

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

Научно-технический журнал

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

Учредитель: ООО «ИД Медиа Паблшер». **Издатель:** СВЕТЛАНА ДЫМКОВА. **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.

Язык публикаций: русский, английский.

Периодичность выхода – 6 номеров в год.

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.

Адрес редакции: 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514; 194044, Россия, СПб, Лесной Проспект, 34-36, к. 1, Тел.: +7(911) 194-12-42.

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

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

Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте.

© ООО «ИД Медиа Паблшер» 2017

HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

Scientific and Technical Journal

H&ES

RESEARCH

Том 9, № 6-2017

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

Founder: "Media Publisher", LLC. **Publisher:** SVETLANA DYMKOVA.

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.

Language of publications: Russian, English.

Periodicity – 6 issues per year.

Editor in chief: KONSTANTIN LEGKOV

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

Address of edition: 111024, Russia, Moscow, st. Aviamotornaya, 8, offic 512-514; 194044, Russia, St. Petersburg, Lesnoy av., 34-36, h.1, Phone: +7 (911) 194-12-42.

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

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. The requirements are available on the website: www.H-ES.ru.

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

© "Media Publisher", LLC 2017



HES_Research



club55425245



HES-Research

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Шелухин О. И., Магомедова Д. И.

Анализ методов измерения фрактальной размерности цветных и черно-белых изображений 6

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Мионов А. Н., Мионов Е. А., Казаков Р. Р., Шестопалова О. Л., Харченко И. Н.

Анализ ресурсоемкости процесса эксплуатации комплекса средств выведения космических аппаратов 18

Шмелев В. В., Деев В. В., Ткаченко В. В.

Метод организации потоковых вычислений при интеллектуальном мониторинге состояния технических систем 24

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Корсаков С. С., Ларцов С. В., Бабанов Н. Ю.

Моделирование нелинейного рассеяния электромагнитных волн на дипольных вибраторах с нелинейной нагрузкой 36

Чуднов А. М., Курашев З. В.

Принципы формирования маршрутных таблиц на основе оптимизации распределения потоков в сети передачи данных 46

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Еремеев М. А., Аллакин В. В., Будко Н. П.

Модель наступления критического события информационной безопасности в информационно-коммуникационной системе 52

Лясковский В. Л., Бреслер И. Б., Алашеев М. А.

Система поддержки принятия решений по созданию (развитию) распределенных информационно-управляющих систем организационного типа 61

Кафланов Р. И., Оркин В. В.

Использование интеллектуальной системы при адаптивном управлении информационными потоками 73

Пугачев А. Ю., Курчидис В. А., Анисимов О. В.

Формализованное концептуальное представление неисправностей для построения явных диагностических моделей радиоэлектронной аппаратуры 80

ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Буренин А. Н., Легков К. Е., Оркин В. В.

Алгоритм адаптивного управления информационными системами в условиях массовых возмущений 90

ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

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

CONTENTS

MATHEMATICS

- Sheluhin O. I., Magomedova D. I.**
Analysis of methods for calculating the fractal dimension of color and grayscale images 6

AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

- Mironov A. N., Mironov E. A., Kazakov R. R., Shestopalova O. L., Kharchenko I. N.**
Analysis of resource intensity of operating processes of launch vehicles
spacecraft complex 18
- Shmelev V. V., Deev V. V., Tkachenko V. V.**
Method of organization of flow calculations in intellectual monitoring
of the technical systems status 24

RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

- Korsakov S. S., Lartsov S. V., Babanov N. Yu.**
Modeling of electromagnetic waves nonlinear dispersion on dipolar vibrators
with nonlinear loading 36
- Chudnov A. M., Kurashev Z. V.**
Principles of routing table formation based on optimizing the distribution
of flows in a data network 46

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

- Yeremeyev M. A., Allakin V. V., Budko N. P.**
Model of onset of the critical event of information security
in information communication system 52
- Ljaskovskij V. L., Bresler I. B., Alashev M. A.**
The decision support system for the design and development of organizational
distributed information and control systems 61
- Kaflanov R. I., Orkin V. V.**
Intelligent system using in adaptive control
of information flows 73
- Pugachev A. Y., Kurchidis V. A., Anisimov O. V.**
Formalized conceptual malfunctions representation for radio electronic equipment
explicit diagnostic models composition 80

PUBLICATIONS IN ENGLISH

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

- Burenin A. N., Legkov K. E., Orkin V. V.**
Algorithm of adaptive control of information systems under
the conditions of mass perturbations 90

JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

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

III Всероссийская научно-техническая конференция «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения»

22 ноября 2017 года в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского проведена III Всероссийская научно-техническая конференция «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения», посвящённая 50-летию со дня образования факультета автоматизированных систем управления.

В работе конференции приняли участие представители 64 научно-производственных организаций и ВУЗов из 27 городов и научных центров России.

Работа конференции проходила в рамках пленарного и шести секционных заседаний.

На пленарном заседании с вступительным словом выступит заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по учебной и научной работе, доктор технических наук, профессор генерал-майор Кулешов Ю.В.

О военно-космической академии имени А.Ф. Можайского и факультете автоматизированных систем управления войсками перед участниками доложил профессор кафедры

технологий и средств технического обеспечения и эксплуатации автоматизированных систем управления (войсками) заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, доктор технических наук, профессор Гончаревский Вилен Степанович.

Содержание методологических и методических основ теории оценивания качества моделей и полимодельных комплексов раскрыл ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, доктор технических наук, профессор Микони Станислав Витальевич.

Выступление начальника отдела акционерного общества «МЦСТ» доктора технических наук Бычкова Игната Николаевича было посвящено автоматизированным системам управления военного назначения на базе аппаратно-программной платформы «Эльбрус».

В заключение пленарного заседания с перспективами и возможностями использования многофункциональных комплекс радиосвязи автоматизированных систем управления тактического звена обратился в своем вы-

ступлении заместитель генерального директора по развитию открытого акционерного общества «Научно-производственного объединения «Ангстрем» кандидат технических наук Федоров Алексей Евстафьевич».

На конференции работали шесть секций в ходе которых заслушано и обсуждено 127 докладов.

Тематика секций востребована и отвечает передовым направлениям научных исследований в области развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения.

Проанализировав работу конференции, программным комитетом было принято решения о проведении очередной конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения» в октябре 2019 года.

Подводя итоги работы хотелось бы отметить, что ее участниками был отмечен высокий уровень организации и ее работы и выражена глубокая благодарность руководству Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского и оргкомитету.



КРУПНЕЙШИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВУЗ ВС РФ ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ А.Ф.МОЖАЙСКОГО



ОБУЧЕНИЕ В
САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ



ВЫСОКИЙ СОЦИАЛЬНЫЙ
СТАТУС



ОГРОМНЫЙ ВЫБОР
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ



ВЫСОКОПЛАЧИВАЕМАЯ
РАБОТА



ПОВЫШЕННАЯ
СТИПЕНДИЯ



ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПИТАНИЕМ И
ФОРМЕННОЙ
ОДЕЖДОЙ



ПРОЖИВАНИЕ В
ОБЩЕЖИТИИ



ПРЕСТИЖНЫЕ
ПРОФЕССИИ
БУДУЩЕГО



ГАРАНТИРОВАННОЕ
ТРУДОУСТРОЙСТВО



ВОСТРЕБОВАННОСТЬ В
ВООРУЖЕННЫХ
СИЛАХ РФ



РОМАНТИКА
ВОЕННОЙ СЛУЖБЫ



БЕСКОНЕЧНЫЕ
ВОЗМОЖНОСТИ
КАРЬЕРНОГО РОСТА И
СОЦИАЛЬНЫЙ ЛИФТ

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ

Почтовый адрес: 197198, г. Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13.

Телефоны приемной комиссии: (812) 347-96-59, 347-97-70.

Факс: (812) 237-12-49.

Сайт: www.mil.ru, www.academy-mozhayskogo.ru

Адрес электронной почты: spb.vka@yandex.ru.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ЦВЕТНЫХ И ЧЕРНО-БЕЛЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

ШЕЛУХИН

Олег Иванович¹

МАГОМЕДОВА

Дженнет Исламутдиновна²

Информация об авторах:

¹д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности Московского Технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, sheluhin@mail.ru

²аспирант кафедры информационной безопасности Московского Технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, jimagomedova@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Фрактальная геометрия используется для описания самоподобных множеств, называемых фракталами, и интересна для анализа структуры цифрового изображения. Фрактальная размерность, характеризующая неравномерность и сложность фрактала, является важной метрикой для анализа изображений с самоподобной структурой.

В работе рассматриваются различные алгоритмы измерения фрактальной размерности, и производится численная оценка фрактальной размерности неподвижных цветных и черно-белых изображений двумя методами: методом триангуляции и дифференциальным методом подсчета клеток.

Показано, что для черно-белых изображений алгоритм оценки фрактальной размерности сводится к нахождению тангенса угла регрессионной прямой логарифмической зависимости общей площади от размера ячейки. Для цветных изображений алгоритм нахождения фрактальной размерности усложняется и состоит из нескольких этапов.

На первом этапе цветное изображение рассматривается как композиция трех цветов: красного, зеленого и синего.

На втором этапе осуществляется оценка фрактальной размерности каждого цветного компонента аналогично черно-белому изображению.

На третьем этапе находится комбинация фрактальной размерности отдельных составляющих.

Для тестирования результатов вычислений предложено сравнить полученные экспериментальные результаты с известными эталонными результатами для известных фракталов.

Показано, что рассматриваемые методы оценки методом триангуляции и дифференциальным методом подсчета клеток дают удовлетворительные результаты, погрешность которых не превышает 5%. Для практического использования рекомендуется использовать среднее арифметическое значений фрактальной размерности, найденных методом триангуляции и дифференциальным методом подсчета клеток.

Приводятся численные примеры вычисления фрактальной размерности для цветных и черно-белых изображений с использованием рассмотренными методами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фрактальная размерность; метод триангуляции; дифференциальный метод; цветное изображение; ретикулярный метод.

Для цитирования: Шелухин О.И., Магомедова Д.И. Анализ методов измерения фрактальной размерности цветных и черно-белых изображений // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 6–16.

Постановка задачи

Фрактальную размерность (ФР) можно охарактеризовать как меру заполнения пространства некоторой моделью, которая показывает, как фрактал масштабируется в зависимости от размерности пространства. Фрактальная размерность не обязательно должна быть целым числом. Рассмотрим вычисление размеров фрактальных изображений с использованием различных методов [3]. Фрактальные образы самоподобны по своей природе. Фрактальная геометрия характеризует способность описывать регулярные или фрагментированные формы природных объектов или комплекса объектов, которые традиционная Евклидова геометрия не способна анализировать. Фрактальный анализ применяется для анализа текстуры и сегментации цифровых изображений [2, 5, 7]. Фрактальная размерность может быть полезна также для анализа и классификации изображений [2, 9, 17].

Традиционные отношения масштабирования могут быть определены математически в соответствии с уравнением

$$N \propto \varepsilon^{-D} \quad (1)$$

где N — количество ячеек; ε — масштабирующий коэффициент; D — фрактальная размерность.

Символ \propto означает пропорциональность. Величина D может быть найдена путем преобразования уравнения (1) к виду:

$$\log_{\varepsilon} N = -D = \frac{\log N}{\log \varepsilon} \quad (2)$$

Самоподобие является типичным свойством фракталов. Масштабная инвариантность точная форма самоподобия, когда при любом увеличении существует меньшая часть объекта, которая похожа на весь объект в целом. Например, стороны фрактала «Снежинка Коха» являются одновременно симметричными и масштабно-инвариантными (рис. 1).

Таким образом, фракталы могут рассматриваться как шаблоны, из которых состоят геометрические элементы в меньших масштабах для создания как самоподобных, так и поверхностей неправильной формы и неровных. Известно много методов для оценки фрактальной размерности. В [14–15] описан ретикулярный метод подсчета клеток,

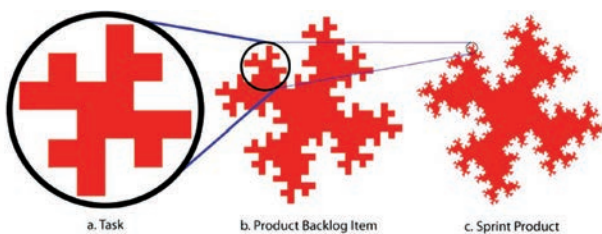


Рис. 1. Самоподобие изображения

улучшенный в [18] путем использования теории вероятностей. В [19] описана идея алгоритма случайного смещения средней точки. С помощью Гауссовой случайной величины вычисляется яркость изображения и находится ФР для дифференциации поведения масштабирования. В [2, 14, 16] предложен дифференциальный метод подсчета клеток (метод ДПК), который используется для измерения в различных областях. В [12–13] предложен метод расчета фрактальной размерности с помощью мощности Фурье-спектра интенсивности поверхности изображения и отношения гладкости/шероховатости по сравнению с поверхностью с ФР = 2 для гладкой поверхности и ФР = 3 для максимально шероховатой поверхности.

В [6] проведен анализ методов оценки фрактальных свойств черно-белых изображений.

Целью статьи является сравнительный анализ методов вычисления фрактальной размерности цветных и черно-белых изображений, оценка погрешностей вычислений.

Методологии измерения фрактальной размерности

Фрактал определяется как совокупность объектов, для которой размерность Хаусдорфа строго больше топологической размерности. Для оценки фрактальной размерности используется понятие самоподобия.

Ограниченный фрактальный набор в Евклидовом n -пространстве будет самоподобным, если является объединением различных N_r (непересекающихся) уменьшенных копий, масштабируемых с помощью специального коэффициента масштабирования r . В соответствии с введенным коэффициентом масштабирования фрактальная размерность D набора A может быть получена при помощи уравнения:

$$D = \frac{\log N}{\log(1/r)}, \quad (3)$$

где N — общее количество ящиков (коробок) L , необходимых для покрытия фрактального набора; $1/r$ — масштабирующий коэффициент коробки по отношению к изображению.

В результате D является размерностью относительно размера коробки, используемой для измерения фрактального изображения.

Можно сказать, что фрактальная размерность является мерой того, насколько «сложной» является самоподобная фигура.

Фрактальная размерность изображений в оттенках серого

Рассмотрим три наиболее распространенных метода измерения ФР: дифференциальный, ретикулярный метод подсчета клеток и метод триангуляции. Фрактальная размерность указывает на различные уровни серого в ячейке для конкретного изображения.

Ретикулярный метод подсчета клеток [3]

В ретикулярном методе подсчета клеток ФР вычисляется путем измерения количества уровней серого, охватываемых различными коробками изображения. Уровень серого L' может быть рассчитан с использованием шкалы изображения уменьшенной длины с максимальным уровнем серого по отношению к длине изображения, и может быть представлен в виде соотношения

$$L' = LG / M \tag{4}$$

где L — длина коробки; G — максимальный уровень интенсивности в изображении, который находится в интервале градаций яркости 0...255, а M — длина изображения.

После того, как уровень L' найден можно определить общее количество «коробок», необходимых для покрытия изображения. Для этих измерений понадобится масштабирующий коэффициент $1/r$. Уменьшенная длина может быть вычислена с помощью ящика длиной L относительно длины изображения M , как это показано на рисунке 2, а значение масштабирующего коэффициента при этом может быть равно $r=L/M$ (или $1/r=M/L$).

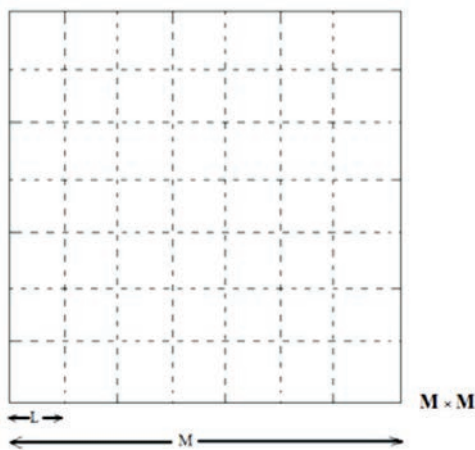


Рис. 2. Масштабирующий коэффициент изображения

Если изображение имеет размер $M \times M$, а размер коробки для этого изображения равен $L \times L$, тогда все изображение может быть покрыто коробками со сторонами $L \times L \times L'$, где L' определяется из уравнения (4). В результате с помощью L' можно найти количество уровней серого, где G — общее количество уровней серого.

Величина N рассчитывается путем подсчета общего количества коробок, которые содержат хотя бы один уровень интенсивности изображения. Из различных длин коробки L можно вычислить размер D , имеющих понижающий коэффициент $1/r = M/L$, где M остается неизменным для различных значений L . Воспользовавшись уравнением (3) можно записать

$$N \propto L^{-D}, B.5.N(L) \propto L^{-D} \tag{5}$$

Для блока каждой длины L , вычисляется значение N и в логарифмическом масштабе строится график зависимости N от $1/r$. Используя линейную регрессию полученной зависимости методом наименьших квадратов можно оценить фрактальную размерность — D . Ячейки содержат различные значения интенсивности.

