считаются замкнутыми на левом конце и открытыми на правом конце. Обозначим [3]:

$$H_{am} = \bigcup_{k=1}^m (a_z(k) \cup a_w(k)).$$

Группа интервалов, определяемая этим выражением, начинается с интервала  $a_z(1)$  и заканчивается интервалом  $a_w(m)$  при  $m \geq 0$ . Обозначим также

$$H_{am}^+ = H_{am} \cup a_z(m+1).$$

Плотность распределения величины  $|H_{am}^+|$  равна  $f_z^{(m)} * f_w^{(m)}$ , плотность распределения величины  $|H_{am}^+|$  равна  $f_z^{(m+1)} * f_w^{(m)}$ , где  $*$  — операция свёртки, и  $f(t) = g(t) = 0$  при  $t < 0$ . Обозначим  $f^{(n)}$  ( $n \geq 0$ )  $n$ -кратную свёртку функции  $f$  (с собой),  $f^{(0)} = \delta_0$  (дельта-функция со скачком в нуле). Аналогичные формулы выводятся для  $|H_{bm}^-|$  и  $|H_{bm}^+|$ .

**Малая полумарковская цепь с обрывом.** Слово «малая» в [3] противопоставляется слову «большая» цепь, которая возникает, если после каждого момента двойного отказа наступает перестройка двумерного процесса, после которой система начинает работать как новая. Пусть  $\zeta \in \{zw, wz\}$ . Задача состоит в нахождении распределения  $P_\zeta$  момента двойного отказа  $T$  и роли компонентов в момент двойного отказа (например, какой сервер начал свой последний  $z$ -интервал до момента  $T$ ). Для расчёта этих объектов удобно рассматривать условные вероятности относительно событий:

- 1)  $X(0) = z, Y(0) = w$  и  $L_y(0) = t_0$  (интервал  $b_w(1)$  начался в момент  $-t_0$ , так что реализовалось событие:  $|b_w(I)| > t_0$ ), или
- 2)  $Y(0) = z, X(0) = w$  и  $L_x(0) = t_0$  (реализовалось событие:  $|a_w(I)| > t_0$ ).

Таким образом, авторы [3] расширяют процесс, добавляя компонент времени, но только для  $w$ -интервалов обоих компонентов (в формулах используются  $L_x(t), L_y(t)$  только тогда, когда  $X(t) = w, Y(t) = w$ ).

Предположим, что в начальный момент один сервер работает, а другой нет, причём у неработающего сервера ремонт начинается в момент  $t = 0$ , а у работающего сервера начало текущего рабочего интервала произошло в момент  $-t_0$ , где  $t_0 > 0$ . Таким образом, в момент  $t = 0$  реализуется одно из двух начальных состояний двумерного процесса  $\zeta \in \{zw, wz\}$ .

Для вывода распределения состояния двумерного процесса в момент  $T$  используется дополнительная

Марковская структура внутри интервала безотказной работы. Рассмотрим двумерный процесс до момента двойного отказа. При любом начальном состоянии, когда один сервер работает, а другой — нет, момент двойного отказа наступит, когда оба сервера находятся в состоянии ремонта. Это значит, что до этого момента существует правильная цепочка перекрывающихся  $w$ -интервалов. Пусть  $a_w(k)$ ,  $b_w(l)$  — два перекрывающихся  $w$ -интервала. Будем говорить, что  $a_w(k)$  предшествует  $b_w(l)$  и обозначать

$$a_w(k) < b_w(l), \text{ если } a_w^s(k) < b_w^s(l) < a_w^f(k) < b_w^f(l),$$

где  $a^s$  — начальная и  $a^f$  — конечная точки интервала  $a$  (то же для  $b$ ).

Интервалы  $(a_w(k_1), a_w(k_2), \dots, a_w(k_n))$  образуют правильную цепочку (последовательности  $(k_n)$  и  $(l_n)$  возрастают), если  $a_w(k_1) < b_w(l_1) < a_w(k_2) < b_w(l_2) < \dots < a_w(k_n) < b_w(l_n)$  или  $b_w(l_1) < a_w(k_1) < b_w(l_2) < a_w(k_2) < \dots < b_w(l_n) < a_w(k_n)$ .

На каждом интервале безотказной работы правильная цепочка перекрывающихся  $w$ -интервалов (если существует) определяется единственным образом. При числе звеньев цепочки не меньше трёх между соседними парами одного и того же компонента образуется промежуток. Эти промежутки заполнены максимальными однородными группами интервалов ( $H$ -группами), начинающимися и оканчивающимися  $z$ -интервалами. Число интервалов в  $H$ -группе случайно, т.е. это  $H_a^+ = H_{a\mu} \cup a_z(\mu+1)$  или  $H_b^+ = H_{bv} \cup b_z(v+1)$ , где  $\mu \geq 0$ ,  $v \geq 0$  — случайные целые числа. При таком обозначении  $H_a \equiv H_{a\mu}$  и  $H_b \equiv H_{bv}$  называются неполными  $H$ -группами. Пример интервалов двумерного процесса до первого двойного отказа приведен на рис. 2.

На рис. 2 интервалы компонентов  $X$  и  $Y$  изображены выше и ниже оси времени соответственно. Рабочие интервалы изображены в виде прямоугольников.  $H$ -группы указаны в виде дуг с вертикальной чертой посередине. Неполная  $H$ -группа изображена в виде дуги с двумя вертикальными чертами. Интервалы восстановления, не входящие в  $H$ -группы, изображены в виде дуг и пронумерованы отдельно. На рис. 2 изображена правильная цепочка интервалов и интервалы, занимаемые  $H$ -группами. Послед-

ний интервал в этой цепочке оканчивается внутри нерабочего интервала другого компонента, и, таким образом, вызывает двойной отказ двух процессов (точка  $T$ ).

С правильной цепочкой интервалов связана *малая полумарковская цепь с обрывом*, составленная из  $H$ -групп и интервалов перекрытия рабочих интервалов. На рис. 2 это интервалы

$$\gamma_a(1) = (\sigma_1, \tau_1), \quad \gamma_b(1) = (\sigma_2, \tau_2), \quad \gamma_a(2) = (\sigma_3, \tau_3).$$

Очевидно, что  $|\gamma_a(1)| = L_X(\tau_1)$ ,  $|\gamma_b(1)| = L_Y(\tau_2)$  и так далее. Отсюда вытекает Марковское свойство обоих компонентов относительно точек  $\tau_k$  и соответствующих  $\gamma$ . Для общего случая авторы [3] дополняют эту последовательность нулевым элементом — интервалом  $\gamma_b(0) = (-t_0, 0)$ . Вместе со следующими за ними  $H$ -группами они образуют ступенчатый полумарковский процесс с обрывом с переходами

$$(|\gamma_b(0)|, |H_a^+(1)|, |\gamma_a(1)|),$$

$$(|\gamma_a(1)|, |H_b^+(1)|, |\gamma_b(1)|),$$

$$(|\gamma_b(1)|, |H_a^+(2)|, |\gamma_a(2)|)$$

и так далее до момента обрыва. Для полноты картины к этой последовательности добавляем «переход выхода»:

$$(|\gamma_a(2)|, |H_b(1)|, |\gamma_b(2)|),$$

$$\text{где } |\gamma_b(2)| = T - \sigma_4.$$

Итак, если  $b_w^f(1) - t_0$  меньше конца первого нерабочего интервала первого компонента (входящего в  $H$ -группу), то при начальном состоянии двумерного процесса  $z$  в конце первого рабочего интервала процесса  $Y(t)$  заканчивается интервал безотказной работы системы, т.е. первый же шаг малой полумарковской цепи является выходом из цепи (число переходов цепи равно нулю).

Чтобы получить **решение в аналитической форме** в [3] вводится дополнительное предположение о экспо-

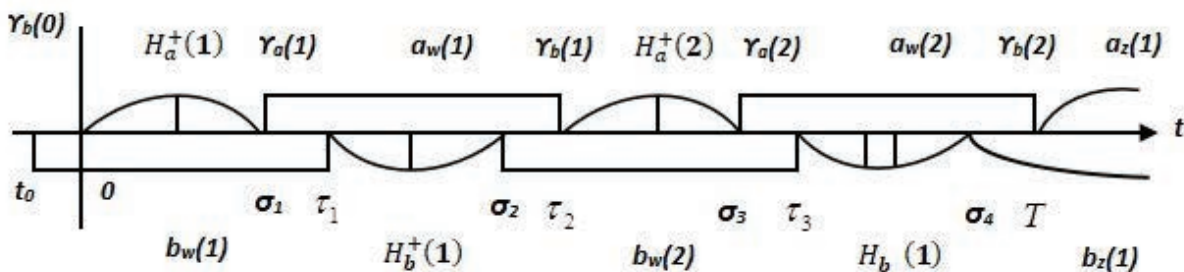


Рис. 2. Интервалы двумерного процесса до первого двойного отказа

ненциальном распределении длительности рабочих интервалов:  $f_w(x) = \alpha \times \exp(-\alpha x)$  и  $g_w(x) = \beta \times \exp(-\beta x)$ . При этом важно, что распределения длительности восстановления первого и второго серверов после отказа  $f_z(x)$  и  $g_z(x)$  имеют произвольное не экспоненциальное распределение.