Дифференциальный метод подсчета клеток (ДПК)[14]

В методе ДПК учитывается разность между максимальным и минимальным значением интенсивности яркости изображения. Пусть дано изображение размером $M \times M$, которое разбивается на «коробки» размером $L \times L \times L'$ (рис. 3). Высота «коробка» L' делит третью координату изображения, представляющую собой значение интенсивности

Пространство (x, y) изображения, содержащее значения координат пикселей, разбивается на ячейки размером $L \times L$, после чего находится максимальное и минимальное значение интенсивности (i, j) -й ячейки, равное l и k соответственно. На следующем этапе для каждой ячейки вычисляется сумма различий между найденными значениями

$$n_{(i,j)} = (l - k + 1) / L' \tag{6}$$

где $r = L/M$ — параметр масштабирования.

После вычисления суммы во всех ячейках находится общая сумма различий для всего изображения:

$$N_r = \sum_{i,j} n_r(i, j) \tag{7}$$

На основе произведенных вычислений строится регрессионная кривая зависимости $\log(\bullet N_r)$ от $\log(1/r)$. Фрактальная размерность D находится как тангенс угла наклона построенной кривой.

Метод триангуляции (MT) [1]

При использовании метода триангуляции (MT) изображение разбивается на одинаковые ячейки ϵ размером $s \times s$, как это показано на рис. 4. Рассматриваются четыре значения высоты, равные интенсивности пикселей в углах ячеек (a, b, c, d). В месте пересечения диагоналей ячейки устанавливается точка (e), значение которой равно среднему арифметическому четырех высот. Если представить ячейку в виде треугольной призмы, как это показано на рис. 5, то необходимо вычислить площадь проектируемой верхней поверхности, представленной на рис. 4.

В первую очередь вычисляются значения сторон четырех треугольников, полученных при соединении диагоналей ячейки.

$$\begin{aligned} w &= \sqrt{(b-a)^2 + s^2}; x = \sqrt{(c-b)^2 + s^2}; \\ y &= \sqrt{(d-c)^2 + s^2}; z = \sqrt{(a-d)^2 + s^2}; \end{aligned} \tag{8}$$

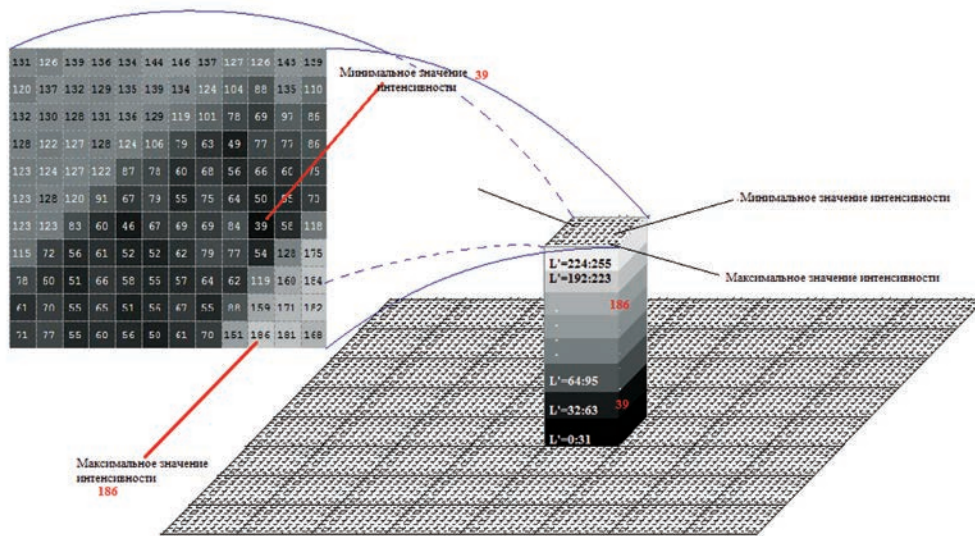


Рис. 3. Разбиение трехмерного представления изображения на ячейки размером $L \times L \times L'$

где

$$\begin{aligned} o &= \sqrt{(a-e)^2 + (\sqrt{2}/2s)^2}; p = \sqrt{(b-e)^2 + (\sqrt{2}/2s)^2}; \\ r &= \sqrt{(c-e)^2 + (\sqrt{2}/2s)^2}; q = \sqrt{(d-e)^2 + (\sqrt{2}/2s)^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Затем по формуле Герона [21] рассчитываются полупериметры и площади всех треугольников:

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{sa(sa-w)(sa-p)(sa-o)}; \\ B &= \sqrt{sb(sb-x)(sb-p)(sb-q)}; \\ C &= \sqrt{sc(sc-y)(sc-q)(sc-r)}; \\ D &= \sqrt{sd(sd-z)(sd-o)(sd-r)}; \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} sa &= \frac{1}{2}(w+p+o); sb = \frac{1}{2}(x+p+o); \\ sc &= \frac{1}{2}(y+q+r); sd = \frac{1}{2}(z+o+r); \end{aligned} \quad (11)$$

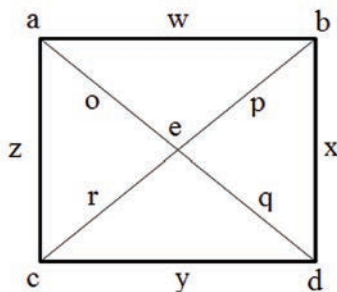


Рис. 4. Проектируемая верхняя поверхность треугольной призмы

Общее значение площади поверхности равно сумме площадей отдельных треугольников.

$$S_{ABCD} = A + B + C + D \quad (12)$$

Эта процедура повторяется для всех размеров ячеек. Затем строится регрессионная прямая, определяющая зависимость логарифма общей площади всех треугольников $\log(S)$ от логарифма размера ячейки $\log(\epsilon)$ (рис. 6).

Для вычисления фрактальной размерности необходимо найти тангенс угла наклона построенной кривой B . Его можно вычислить, используя формулу

$$B = \frac{r * S_s}{S_\epsilon} \quad (13)$$

где $r = \frac{\text{cov}(\epsilon, S)}{S_\epsilon S_s}$; $\text{cov}(\epsilon, S) = \frac{\sum (\epsilon_i - \bar{\epsilon})(S_i - \bar{S})}{N}$;

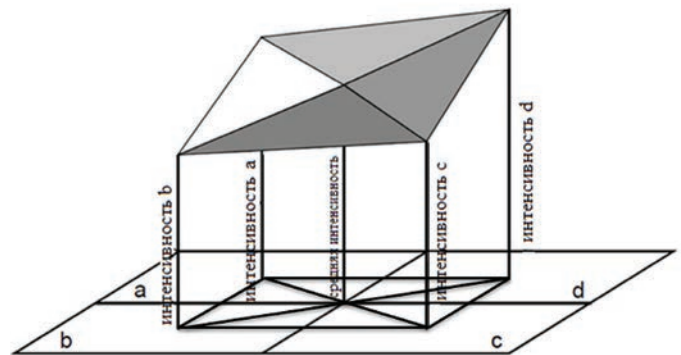


Рис. 5. Представление ячейки изображения в виде треугольной призмы

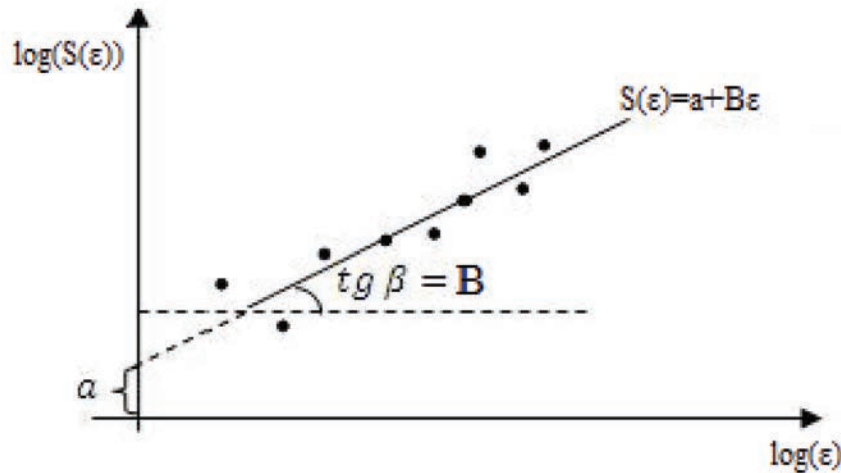


Рис. 6. Регрессионная прямая

$$S_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{N}}, S_s = \sqrt{\frac{\sum (S_i - \bar{S})^2}{N}},$$

$\bar{\varepsilon}, \bar{S}$ — средние значения соответствующих параметров.

Искомое значение фрактальной размерности D вычисляется по формуле

$$D = 2 - B. \quad (14)$$

Фрактальная размерность цветных изображений:

В черно-белых изображениях существует только один уровень яркости каждого пикселя изображения, в то время как в цветном изображении есть три значения цвета (красный, зеленый, синий) для каждой точки/пикселя изображения. В результате для оценки фрактальной размерности цветных изображений необходимо рассчитать размерность для трех разных цветовых уровней. Используя методы оценки ФР для изображений в оттенках серого можно вычислить размерность цветного изображения.

Ретикулярный метод подсчета клеток для цветного изображения

При этом методе размерность рассчитывается так же, как для полутоновых изображений, используя уравнение (3). На первом этапе красные, зеленые и синие составляющие интенсивности выделяются из цветного изображения, и для каждого из них вычисляется фрактальная размерность. После нахождения частичных размерностей для каждой составляющей необходимо скомпоновать их так, чтобы вычислить ФР цветного изображения.

Для этого необходимо рассчитать ФР на каждом уровне анализируемого цветного изображения при различных размерах ячейки (коробки). После получения размерности на каждом уровне цвета, как в ретикулярном методе под-

счета клеток (для полутоновых изображений), необходимо объединить их и найти среднее значение всех уровней в соответствии с размером коробки. Для различных размеров коробки получают различные значения размерности. Используя полученные значения для построения линейной регрессии методом наименьших квадратов, можно вычислить ФР цветного изображения.

Дифференциальный метод подсчета клеток для цветного изображения

Для расчета ФР цветного изображения методом ДПК используется та же методика расчета размерности, как и в полутоновых изображениях. В цветном изображении рассчитывают размерность для красного, зеленого и синего уровней. Согласно методике ДПК для каждого этапа (красный, зеленый, синий) можно применить методику для изображений в оттенках серого. После нахождения результатов каждого шага результаты разных цветовых уровней объединяются. В результате можно получить размерность цветного изображения:

$R: n_{rr}(i, j) = 1-k+1$ для красных значений;

$G: n_{rg}(i, j) = 1-k+1$ для зеленых значений;

$B: n_{rb}(i, j) = 1-k+1$ для синих значений.

В соответствии с вышеизложенным можно найти

$$N_{r\{r,g,b\}} = \frac{\sum_{i,j} n_{rr}(i, j) + \sum_{i,j} n_{rg}(i, j) + \sum_{i,j} n_{rb}(i, j)}{3}. \quad (15)$$

Используя уравнения (15) можно определить фрактальную размерность цветного изображения методом ДПК.

Метод триангуляции для цветных изображений

Аналогично двум вышеприведенным методам при вычислении ФР цветных изображений методом триангуля-

ции в первую очередь определяются частные значения ФР для каждой цветовой составляющей, а затем вычисляется их среднее значение.

Тестирование методов оценки фрактальной размерности

Для тестирования методов оценки ФР были рассмотрены два метода МТ и ДПК. Тестирование осуществлялось с помощью фрактальных объектов, для которых ФР известна [20]. В табл. 1 представлены результаты тестирования вышеприведенных методов оценки с использованием фракталов с известным значением размерности.

В табл. 1 сделаны следующие обозначения:

$$\Delta_{\text{MT}} \% = \frac{\hat{D}_{\text{MT}} - D}{D} \cdot 100\% \quad \text{— абсолютная погрешность}$$

оценки ФР между измеренным \hat{D}_{MT} и истинным D значением ФР методом триангуляции.

$$\Delta_{\text{ДПК}} \% = \frac{\hat{D}_{\text{ДПК}} - D}{D} \cdot 100\% \quad \text{— абсолютная погрешность}$$

оценки ФР между измеренным $\hat{D}_{\text{ДПК}}$ и истинным D значением ФР методом ДПК.

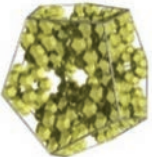
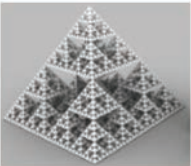


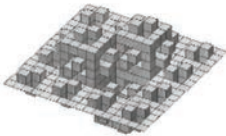
$$\Delta_{\text{ср}} \% = \frac{\bar{D} - D}{D} \cdot 100\% \quad \text{— абсолютная погрешность}$$

средней оценки ФР, полученной двумя методами.

Численные данные абсолютных погрешностей измерения ФР с помощью МТ и ДПК показывают, что они дают сравнимые результаты. Погрешность вычислений для обоих методов не превышает 5%. Для практического использования целесообразно использовать оба из них, а значения ФР находить путем усреднения результатов обоих методов. В этом случае суммарная погрешность вычислений ФР не превышает 3%.

Таблица 1

Тестирование методов измерения фрактальной размерности

Фрактал	Изображение	D	Результаты тестирования					
			МТ	$\Delta_{\text{MT}}, \%$	ДПК	$\Delta_{\text{ДПК}}, \%$	\bar{D}	$\Delta_{\text{ср}}, \%$
Двенадцатигранник		2,3296	2,2276	4,378	2,4203	3,893	2,3239	0,243
Фрактальная пирамида		2,3219	2,2641	2,489	2,5524	9,03	2,4083	3,719
Губка Менгера		2,529	2,3218	8,193	2,5830	2,135	2,4524	3,029
3D поверхность Коха		2,3347	2,2260	4,656	2,4068	3,088	2,3164	0,784
3D поверхность Коха 2		2,5	2,3879	4,484	2,5705	2,82	2,4792	0,832



а) б)

Рис. 9. а) оригинальное изображение; б) область исследования

Экспериментальные результаты

Измерения проведенные для изображений в оттенках серого и полноцветных изображений с помощью рассмотренных методов показали их вычислительную простоту и реализуемость. Для каждого измерения строились регрессионные кривые, показывающие зависимость значений отсчетов (для метода триангуляции — общая площадь треугольников S_{ABCD} , для ДПК — сумма N_i) от размера ячейки $s \times s$ и масштабирующего коэффициента $1/r$ соответственно. В случае полноцветных изображений отсчеты вычислялись отдельно для каждой цветовой составляющей, а затем рассчитывалось среднее арифметическое полученных значений.

Рассмотрим пример вычисления ФР для полноцветного изображения, представленного на рис. 9.

Исходные размеры изображения: 600×453 , а размеры области исследования: 256×256

Результаты вычислений методом триангуляции представлены в табл. 2

S_r, S_b, S_g — площади для зеленой, синей и красной составляющих цвета соответственно;

Воспользовавшись найденными численными значениями, построим зависимость общей площади $S(\epsilon)$ от размера ячейки ϵ , представленную на рис. 10.

Для оценки ФР, аналогично вышеизложенному с использованием формулы (16) вычисляем значение вспомогательные величины:

$$\bar{S} = 12,0285; \bar{\epsilon} = 2383; S_s = 0,6610; S_g = 3,1764;$$

$$\text{cov}(\epsilon, S(\epsilon)) = -2,0367;$$

Результаты вычислений МТ для различных цветовых каналов

Таблица 2

Размер ячейки $\epsilon = s \times s$	S_r	S_g	S_b	$S(\epsilon)$
$2 \times 2 = 4$	571554,5	556697,4	544835,9	13,23157
$4 \times 4 = 16$	378943,3	362170,7	346480,4	12,80087
$8 \times 8 = 64$	242322,3	232155	220887,8	12,35358
$16 \times 16 = 256$	157590,9	151833,1	150106,8	11,93935
$32 \times 32 = 1024$	126657,6	124387	123242,3	11,73417
$64 \times 64 = 4096$	104591,1	99471,77	96584,47	11,51508
$128 \times 128 = 16384$	89246,4	84979,75	85502,39	11,36878
$256 \times 256 = 65536$	75735,6	78906,27	84211,54	11,28499

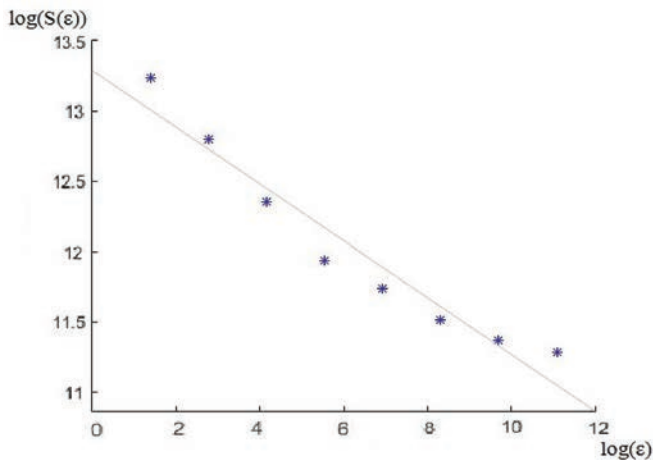


Рис. 10. Регрессионная зависимость общей площади $S(\varepsilon)$ от размера ячейки ε .

$$r = \frac{-2,0367}{0,6610 \cdot 3,1764} = -0,9700; B = \frac{-0,97 \cdot 0,6610}{3,1764} = -0,2019.$$

Воспользовавшись найденными величинами с помощью формулы (14) оценим фрактальную размерность: $D = 2,2019$.