В работе [3] показано, что среднее время интервала до появления двойного отказа двухканальной системы  $E_{zw}(T)$  (при условии, что вначале первый сервер ремонтируется, а второй работает) вычисляется по формуле

$$E_{zw}(T) = A/B,$$

где

$$A = -J_{zw} - J_{wz} C_{zw}^+ - C_{wz} J_{zw}^+ - \frac{C_{zw} + C_{wz} C_{zw}^+}{1 - C_{zw}^+ C_{wz}^+} (J_{zw}^+ C_{wz}^+ + C_{zw}^+ J_{wz}^+),$$

$$B = 1 - C_{zw}^+ C_{wz}^+,$$

$$C_{zw} = (\alpha + \beta)(1 - \hat{f}_z(\beta)) / (\alpha + \beta - \alpha \hat{f}_z(\beta)),$$

$$J_{zw} = \alpha(1 - \hat{f}_z(\beta))((\alpha + \beta) \frac{\partial(\hat{f}_z(\beta))}{\partial \beta} - \hat{f}_z(\beta))(\alpha + \beta - \alpha \hat{f}_z(\beta))^{-2},$$

$$C_{zw}^+ = \frac{\beta \hat{f}_z(\beta)}{\alpha + \beta - \alpha \hat{f}_z(\beta)},$$

$$J_{zw}^+ = -\beta(\alpha \hat{f}_z(\beta))^2 + (\alpha + \beta)^2 \frac{\partial(\hat{f}_z(\beta))}{\partial \beta} \times (\alpha + \beta)^{-1} (\alpha + \beta - \alpha \hat{f}_z(\beta))^{-1},$$

При этом  $\hat{f}(s)$  является преобразованием Лапласа и вычисляется по формуле

$$\hat{f}(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt,$$

где  $s \geq 0$ , и  $f(t)$  — интегрируемая функция, заданная на интервале  $[0, \infty)$ .

Формулы для величин  $C_{wz}$ ,  $C_{wz}^+$ ,  $J_{wz}^+$  и  $J_{wz}$  получаются из их аналогов с индексом  $zw$  с использованием принципа симметрии, состоящего в том, что в формулах совершается замена символов  $(zw, wz, \alpha, \beta, \hat{f}_z, g_z)$  на соответствующие символы из набора  $(wz, zw, \beta, \alpha, g_z, \hat{f}_z)$ . Таким образом, полученные в [3] аналитические выражения, которые можно использовать для среднего времени безотказной работы вычислительного кластера из двух серверов, один из которых находится в горячем резерве. При этом важной

отличительной особенностью рассмотренной полумарковской модели надежности вычислительного кластера является то, длительности восстановления отказавшего сервера может иметь произвольный закон распределения.

#### 4. Численные расчеты характеристики надежности кластера

**Обоснование исходных данных для моделирования надежности кластера.** При определении исходных данных для моделирования целесообразно опереться на данные, получаемые при мониторинге вычислительных кластеров с помощью одной из указанных инструментальных систем мониторинга (IBM Tivoli, Cacti, Nagios, Zabbix и др. [6–7]).

Полезно также проведение *параметрического* анализа зависимости значений надежности вычислительного кластера от исходных параметров модели. При этом уместен учет следующих соображений, отмеченных, например, в [14]. Вклад аппаратных ошибок к интенсивности отказов процессора довольно маленький. Большинство ошибок в основном возникает из-за ошибок программного обеспечения. Для определения параметров модели целесообразно использовать метод прогноза надежности программного обеспечения, наблюдаемой на первом году работы системы (см. [19, 21–23]).

Автор [14] приводит плотность отказов, предсказанную на основе измерений для телекоммуникационной системы за первый год работы. Предсказанная плотность отказов составляет различия в среде разработки программного обеспечения и характеристиках программного обеспечения между измеренной системой и смоделированной системой. В результате в [14] обоснованы значения: интенсивности возникновения программных отказов  $\lambda_s$  на уровне 0,9–15 в год; интенсивности восстановления коммутационного оборудования процессора  $\mu_s$  на уровне 30 восстановлений в час; восстановления перезагрузки процессора  $\mu_p$  на уровне  $p=12$  восстановлений в час; интенсивность запуска процессора с перезагрузкой данных  $\mu_g$  на уровне 2 восстановлений в час; интенсивность восстановления процессора  $\mu_R$  на уровне 0.25 восстановлений в час.

Для наглядности приведем результаты численного расчета среднего времени безотказной работы вычислительного кластера в интересах параметрического анализа. Предположим, что время ремонта серверов распределено по равномерному закону со средним значением длительности восстановления, равным 20 и коэффициентом вариации  $V_z=0$ . По существу равномерное распределение с такими параметрами соответствует детерминированной длительности восстановления. Распределения длительностей безотказной работы серверов как и ранее считаем экспоненциальными:  $f_w(x) = \alpha \times \exp(-\alpha x)$  и  $g_w(x) = \beta \times \exp(-\beta x)$ . В таблице 1 приведены значения среднего времени до двойного отказа  $E_{zw}(T)$  в зависимости от  $\beta$  и  $\alpha$ .

Таблица 1

Среднее время безотказной работы кластера

$\alpha\beta$	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,04	0,045	0,050	0,055
0,005	98,03	72,93	65,89	61,21	57,04	53,08	49,28	45,65	42,20	38,94	35,87
0,010	86,96	47,39	36,48	31,26	27,87	25,26	23,06	21,11	19,34	17,72	16,23
0,015	90,07	43,81	30,24	23,92	20,16	17,56	15,57	13,94	12,55	11,33	10,25
0,020	94,21	44,04	28,73	21,53	17,34	14,55	12,50	10,92	9,62	8,53	7,59
0,025	98,08	45,23	28,68	20,81	16,24	13,25	11,09	9,46	8,17	7,11	6,22
0,030	101,55	46,65	29,17	20,77	15,88	12,68	10,41	8,72	7,40	6,34	5,46
0,035	104,69	48,09	29,86	21,03	15,87	12,50	10,12	8,36	7,00	5,91	5,02
0,040	107,54	49,48	30,62	21,43	16,04	12,51	10,04	8,21	6,80	5,68	4,77
0,045	110,17	50,79	31,38	21,89	16,30	12,64	10,07	8,17	6,72	5,57	4,64
0,050	112,62	52,02	32,16	22,36	16,60	12,82	10,17	8,21	6,72	5,53	4,58
0,055	114,90	53,18	32,86	22,84	16,93	13,04	10,31	8,29	6,75	5,54	4,57

Соответствующая приведенной таблице диаграмма зависимости среднего времени  $E(T)$  безотказной работы вычислительного кластера от параметров модели надежности  $\beta$  и  $\alpha$  приведена на рис. 3.

Из представленных результатов наглядно видно, насколько сильно влияют значения параметров  $\beta$  и  $\alpha$  на значения среднего времени  $E(T)$  безотказной работы вычислительного кластера из двух серверов при фиксированном не экспоненциальном распределении времени восстановления каждого из серверов.

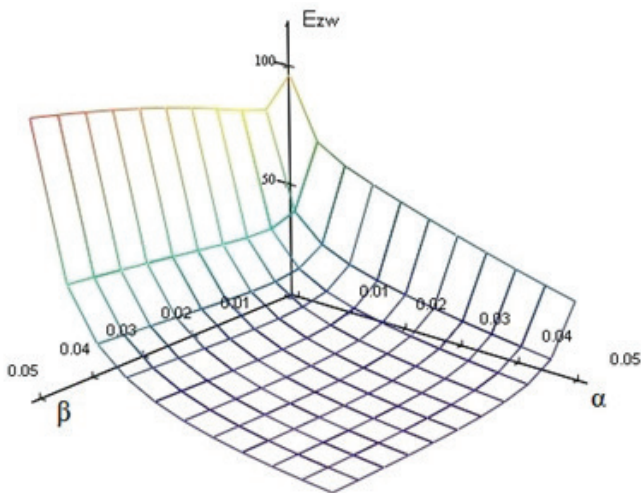


Рис. 3. Зависимость  $E(T)$  от параметров  $\beta$  и  $\alpha$

Рассмотрим вопрос **оценки выигрыша в точности прогноза** характеристик надежности вычислительного кластера с двумя серверами на основе рассмотренной полумарковской модели. Для этого оценим влияние коэффициента вариации ( $V_z$ ) не экспоненциального распределения длительности восстановления первого и второго серверов (с плотностями  $f_z(x)$  и  $g_z(x)$ ) на значения среднего времени  $E_{zw}(T)$  до двойного отказа. При этом для наглядности зафиксируем значения величин  $\beta$  и  $\alpha$ , а также одинаковую среднюю длительность времени восстановления каждого из серверов. По сути, коэффициент вариации в нашем случае служит мерой отличия распределения длительности восстановления каждого из серверов от экспоненциального распределения. Заметим, что для экспоненциального закона распределения  $V_z = 1$ , для детерминированного закона распределения  $V_z = 0$ .