Рассмотрим вычисление ФР для того же цветного изображения, воспользовавшись методом ДПК.

Результаты вычислений методом ДПК представлены в табл. 3

Таблица 3

Результаты вычислений методом ДПК для различных цветов N_{rr} ; N_{rg} ; N_{rb} для красной зеленой и синей составляющей цвета соответственно

$1/r$	N_{rr}	N_{rg}	N_{rb}	$\log(N_r)$
128	121532,2	119524,9	117132	11,6902
64	34490,98	33646,18	32808,41	10,42372
32	7263,749	7037,992	6797,929	8,8584
16	1352,345	1312,502	1259,922	7,17645
8	240,1882	234,7608	223,1529	5,449753
4	46,5098	45,01961	41,66275	3,793181
2	7,709804	7,552941	7,066667	2,007292

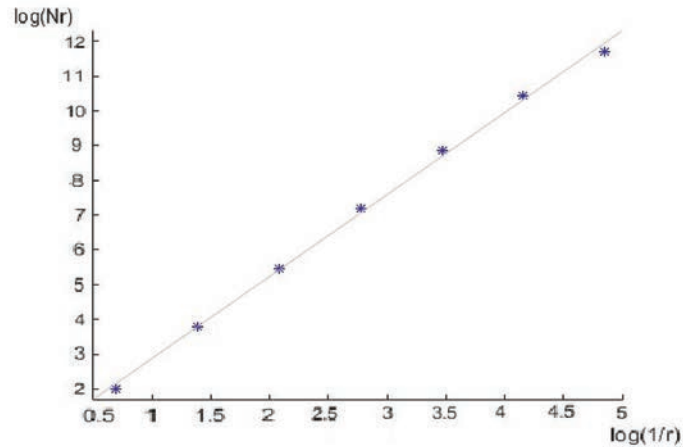


Рис. 11. Регрессионная зависимость суммы различий N_r от масштабирующего коэффициента $1/r$

Воспользовавшись численными значениями найденных переменных, построим зависимость $\log(N_r)$ от $\log(1/r)$, представленную на рис. 11.

Для оценки ФР оценим угол наклона регрессионной прямой, проходящей через экспериментально полученные точки. С этой целью, с использованием (16) вычисляем значение вспомогательных величин:

$$\bar{S} = 7,057; \bar{\varepsilon} = 2,7726; S_s = 3,2688; S_\varepsilon = 1,3863; \text{cov}(\varepsilon, S(\varepsilon)) = 4,5271$$

$$r = \frac{4,5271}{3,2688 \cdot 1,3863} = 0,999;$$

$$B = \frac{0,99 \cdot 3,2688}{1,3863} = 2,3556.$$

Значение фрактальной размерности, вычисленное по формуле (14): $D = 2,3556$. Среднее значение ФР для двух методов $\bar{D} = 2,2788$.

Выводы

В данной работе для измерения фрактальной размерности цветных и черно-белых изображений проведен анализ двух методов МТ и ДПК. Обе методологии основаны на использовании клеток (коробок) и построении регрессионных кривых, что говорит об их низкой вычислительной сложности. При вычислении получены незначительно различающиеся значения ФР для разных методов. Результаты тестирования показали, что наиболее точные значения ФР могут быть получены путем усреднения значений, полученных двумя методами.

Литература

1. *Clarke K. C.* Computation of the Fractal Dimension of topographic surfaces using the triangular prism surface area method // *Computers and Geosciences*. 1986. No. 12(5). Pp. 713–722.
2. *Chaudhuri B. B., Sarkar N.* Texture segmentation using fractal dimension // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1995. Vol. 17. Pp. 72–77.
3. *Gangepain J., Roques-Carmes G.* Fractal approach to two dimensional and three dimensional surface roughness // *Wear*. 1986. Vol. 109. Pp. 119–126.
4. *Falconer K.* *Fractal Geometry — Mathematical Foundations and Applications*. John Wiley & Sons, 2003. 288 p.
5. *Ida T., Sambonsugi Y.* Image segmentation and contour detection using fractal coding // *IEEE Transactions on Circuits System Video Technology*. 1998. Vol. 8. Pp. 968–977.
6. *Jansson S., Georgsson F.* Evaluation of Methods for Estimating Fractal Dimensions of Intensity Images // *Proceedings of SSBA06* / eds. F. Georgsson, N. Börlin. Umea University, Swelden, October 30, 2006. Pp. 69–74.
7. *Liu S., Chang S.* Dimension estimation of discrete-time fractional Brownian motion with applications to image texture classification // *IEEE Transactions on Image Processing*. 1997. Vol. 6. Pp. 1176–1184.
8. *Mandelbrot B.* *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman and Company, 1977. 468 p.
9. *Neil G., Curtis K. M.* Shape recognition using fractal dimension // *Pattern Recognition*. 1997. Vol. 30. No. 12. Pp. 1957–1969.
10. *Padhy L. N.* Fractal dimension of gray scale & colour image // *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. July 2015. Pp. 1285–1297.
11. *Peitgen H. O., Jurgens H., Saupe D.* *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. 1st ed. Berlin: Springer, 1992. 837 p.
12. *Pentland A. P.* Fractal based description of natural scenes // *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 1984. Vol. 6. Pp. 661–674.
13. *Pentland A. P.* Shading into texture // *Artificial Intell.* 1986. Vol. 29. Pp. 147–170.
14. *Sarkar N., Chaudhuri B. B.* An efficient differential box-counting approach to compute fractal dimension of image // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1994. Vol. 24. Pp. 115–120.
15. *Voss R. F.* *Random Fractals: Characterization and Measurement // Scaling Phenomena in Disordered Systems* / Eds. R. Pynn and A. Skjelyorp. New York: Plenum, 1986. Pp. 1–11.
16. *Voss R.* Random fractals: characterization and measurement // *Scaling phenomena in disordered systems*. 1986. Vol. 10. No. 1. Pp. 51–61.
17. *Wu G., Liang D., Tian Y.* Texture image segmentation using fractal dimension // *Chinese Journal of Computers*. 1999. Vol. 22. No. 10. Pp. 1109–1113.
18. Concept of self similarity. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Self-similarity> (дата обращения 02.12.2017).
19. Fractals technology. URL: <http://www.fractus.com/index.php/fractus/technology>. (дата обращения 02.12.2017).
20. List of fractals by Hausdorff dimension. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fractals_by_Hausdorff_dimension. (дата обращения 02.12.2017).
21. *Николаев Н.* О площади треугольника // *Вестник опытной физики и элементарной математики*. 1890. № 108. С. 227–228.
22. *Шелухин О. И., Канаев С. Д.* Стеганография. Алгоритмы и программная реализация / Под. ред. проф. О. И. Шелухина. М.: Горячая линия — Телеком, 2017. 616 с.
23. *Шелухин О. И., Смычек М. А.* Комбинированный алгоритм встраивания цифровых водяных знаков в изображения графических масштабов для скрытой передачи информации // *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*. 2017. № 1. 2017. С. 68–75.

ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING THE FRACTAL DIMENSION OF COLOR AND GRAYSCALE IMAGES

OLEG I. SHELUHIN,

Moscow, Russia, sheluhin@mail.ru

DZHENNET I. MAGOMEDOVA,

Moscow, Russia, jimagomedova@gmail.com

KEYWORDS: fractal dimension; triangular method; differential box-counting method; color image; reticular method.

ABSTRACT

Fractal geometry is used for describing self-similar sets called fractals and proved to be of interest for the digital images structure analysis. Fractal dimension, characterizing irregularity and complexity of fractal, is useful metric for analysis images with self-similar structure.

In this paper we consider different algorithms for calculating the fractal dimension and estimate FD of grayscale and color images by using two methods: triangular method and differential box-counting method.

We consider algorithms and methodologies for calculating FD of grayscale and color images. We analyzed three algorithms: reticular box-counting method, differential box-counting method (DBC) and triangular method (MT).

We showed that algorithm of calculating FD of grayscale image reduces to finding the slope of the line from the log-log regression of total area vs the cell size.

For color images, the algorithm for finding the FD is more complex and consists of several stages. At the first stage, a color image is considered as a composition of three colors: red, green and blue. The second stage involves the estimation of FD for each color component, similarly to grayscale image. And at the third stage there is a combination of FD of separate components.

To test the results of calculations, we suggested comparing the obtained experimental results with known reference results for reference fractals. We showed that the considered estimating methods, MT and DBC, give satisfying results, the error of which does not exceed 5%. For practical use, we recommended to use the arithmetic mean of the values of the FD found by MT and DBC.

We showed numeric examples of calculating FD for grayscale and color images by using the considered methods.

REFERENCES

1. Clarke K.C. Computation of the Fractal Dimension of topographic surfaces using the triangular prism surface area method. *Computers and Geosciences*. 1986. No. 12(5). Pp. 713-722.
2. Chaudhuri B.B., Sarkar N. Texture segmentation using fractal dimension. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1995. Vol. 17. Pp. 72-77.
3. Gangepain J., Roques-Carmes G. Fractal approach to two dimensional and three dimensional surface roughness. *Wear*. 1986. Vol. 109. Pp. 119-126.
4. Falconer K. *Fractal Geometry – Mathematical Foundations and Applications*. John Wiley & Sons, 2003. 288 p.
5. Ida T., Sambonsugi Y. Image segmentation and contour detection using fractal coding. *IEEE Transactions on Circuits System Video Technology*. 1998. Vol. 8. Pp. 968-977.
6. Jansson S., Georgsson F. Evaluation of Methods for Estimating Fractal Dimensions of Intensity Images. *Proceedings of SSBA06 / eds. F. Georgsson, N. Börlin. Umea University, Swellden, October 30, 2006*. Pp. 69-74.
7. Liu S., Chang S. Dimension estimation of discrete-time fractional Brownian motion with applications to image texture classification. *IEEE Transactions on Image Processing*. 1997. Vol. 6. Pp. 1176-1184.
8. Mandelbrot B. *The fractal geometry of nature*. W.H. Freeman and Company, 1977. 468 p.
9. Neil G., Curtis K.M. Shape recognition using fractal dimension. *Pattern Recognition*. 1997. Vol. 30. No. 12. Pp. 1957-1969.
10. Padhy L.N. Fractal dimension of gray scale & colour image. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. July 2015. Pp. 1285-1297.
11. Peitgen H.O., Jurgens H., Saupe D. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. 1st ed. Berlin: Springer, 1992. 837 p.
12. Pentland A.P. Fractal based description of natural scenes. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 1984. Vol. 6. Pp. 661-674.
13. Pentland A.P. Shading into texture. *Artificial Intell.* 1986. Vol. 29. Pp. 147-170.
14. Sarkar N., Chaudhuri B.B. An efficient differential box-counting approach to compute fractal dimension of image. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1994. Vol. 24. Pp. 115-120.
15. Voss R.F. *Random Fractals: Characterization and Meas-*

urment. *Scaling Phenomena in Disordered Systems*. Eds. R. Pynn and A. Skjelyorp. New York: Plenum, 1986. Pp. 1-11.

16. Voss R. Random fractals: characterization and measurement. *Scaling phenomena in disordered systems*. 1986. Vol. 10. No. 1. Pp. 51-61.

17. Wu G., Liang D., Tian Y. Texture image segmentation using fractal dimension. *Chinese Journal of Computers*. 1999. Vol. 22. No. 10. Pp. 1109-1113.

18. *Concept of self similarity*. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Self-similarity> (date of access 02.12.2017).

19. *Fractals technology*. URL: <http://www.fractus.com/index.php/fractus/technology>. (date of access 02.12.2017).

20. *List of fractals by Hausdorff dimension*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fractals_by_Hausdorff_dimension. (date of access 02.12.2017).

21. Nikolaev N. O ploshchadi treugol'nika [About the Area of Triangle]. *Vestnik Opyitnoy Fiziki i Elementarnoy Matematiki* [Messenger of Skilled Physics and Elementary Mathematics].

1890. No. 108. Pp. 227-228. (In Russian)

18. Sheluhin O.I., Kanaev S.D. *Stenografiya. Algoritm i programnaya realizatsiya* [Steganography. Algorithms and software implementation]. Edited by prof. Sheluhin O.I.: Goryachaya liniya – Telekom, 2017. 616 p. (In Russian)

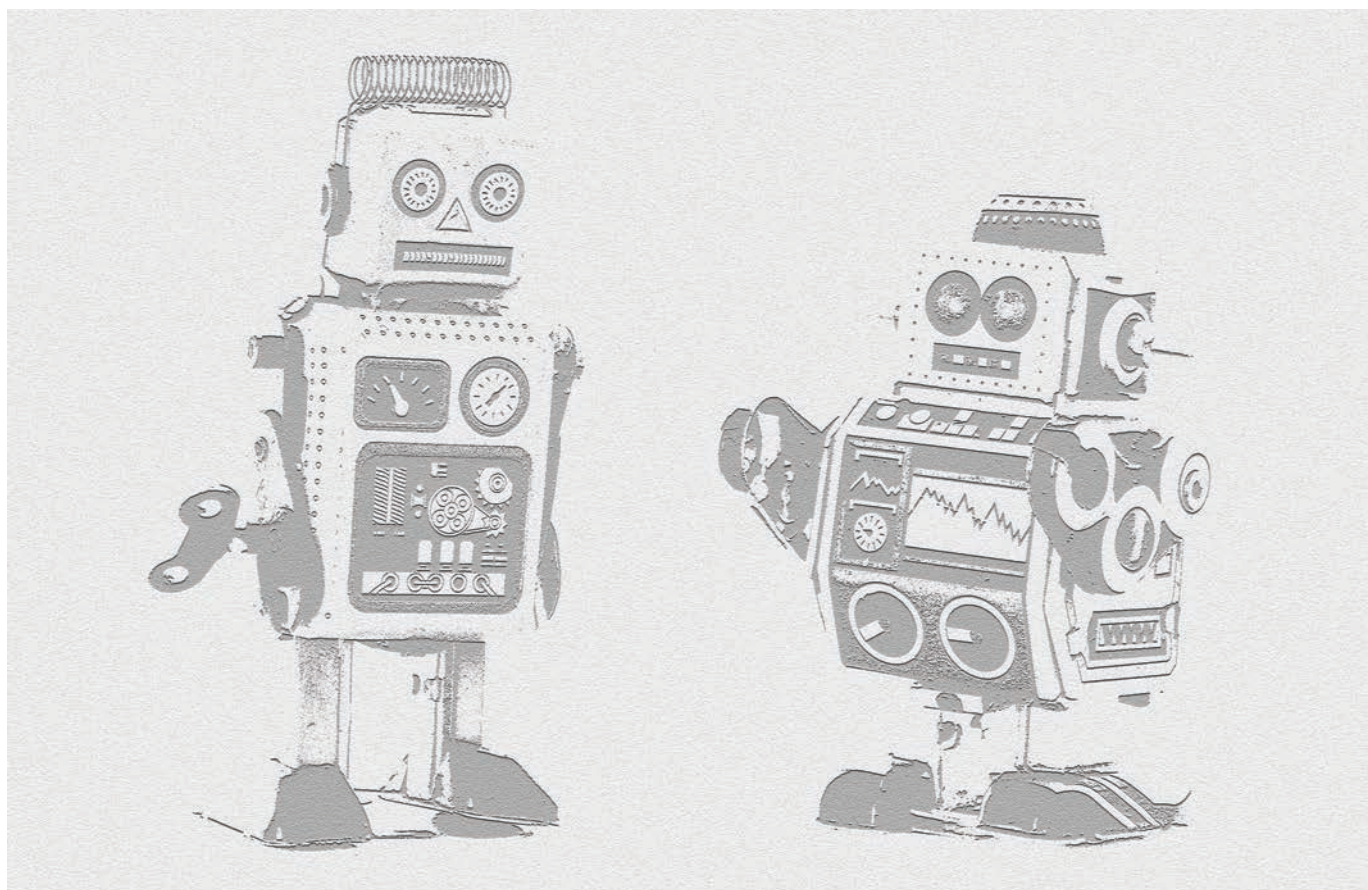
19. Sheluhin O.I., Smychek M.A. Combined graphic scale image watermarking method for secret communication. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnyie sistemyi* [Radio engineering and telecommunication systems]. 2017. No. 1. Pp. 68-75. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Sheluhin O.I., PhD, Full Professor, Head of Department Information Security of the Moscow Technical University of Communications and Informatics;

Magomedova D.I., Postgraduate of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, Department of Information Security.

FOR CITATION: Sheluhin O.I., Magomedova D.I. Analysis of methods for calculating the fractal dimension of color and gray-scale images. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 6-16. (In Russian)





НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

► npcirs.ru

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

Основными направлениями нашей деятельности являются:

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

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

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

На данный момент уже имеющиеся разработки позволяют:

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

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



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

► npcirs.ru

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

АНАЛИЗ РЕСУРСОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

МИРОНОВ

Андрей Николаевич¹

МИРОНОВ

Евгений Андреевич²

КАЗАКОВ

Руستم Рифатьевич³

ШЕСТОПАЛОВА

Ольга Львовна⁴

ХАРЧЕНКО

Иван Николаевич⁵

Информация об авторах:

¹д.т.н., профессор, профессор
Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
mironov-anik@yandex.ru

²к.т.н., доцент, доцент,
Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
john682@mail.ru

³адъюнкт Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
kazakov13kaf@mail.ru

⁴к.т.н., доцент, декан филиала «Восход»
Московского авиационного института
(национальный исследовательский
университет), г. Байконур, Казахстан,
neman2004@mail.ru

⁵первый заместитель председателя
коллегии Военно-промышленной
комиссии, г. Москва, Россия,
pr_harchenko@apr.gov.ru

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены вопросы построения регрессионно-корреляционных зависимостей показателей ресурсоемкости процессов эксплуатации комплекса средств выведения космических аппаратов от затратообразующих факторов. Исходными данными являются характеристики процессов эксплуатации, протекавших в прошлом. Описанные в статье подходы могут послужить развитию методического аппарата предметной области технического регулирования. Они могут быть полезны на стадиях, как проектирования, так и эксплуатации сложных технических комплексов при решении задач оценки и подтверждения соответствия.

При использовании метода регрессионного анализа по статистическим данным о процессах, протекавших в прошлом, находится зависимость выходного параметра от различных входных параметров (факторов). Первый этап – этап предварительного анализа. На данном этапе устанавливаются причинно-следственные связи между входными факторами и выходной переменной – эксплуатационными затратами. При этом могут быть использованы опыт и знания экспертов. На настоящий момент не существует какого-либо строго формализованного метода предварительного анализа. Поэтому в работе основным результатом данного этапа служат гипотезы о характере причинно-следственных зависимостей между факторами и выходной переменной. В дальнейшем выдвинутые гипотезы либо подтверждаются, либо отвергаются. В теории регрессионного анализа рассматриваются как многомерные, так и одномерные регрессионные зависимости. Обобщение практических наблюдений за поведением эксплуатационных затрат в области комплекса средств выведения показало, что многомерная модель, несмотря на ее кажущиеся преимущества, тем не менее реже используется на практике. Причина этого заключается в сложности процедур обоснования оценок параметров многомерного регрессионного уравнения в случае зависимых факторов. Поэтому более распространен подход, основанный на представлении зависимостей затрат от влияющих факторов в виде системы уравнений парной регрессии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: техническое регулирование; комплекс средств выведения; космический аппарат; корреляционно-регрессионный анализ; математическая постановка.

Для цитирования: Миронов А. Н., Миронов Е. А., Казаков Р. Р., Шестопалова О. Л., Харченко И. Н. Анализ ресурсоемкости процесса эксплуатации комплекса средств выведения космических аппаратов // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 18–23.

В процессе функционирования системы комплекса средств выведения (КСВ) космических аппаратов (КА), перед органами, занимающимися управлением эксплуатацией часто встает задача планирования необходимых объемов ресурсов для обеспечения качественного выполнения стоящих перед ними задач [1–3]. В условиях дефицита финансирования, планирование обеспечения ресурсами должно быть соответствующим образом обосновано. Очевидно, что одним из способов обоснования может быть использование результатов экономического мониторинга эксплуатации в прошлом [8–12].

Полученные в результате экономического мониторинга данные, после проведения статистической обработки позволяют выявить имеющиеся взаимосвязи между объемами потребления ресурсов и факторами условий функционирования и применения [4–7]. В последствии, при необходимом объеме данных, можно установить и соответствующие закономерности. Данные оценки могут служить информационной базой для обоснования решений по управлению состоянием КСВ.

На содержательном уровне, задача анализа ресурсоемкости эксплуатационных процессов может быть описана следующим образом. На основании обработки множества исходных данных о затратах ресурсов на эксплуатацию КСВ, полученных в ходе экономического мониторинга, необходимо найти множество правил, интерпретирующих отображение характеристик КСВ и условий его применения на ресурсоемкость эксплуатационных процессов.

Математическая постановка задачи состоит в следующем:

Дано: $\tilde{c}_{\{m\}} = \tilde{c}_{\{m\}}^m + \tilde{c}_{\{m\}}^{ob}$ — множество полученных на основе экономического мониторинга оценок эксплуатационных затрат, включающих $\tilde{c}_{\{m\}}^m$ — оценки затрат на проведение работ по эксплуатации КСВ, $\tilde{c}_{\{m\}}^{ob}$ — множество оценок затрат на выполнение обеспечивающих работ, m — номер временного интервала; $\Sigma \tau^{КСВ}$ — структура КСВ, включающая: $\{N\}$ — множество элементов КСВ, Σ^1 — множество отношений на $\{N\}$; $G_{\{K\}} = \{G^m, G^{ob}\}$ — множество графов, задающих состав и порядок выполнения эксплуатационных и обеспечивающих мероприятий на КСВ; $A_{\langle \Sigma \rangle} = \langle Str^{КСВ}, G_{\{K\}} \rangle$ — вектор характеристик КСВ; $B_{\langle \nu \rangle}$ — вектор условий применения КСВ.

Необходимо найти:

$$\{D^m, D^{ob}\} : f(A_{\langle \Sigma \rangle}, B_{\langle \nu \rangle}) \rightarrow c_3(t) \quad (1)$$

где D^m — правила, устанавливающие соответствие

$$c^m(t) \rightarrow c_3(t);$$

D^{ob} — правила, определяющие соответствие

$$c^{ob}(t) \rightarrow c_3(t);$$

Для оценивания и прогнозирования значений временного ряда $c_3(t)$ необходимо построить модель связи эксплуатационных затрат с значениями затратнообразующих

факторов. Для решения подобных задач наиболее удобен математический аппарат регрессионного анализа, который дает возможности описания характеристик взаимосвязи различных процессов массового характера.

При использовании метода регрессионного анализа по статистическим данным о процессах, протекавших в прошлом, находится зависимость выходного параметра от различных входных параметров (факторов). В дальнейшем, используя построенную регрессионную зависимость, можно предсказать будущие значения прогнозируемого процесса.

Рассмотрим более подробно основные этапы алгоритма, приведенного на рис. 1.

Первый этап — этап предварительного анализа. На данном этапе устанавливаются причинно-следственные связи между входными факторами и выходной переменной — эксплуатационными затратами. При этом могут быть использованы опыт и знания экспертов. На настоящий момент не существует какого-либо строго формализованного метода предварительного анализа. Поэтому основным результатом данного этапа служат гипотезы о характере причинно-следственных зависимостей между факторами и выходной переменной. В дальнейшем выдвинутые гипотезы либо подтверждаются, либо отвергаются.

В теории регрессионного анализа рассматриваются как многомерные, так и одномерные регрессионные зависимости. Обобщение практических наблюдений за поведением эксплуатационных затрат в области КСВ показало, что многомерная модель, несмотря на ее кажущиеся преимущества, тем не менее реже используется на практике. Причина этого заключается в сложности процедур обоснования оценок параметров многомерного регрессионного уравнения в случае зависимых факторов. Поэтому более распространен подход, основанный на представлении зависимостей затрат от влияющих факторов в виде системы уравнений парной регрессии.

Этап 1. Для ответа на вопрос о наличии связи между $c_3(t) = y$ и факторами $\{x_1, x_2, x_3\}$, необходимо либо вычислить коэффициент корреляции, либо применить метод визуального анализа на основании рассмотрения графика $y = f(x)$.

В настоящее время существующие пакеты прикладных программ обработки статистических данных, например Microsoft Excel, позволяют визуализировать графические зависимости выходного параметра $y = f(x)$ от входного фактора. Кроме того, с использованием данного программного средства можно выполнять функции аппроксимации, сглаживания статистических данных, определять параметры трендов. При этом, в зависимости от выбранного типа аппроксимирующей кривой и ее параметров генерируется и отображается регрессионное уравнение, описывающее соответствующую зависимость.

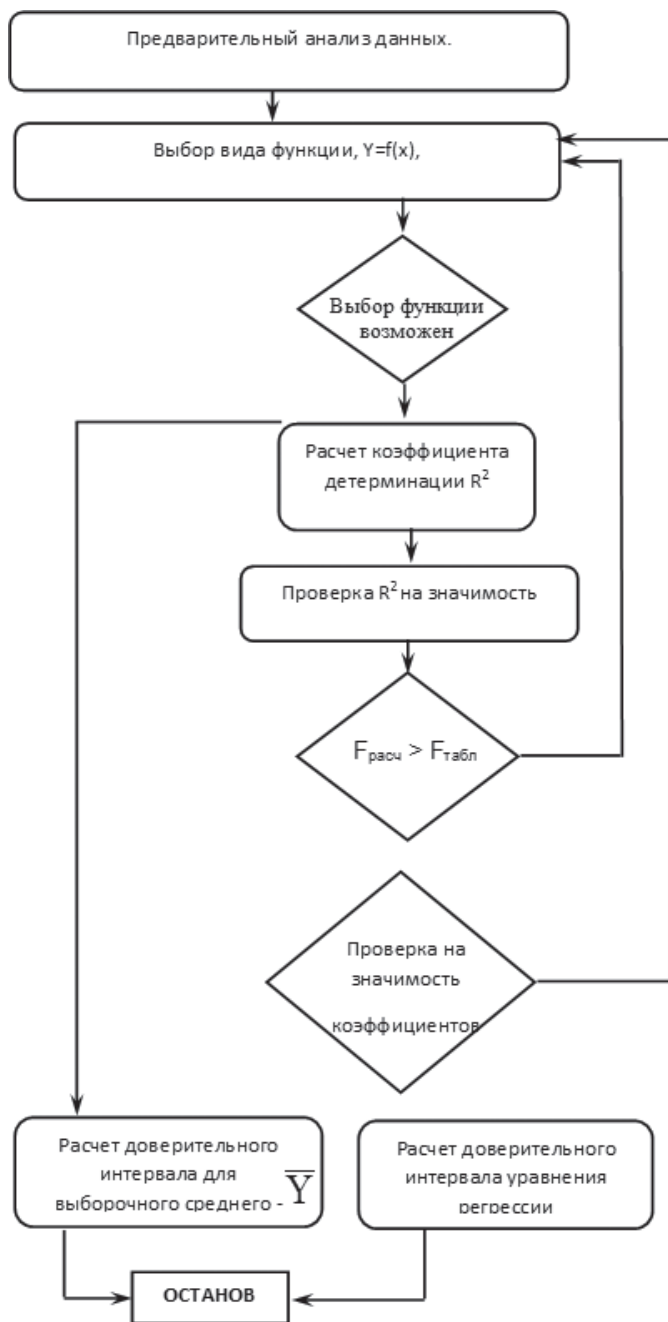


Рис. 1. Алгоритм анализа ресурсоемкости работ при эксплуатации КСВ

Прежде чем постулировать вид аппроксимирующей зависимости, необходимо провести детальный анализ механизма взаимовлияния выходного параметра и входных факторов с изучением графика их зависимости.

Этап 2. Рассчитывается коэффициент детерминации

$$R^2 = \frac{Q_{\text{регр}}}{Q} = \frac{Q_{\text{регр}}}{Q_{\text{регр}} + Q_{\text{ост}}}, \quad (2)$$

где Q — сумма квадратов отклонений выходного параметра от среднего значения

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{\text{cp}})^2. \quad (3)$$

$Q_{\text{регр}}$ — рассчитанная по аппроксимирующей зависимости сумма квадратов отклонений y_{xi} от среднего значения

$$Q_{\text{регр}} = \sum_{i=1}^n (y_{xi} - y_{\text{cp}})^2, \quad (4)$$

причем $Q_{\text{регр}}$ отражает влияние входного фактора x .

$Q_{\text{ост}}$ — сумма квадратов отклонений фактических значений выходного параметра y_i от расчетных значений y_{xi} данного параметра:

$$Q_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{xi})^2. \quad (5)$$

Этап 3. Проверка значимости R^2 . Для этого вычисляем статистику F-критерия Фишера

$$F_{\text{расч}} = \frac{Q_{\text{регр}}}{Q_{\text{ост}}} \times \frac{n-m-1}{m}, \quad (6)$$

и сравниваем его с табличным критическим значением. Уравнение регрессии считается значимым, когда расчетное значение больше критического ($F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$), где n — число экспериментальных точек; m — число входных факторов.

Этап 4. После того, как подтверждена значимость регрессионной связи выходной переменной и входных факторов, выполняется проверка значимости коэффициентов регрессии. Данная операция представляет собой проверку гипотезы о равенстве нулю коэффициентов уравнения регрессии. Данная проверка выполняется с помощью критерия Стьюдента.

Находится значение статистики

$$t = \frac{\beta}{S_{y\beta}}, \quad (7)$$

где β — коэффициент уравнения регрессии, проверяемый на значимость; $S_{y\beta}$ — оценка СКО (среднеквадратического отклонения) для β , определяемая по формуле

$$S_{y\beta} = \frac{S_y}{\sigma_x \sqrt{n}}, \quad (8)$$

S_y — СКО уравнения регрессии;

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{xi})^2}{n-m-1}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{ост}}}{n-m-1}}, \quad (9)$$

σ_x - СКО входного фактора x

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{cp}})^2}{n}}. \quad (10)$$

Определяем критические значения критерия Стьюдента $t_{\alpha, k}$. При этом входными параметрами для таблиц распре-

ления Стьюдента являются: значение уровня значимости α ; число степеней свободы $k = n - m$; число факторных признаков m ; число наблюдений n . Затем, расчетный критерий t сравнивают с $t_{\alpha, k}$, при этом, если выполняется условие $|t| \geq t_{\alpha, k}$, то коэффициент считается значимым (так как отвергается гипотеза о равенстве нулю коэффициента регрессии).

Этап 6. Определение интервальной оценки для величины эксплуатационных затрат по формуле

$$y_{\pm} = y_{xi} \pm t_{\alpha} S_y k, \quad (11)$$

где y_{xi} - расчетное значение затрат ресурсов на эксплуатацию КСВ; S_y — СКО от уравнения регрессии (11); t_{α} — t -критерий Стьюдента; k — вспомогательный коэффициент

$$k = \sqrt{\frac{n+1}{n} \frac{(x_i - x_{cp})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}}, \quad (12)$$

Этап 7. Если значение R^2 незначимо, то следует воспользоваться соотношениями

$$y_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (13)$$

$$y_{cp\pm} = y_{cp} \pm \frac{|t_{\alpha}| \times \sigma_y}{\sqrt{n}}, \quad (14)$$

$$\sigma_y = \sqrt{D_y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})^2}{n-1}}. \quad (15)$$

Соотношение (14) применимо, если число экспериментальных точек более 30. В иных случаях (при меньшем числе точек) можно использовать соотношение

$$y_{cp\pm} = y_{cp} \pm \frac{|t_{\alpha}| \cdot \sigma_y}{\sqrt{n-2}}, \quad (16)$$

полученное В. Госсетом [5].

Таким образом, рассмотрены вопросы построения регрессионно — корреляционных зависимостей показателей ресурсоемкости процессов эксплуатации КСВ КА от затратообразующих факторов. Исходными данными являются характеристики процессов эксплуатации, протекавших в прошлом. Описанные в статье подходы могут послужить развитию методического аппарата предметной области технического регулирования. Они могут быть полезны на стадиях, как проектирования, так и эксплуатации сложных

технических комплексов при решении задач оценки и подтверждения соответствия.