Зависимость среднего времени  $E_{zw}(T)$  до двойного отказа от коэффициента вариации длительности восстановления первого и второго серверов приведена на рис. 4.

Из характера приведенной на рис. 4 зависимости следует вывод о заметном влиянии коэффициента вариации длительности восстановления серверов кластерной вычислительной системы на значения показателя  $E_{zw}(T)$  надежности кластерной вычислительной системы. Это свидетельствует об обоснованности применения полумарковской модели для повышения точности расчета характеристик надежности кластерных систем.

## 5. Об уточнении характеристик надежности по данным мониторинга

Полученные с помощью полумарковской моделирования характеристики надежности вычислительных кластеров являются априорными и могут быть уточнены с помощью средств мониторинга в процессе эксплуатации. В частности, требуемая информация о надежности вычислений, выполняемых серверами в составе кластеров, может быть получена с помощью системы IBM Tivoli. Эта система мониторинга позволяет интегрироваться с обширным количеством продуктов. Это могут быть системы мониторинга, системы обработки событийной информации, в общем, любые системы которые, служат для работы с ситуациями, событиями или параметрами мониторинга.

Логическим продолжением для работы с ситуациями является их передача в систему обработки событийной информации. В линейке Tivoli — это Netcool/OMNIBus. Фиксируемые с помощью указанной подсистемы события позволяют получить фактические данные по моментам возникновения различного рода программных и аппаратных отказов, длительностей интервалов времени, затрачиваемого для их устранения. Тем самым мы имеем возможность получить опытные данные об опытных (апостериорных) значениях параметров надежности. С их помощью можно провести уточнение характеристик надежности вычислительного кластера.

Оценка выигрыша в **точности** расчета характеристик надежности может быть выполнена по аналогии с рассмотренными [7] подходом, который реализуется следующим образом.

1. Выполняется расчет относительной величины:

$$\delta_T = \left( \sqrt{D_{p_o}} - \sqrt{D_{p_a}} \right) 100 / \sqrt{D_{p_o}} (\%).$$

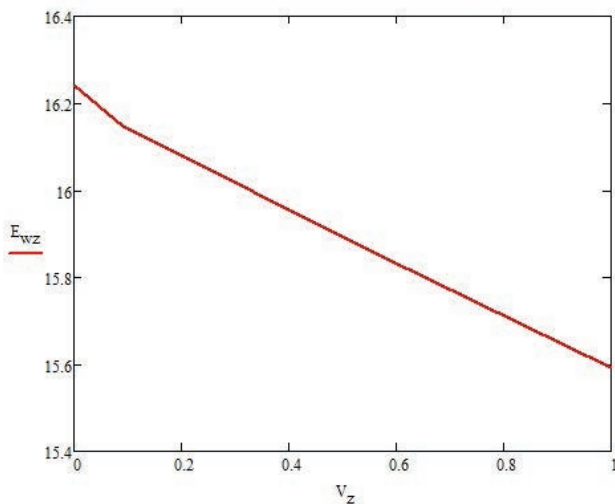


Рис. 4. Зависимость  $E_{wz}$  (T) от коэффициента вариации длительности восстановления сервера

2. Выполняется приближенный расчет выигрыша в точности оценки с помощью величины:

$$y_o = 1/p_o = \sum_{i=1}^{N_o} x_i / mN_o, y_o \in [1, \infty).$$

В приведенных формулах у дисперсии  $D$  индекс  $p_o$  указывает на опытную оценку, получаемую по данным мониторинга, а индекс  $p_a$  — указывает на априорную оценку, получаемую с помощью полумарковской модели надежности. Величина  $N_o$  определяет число появления соответствующих событий (например, отказа сервера, появления программной ошибки и т.п.). Приведенные формулы основаны на использовании метода приоритетной информации [7] и применительно к решаемой нами задаче уточнения параметров надежности нуждаются в доработке.

Относительно обоснованности использования системы IBM Tivoli Monitoring можно отметить следующее: она представляет собой систему мониторинга огромного числа разнородных компонентов информационной инфраструктуры; подходит для мониторинга как небольшой, так и огромной инфраструктуры; содержит все необходимое для создания отчетов любой сложности; без проблем интегрируется с большинством систем; не самое дешевое и достаточно требовательное к ресурсам программное средство.

## Заключение

Предложенный комбинированный подход позволяет повысить точность расчета характеристик надежности кластерных вычислительных систем. Его можно применять также для оценки характеристик доступности дисковых накопителей, надежности и доступности информационных систем и др. [23–27].

Дальнейшие исследования, на наш взгляд целесообразно продолжить в следующих направлениях: совершенствования моделей оценки характеристик надежности и доступности современных информационных систем и технологий: GRID-технологий, комбинированных подходов к оцениванию надежности вычислительных систем, оценивания надежности облачных вычислений и др. [18, 28–31].

## Литература

1. Савяк В. Эффективные кластерные решения. URL: <https://www.ixbt.com/cpu/clustering.shtml> (дата обращения 14.07.2018).
2. Харламов Б. П., Проурзин О. В. Вычисление коэффициента готовности для системы двух взаимозаменяемых агрегатов // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 4 (33). С. 251–259.
3. Харламов Б. П., Проурзин О. В. Об интервале безотказной работы для системы из двух независимых аль-

тернирующих процессов восстановления // Записки научных семинаров ПОМИ. 2015. № 442. С. 143–165.

4. *Линикова О. Е.* Мониторинг серверного оборудования и приложений: магистерская дис. Екатеринбург, 2014. 123 с.

5. *Шардаков К. С.* Сравнительный анализ популярных систем мониторинга сетевого оборудования, распространяемых по лицензии GPL // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2018. № 1. С. 44–49.

6. IBM Tivoli — Integrated Management software. URL: <http://www-01.ibm.com/software/tivoli/solutions/> (дата обращения 17.07.2018).

7. *Арсеньев В. Н., Силантьев С. Б., Хомоненко А. Д., Ададуров С. Е.* Определение вероятности выполнения задачи сложной системой при ограниченном объеме опытной информации // XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018): Сборник докладов (Санкт-Петербург, 23–25 мая 2018 г.). СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. Т. 1. С. 43–46.

8. Jie M., Honlin Z., Wenbo X., Jin L. Reliability Testing Methods for Critical Information System based on State Random // 2011 International Conference on Information Communication and Management. IACSIT Press, Singapore. 2011. Vol. 16. Pp. 28–32.

9. *Cai K.-Y., Caob. P., Dongc. Z., Liu. K.* Mathematical modeling of software reliability testing with imperfect debugging // Computers and Mathematics with Applications. 2010. Vol. 59. No. 10. Pp. 3245–3285.

10. *Черкесов Г. Н.* Надежность аппаратно-программных комплексов. СПб.: Питер, 2005. 479 с.

11. *Половко А. М., Гуров С. В.* Основы теории надежности. 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.

12. *Shooman M. L.* Reliability of Computer Systems and Networks. New York: Wiley, 2002. 546 p.

13. *Рахман П. А.* Модель надежности двухузлового кластера высокой готовности // BugTrug. Библиотека. Internals. 2014. 15 с. URL: <https://bugtraq.ru/library/internals/dualnodecluster.html> (дата обращения 14.07.2018).

14. *Mendiratta V. B.* Reliability Analysis of Clustered Computing Systems // Proceedings of The Ninth International Symposium on Software Reliability Engineering. 1998. Pp. 268–272.

15. *Lyu M. R., Mendiratta V. B.* Software Fault Tolerance in a Clustered Architecture: Techniques and Reliability Modeling // In: Proc. of 1999 IEEE Aerospace Conference (Snowmass, Colorado, 1999 March 6–13). 1999. Vol. 5. Pp. 41–150.

16. *Климанов В. П., Ермаков А. А.* Комплексная оценка надежности сетевого кластера // Известия ОрелГТУ. Серия: Информационные системы и технологии. 2008. № 1–4/269(544). С. 201–207.

17. *Богатырев В. А., Богатырев С. В.* Объединение резервированных серверов в кластеры высоконадежной

компьютерной системы // Информационные технологии. 2009. № 6. С. 41–47.

18. *Xie M., Poh K. L., Da Y. S.* Computing System Reliability. Models and Analysis. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2004. 308 p.

19. *Смагин В. А.* Основы теории надежности программного обеспечения. СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2009. 355 с.

20. *Гуров С. В.* Анализ надежности технических систем с произвольными законами распределений отказов и восстановлений // Качество и надежность изделий. 1988. № 2 (18). 1992. 37 с.

21. *Тырва А. В., Хомоненко А. Д., Бубнов В. П.* Модели надежности программного обеспечения. СПб.: ПГУПС, 2010. 40 с.

22. *Karanta I.* Methods and problems of software reliability estimation. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2006. 57 p.

23. *Bernstein J. B.* Reliability Prediction from Burn-In Data Fit to Reliability Models. London: Academic Press. 2014. 108 p.

24. *Denson W.* The history of reliability prediction // IEEE Transactions on Reliability. 1998. No. 47(3-SP). Pp. 321–328.