Литература

1. Басотин Е. В., Казаков Р. Р., Миронов А. Н., Казаков Р. Р., Шестопалова О. Л. Анализ путей решения проблемы управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 6–2. С. 282–287.
2. Басотин Е. В., Миронов А. Н., Казаков Р. Р., Сизяков Н. П., Шестопалова О. Л. Определение потребности в модернизации составных частей ракетно-космических комплексов // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 12 (часть 3). С. 486–490.
3. Витюк В. Л., Гузенко В. Л., Миронов Е. А., Севастьянов Д. А., Шестопалова О. Л. Модель для расчета показателей качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта сети связи // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 5–3. С. 493–498.
4. Гузенко В. Л., Клепов А. В., Миронов Е. А., Шестопалова О. Л. Обоснование предпочтительного варианта построения и функционирования системы технической эксплуатации территориально-распределенной информационной системы по вектору технико-экономических показателей // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 3. С. 72–78.
5. Гузенко В. Л., Клепов А. В., Миронов Е. А., Шестопалова О. Л. Постановка задачи обеспечения технико-экономической эффективности эксплуатации распределенной информационной системы // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 2. С.
6. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. *Общая теория статистики*. М: Финансы и статистика, 1998. 480 с.
7. Левитан Е. П., Герасютин С. А. *Современные ракеты-носители* // *Земля и Вселенная*. 2008. № 6. С. 90–99.
8. Муравьев А. В., Шестопалова О. Л. Прогнозирование срока службы информационной системы с учетом морального старения элементной базы технических средств // *Транспортное дело России*. 2014. № 6. С. 186–189.
9. Поповкин В. А. Методический подход к решению задачи выбора параметров развития системы космического информационного обеспечения // *Двойные технологии*. 2009. № 3 (48). С. 2–6.
10. Пайсон Д. Б. *Техническая политика создания космического сегмента спутниковых систем связи*. М.: МАИ, 2007. 100 с.
11. Сизяков Н. П., Шестопалова О. Л. Прогнозирование соответствия характеристик космических средств предъявляемым требованиям на основе использования нечеткой регрессионной модели // *Информация и космос*. 2010. № 1. С. 83–86.

12. *Сизяков Н. П., Шестопалова О. Л.* Планирование поэтапной реализации инновационных программ развития комплексов космических средств в условиях неопределенности информации о временных, ресурсных и технологических ограничениях // *Информация и космос*. 2010. № 1. С. 83–86.

13. *Справочник по математике для экономистов /* Под редакцией В. И. Ермакова. М.: Высшая школа, 1997. 384 с.

14. *Чулков С. А., Кузин А. И., Лехов П. А., Семенов А. И.* Сравнительный анализ путей реализации основных требований к перспективным средствам выведения // *Авиакосмическая техника и технологии*. 2008. 168 с.

15. *Шестопалова О. Л.* Модель расчёта затрат на эксплуатацию системы сбора и обработки информации с учетом инфляционных процессов // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 3. С. 123–130.

ANALYSIS OF RESOURCE INTENSITY OF OPERATING PROCESSES OF LAUNCH VEHICLES SPACECRAFT COMPLEX

ANDREY N. MIRONOV,

St-Peterburg, Russia, mironov-anik@yandex.ru

EVGENY A. MIRONOV,

St-Peterburg, Russia, john682@mail.ru

RUSTEM R. KAZAKOV,

St-Peterburg, Russia, kazakov13kaf@mail.ru

OLGA L. SHESTOPALOVA,

Baikonur, Kazakhstan, neman2004@mail.ru

IVAN N. KHARCHENRO,

Moscow, Russia, pr_harchenko@aprf.gov.ru

KEYWORDS: technical regulation; launch vehicles complex; spacecraft; correlation and regression analysis; mathematical statement.

ABSTRACT

Considers issues of regression – correlation dependencies of the indicators of resource intensity of processes of operation of launch vehicles complex from the factors, forming the cost. The source data are the characteristics of the processes of exploitation that occurred in the past. The described approaches can serve the development of the methodological apparatus of the subject area of technical regulation. They can be useful at the stages of design and operation of complex technical systems in solving problems of assessment and verification of conformity.

When using the method of regression analysis on statistical data about the processes occurring in the past, is the dependence of the output parameter from the various input parameters (factors). The first stage is the preliminary stage of analysis. This phase establishes the causal relationship between input factors and output variable – operating costs. This can be used experience and knowledge of experts. At the moment there is no strictly formal method for preliminary analysis. Therefore, in the work the main result of this phase serve as hypotheses about the nature of causal dependencies between factors and output variable. Further the hy-

potheses are either confirmed or rejected. In the theory of regression analysis are considered as multivariate and univariate regression. Generalization of practical observation of the behavior of operating costs in the field of CWS showed that the multidimensional model, despite its apparent advantages, however, rarely used in practice. The reason for this is the complexity of the procedures for the justification of the parameter estimates of multivariate regression equation in the case of dependent factors. So the more common approach based on the representation of the dependency of costs on the influencing factors in the form of a system of equations of pair regression.

REFERENCES

1. *Basotin E.V., Kazakov R.R., Mironov A.N., Kazakov R.R., Shestopalova O.L.* Analiz putey resheniya problemyi upravleniya zhiznennyim tsiklom nazemnogo oborudovaniya raketno-kosmicheskikh kompleksov [Analysis of the solution life-cycle management of ground-based equipment of space-rocket complexes]. *Fundamentalnyie issledovaniya*. 2016. No. 6-2. С. 282-287.

2. Basotin E.V., Mironov A.N., Kazakov R.R., Sizyakov N.P., Shestopalova O.L. Opredelenie potrebnosti v modernizacii sostavnyh chastej raketno-kosmicheskikh kompleksov [Determining the need for the modernization of component parts of rocket and space complexes]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2016. No. 12 (Pt. 3). C. 486-490.
3. Vityuk V.L., Guzenko V.L., Mironov E.A., Sevast'yanov D.A., Shestopalova O.L. Model' dlya rascheta pokazatelej kachestva funkcionirovaniya sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta seti svyazi [Model for the calculation of indicators of quality of functioning of system of technical maintenance and repairing communication networks]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 5-3. Pp. 493-498.
4. Guzenko V.L., Klepov A.V., Mironov E.A., Shestopalova O.L. Obosnovanie predpochtitel'nogo varianta postroeniya i funkcionirovaniya sistemy tekhnicheskoy ehkspluatatsii territorial'no-raspredelennoy informacionnoj sistemy po vektoru tekhniko-ehkonomicheskikh pokazatelej [The rationale for the preferred option of construction and operation of the system technical operation of the geographically distributed information system for vector technical-economic indicators]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. No. 3. Pp. 72-78.
5. Guzenko V.L., Klepov A.V., Mironov E.A., Shestopalova O.L. Postanovka zadachi obespecheniya tekhniko-ehkonomicheskoy ehffektivnosti ehkspluatatsii raspredelennoy informacionnoj sistemy [Statement of the problem of ensuring technical and economic efficiency of operation of a distributed information system]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. No. 2.
6. Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. *Obshchaya teoriya statistiki* [Finance and statistics]. Moscow: Finansy i statistika, 1998. 480 p.
7. Levitan E.P., Gerasyutin S.A. *Sovremennye rakety-nositeli* [The earth and the universe]. *Zemlya i Vselennaya*. 2008. No. 6. Pp. 90-99.
8. Murav'ev A.V., Shestopalova O.L. Prognozirovaniye sroka sluzhby informacionnoj sistemy s uchetom moral'nogo stareniya ehlementnoj bazy tekhnicheskikh sredstv [The service life prediction of information system in view of obsolescence of the circuitry of the technical means]. *Transportnoe delo Rossii*. 2014. No. 6. Pp. 186-189.
9. Popovkin V.A. Metodicheskij podhod k resheniyu zadachi vybora parametrov razvitiya sistemy kosmicheskogo informacionnogo obespecheniya [A methodical approach to solving the problem of choosing the parameters of the development system of space information support]. *Dvojnye tekhnologii*. 2009. No. 3 (48). Pp. 2-6. 2009.
10. Pajson D.B. Tekhnicheskaya politika sozdaniya kosmicheskogo segmenta sputnikovyyh sistem svyazi [Technical policy of creation of a space segment of satellite communication systems]: *Uchebnoe posobie*. Moscow: MAI, 2007. 100 p.
11. Sizyakov N.P., Shestopalova O.L. Prognozirovaniye sootvetstviya harakteristik kosmicheskikh sredstv pred'yavlyayemyh trebovaniyam na osnove ispol'zovaniya nechetkoj regressionnoj modeli [Technical policy of creating the space segment of satellite communication systems]. *Informatsiya i kosmos*. 2010. No. 1. Pp. 83-86.
12. Sizyakov N.P., Shestopalova O.L. Planirovaniye poehtapnoj realizacii innovacionnyh programm razvitiya kompleksov kosmicheskikh sredstv v usloviyah neopredelennosti informacii o vremennyh, resursnyh i tekhnologicheskikh ogranicheniyah [Planning for the gradual implementation of innovative development programs of the complexes of space vehicles in the conditions of informational uncertainty about time, resources and technological constraints]. *Informatsiya i kosmos*. 2010. No. 1. Pp. 83-86.
13. Ermakova V.I. (Ed.) *Spravochnik po matematike dlya ehkonomistov* [The directory on mathematics for economists]. Moscow: Vysshaya shkola, 1997.
14. Chulkov S.A., Kuzin A.I., Lekhov P.A., Semenov A.I. Sravnitel'nyj analiz putej realizacii osnovnyh trebovanij k perspektivnym sredstvam vyvedeniya [A comparative analysis of ways of implementation of the main requirements for the advanced launch vehicles]. *Aviakosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*. 2008. 168 p.
15. Shestopalova O.L. Model' raschyota zatrat na ehkspluatatsiyu sistemy sbora i obrabotki informacii c uchetom inflyacionnyh processov [The model of calculation of costs of operation of the system of collection and processing of information taking into account inflation]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. No. 3. Pp. 123-130.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Mironov A.N., PhD, Full Professor, Professor of the Military Space Academy;
 Mironov E.A., PhD, Docent, Associate Professor of the Military Space Academy;
 Kazakov R.R., Postgraduate Student of the Military Space Academy;
 Shestopalova O.L., PhD, Docent, Dean of a Branch «Voskhod» of the Moscow aviation institute (national research university);
 Kharchenko I.N., First Deputy Board Chairman of the Military industrial commission of the Russian Federation.

МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ПОТОКОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ШМЕЛЕВ

Валентин Валерьевич¹

ДЕЕВ

Владимир Викторович²

ТКАЧЕНКО

Владимир Викторович³

Информация об авторах:

¹к.т.н., заместитель начальника кафедры Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, valja1978@yandex.ru

²д.т.н., профессор, старший преподаватель Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

³к.т.н., преподаватель Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vik_hohol@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теория вычислений; функционально-логическое программирование; потоковые вычисления; обработка измерительной информации; информационные технологии; идентификация и техническая диагностика.

АННОТАЦИЯ

Рассматривается задача теоретического обоснования информационной технологии интеллектуального мониторинга состояния технических систем. В основе технологии находятся функционально-логические программы потоковых вычислений, построенные на модифицированных сетях Петри и G-сетях. Под потоковыми вычислениями понимается процесс обработки разнородной информации (технической, технологической) с целью диагностирования состояния сложных технических систем с возможностью распараллеливания, асинхронности и иерархичности непосредственных операций над данными. Вопрос организации практического применения таких программ на электронно-вычислительных машинах безотносительно системно-аппаратного их обеспечения раскрывается в работе. Предлагается соответствующая схема, состоящая из семи блоков. Первые четыре блока – это сопоставление свойств контролируемого процесса и переменных программы потоковых вычислений, контроль и интерпретация выходных переменных программы, формирование управляющих воздействий для программы и, четвертый, выполнение (изменение состояния) программы. Данные блоки являются интерпретацией классических этапов идентификации и технической диагностики технических объектов с целью определения их технического состояния. Для данных этапов приводятся необходимые формальные выражения. Пятый этап – это формирование системы показателей качества организации потоковых вычислений. Шестой этап – комплексное оценивание качества организации потоковых вычислений при мониторинге состояния технической системы. Содержание пятого и шестого этапов является отображением особенностей предметной области контролируемых процессов технической системы. Последний седьмой этап заключается в формировании структуры информационной технологии интеллектуального мониторинга на основе программы потоковых вычислений. Предлагается три блока такой системы: единое информационное пространство описания контролируемых процессов на основе специального полимодельного комплекса, инструментальная прикладная среда синтеза и исполнения программ специальных вычислений и система поддержки принятия решения оператором рабочего места мониторинга. Теоретическая новизна материала состоит в концептуальной интерпретации задач технической диагностики на новом методическом инструменте мониторинга – функционально-логических программах потоковых вычислений. Практическая значимость и актуальность обосновывается крайней необходимостью совершенствовать технологии мониторинга сложных технических систем, например, в ракетно-космической отрасли.

Для цитирования: Шмелев В. В., Деев В. В., Ткаченко В. В. Метод организации потоковых вычислений при интеллектуальном мониторинге состояния технических систем // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 24–34.

Анализ практики испытаний и применения ракетно-космической техники показывает, что с совершенствованием технических систем происходит их усложнение. Вследствие этого не снижается количество аварий и происшествий на объектах космической инфраструктуры и космических средствах. Интегральные сведения об этом представлены на рис. 1 [1–2].

Причин данного факта можно назвать несколько. Среди них техническая сложности контролируемых процессов в технической системе, структурная, вычислительная, временная, логическая сложность мониторинга состояния системы, доверительная сложность исходной информации и структурная и параметрическая динамика экземпляров контролируемых процессов. Интегральной причиной является несовершенство моделей и методов мониторинга состояния сложных технических систем в условиях неопределенности классов состояний контролируемых объектов, вызванных возмущающими факторами искусственного и естественного происхождения. Для устранения данной причины, т.е. компенсации названных факторов, предложен метод интеллектуального мониторинга состояния технических систем на основе использования функционально-логических программ потоковых вычислений [3].

В настоящей статье указанный метод интерпретируется в информационную технологию, как совокупность способов и методов решения задачи на ЭВМ [Р 50.1.031–2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции (п. 3.1.9). Госстандарт России. М: Стандартинформ, 2006, 32 с.].

В статье вводится или доопределяется ряд понятий. Программой называется система вычислений, которая для некоторого набора исходных данных позволяет по однозначно определенной последовательности действий получить конкретный результат [4]. Программа обладает свойствами массовости, результативности и определенности.

Функционально-логической программой называется программа, создаваемая в результате применения парадигмы функционального программирования [5] (в данном случае используется вызов единой функции с различными параметрами) с реализацией логических взаимосвязей между операторами (операциями). Под потоковыми вычислениями понимается обработка информации различного рода (измерительной, технологической), характеризующей техническую систему (ТС). Особенностью процесса обработки такой информации является необходимость обеспечения возможности параллелизма и асинхронности выполнения отдельных операций и их совокупностей, т.е. потоков [6].

Подготовка программы потоковых вычислений представляет собой сложный процесс задания спецификации, синтеза и применения функционально-логической программы, который может быть представлен схемой рис. 2.

Синтез программы потоковых вычислений состоит из трех этапов.

Первый этап заключается в интерпретации исходной разнородной информации о предметной области контролируемого процесса. На основании такой информации формируется единое представление исходной спецификации синтезируемой программы как перечня операций с необходимыми характеристиками и условиями их выполнения. Результатом данного этапа является исходная спецификация процесса мониторинга (или программы мониторинга) в виде модифицированной таблицы хронометража [3].

Рассмотрим краткий пример составления подобной таблицы для технической системы ракеты-носителя. В качестве примера будет использована абстрагированная от конкретного типа космического средства система наддува баков двигательной установки ракеты. Система наддува баков предназначена для компенсации провалов и обеспечения потребных давлений на входе в насосы в момент запуска двигателей до выхода системы бортового наддува на расчетный режим работы, а также для обеспечения тре-

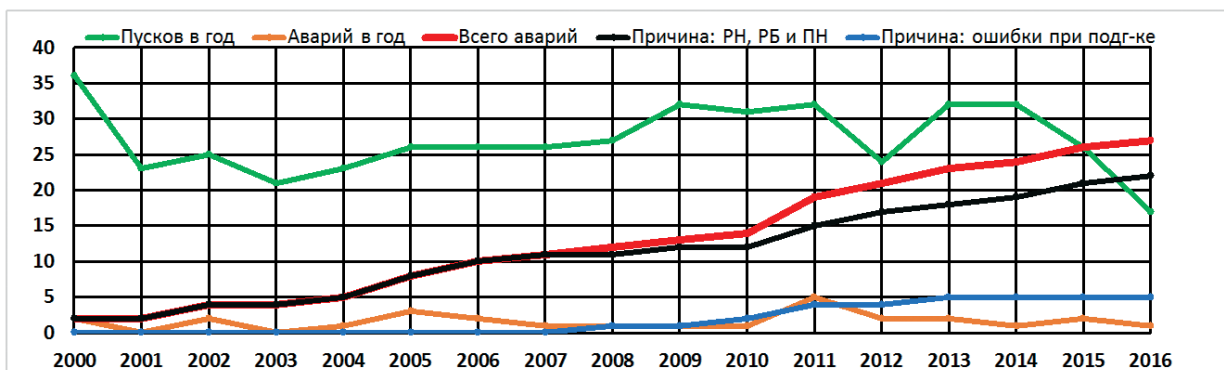


Рис. 1. Статистика результатов применения космических средств

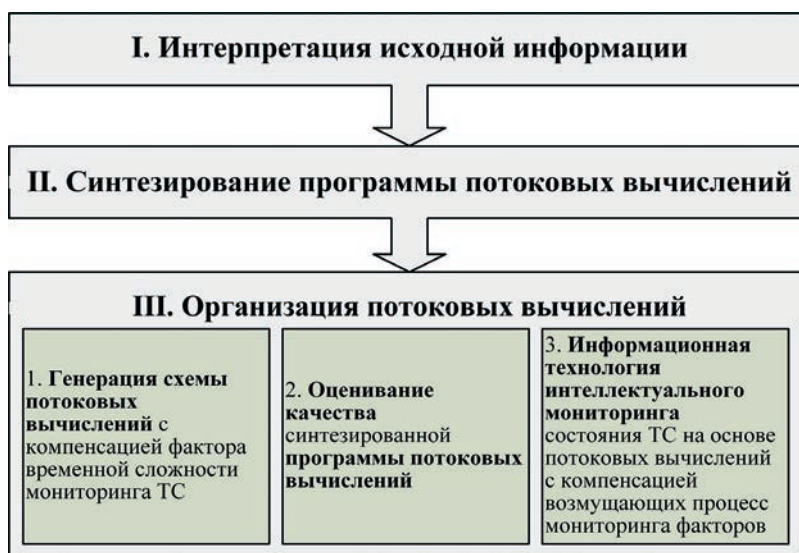


Рис. 2. Схема этапов синтеза функционально-логической программы

буемых уровней давлений на входе в насосы при работе двигателей. На рис. 3 представлена схема мониторинга данной системы.