25. *Foucher B., Boullie J., Meslet B., Das D.* A review of reliability prediction methods for electronic devices // Microelectron Reliab. 2002. No. 42. Pp. 1155–1162.

26. *Каяшев А. И., Рахман П. А., Шарипов М. И.* Анализ показателей надежности избыточных дисковых массивов // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17. № 2 (55). С. 163–170.

27. *Elerath J. G.* Reliability model and assessment of redundant arrays of inexpensive disks (RAID) incorporating latent defects and non-homogeneous Poisson process events. Ph. D. Dissertation. University of Maryland, 2007. 157 p.

28. *Новиков А. Н., Смагин В. А.* Модель готовности восстанавливаемой технической системы с учетом достоверности контроля состояния ее элементов при произвольных распределениях времени до их отказа и восстановления // Труды Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2016. № 652. С. 198–203.

29. *Марков А. С.* Нечеткая модель оценки надежности и безопасности функционирования программного обеспечения по результатам испытаний // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2011. No. S1. С. 151–146.

30. *Foster I., Kesselman C., Tuecke S.* The anatomy of the Grid: Enabling scalable virtual organizations // International Journal of High Performance Computing Applications. 2001. No. 15(2). Pp. 200–222.

31. *Dai Y.-S., Yang B., Dongarra J., Zhang G.* Cloud Service Reliability: Modeling and Analysis. URL: <http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/PAPERS/Cloud-Shaun-Jack.pdf>. (дата обращения 31.07.2018).



## PREDICTION OF RELIABILITY OF CLUSTER COMPUTING SYSTEM USING SEMI-MARKOV MODEL OF ALTERNATING PROCESSES AND MONITORING

### ANATOLIY D. KHOMONENKO

St-Petersburg, Russia, khomonenko@pgups.ru

### EKATERINA A. BLAGOVESHCHENSKAYA

St. Petersburg, Russia, kblag2002@yahoo.com

### OLEG B. PROURZIN

St. Petersburg, Russia, pvo777@yandex.ru

### ALENA A. ANDRUK

St. Petersburg, Russia, aaandruk@gmail.com

**KEYWORDS:** semi-Markov model of reliability; cluster computing system; restoration duration; average time of trouble-free operation; reliability.

### ABSTRACT

Approach to calculation of characteristics of reliability of the cluster computing system from two interchangeable servers is offered. The purpose of article consists in the increase in accuracy of calculation of characteristics of reliability of cluster system reached by introduction of premises about not exponential distribution of duration of trouble-free operation and restoration of servers. The semi-Markov model of such system in the form of two conditionally independent accidental processes of restoration is described. For accounting not of the exponential law of distributions of duration of trouble-free operation and restoration of servers of a cluster two-dimensional process until a double failure is considered. In case of any start state when one server works, and another - is not present, the moment of a double failure comes when both servers are in repair state. As an index of reliability of a computing cluster the average time of trouble-free operation of a cluster determined through probability to find cluster system in working order in arbitrary time point is used. Use of analytical expressions for calculation of average time of trouble-free operation of a computing cluster from two servers, one of which is in a hot reserve, is justified. At the same time important distinctive feature of the considered semi-Markov model of reliability of a computing cluster is that duration of restoration of the failed server can have arbitrary distribution law. For specification of characteristics of reliability of the cluster computing system the possibility of use of work benches of monitoring is discussed. Results of numerical calculations of characteristics of reliability of the cluster computing system are given. The main result - the analytical impact assessment of coefficient of a variation not of exponential distribution of duration of restoration of the server in the used reliability model on value of average time of trouble-free operation of a cluster showing as far as the accuracy of calculation of this index of reliability of the cluster computing system from two interchangeable servers increases. Feasibility of specification of characteristics of reliability of the cluster computing system by means of work benches of monitoring is justified.

### REFERENCES

1. Savjak V. Effektivnye klasternye resheniya [Effective cluster solutions]. URL: <https://www.ixbt.com/cpu/clustering.shtml> (date of access 14.07.2018). (In Russian)
2. Kharlamov B. P., Prourzin O.V. Computation of availability coefficient of two interchangeable aggregates' system. *Bulletin of Civil Engineers*. 2012. № 4 (33). Pp. 251-259. (In Russian)
3. Harlamov B. P., Prourzin O.V. On an interval of faultless work for a system of two independent alternating renewal processes. *Journal of Mathematical Sciences*. 2017. Vol. 225. No. 5. Pp. 818-832.
4. Linikova O.E. Monitoring servernogo oborudovanija i prilozhenij: masterskaja dis. [Monitoring of server hardware and applications: master's dis.]. Ekaterinburg, 2014. 123 p. (In Russian)
5. Shadakov K.S. Comparative analysis of the popular monitoring systems for network equipment distributed under the GPL license. *Intellectual Technologies on Transport*. 2018. No. 1. Pp. 44-49. (In Russian)
6. IBM Tivoli – Integrated Management software. URL: <http://www-01.ibm.com/software/tivoli/solutions/> (date of access 17.07.2018).
7. Arseniev V. N., Silantev S.B., Khomonenko A.D., Adadurov S.E. Definition Probabilities of Performance of the Problem of the Complex System at the Limited Volume of the Experimental Information. *2018 XXI IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM 2018)*, St. Petersburg, 23-25 May 2018. St. Petersburg: ETU «LETI» Publ., 2018. Vol. 1. Pp. 43-46. (In Russian)
8. Jie M., Honlin Z., Wenbo X., Jin L. Reliability Testing Methods for Critical Information System based on State Random. *2011 International Conference on Information Communication and Management*. IACSIT Press, Singapore. 2011. Vol. 16. Pp. 28-32.
9. Cai K.-Y., Caob. P., Dongc. Z., Liu. K. Mathematical modeling of software reliability testing with imperfect debugging. *Computers and Mathematics with Applications*. 2010. Vol. 59. No. 10. Pp. 3245-3285.
10. Cherkesov G.N. *Nadezhnost' apparatno-programmnyh kompleksov* [Reliability of hardware and software systems]. St. Petersburg: Piter, 2005. 479 p. (In Russian)

11. Polovko A. M., Gurov S.V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2006. 704 p. (In Russian)
12. Shooman M.L. *Reliability of Computer Systems and Networks*. New York: Wiley, 2002. 546 p.
13. Rahman P.A. Model' nadezhnosti dvuhuzlovogo klastera vysokoj gotovnosti [Reliability model of a high-availability two-node cluster]. *BugTrug.Biblioteka.Internals*. 2014. 15 p. URL: <https://bugtraq.ru/library/internals/dualnodecluster.html> (date of access 14.07.2018). (In Russian)
14. Mendiratta V.B. Reliability Analysis of Clustered Computing Systems. *Proceedings of The Ninth International Symposium on Software Reliability Engineering*. 1998. Pp. 268-272.
15. Lyu M.R., Mendiratta V.B. Software Fault Tolerance in a Clustered Architecture: Techniques and Reliability Modeling. In: *Proc. of 1999 IEEE Aerospace Conference*, (Snowmass, Colorado, 1999 March 6-13). 1999. Vol. 5. Pp. 141-150.
16. Klimanov V.P., Ermakov A.A. Kompleksnaja ocenka nadezhnosti setevogo klastera [Comprehensive assessment of the reliability of grid cluster]. *Izvestija OreIGTU. Seriya: Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information systems and technologies]. 2008. No. 1-4/269(544). Pp. 201-207. (In Russian)
17. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Association Reservation Servers in Clusters Highly Reliable Computersystem. *Information systems and technologies*. 2009. № 6. Pp. 41-47. (In Russian)
18. Xie M., Poh K. L., Da Y.S.. *Computing System Reliability. Models and Analysis*. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2004. 308 p.
19. Smagin V.A. *Osnovy teorii nadezhnosti programmnoho obespechenija* [Fundamentals of the theory of software reliability]. SPb.: VKA im. A.F. Mozhajskogo, 2009. 355 p. (In Russian)
20. Gurov S.V. Analiz nadezhnosti tehniceskikh sistem s proizvol'nymi zakonami raspredelenij otkazov i vosstanovlenij. [Analysis of reliability of technical systems with arbitrary laws of distribution of failures and recoveries]. *Kachestvo i nadezhnost' izdelij* [Product quality and reliability]. 1992. No. 2 (18). 37 p. (In Russian)
21. Tyrva A.V., Khomonenko A.D., Bubnov V.P. *Modeli nadezhnosti programmnoho obespechenija* [Software reliability models]. St. Petersburg: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University Publ., 2010. 40 p. (In Russian)
22. Karanta I. *Methods and problems of software reliability estimation*. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2006. 57 p.
23. Bernstein J.B. Reliability Prediction from Burn-In Data Fit to Reliability Models. London: Academic Press. 2014. 108 p.
24. Denson W. The history of reliability prediction. *IEEE Transactions on Reliability*. 1998. No. 47(3-SP). Pp. 321-328.
25. Foucher B., Boullie J., Meslet B., Das D. A review of reliability prediction methods for electronic devices. *Microelectron Reliab*. 2002. No. 42. Pp. 1155-1162.
26. Kajashv A.I., Rahman P.A., Sharipov M.I. Reliability analysis of redundant disk arrays. *Vestnik UGATU*. 2013. Vol. 17. No. (55). Pp. 163-170. (In Russian)
27. Elerath J.G. Reliability model and assessment of redundant arrays of inexpensive disks (RAID) incorporating latent defects and non-homogeneous Poisson process events. Ph.D. Dissertation. University of Maryland, 2007. 157 p.
28. Novikov A.N., Smagin V.A. Model' gotovnosti vosstanavlivaemoj tehniceskoy sistemy s uchetom dostovernosti kontrolja sostojanija ee jelementov pri proizvol'nyh raspredelenijah vremeni do ih otkaza i vosstanovlenija [The model of readiness restorable technical system with consideration of reliability of monitoring the state of its elements with arbitrary distributions of time before they fail and recovery]. *Trudy VoЕННО-kosmicheskoy akademii imeni A.F. Mozhajskogo* [Proc. of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky]. 2016. No. 652. Pp. 198-203. (In Russian)
29. Markov A.S. Nechetkaja model' ocenki nadezhnosti i bezopasnosti funkcionirovanija programmnoho obespechenija po rezul'tatam ispytanij [Fuzzy model of software reliability and safety evaluation based on test results]. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 2011. No. S1. Pp. 151-146. (In Russian)
30. Foster I., Kesselman C., Tuecke S. The anatomy of the Grid: Enabling scalable virtual organizations. *International Journal of High Performance Computing Applications*. 2001. No. 15(2): Pp. 200-222.
31. Dai Y.-S., Yang B., Dongarra J., Zhang G. Cloud Service Reliability: Modeling and Analysis. URL: <http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/PAPERS/Cloud-Shaun-Jack.pdf> (date of access 31.07.2018).

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Khomonenko A.D., PhD, Professor, Head of the Department of Information and Computing systems of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, professor at the Department of mathematical and software of Military space academy of A.F. Mozhajsky; Blagoveshchenskaya E.A., PhD, Professor, Head of Department higher mathematics of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university; Prourzin O.B., Senior lecturer of the Department Information and computing systems Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university; Andruk A.A. leading electronic engineer of the St. Petersburg data-processing center, post-graduate student of the Department of Information and computing systems Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university.

**For citation:** Khomonenko A.D., Blagoveshchenskaya E.A., Prourzin O.B., Andruk A.A. Prediction of reliability of cluster computing system using semi-markov model of alternating processes and monitoring. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 72-82. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10099 (In Russian)

doi: 10.24411/2409-5419-2018-10100

# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОРГАНОВ ВОЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

**ЯМПОЛЬСКИЙ  
Сергей Михайлович**

## АННОТАЦИЯ

Информационная обеспеченность и рациональность стратегических решений, принимаемых органами военного управления, в существенной мере зависит от информационного взаимодействия между ними, сущность которого заключается в обмене информацией, необходимой для эффективного комплексного применения сил средств и ресурсов в интересах обороны и безопасности государства.

Для своевременного обеспечения органов управления требуемой информацией требуется соответствующая информационно-технологическая основа.

Применение различных вариантов информационно-технологической основы органов военного управления, с одной стороны вносит определенный вклад в решение задач, стоящих перед ними, что позволяет снизить временные затраты на сбор, обобщение и анализ данных обстановки, повысить качество, актуальность и достоверность получаемой информации, а с другой стороны, требует определенных затрат.

В связи с этим, приобретает особую актуальность решение задачи выбора рационального варианта информационно-технологической основы для повышения эффективности информационного взаимодействия органов военного управления, с учетом объема вложенных финансовых средств.

В работе построена стратегическая карта системы ключевых показателей эффективности информационного взаимодействия органов военного управления. Представлено описание стратегических целей информационного взаимодействия, а также соответствующие им ключевые показатели эффективности.

Рассмотрен пример выбора рационального варианта конфигурации информационно-технологической основы системы информационного взаимодействия органов военного управления на основе метода анализа иерархий, с учетом объема вложенных финансовых средств.

Предложенный подход позволяет обосновать экономически целесообразную стоимость обеспечения качества проведения информационного взаимодействия органов военного управления при заключении сервисных контрактов на послепродажное обслуживание элементов информационно-технологической основы, а также оценить зависимость качества проведения взаимодействия и стоимости его обеспечения для предоставления гарантий при заключении сервисных контрактов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** органы военного управления; стратегическая карта; система ключевых показателей; информационно-технологическая основа; конфигурация; система информационного взаимодействия; метод анализ иерархий.

## Сведения об авторе:

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

**Для цитирования:** Ямпольский С.М. Методологический подход к выбору информационно-технологической основы системы информационного взаимодействия органов военного управления // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 4. С. 83-92. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10100

Изменения в характере военных опасностей и угроз для Российской Федерации, возникшие за последние годы, предъявляет новые требования к содержанию и порядку деятельности органов военного управления (ОВУ) при решении задач в области обороны и безопасности государства.

Результаты проведенных исследований показали, что в современных условиях, с учетом необходимости принятия решений практически в реальном времени и потребности в обработке больших объемов информации, эффективность управления обороной и безопасностью государства во многом зависит от совершенства методов, применяемых ОВУ в процессе выполнения своих функциональных задач [1, 6, 7, 8].

Современный уровень развития информационных технологий позволяет интегрировать деятельность ОВУ в форме так называемого «виртуального предприятия», когда различные органы управления имеют коллективный доступ к информации.

Именно механизмы, реализующие информационное взаимодействие ОВУ, должны обеспечить адекватное отражение непрерывно меняющейся обстановки и формирование целостной объективной военной, социально-политической и экономической картины мира, многоцелевое и многопользовательское планирование и использование разнородных ресурсов в условиях высокой динамики вызовов и угроз [1].

Степень реализации возможностей сил, средств и ресурсов для обеспечения эффективности информационного взаимодействия ОВУ определяется, прежде всего, *качеством решений*, принимаемых этими органами, в существенной мере зависящими от их информационного обеспечения.

*Информационно-технологическая основа* ОВУ предназначена для обмена в автоматизированном режиме информацией, необходимой этим органам для формирования решений по применению имеющихся в их распоряжении сил, средств и ресурсов [1].

Проведенный анализ информационно-технологической основы (ИТО) существующих технических средств и технологий показал, что они не позволяют в полной мере обеспечить требуемое информационное взаимодействие ОВУ в интересах обороны и безопасности Российской Федерации [6–8, 11]. Это обуславливает необходимость дальнейшего развития ИТО системы информационного взаимодействия ОВУ.

Эффективность функционирования ИТО проявляется в обусловленном ее функционированием приращении степени реализации возможностей указанных сил, средств и ресурсов для обеспечения эффективности информационного взаимодействия ОВУ.

При выполнении требований полноты, точности и достоверности информации, формируемой, в части ка-

сающейся, каждым органом управления, это приращение обеспечивается за счет своевременности обмена необходимой информацией и обеспечения ее защищенности в процессе обмена [8]. Своевременность заключается в том, что время, необходимое для обмена информацией не приводит к превышению, допустимого для каждого из рассматриваемых органов, времени цикла управления. Защищенность информации обеспечивается скрытностью процессов обмена, их стойкостью к деструктивному воздействию и восстанавливаемостью после такого воздействия. При этом, обеспечение защищенности, в конечном счете, приводит к увеличению необходимого для обмена информацией времени.

Следовательно, своевременность обмена необходимой информацией, при условии обеспечения требуемого уровня ее защищенности, является основным параметром ИТО, определяющим степень реализации возможностей подведомственных ОВУ сил, средств и ресурсов [8, 10–11].

Анализ результатов проведенных исследований показал, что в современных условиях приобретает особую актуальность решение задачи выбора рационального варианта ИТО для повышения эффективности информационного взаимодействия ОВУ с учетом объема вложенных финансовых средств [1].

Это связано с тем, что включение (исключение) мероприятий, связанных с построением ИТО, в государственный оборонный заказ (ГОЗ) должно подкрепляться обоснованными аргументами, подтверждающими необходимость их проведения.

Под *конфигурацией* ИТО понимают структуру комплекса программно-аппаратных средств ОВУ, обладающую эксплуатационными, функциональными и физическими свойствами (характеристиками) и отвечающую установленным требованиям.

Соответственно, управление конфигурацией — это управленческая технология, направленная на установление и поддержание соответствия эксплуатационных, функциональных и физических характеристик ИТО системы информационного взаимодействия ОВУ заданным требованиям [2].

В соответствии с технологией управления конфигурацией, из базовой структуры ИТО могут быть выделены объекты конфигурации, выполняющие в составе рассматриваемой структуры четко определенные функции и обладающие значимым набором характеристик, сопоставимых с подмножеством требований, предъявляемых к требуемому (базовому) варианту ИТО. В процессе управления конфигурацией эти наборы требований декомпозируются на «поднаборы», относящиеся к функциональным компонентам ИТО.

Для ИТО эти требования весьма многообразны и представляются в виде  $N$ -мерного вектора (1):

$$R_z = (r_1, r_2, \dots, r_N) \quad (1)$$

компонентами которого могут быть как количественные, так и качественные характеристики деятельности ОВУ.