Кроме штатного функционирования системы наддува предполагается нештатный режим, представленный схемой рис. 4.

Объединение штатного и нештатного режимов функционирования системы наддува баков ракеты-носителя представлено в таблице. В таблице введено сокращение ЭПК — электропневмоклапан, РД — реле давления.

Второй этап — это этап непосредственного синтеза программы, заключающийся в последовательном наполнении тела программы необходимыми составляющими, и корректировки тела с целью придания ему требуемых свойств. Синтез программы состоит из этапов задания структуры и свойств потоковых вычислений, а также опре-

деления действий программы [7]. Для рассматриваемого примера функционально-логическая программа примет вид, представленный на рис. 5.

Третьим этапом является организация потоковых вычислений с использованием синтезированной программы. Данный этап и есть основное содержание настоящей статьи.

Этап «III. Организация потоковых вычислений» заключается в интерпретации стадий функционального диагностирования с помощью синтезированной программы (шаг 1), оценивании качества потоковых вычислений по синтезированной программе (шаг 2) и формировании информационной технологии практического применения программы потоковых вычислений с компенсацией возмущающих процесс мониторинга факторов (шаг 3).

Шаг 1 является стадией, определяющей порядок функционирования инструментальной прикладной среды



Рис. 3. Схема процесса мониторинга системы наддува баков двигательной установки ракеты-носителя

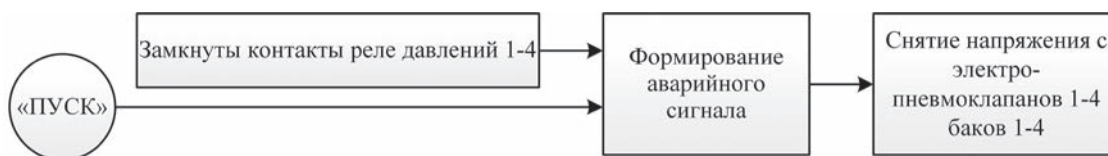


Рис. 4. Схема формирования аварийного сигнала при наддуве баков

Таблица

Исходная спецификация вычислительного процесса мониторинга системы наддува баков ракеты-носителя

№ п/п	Наименование операции	Условие начала операции	Условие окончания операции	Момент начала операции, отн. ед.	Длительность операции, отн. ед.
1	Задержка	Получение сигнала «Дренаж»	По длительности	0	50
2	Подача напряжения на ЭПК 1	Получение сигнала «Наддув» и окончание операции О1	По длительности	50	5
3	Подача напряжения на ЭПК 2	Получение сигнала «Наддув» и окончание операции О1	По длительности	50	5
4	Подача напряжения на ЭПК 3	Получение сигнала «Наддув» и окончание операции О1	По длительности	50	5
5	Подача напряжения на ЭПК 4	Получение сигнала «Наддув» и окончание операции О1	По длительности	50	5
6	Наддув бака 1	Окончание операции О2	Достижение давления в баке 1 верхнего уровня	55	75
7	Наддув бака 2	Окончание операции О3	Достижение давления в баке 2 верхнего уровня	55	75
8	Наддув бака 3	Окончание операции О4	Достижение давления в баке 3 верхнего уровня	55	75
9	Наддув бака 4	Окончание операции О5	Достижение давления в баке 4 верхнего уровня	55	75
10	Размыкание контактов РД1	Окончание операции О6	По длительности	130	5
11	Размыкание контактов РД2	Окончание операции О7	По длительности	130	5
12	Размыкание контактов РД3	Окончание операции О8	По длительности	130	5
13	Размыкание контактов РД4	Окончание операции О9	По длительности	130	5
14	Снятие напряжения с ЭПК 1	Окончание операции О10	По длительности	135	5
15	Снятие напряжения с ЭПК 2	Окончание операции О11	По длительности	135	5
16	Снятие напряжения с ЭПК 3	Окончание операции О12	По длительности	135	5
17	Снятие напряжения с ЭПК 4	Окончание операции О13	По длительности	135	5
18	Окончание наддува баков	Окончание операций О14, О15, О16 и О17	По длительности	140	5
19.	Формирование аварийного сигнала	Получение сигнала «Пуск» и не достижение давления в каких-либо баках 1-4 верхних уровней	Окончание операций О14, О15, О16 и О17	140	5
20	Снятие напряжения с ЭПК 1	Начало операции Н19	По длительности	140	5
21	Снятие напряжения с ЭПК 2	Начало операции Н19	По длительности	140	5
22	Снятие напряжения с ЭПК 3	Начало операции Н19	По длительности	140	5
23	Снятие напряжения с ЭПК 4	Начало операции Н19	По длительности	140	5

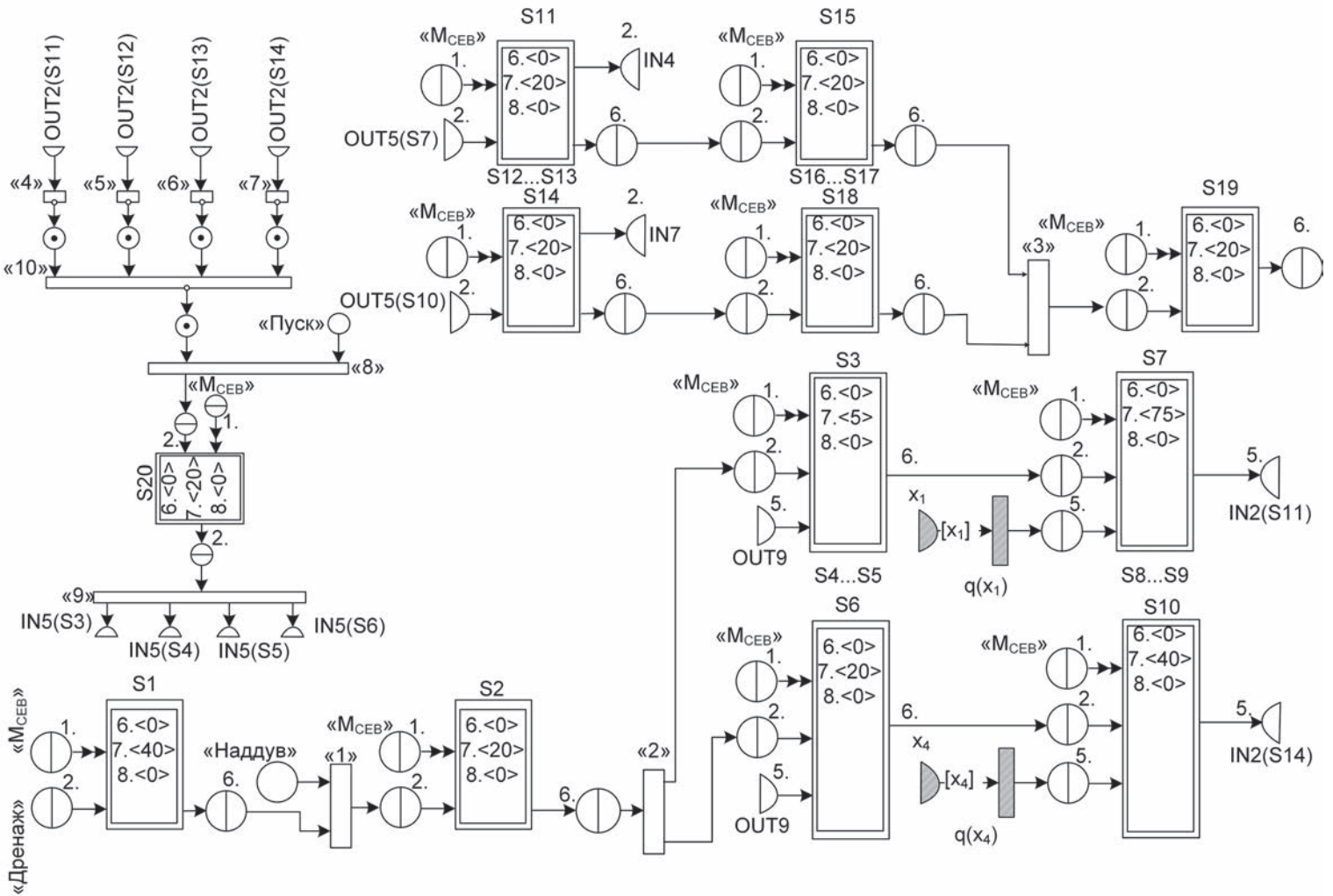


Рис. 5. Программа потоковых вычислений при мониторинге технического состояния системы наддува баков ракеты-носителя

(ИПС), реализующей предлагаемую структуру вычислений. На рис. 6 представлена схема такой среды концептуального уровня, достаточного для определения спецификации среды. Обозначения и семантика переменных приведены в статье [3] и для экономии места здесь не приводятся.

По тактам генератора происходит опрос на изменение значений инициализированных переменных или на инициализацию новых элементов БД переменных. Частота формирования тактов определяется характеристиками прототипа реализуемых потоковых вычислений.

Формирование значений переменных $ZP_{(s)}$ осуществляется G-сетью обработки первичных и формирования вторичных переменных из множества $X = \{x_i \mid i=1 \dots \text{card}(X)\}$. Под первичными переменными понимаются результаты интерпретации характеристики прототипа потоковых вычислений — исходной спецификации. Вторичные переменные — это значение функций, аргументами в которых выступают первичные переменные. Блок сопряже-

ния и БД операторов, содержащая z-модели, осуществляют программно-аппаратный перевод значений выходных переменных G-сетей в переменные $ZP_{(s)}$.

БД экземпляров УМТО $S = \{S_k \mid k=1 \dots \text{card}(I)\}$ содержит необходимое количество примитивов с параметрами, заданными при проектировании схемы программы потоковых вычислений. При поступлении значений входных переменных P_{in} осуществляется смена состояния S_k соответствующих экземпляров УМТО, что выражается в формировании новых значений выходных переменных P_{out} с последующей их передачей в БД функций инцидентности $J = \{J_k \mid k=1 \dots \text{card}(I_s)\}$. В последней БД осуществляется распределение полученных переменных по соответствующим экземплярам УМТО с преобразованием выходных P_{out} во входные переменные P_{in} . Это требует повторной смены состояний S_k экземпляров УМТО. Операции распределения и смены состояния S_k экземпляров выполняются до выполнения всех функций инцидентности J .



Рис. 6. Схема функционирования ИПС потоковых вычислений. БД – база данных, УМТО – унифицированная модель типовой операции процесса мониторинга

Все переменные $P = \{P_{in}, P_{out}, ZP_{(*)}\}$ могут использоваться в необходимых формах отображения в качестве индикаторных элементов с информацией о состоянии потоковых вычислений. При этом формы могут содержать и органы управления, формирующие новые значения входных переменных P_{in} . Это предоставляет возможность управления программой потоковых вычислений.

Шаги 2 и 3 являются специализированными для предметной области использования рассматриваемого в статье метода. Поэтому для их представления целесообразно использовать прикладную схему рис. 7.

При формальном представлении организации потоковых вычислений используется денотационная семантика языка описания или «программирования» контролируемых процессов, заключающаяся в математическом интерпретации подэтапов функционального диагностирования, представленных на рисунке 7 под номерами 1, 2, 3 и 4. Для каждого из подэтапов представляются следующие математические выражения (в статье [3] представлены обозначения переменных):

1. Сопоставление свойств контролируемого процесса и переменных потоковых вычислений:

— бинарное состояние операции {операция не выполнялась, выполняется, окончена по длительности, окончена}:

$$m(p_i | p_i \in P_{out} = \{\text{ИндНач}, \text{ИндЗакДлит}, \text{ИндКон}\});$$

— счетное состояние операции {степень отсчета задержки начала выполнения, непосредственного выполнения, задержки окончания выполнения}:

$$m(p_i | p_i \in P_{out} = \{\text{ИндЗадНач}, \text{ИндВып}, \text{ИндЗадКон}\}).$$

2. Контроль и интерпретация выходных переменных:

— $m_{гр}(p_i)$ — заданные значения выходных переменных $p_i \in P_{out}$;

— $M_{гр out}^{(k)} = \{m_{гр}(p_i) | p_i \in P_{out}^{(k)}\}$ — множество заданных значений выходных переменных $m_{гр}(p_i)$ k-ой операции;

— $M_{гр out} = \{M_{гр out}^{(k)} | k=1 \dots \text{card}(I_s)\}$ — множество заданных значений выходных переменных $M_{гр out}^{(k)}$ операций $S_k | k=1 \dots \text{card}(I_s)$ процесса R;

— $Y = \langle M_{гр нач out}, \dots, M_{гр out}, \dots, M_{гр кон out} \rangle$ — кортеж $M_{гр out}$ –упорядоченный перечень заданных значений выходных переменных $M_{гр out}$ на интервале контроля;

— $\Delta m(p_i)$ — невязка значений $m(p_i)$ и $m_{гр}(p_i)$;

— $\Delta M_{out}^{(k)} = \{\Delta m_{гр}(p_i) | p_i \in P_{out}^{(k)}\}$ — множество невязок значений $m(p_i)$ и $m_{гр}(p_i)$ выходных переменных $p_i \in P_{out}$ k-ой операции;

— $\Delta M_{out} = \{\Delta M_{out}^{(k)} | k=1 \dots \text{card}(I_s)\}$ — множество невязок значений $M_{out}^{(k)}$ и $M_{гр out}^{(k)}$ выходных переменных $p_i \in P_{out}^{(k)}$ операций $S_k, k=1 \dots \text{card}(I_s)$;

— $\Delta Y = \langle \Delta M_{нач out}, \dots, \Delta M_{out}, \dots, \Delta M_{кон out} \rangle$ — кортеж невязок значений M_{out} и $M_{гр out}$ на интервале контроля;

— $\Delta m(p_i) = m(p_i) - m_{гр}(p_i)$ — вычисление невязки «нижнего уровня», аналогичные выражения составляются для вычисления невязок $\Delta M_{out}^{(k)}, \Delta M_{out}$ и ΔX .

3. Формирование управляющих воздействий:

— $\Delta_D: \Delta \times M_{нач out} \times M_{кон out} \times Q \rightarrow \Delta_D$ — множество допустимых альтернатив управляющих воздействий — значений входных переменных $m(p_i) | p_i \in P_{in}^{(k)}$;

— условие смены состояния процесса

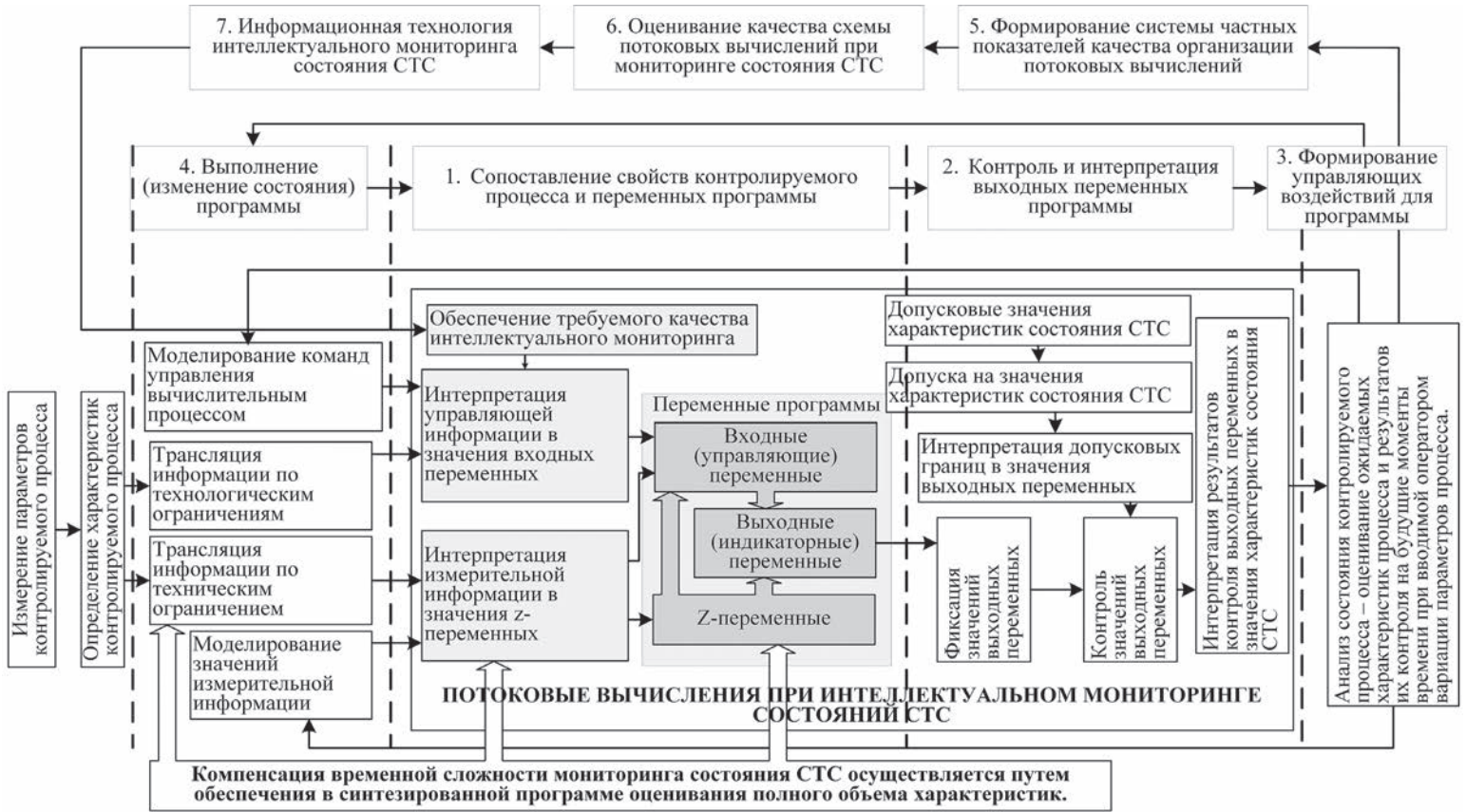


Рис. 7. Схема организации потоковых вычислений при интеллектуальном мониторинге ТС с компенсацией возмущающих факторов

$$U=(U_1) \cap (U_2) \cap (U_3);$$

— U_1 : при условии существования функции инцидентности между СЛ-моделями операции S_l и S_k , $l, k \in I_s, l \neq k$:

$$U_1: J_{in}^{(k)} \cap P_{out}^{(l)}, P_{in}^{(k)} \cap N, N > 0;$$

— U_2 : при условии разрешения смены состояния операции S_k :

$$U_2: (\gamma_+(m(p_l | p_l = \{OC\}) - \#(p_p, B(t_j))) = 1) \cap$$

$$\cap (\gamma_+(m(p_l | p_l \in (P_{in} \cup P_{out}) \setminus \{OC\}) - \#(p_p, F(t_j))) = 1) \cap$$

$$\cap (m(p_l) > (\#(p_p, F(t_j)) + \#(p_p, H(t_j)));$$

— U_3 : при условии отсутствия технических ограничений на смену состояний операции S_k :

$$U_3: z_{m(i)}: d_{t(i)} \in D_{(i)} \rightarrow PR(q^{(k)}(\cdot)) = \text{«true»}.$$

4. Выполнение (изменение состояния) потоковых вычислений:

— функция J инцидентности между моделями операций S_p, S_k и S_m :

$$\mathfrak{J} = \left(\begin{array}{l} \mathfrak{J}_{in} : P_{out}^{(l)} \times P_{in}^{(k)} \rightarrow N \\ \mathfrak{J}_{out} : P_{out}^{(k)} \times P_{in}^{(m)} \rightarrow N \end{array} \right), l, k, m \in I_s$$

В основу моделирующего инструмента положены модифицированные сети Петри [8]. Для практической проверки функциональности моделей использована среда CPN Tools [9–11].

Интеллектуальный мониторинг заключается в представлении технологии анализа состояния технической системы с помощью синтезированной программы, являющейся синтаксической основой мониторинга. Кортеж значений выходных переменных программы интерпретируется как траектория смены состояний процесса вычислений, значения указанных переменных используются в качестве семантической основы мониторинга.

Подэтапы 5 и 6 рис. 7 реализуются в соответствии с особенностями предметной области контролируемых процессов. Пример решения задачи комплексного оценивания качества функционирования сложной системы приведен, например, в [12].

Подэтап 8 рис. 7 предназначен для разработки информационной технологии, как совокупности способов и методов обработки и анализа информации с использованием ЭВМ, реализующей независимо от конкретного системно-аппаратного обеспечения интеллектуальный мониторинг состояния ТС. Функциональная структура такой технологии состоит из трех составляющих: единого информационного пространства (ЕИП) описания контролируемых процессов, ИПС платформы мониторинга и системы помощи при решении оператором рабочего места мониторинга. Структура информационной технологии представлена на рис. 8.

ЕИП описания контролируемых процессов [13–14] представляет собой совокупность знаний и данных, организованных специальным образом на основе расширяемой, обобщенной информационной модели, построенной с использованием баз данных, технологий их использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей.

Информационная технология интеллектуального мониторинга состояния технических систем должна получить свою реализацию в виде программного комплекса, представляющего собой ИПС.

При создании программно-аппаратного комплекса мониторинга, функционирующего в рамках ЕИП, основной акцент делается на создание унифицированной платформы, которая используется для построения прикладных приложений не самими разработчиками, а множеством других специалистов [15–16].

Выработка управляющих воздействий в системе поддержки принятия решения оператором рабочего места мо-

нитинга, как отдельная составляющая информационной технологии интеллектуального мониторинга, подробному рассмотрению не подлежит по причине значительной вариативности решения управленческих задач в зависимости от прикладной области внедрения технологии.

Заключение

В статье ставится и решается задача разработки информационной технологии интеллектуального мониторинга состояния ТС на основе функционально-логических программ потоковых вычислений. Такие программы являются языком верхнего уровня при «программировании» процессов обработки технической и технологической информации, характеризующей ТС.

Представленные положения информационной технологии отличаются:

- концептуальной интерпретацией задач технической диагностики на новом методическом инструменте мониторинга — функционально-логических программах потоковых вычислений;

- предложением в предметной области мониторинга состояния технических систем более совершенной по сравнению с общепринятой концепции построения информационной технологии на основе принципа «программирования без программирования»;

- раскрытием задач и структуры информационной технологии, позволяющих в полной мере охарактеризовать реализуемый технологией мониторинга как «интеллектуальный».

Практическая значимость и актуальность информационной технологии с использованием функционально-логических программ потоковых вычислений заключается в компенсации возмущающих факторов, искажающих процесс мониторинга состояния ТС.

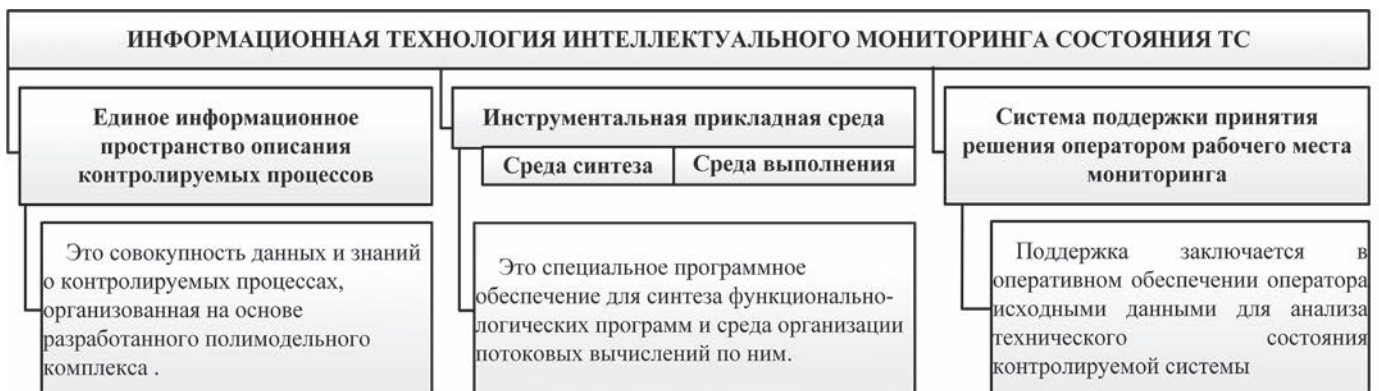


Рис. 8. Функциональная структура информационной технологии

Направлением применения представленного метода является проектирование специального программного обеспечения мониторинга функционирования сложных организационно-технических систем и процессов в ракетно-космической деятельности, а также в области разработки схем вычислительных процессов, связанных с обработкой больших данных (Big Data) в сложных условиях в других областях деятельности человека.

Литература

1. *Беляков Г.П., Анищенко Ю.А., Сафронов М.В.* Риски космических проектов. Анализ причин неудачных космических запусков // Вестник СибГАУ. 2014. № 5 (57). С. 208–215.
2. *Сафронов М.В., Харламов А.Д., Беляков Г.П.* Анализ неудачных космических запусков за 2004–2014 годы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. № 10. С. 37–38.
3. *Шмелев В.В.* Модели технологических процессов функционирования космических средств // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 4. С. 78–93.
4. *Колмогоров А.Н., Успенский В.А.,* К определению алгоритма // Успехи математических наук. 1958. Т. XIII. Вып. № 4 (82). С. 3–28.
5. *Игошин В.И.* Математическая логика и теория алгоритмов. 2-е изд. М.: Академия, 2008. 448 с.
6. *Лацис А.О.* Параллельная обработка данных. М.: Академия. 2010. 336 с.
7. *Шмелев В.В., Мануйлов Ю.С.* Применение модифицированных сетей Петри к моделированию процесса послеполетного анализа телеметрической информации // Труды МАИ. 2015. № 6(84). URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=63140>. (Дата публикации 27.11.2015)
8. *Peterson J.L.* Petri Net Theory And The Modeling Of Systems. Englewood Cliffs, N.Y.: Prentice-hall, 1981. 290 p.
9. *Westergaard M., Kristensen L.M.* The Access/CPN Framework: A Tool for Interacting with the CPN Tools Simulator // Proc. of 30th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2009). Lecture Notes in Computer Science 5606. Berlin: Springer-Verlag, 2009. Pp. 313–322
10. *Jensen K., Kristensen L.M., Wells L.* Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems // International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT). 2007. No. 9(3–4). Pp. 213–254.
11. *Ratzer A.V., Wells L., Lassen H.M., Laursen M., Qvortrup J.F., Stissing M.S., Westergaard M., Christensen S., Jensen K.* CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Nets // Proc. of 24th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2003). Lecture Notes in Computer Science 2679. Berlin: Springer-Verlag, 2003. Pp. 450–462.
12. *Зеленцов В.А., Павлов А.Н.* Многокритериальный анализ влияния отдельных элементов на работоспособность сложной системы // Информационно-управляющие системы. 2010. № 6(49). С. 7–12.
13. *Ахметов Р.Н., Васильев И.Е., Капитонов В.А., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В.* Концепция создания и применения перспективной АСУ подготовкой и пуском ракеты космического назначения «Союз-2»: новые подходы к интеграции, интеллектуализации, управлению // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 4. С. 3–54.
14. *Майданович О.В., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Комплексная автоматизация мониторинга состояния космических средств на основе интеллектуальных информационных технологий // Информационные технологии. Приложение. 2011. № S10. 32 с.
15. *Охтилев М.Ю.* Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа: монография. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 1999. 162 с.
16. *Лектауэрс А.И., Охтилев М.Ю., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Чуприков А.Ю., Шмелев В.В.* Анализ перспективных подходов к решению задач комплексного моделирования технологий самоуправляемых вычислений в критических приложениях // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 6(29). с. 144–169.

METHOD OF ORGANIZATION OF FLOW CALCULATIONS IN INTELLECTUAL MONITORING OF THE STATUS OF THE TECHNICAL SYSTEMS STATUS

VALENTIN V. SHMELEV

St. Petersburg, Russia, valja1978@yandex.ru

VLADIMIR V. DEEV

St. Petersburg, Russia

VLADIMIR V. TKACHENKO

St. Petersburg, Russia, vik_hohol@mail.ru

ABSTRACT

The problem of theoretical substantiation of information technology of intellectual monitoring of the state of technical systems is considered. The technology is based on functional-logical programs of stream computing, built on modified Petri networks and G-networks. Streaming computing is understood as the process of processing heterogeneous information (technical, technological) for the purpose of diagnosing the state of complex technical systems with the possibility of parallelization, asynchrony and hierarchy of direct operations over data. The question of organizing the practical application of such programs on electronic computers without regard to their hardware and software is disclosed in the article. A corresponding scheme consisting of seven blocks is proposed. The first four blocks are a comparison of the properties of the controlled process and the variables of the flow calculation program, monitoring and interpretation of the output variables of the program, the formation of control actions for the program, and, fourth, the execution (change of state) of the program. These blocks are an interpretation of the classic stages of identification and technical diagnostics of technical objects in order to determine their technical condition. For these steps, the necessary formal expressions are given. The fifth stage is the formation of a system of indicators of the quality of streaming computing. The sixth stage is a comprehensive assessment of the quality of streaming computing when monitoring the state of a technical system. The content of the fifth and sixth stages is a reflection of the features of the subject area of the controlled processes of the technical system. The last seventh stage is the formation of the structure of information technology of intelligent monitoring based on the flow computing program. Three blocks of such a system are proposed: a single information space for describing controlled processes on the basis of a special poly-model complex, a unified software environment for the

KEYWORDS: theory of computations; functional-logical programming; Stream computing; processing of measurement information; Information Technology; identification and technical diagnostics.

synthesis and execution of special computing programs, and a system for supporting the decision-making by the operator of the monitoring workplace. Theoretical novelty of the material consists in the conceptual interpretation of the tasks of technical diagnostics on a new methodological monitoring tool – functional logic programs of stream computing. Practical significance and relevance is justified by the extreme need to improve technologies for monitoring complex technical systems, for example, in the rocket and space industry.

REFERENCES

1. Belyakov G.P., Anishchenko Yu.A., Safronov M.V. Riski kosmicheskikh proektov. Analiz prichin neudachnykh kosmicheskikh zapuskov [Risks of space projects. Analysis of the causes of unsuccessful space launches]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of Siberian State University of Agriculture]. 2014. No. 5 (57). Pp. 208-215. (In Russian)
2. Safronov M.V., Kharlamov A.D., Belyakov G.P. Analiz neudachnykh kosmicheskikh zapuskov za 2004-2014 gody [Analysis of unsuccessful space launches for 2004-2014 years]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Actual problems of aviation and space science]. 2014. No. 10. Pp. 37-38. (In Russian)
3. Shmelev V.V. Modeli tekhnologicheskikh protsessov funkcionirovaniya kosmicheskikh sredstv [Models of technological processes of functioning of space facilities]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrumentation]. 2015. No. 4. Pp. 78-93. (In Russian)
4. Kolmagorov A.N. K opredeleniyu algoritma [To determine the algorithm]. *Uspekhi matematicheskikh nauk* [Progress in Mathematical Sciences]. 1958. T. XIII. No. 4 (82). Pp. 3-28. (In Russian)
5. Igoshin V.I. *Matematicheskaya logika i teoriya algoritmov*

[Mathematical Logic and Theory of Algorithms]. 2nd ed. Moscow: Akademiya, 2008. 448 p. (In Russian)

6. Latsis A.O. *Parallel'naya obrabotka dannykh* [Parallel processing of data]. Moscow: Academy, 2010. 336 p. (In Russian)

7. Shmelev V.V., Manuylov Yu.S. *Primenenie modifitsirovannykh setey Petri k modelirovaniyu protsessa poslepoletnogo analiza telemetricheskoy informatsii* [Application of modified Petri nets to modeling the post-flight telemetry information process]. *Trudy MAI* [Journal of Proceedings of the MAI]. 2015. No. 6 (84). URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=63140>. (Date of publication 11/27/2015). (In Russian)

8. Peterson J.L. *Petri Net Theory And The Modeling Of Systems*. Prentice-hall, inc., Englewood Cliffs, N.Y., 1981. 290 p.