Фактические характеристики ИТО представляются также в виде  $N$ -мерного вектора (2):

$$M_i = (m_1, m_2, \dots, m_N) \quad (2)$$

компоненты которого имеют тот же физический смысл, что и компоненты вектора  $R_z$  и измеряются в тех же единицах.

Меру удовлетворения информационных потребностей ОВУ возможно оценить нормой вектора разности  $R_z$  и  $M_i$  (3):

$$\Delta = |R_z - M_i| \quad (3)$$

В задачу выбора рационального варианта ИТО входит выбор такой структуры элементов, применение которых в рамках деятельности ОВУ, обеспечит *минимизацию* величины  $\Delta$ .

Реализация каждого из представленных вариантов ИТО с одной стороны вносит определенный вклад в решение задач, стоящих перед ОВУ, что позволяет снизить временные затраты на сбор, обобщение и анализ данных обстановки, повысить качество, актуальность и достоверность получаемой информации, а с другой стороны, требует определенных затрат.

В связи с этим, актуальной задачей является *сопоставление качества и стоимости* для представленных вариантов ИТО системы информационного взаимодействия ОВУ. Такое обоснование необходимо и для ГОЗ в целом, чтобы однозначно доказать, что представляемый на утверждение вариант заказа является рациональным (наилучшим) из всех возможных вариантов [2].

Для данного обоснования целесообразно использовать критерий «*эффективность-стоимость*», исходя из полученных значений которого возможно выбрать рациональный вариант ИТО с наилучшим ожидаемым эффектом от его реализации (при заданном объеме финансовых вложений), либо с наименьшими затратами (при заданном или равном уровне эффективности информационного взаимодействия ОВУ).

Необходимо отметить, что в настоящее время не существует единой методики или формулы расчета совокупной стоимости владения новыми организационными и программно-техническими решениями, так как структура осуществляемых затрат существенно различается в зависимости от особенностей деятельности различных ОВУ [3].

Традиционно, при расчете совокупной стоимости владения такими решениями учитываются три основных типа затрат: прямые капитальные; прямые операционные;

косвенные затраты (потенциальные потери от различных проблемных ситуаций).

По сути только косвенные затраты способны отразить то, насколько эффективно осуществляется управление информационными ресурсами и системами в ходе проведения информационного взаимодействия между ОВУ [3].

Логическая цепочка в данном случае выглядит следующим образом: чем большее число должностных лиц ОВУ работает в едином информационном пространстве и чем сложнее функциональные процессы их деятельности, тем выше как совокупная стоимость владения организационными и программно-техническими решениями, так и результативность использования всей ИТО в целом.

Для решения задачи выбора наиболее рационального варианта ИТО сформируем систему ключевых показателей эффективности (КПЭ) информационного взаимодействия ОВУ.

В рамках реализации данной методологии происходит трансформация стратегии управления информационным взаимодействием ОВУ в полный набор количественных индикаторов, позволяющих измерять степень успешность проведения взаимодействия в настоящем и будущем [5]. Набор КПЭ предназначен для руководящих лиц ОВУ как инструмент принятия решений в процессе управления информационным взаимодействием.

Стратегическая карта ССП эффективности информационного взаимодействия ОВУ представлена на рис. 1.

В табл. 1 и 2 представлено описание стратегических целей информационного взаимодействия ОВУ, а также соответствующие им КПЭ.

В качестве интегрального *показателя качества* информационного взаимодействия ОВУ —  $K_{\text{ИВ}}$  предлагается использовать отношение коэффициента глобального приоритета выбора варианта ИТО —  $A_p$ , который будет рассмотрен далее, к полной стоимости ИТО —  $S_{\text{ИТО}}^{\text{п}}$  (4):

$$K_{\text{ИВ}} = \frac{A_p}{S_{\text{ИТО}}^{\text{п}}} \quad (4)$$

Полная стоимость ИТО определяется как сумма совокупной стоимости владения ИТО («оплата» за качество проведения информационного взаимодействия ОВУ) —  $S_{\text{ИТО}}^{\text{вл}}$  и совокупной стоимости ИТО —  $S_{\text{ИТО}}$  (5):

$$S_{\text{ИТО}}^{\text{п}} = S_{\text{ИТО}} + S_{\text{ИТО}}^{\text{вл}} \quad (5)$$

Из всех известных математических методов и инструментальных средств, подходящих для обоснования выбора рационального варианта ИТО, наибольшую значимость представляют те методы, которые позволяют учитывать неопределенность и многокритериальность выбора, а также дают возможность выбора наиболее эффективного решения из заданного множества альтернатив

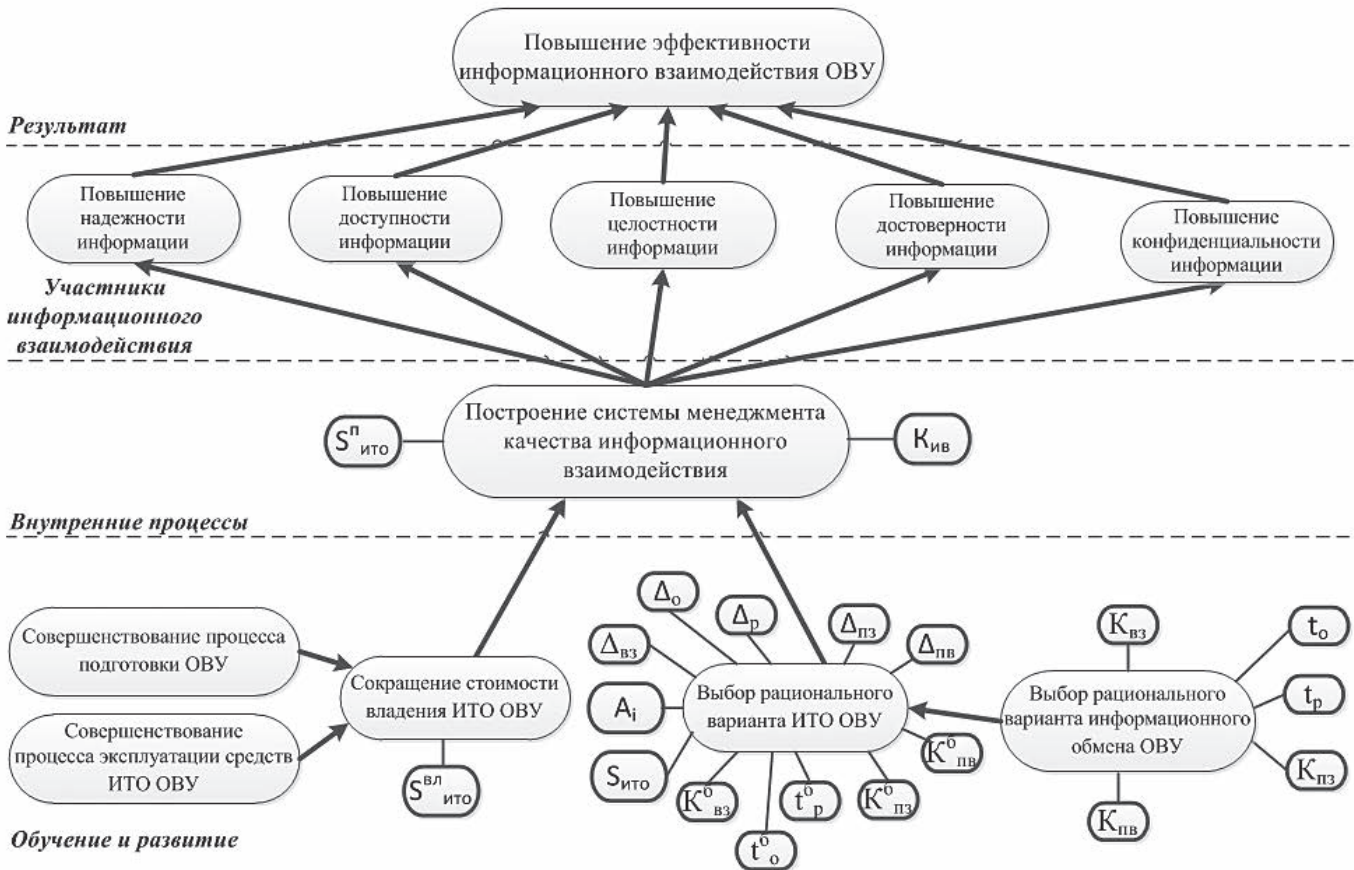


Рис. 1. Стратегическая карта SSP эффективности информационного взаимодействия ОВУ

при наличии критериев, имеющих различные типы шкал измерения.

К числу таких методов относится *метод анализа иерархий* (МАИ) [4, 9, 12–15]. Данный метод удовлетворяет всем вышеуказанным требованиям и является относительно простым для использования полученной от экспертов информации.

В рамках реализации МАИ, выбор рационального варианта структуры ИТО будет осуществляться на основе координат вектора:  $\Delta_i = (\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N)$ .

В итоге, на основании полученных сравнений альтернатив по критериям и нормализованных весов критериев, получается итоговая глобальная матрица. Далее, на основании полученных значений коэффициента глобального приоритета-  $A_p$ , делается вывод о наиболее рациональной, с точки зрения выделенных критериев, альтернативе (конфигурации ИТО).

Согласно требованиям нормативно-методических документов, процесс управления конфигурацией программно-аппаратных комплексов, создаваемых по ГОЗ, к числу которых относится ИТО системы информационного взаимодействия ОВУ, предусматривает [2]:

идентификацию конфигурации;

проверку конфигурации, т.е. получение подтверждения того, что текущая версия ИТО соответствует заданным требованиям;

при отрицательном результате проверки — проведение анализа причин несоответствия требованиям и документально оформленное инициирование работ по внесению изменений в структуру ИТО;

контроль результатов изменения и, при положительном результате проверки — утверждение конфигурации.

Представленный процесс может повторяться на всех стадиях жизненного цикла ИТО: после завершения процесса проектирования, изготовления и испытаний опытного образца, а также в процессе использования комплекса по назначению, когда могут быть скорректированы ранее выставленные требования или произведена замена компонентов.

Рассмотрим пример выбора рационального варианта конфигурации ИТО для проведения развития (модернизации) существующей ИТО системы информационного взаимодействия ОВУ с учетом объема вложенных финансовых средств.

Таблица 1

Описание стратегических целей информационного взаимодействия ОВУ

Перспективы	Стратегические цели	Описание стратегических целей
Обучение и развитие	1. Сокращение стоимости владения ИТО	
	1.1. Совершенствование процесса подготовки ОВУ	Организация новых направлений подготовки ОВУ
	1.2. Совершенствование процесса технической эксплуатации элементов ИТО	Внедрение современных стратегий технической эксплуатации элементов ИТО
	2. Выбор рационального варианта информационного обмена ОВУ	Осуществление выбора рационального варианта информационного обмена ОВУ
	3. Выбор рационального варианта ИТО	Осуществление выбора рационального варианта ИТО с учетом объема вложенных финансовых средств
Внутренние процессы	Построение системы менеджмента качества информационного взаимодействия ОВУ	Реализация мер по управлению процессами информационного взаимодействия ОВУ, направленных на обеспечение качества получаемых результатов с учетом объема вложенных финансовых средств
Участники ППО	Повышение надежности информации	Разработка и реализация мер по повышению способности информации сохранять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения
	Повышение доступности информации	Разработка и реализация мер по повышению возможности получить за приемлемое время требуемую информационную услугу
	Повышение целостности информации	Разработка и реализация мер по повышению актуальности и непротиворечивости информации, ее защищенности от разрушения и несанкционированного изменения
	Повышение достоверности информации	Разработка и реализация мер по повышению соответствия информации параметрам объективной реальности
	Повышение конфиденциальности информации	Разработка и реализация мер по повышению защиты информации от несанкционированного доступа
Результат	Повышение эффективности информационного взаимодействия	Реализация мер по повышению эффективности информационного взаимодействия

Таблица 2

Стратегические цели информационного взаимодействия ОВУ и соответствующие им КПЭ

Перспективы	Стратегические цели	КПЭ	
Обучение и развитие	1. Сокращение стоимости владения ИТО	$S_{\text{ито}}^{\text{вкл}}$ — совокупная стоимость владения ИТО	
	1.1. Совершенствование процесса подготовки ОВУ	стоимость подготовки должностных лиц ОВУ	
	1.2. Совершенствование процесса технической эксплуатации элементов ИТО	стоимость технической эксплуатации элементов ИТО	
	2. Выбор рационального варианта информационного обмена ОВУ		$K_{\text{вз}}$ — количество выполненных запросов
			$t_o$ — время обработки данных
			$t_p$ — время реагирования на изменения обстановки
			$K_{\text{пз}}$ — количество повторных запросов
			$K_{\text{пв}}$ — количество предотвращенных вторжений
	3. Выбор рационального варианта ИТО		$S_{\text{ито}}$ — совокупная стоимость ИТО
			$A_i$ — коэффициенты глобального приоритета выбора варианта ИТО
			$K_{\text{вз}}^{\text{б}}$ — базовое количество выполненных запросов
			$t_o^{\text{б}}$ — базовое время обработки данных
			$t_p^{\text{б}}$ — базовое время реагирования на изменения обстановки
			$K_{\text{пз}}^{\text{б}}$ — базовое количество повторных запросов
			$K_{\text{пв}}^{\text{б}}$ — базовое количество предотвращенных вторжений
			$\Delta_{\text{вз}}$ — величина отклонения количества выполненных запросов от базового значения
			$\Delta_o$ — величина отклонения времени обработки данных от базового значения
			$\Delta_p$ — величина отклонения времени реагирования на изменения обстановки от базового значения
			$\Delta_{\text{пз}}$ — величина отклонения количества повторных запросов от базового значения
			$\Delta_{\text{пв}}$ — величина отклонения количества предотвращенных вторжений от базового значения
Внутренние процессы			Построение системы менеджмента качества информационного взаимодействия ОВУ
	$K_{\text{пв}}$ — показатель качества информационного взаимодействия ОВУ		



Заданные требования к конфигурации ИТО ОВУ, с учетом средней стоимости каждого из ее элементов, представлены в табл. 3.

Исходные данные различных вариантов ИТО системы информационного взаимодействия ОВУ представлены в табл. 4, а исходные данные для выбора рационального варианта ИТО, в виде координат вектора  $\Delta_i = (\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N)$  представлены в табл. 5.

Результаты расчета глобальных приоритетов представлены в табл. 6.

Столбец «глобальные приоритеты» отражает долю предпочтения каждой стратегии от 100% с учетом рассчитанных коэффициентов.

Выбор рационального варианта конфигурации ИТО системы информационного взаимодействия ОВУ осуществляется на основании полученного максимального значения глобального приоритета.

Результаты расчетов, приведенные в таблице 6, показывают, что рациональным вариантом ИТО, является вариант № 1 (выделен в таблице полужирным начертанием текста).

Таблица 3

Заданные требования к конфигурации ИТО ОВУ

	$K_{вз}^6$	$t_o^6$	$t_p^6$	$K_{пз}^6$	$K_{пв}^6$
Базовый вариант ИТО	1480	12,1	19,8	7	980
Средняя цена за 1 единицу	10	15	12	11	6

Таблица 4

Исходные данные различных вариантов ИТО ОВУ

	$K_{вз}$	$t_o$	$t_p$	$K_{пз}$	$K_{пв}$
Вариант ИТО №1	1472	12,2	19,9	9	979
Вариант ИТО №2	1472	12,8	22,5	11	971
Вариант ИТО №3	1469	12,9	21,9	15	972

Таблица 5

Исходные данные для выбора рационального варианта ИТО ОВУ

	$\Delta_{вз}$	$\Delta_o$	$\Delta_p$	$\Delta_{пз}$	$\Delta_{пв}$
Вариант ИТО № 1	8	0,1	0,1	2	1
Вариант ИТО № 2	8	0,7	2,7	4	9
Вариант ИТО № 3	11	0,8	2,1	8	8

Таблица 6

Результаты расчета глобальных приоритетов для вариантов конфигурации ИТО ОВУ

Альтернативы	Критерии					Глобальные приоритеты $A_i$
	$\Delta_{вз}$	$\Delta_o$	$\Delta_p$	$\Delta_{пз}$	$\Delta_{пв}$	
	Нормализованный вектор критериев					
	0,550	0,203	0,162	0,060	0,025	
<b>Вариант ИТО №1</b>	<b>0,291</b>	<b>0,449</b>	<b>0,750</b>	<b>0,311</b>	<b>0,688</b>	<b>0,40849704</b>
Вариант ИТО №2	0,105	0,277	0,171	0,609	0,248	0,18424459
Вариант ИТО №3	0,605	0,273	0,078	0,080	0,064	0,40725836

Таблица 7

Результаты оценки качества информационного взаимодействия ОВУ  
 с учетом объема вложенных финансовых средств

	$S_{\text{ито}}$	$S_{\text{ито}}^{\text{вл}}$	$S_{\text{ито}}^{\text{н}}$	$K_{\text{миб}}$
Вариант ИТО №1	21065,4	1000	22065,4	0,0000185
Вариант ИТО №2	20955,2	1000	21955,2	0,0000084
<b>Вариант ИТО №3</b>	<b>20892,9</b>	<b>1000</b>	<b>21892,9</b>	<b>0,0000186</b>

В табл. 7 представлены результаты оценки качества информационного взаимодействия ОВУ с учетом объема вложенных финансовых средств (при равной стоимости послепродажного обслуживания различных вариантов ИТО).

Результаты расчетов показывают, что рациональным вариантом ИТО ОВУ, является вариант ИТО № 3 (выделен в таблице полужирным начертанием текста).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что ранее выбранный вариант ИТО № 1, при относительно равных значениях глобального приоритета выбора, является слишком дорогим и должен быть заменен на вариант ИТО № 3.

Таким образом, в предложенной работе представлен методологический подход к выбору рационального варианта ИТО системы информационного взаимодействия ОВУ, с учетом объема вложенных финансовых средств.

Реализация данного подхода позволит:

обосновать экономически целесообразную стоимость обеспечения качества проведения информационно-взаимодействия ОВУ при заключении сервисных контрактов на послепродажное обслуживание ИТО;

оценить зависимость качества проведения информационного взаимодействия ОВУ и стоимости его обеспечения для предоставления гарантий при заключении сервисных контрактов.

Материал статьи предназначен для военных исследователей, специализирующихся в вопросах государственного и военного управления, а также может быть полезными преподавателям адъюнктам, докторантам и слушателям военных академий Вооруженных Сил Российской Федерации.

### Литература

1. Ямпольский С. М., Злобин С. М., Шаламов А. С. Концептуальные основы информационно-аналитического обеспечения органов управления военной организацией государства // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 4. С. 9–15.
2. Левин А. И., Судов К. В. Концептуальные основы управления конкурентоспособностью наукоемкой продукции. М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2005. 33 с.

3. Зараменских Е. П. Управление жизненным циклом информационных систем: монография. Новосибирск: ЦРНС, 2014. 270 с.

4. Кравченко Т. К., Исаев Д. В. Системы поддержки принятия решений. М.: Юрайт, 2016. 292 с.

5. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. М.: Олимп-Бизнес. 2003. 214 с.

6. Анисимов Е. Г., Анисимов В. Г., Сауренко Т. Н., Чварков С. В. Экономическая политика в системе национальной безопасности Российской Федерации // Национальные приоритеты России. 2016. № 3 (21). С. 22–31.

7. Анисимов В. Г., Анисимов Е. Г., Быстров А. Г., Лобас Е. В. Метод оценивания обоснованности управленческих решений // Вестник Российской таможенной академии. 2008. № 2. С. 103–106.

8. Анисимов Е. Г., Анисимов В. Г., Гарькушев А. Ю., Селиванов А. А., Чварков С. В. Сущность и проблемы управления обеспечением безопасности и обороной государства // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 3. С. 3–10.

9. Саати Т. Л. Принятие решений — метод анализа иерархий. М.: Радио и Связь. 1993. 268 с.

10. Ямпольский С. М., Злобин С. М. Архитектурный подход к проектированию информационно-образовательной среды // I-methods. 2017. Т. 9. № 1. С. 9–15.

11. Ямпольский С. М., Кузин В. А., Шаламов А. С., Рубинов В. И. Актуальные вопросы информационно-аналитического обеспечения органов военного управления // Сборник научных статей по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции «Академические Жуковские чтения» (Воронеж, 23–24 ноября 2016 г.) / ВУНЦ ВВС. Воронеж, 2017. С. 206–211.

12. Рубчинский А. А. Методы и модели принятия управленческих решений. М.: Юрайт, 2016. 345 с.

13. Тебекин А. В. Методы принятия управленческих решений. М.: Юрайт, 2015. 412 с.

14. Исаев Д. В. Корпоративное управление и стратегический менеджмент: информационный аспект. М.: ВШЭ, 2010. 389 с.

15. Орлов А. И. Теория принятия решений. М.: Экзамен, 2005. 432 с.

## METHODOLOGY OF ADAPTIVE CONTROL OF PROTECTION OF SPECIES INFORMATION BY REDISTRIBUTION OF ITS EXCESS

**SERGEY M. YAMPOLSKY,**

Moscow, Russia, yampolsm@mail.ru

### ABSTRACT

The information security and rationality of strategic decisions made by the military command are largely dependent on information interaction between them, the essence of which is the exchange of information necessary for the effective integrated use of forces, assets and resources in the interests of national defense and security.

To ensure the timely provision of management bodies to the required information, a corresponding informative and technological basis is required.

The use of various variants of the informative and technological basis of military management bodies, on the one hand, contributes to the solution of the tasks facing them, which allows reducing the time spent on collecting, summarizing and analyzing the situation data, improving the quality, relevance and reliability of the received information, and on the other hand, it requires certain expenses.

In this regard, the solution of the problem of choosing a rational variant of the informative and technological basis for increasing the effectiveness of information interaction between the military management bodies (taking into account the amount of invested financial resources) acquires particular urgency.

The article is devoted to the system of key performance indicators map of information interaction between military management bodies. The paper describes the strategic goals of information interaction, as well as the key performance indicators corresponding to them.

An example of choosing a rational option of the informative and technological basis of the information interaction system for the military management bodies is considered on the basis of the hierarchy analysis method, taking into account the volume of the invested financial resources.

The proposed approach makes it possible to justify the economically feasible cost of ensuring the quality of information interaction between military management bodies when concluding service contracts for after-sales service of elements of the information and technological basis, as well as assessing the dependence of the quality of interaction and the cost of its provision for providing guarantees when concluding service contracts.

**KEYWORDS:** military management bodies; strategic map; key performance indicators; informative and technological basis; configuration; information interaction system; hierarchy analysis method.

### REFERENCES

1. Yampol'skij S.M., Zlobin S.M., Shalamov A.S. Conceptual foundations of information and analytical support of governing bodies of national military establishment. *Izvestiya Rossijskoj akademii raketnyh i artillerijskih nauk* [Proceeding of the Russian academy of rocket and artillery sciences]. 2016. No. 4. Pp. 9-15. (In Russian)
2. Levin A.I., Sudov K.V. *Konceptual'nye osnovy upravleniya konkurentosposobnost'yu naukoemkoj produkcii* [Conceptual bases of management of competitiveness of the knowledge-intensive production]. Moscow: NITs CALS-tehnologij «Prikladnaya logistika», 2005. 213 p. (In Russian)
3. Zaramenskih E.P. *Upravlenie zhiznennym ciklom informacionnyh sistem: monografiya* [Management of life cycle of information systems: monograph]. Novosibirsk: Tsentrazvitiya nauchnogo sotrudnichestva, 2014. 270 p. (In Russian)
4. Kravchenko T.K., Isaev D.V. *Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij* [Systems of support of decision-making]. Moscow: Yurajt, 2016. 292 p. (In Russian)
5. Kaplan R., Norton D. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Boston: Harvard Business School Press, 1996. 321 p.
6. Anisimov E.G., Anisimov V.G., Saurenko T.N., Chvarkov S.V. Economic policy in the national security of the Russian Federation. *Nacional'nye priority Rossii* [National priorities of Russia]. 2016. No. 3 (21). Pp. 22-31. (In Russian)
7. Anisimov V.G., Anisimov E.G., Bystrov A.G., Lobas E.V. Metod ocenivaniya obosnovannosti upravlencheskih reshenij [Method of estimation of validity of administrative decisions]. *The Russian Customs Academy Messenger*. 2008. No. 2. Pp. 103-106. (In Russian)
8. Anisimov E.G., Anisimov V.G., Garkushev A. Yu. Garkushev, Selivanov A.A., Chvarkov S.V. The nature and problems of management of the security and defense of the state. *Izvestiya Rossijskoj akademii raketnyh i artillerijskih nauk* [Proceeding of the Russian academy of rocket and artillery sciences]. 2016. No. 3. Pp. 3-10. (In Russian)
9. Saati T.L. *Prinjatije reshenij – metod analiza ierarhij* [Decision-making – a method of the analysis of hierarchies]. Moscow: Radio i Svjaz'. 1993. 268 p. (In Russian)

10. Yampol'skij S.M., Zlobin S.M. Architectural approach to the development of the informational and educational environment. *I-methods*. 2017. Vol. 9. № 1. Pp. 9-15 (In Russian)

11. Yampol'skij S.M., Kuzin V.A., Shalamov A.S., Rubinov V.I. Aktual'nye voprosy informacionno-analiticheskogo obespechenija organov voennogo upravlenija [Topical issues of information and analytical providing bodies of military management]. *Sbornik nauchnyh statej po materialam IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Akademicheskie Zhukovskie chtenija" (Voronezh, 23-24 noyabrya 2016 g.)* [The collection of scientific articles on materials IV of the All-Russia scientific and practical conference «Academic Zhukovsky readings» (Voronezh, on November 23-24, 2016)]. Voronezh, 2017. Pp. 206-211. (In Russian)

12. Rubchinskij A.A. *Metody i modeli prinjatija upravlencheskih reshenij* [Methods and models of adoption of administrative decisions].

Moscow: Jurajt, 2016. 345 p. (In Russian)

13. Tebekin A.V. *Metody prinjatija upravlencheskih reshenij* [Methods of adoption of administrative decisions]. Moscow: Jurajt, 2015. 412 p. (In Russian)

14. Isaev D.V. *Korporativnoe upravlenie i strategicheskij menedzhment: informacionnyj aspekt* [Corporate governance and strategic management: information aspect]. Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2010. 389 p. (In Russian)

15. Orlov A.I. *Teoriya prinjatija reshenij* [Decision-making theory]. Moscow: Jekzamen, 2005. 432 p. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Yampolsky S.M., PhD, Associate Professor, Senior Researcher of the Military institute (of national defense) of the Military academy of the General staff of the Armed Forces of the Russian Federation.

**For citation:** Yampolsky S.M. Methodology of choosing informative and technological basis of the information interaction system of military management bodies. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 83-92. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10100 (In Russian)