9. Westergaard M., Kristensen L.M. The Access/CPN Framework: A Tool for Interacting with the CPN Tools Simulator. Proc. of 30th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2009). Lecture Notes in Computer Science 5606. Berlin: Springer-Verlag, 2009. Pp. 313-322.

10. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT)*. 2007. No. 9(3-4). Pp. 213-254.

11. Ratzer A.V., Wells L., Lassen H.M., Laursen M., Qvortrup J.F., Stissing M.S., Westergaard M., Christensen S., Jensen K. CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Nets. Proc. of 24th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2003). Lecture Notes in Computer Science 2679. Berlin: Springer-Verlag, 2003. Pp. 450-462.

12. Zelentsov V.A., Pavlov A.N. Multi-criteria analysis of the effect of individual elements on the operability of a complex system. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information-control systems]. 2010. No. 6 (49). Pp. 7-12. (In Russian)

13. Akhmetov R.N., Akhmetov R.N., Vasiliev I.E., Kapitonov V.A., Okhtilev M. Yu., Sokolov B.V. The concept of the creation and application of advanced ASU for the preparation and launch of the Soyuz-2 space rocket: new approaches to integration, intellectualization, management. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrumentation]. 2015. No. 4. Pp. 3-54. (In Russian)

14. Maidanovich O.V., Maidanovich O.V., Okhtilev M. Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Complex automation of monitoring of the state of space assets on the basis of intelligent information technologies. *Informatsionnye yekhmologii. Prilozhenie*. [Supplement to the Journal of Information Technology]. 2011. No. S10. 32 p. (In Russian)

15. Okhtilev M. Yu. *Osnovy teorii avtomatizirovannogo analiza izmeritel'noy informatsii v real'nom vremeni. Sintez sistemy analiza: monografiya*. [Fundamentals of the theory of automated analysis of measurement information in real time. Synthesis of the analysis system: monograph]. St. Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F.Mozhayskogo, 1999. 162 p. (In Russian)

16. Lektuers A.I., Okhtilev M. Yu., Posturyaev S.A., Sokolov B.V., Chuprikov A. Yu., Shmelev V.V. Analysis of perspective approaches to solving problems of complex modeling of self-controlled computing technologies in critical applications. *Proceedings of SPIIRAN*. 2013. Vol. 6 (29). Pp. 144-169. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Shmelev V.V., PhD, Deputy Head of the Department of the Military Space Academy;

Deev V.V., PhD, Professor, Senior Lecturer, Department of the Military Space Academy;

Tkachenko V.V., PhD, Teacher of the Department of the Military Space Academy.

FOR CITATION: Shmelev V.V., Deev V.V., Tkachenko V.V. Method of organization of flow calculations in intellectual monitoring of the status of the technical systems status. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 24-34. (In Russian)



ВУС

Военно-учетный стол

Программный комплекс

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

Воинский учет в организациях:

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

Первичный воинский учет в органах местного самоуправления:

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

Учет и Бронирование в Межведомственных комиссиях:

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



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО РАССЕЙЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ДИПОЛЬНЫХ ВИБРАТОРАХ С НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ

КОРСАКОВ

Сергей Сергеевич¹

ЛАРЦОВ

Сергей Викторович²

БАБАНОВ

Николай Юрьевич³

Сведения об авторах:

¹ аспирант Ивановского государственного университета, г. Иваново, Россия, sskorsakov@yandex.ru

² д.т.н., профессор, главный инженер проектов АО «Гипрогазцентр», г. Нижний Новгород, Россия, svl@ggc.nnov.ru

³ д.т.н., доцент, проректор по научной работе Нижегородского технического университета имени Р.Е.Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия, babanov@nntu.ru

АННОТАЦИЯ

Целью работы является исследование процессов рассеяния электромагнитных волн на нелинейных объектах с полупроводниковой природой нелинейности в рамках задачи электромагнитной совместимости корабельного оборудования. Предметом исследования являются пространственные свойства полупроводниковых нелинейных рассеивателей. Исследование пространственных свойств полупроводниковых нелинейных рассеивателей осуществлялось методом численного моделирования. В качестве моделей полупроводниковых нелинейных рассеивателей были рассмотрены симметричные вибраторы различной длины, нагруженные на полупроводниковый диод. Анализ процессов, связанных с приемом, нелинейным преобразованием и рассеиванием электромагнитных волн полупроводниковым нелинейным рассеивателем осуществлён на основе эквивалентной схемы. Определена последовательность получения зависимостей основных радиофизических параметров модели и параметров облучающего модельный объект колебания с целью получения нормированной диаграммы обратного нелинейного рассеяния полупроводникового нелинейного рассеивателя. Получены зависимости электродвижущей силы на частотах нелинейных продуктов от углов, характеризующих пространственную ориентацию дипольного нелинейного рассеивателя, для диполей различной длины при различных частотах облучающего колебания. Получены диаграммы обратного нелинейного рассеяния на частотах второй и третьей гармоники облучающего колебания при различных угловых параметрах, характеризующих пространственную ориентацию дипольного нелинейного рассеивателя относительно направления распространения облучающего колебания и места расположения оборудования, на которое переизлучённый сигнал оказывает помеховое воздействие, для диполей различной длины при различных частотах облучающего колебания. Оценён энергетический потенциал сигналов, рассеиваемых на частотах второй гармоники и третьей гармоники облучающего колебания, и определены основные факторы, влияющие на изрезанность диаграмм обратного нелинейного рассеяния полупроводниковых нелинейных рассеивателей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нелинейное рассеяние электромагнитных волн; полупроводниковые нелинейные рассеиватели; нелинейные продукты; пространственные свойства; диаграммы обратного нелинейного рассеяния.

Для цитирования: Корсаков С. С., Ларцов С. В., Бабанов Н. Ю. Моделирование нелинейного рассеяния электромагнитных волн на дипольных вибраторах с нелинейной нагрузкой // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 36–44.

Широкое распространение средств передачи и/или получения информации, основанных на излучении и/или приёме электромагнитных волн (ЭМВ) обуславливает значимость решения задачи электромагнитной совместимости (ЭМС), которое усложняется в ещё большей степени ввиду того, что при распространении информационных сигналов в виде ЭМВ возможно рассеяние последних на нелинейных объектах [1–3]. Под нелинейными объектами в данном контексте следует понимать объекты, способные обогащать спектр рассеянного сигнала компонентами на частотах нелинейных продуктов облучающего сигнала, в частности на частотах высших гармоник. К таким объектам относятся объекты, содержащие несовершенные металлические контакты, сварные швы металлоконструкций, полупроводниковые элементы и др. В частности, на современных кораблях одновременно функционируют различные электронные системы, содержащие разные типы антенн, в том числе, фазированные антенные решетки, и микросхемы с полупроводниковыми элементами. Присутствуя в зоне распространения ЭМВ подобные нелинейные объекты способны создавать вторичные нелинейные помехи, учёт которых необходим при решении задачи ЭМС для систем радиосвязи, радионавигации, радиолокации и т.п.

В данной работе представлено исследование процессов рассеяния ЭМВ на нелинейных объектах с полупроводниковой природой нелинейности (далее — нелинейных рассеивателях (НР)). В качестве основного направления исследования выбрано исследование пространственных свойств НР. Для унификации обозначений ЭМВ, облучающие НР, будут названы зондирующим сигналом и будут обозначаться — ЗС, а помеховые ЭМВ, рассеиваемые НР, — ответным сигналом (ОС).

Ввиду разнообразия НР и априорной неопределённости их параметров для исследования рассеивающих свойств целесообразно использовать модель НР [4–5]. В данном исследовании нелинейный объект представляется в виде антенной части, роль которой выполняет симметричный вибратор с длиной плеч l , и нелинейной части, роль которой выполняет полупроводниковый диод ДЗ11. Такой НР часто используется в качестве модельного объекта при исследовании эффекта нелинейного рассеяния ЭМВ объектами, содержащими нелинейность контактного [6] или полупроводникового типа, а также при оценке эффективности нелинейных радиолокаторов [7]. Чтобы учесть априорную неизвестность габаритных параметров объекта при моделировании были рассмотрены различные соотношения $l/\lambda_{ЗС}$ (отношение длины диполя к длине волны ЗС).

В [5] определено, что для описания пространственных свойств НР необходимо учесть свойства направленности антенной части НР и амплитудную характеристику нелинейной части. В результате могут быть получены зависимости нормированной плотности потока мощности ОС от

угловых величин, характеризующих ориентацию антенной части НР относительно фронта волны ОС (диаграммы обратного нелинейного рассеяния (ДОНР)) при различной ориентации антенной части НР относительно фронта волны ЗС. Необходим учёт угловых величин и для направления распространения ЗС, и для направления распространения ОС, т.к. в реальных условиях направление, в котором излучение ОС диполя является помеховым для какого-либо оборудования (например, направление на приёмную антенны системы связи), может не совпадать с направлением облучения диполя ЗС, давшим энергию для формирования этой помехи. Ввиду того, что диполь обладает изотропной диаграммой направленности в плоскостях, перпендикулярных оси диполя, для описания его ориентации использовались две переменные — угол между направлением распространения волны ЗС и осью диполя θ и угол между направлением распространения волны ОС и осью диполя φ .

Для решения поставленной задачи полагалось, что НР облучается монохроматическим ЗС определенной интенсивности $\Pi_{ЗС}$ на частоте $f_{ЗС}$. В результате облучения в антенной части НР наводится ЭДС $\varepsilon_a(\Pi_{ЗС}, f_{ЗС}, \theta, l)$. В результате искажения токов на нелинейном элементе НР в окружающее пространство излучается ОС со спектром, обогащённым нелинейными продуктами (НП) на частотах кратных ЗС. Интенсивность этого сигнала будет характеризоваться плотностью потока мощности на расстоянии 1 м от НР на частотах НП $\Pi_{ОС}(f_{НП})|_{R=1M} = P_{НП}(f_{НП})G_{НП}(f_{НП}, \varphi, \theta)/4\pi$, где $G_{НП}$ — коэффициент усиления диполя на частоте нелинейного продукта, $P_{НП}$ — мощность наводимая в антенной части НР. Исходя из зависимости $\Pi_{ОС}(\varphi, \theta)$ находятся необходимые характеристики ДОНР. Стоит заметить, что нахождение амплитудных характеристик $\Pi_{ЗС}(\omega)$ от $\Pi_{ОС}(2\omega)$ и $\Pi_{ОС}(3\omega)$, без учета ориентации НР рассматривалось в [8].

При проведении исследования будут рассмотрены два случая. В первом случае предполагается совпадение углов θ и φ , что соответствует случаю совмещенной приёмо-передающей антенны, излучённый сигнал которой является источником энергии для формирования НР помехового для этой же антенны ОС на частотах НП (рис. 1). Вторым случаем предполагает неравенство углов θ и φ .

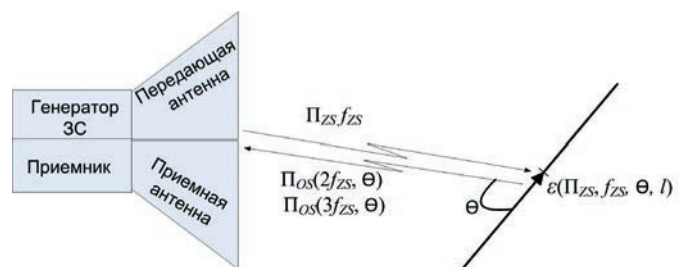


Рис 1. Схема облучения НР при совпадении направлений распространения ЗС и ОС ($\theta = \varphi$)

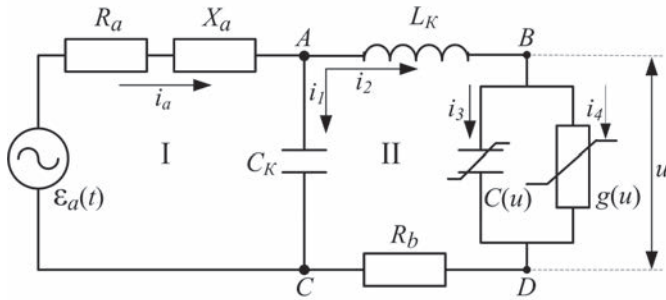


Рис. 2. Эквивалентная схема дипольного нелинейного рассеивателя

Анализ процессов, связанных с приемом, нелинейным преобразованием и переизлучением ответного сигнала дипольным рассеивателем будем производить на основе эквивалентной схемы (рис. 2), переход к которой осуществлялся на основании теоремы Тевенина [9].

Эквивалентная схема получена по аналогии с [10], путем представления дипольной антенны активной R_a и реактивной X_a компонентами импеданса излучения, воздействующего ЗС — ЭДС $\varepsilon_a(\theta)$ с частотой ω , ответных сигналов — током i_a через антенну на частотах 2ω и 3ω , полупроводникового диода — его эквивалентной схемой, на которой: $g(u)$ — проводимость p - n перехода; $C(u)$ — емкость p - n перехода; R_b — сопротивление базы, омического контакта и выводов диода; C_k — емкость корпуса диода; L_k — индуктивность выводов и контактной пружины, соединяющей кристалл с одним из выводов. Импеданс нелинейного элемента далее будет обозначаться как Z_d .

Таким образом для построения нормированной ДОНР необходимо последовательно решить следующие задачи:

1. Найти зависимость $\varepsilon_a(\omega, \theta)$ от $\Pi_{ZS}(\omega)$;
2. Найти зависимость $\Pi_{OS}(2\omega, \varphi)$, $\Pi_{OS}(3\omega, \varphi)$ от $i_a(2\omega)$, $i_a(3\omega)$;
3. Определить связь между $\varepsilon_a(\omega, \theta)$ и $i_a(2\omega)$, $i_a(3\omega)$;
4. На основе трех ранее решенных задач определить зависимость $\Pi_{OS}(2\omega)$, $\Pi_{OS}(3\omega)$ от углов θ и φ .

Для решения первой задачи необходимо выразить мощность принимаемого зондирующего сигнала P_{ZSa} как:

$$P_{ZSa} = \Pi_{ZS} S_{ZS}(\omega_{ZS}, \theta), \quad (1)$$

где $S_{ZS}(\omega_{ZS}, \theta)$ — эффективная площадь антенны, которая может быть выражена через коэффициент усиления $G_{ZSa}(\omega_{ZS}, \theta)$ как [10]:

$$G_{ZSa}(\omega_{ZS}, \theta) = 4\pi S_{ZS}(\omega_{ZS}, \theta) / \lambda_{ZS}^2 = 120 f_0^2(\theta) / R_0, \quad (2)$$

где $f_0(\theta)$ — функция направленности антенны, R_0 — сопротивление излучения антенны. Таким образом простран-

ственные свойства НР учитываются при расчёте значений $G_{ZSa}(\omega_{ZS}, \theta)$ и $S_{ZS}(\omega_{ZS}, \theta)$.

В соответствии с теорией длинных линий мощность зондирующего сигнала, переданную от антенны нелинейному элементу, может быть определена как:

$$P_{ZSd} = P_{ZSa} (1 - \Gamma_{ZS}^2), \quad (3)$$

где Γ_{ZS} — коэффициент отражения на частоте ЗС в тракте зондирующего сигнала, который может быть найден [10] как:

$$\Gamma_{ZS} = (Z_a(\omega_{ZS}) - Z_d(\omega_{ZS})) / (Z_a(\omega_{ZS}) + Z_d(\omega_{ZS})), \quad (4)$$

Исходя из вышеизложенного получаем искомую зависимость:

$$\varepsilon_a^2 = 4\Pi_{ZS} S_{ZS}(\omega_{ZS}, \theta) Z_a(\omega_{ZS}) Z_d(\omega_{ZS}) / ((Z_a(\omega_{ZS}) + Z_d(\omega_{ZS}))) \quad (5)$$

Вторая задача является типичной задачей излучения антенны с известным коэффициентом усиления и импедансом нагрузки, по которой протекает известный ток и, как указывалось выше выражается как $\Pi_{OS}(f_{NP})|_{R=1M} = P_{NP}(f_{NP}) G_{NP}(f_{NP}, \varphi, \theta) / 4\pi$, [11] таким образом:

$$\Pi_{OS}(2\omega) = Z_a(2\omega) i_{OS}^2(2\omega) G_{OS}(2\omega, \varphi) / 4\pi; \quad (6)$$

$$\Pi_{OS}(3\omega) = Z_a(3\omega) i_{OS}^2(3\omega) G_{OS}(3\omega, \varphi) / 4\pi. \quad (7)$$

Решение третьей задачи возможно исходя из результатов анализа эквивалентной схемы НР, составления математической модели в виде системы дифференциальных уравнений [12] и решения ее по средствам программно-вычислительного комплекса, например LABVIEW. В результате чего могут быть найдены зависимости:

$$i_a(2\omega) = i_a(\varepsilon_a), \quad i_a(3\omega) = i_a(\varepsilon_a). \quad (8)$$

Для решения четвертой задачи необходимо обобщить результаты, полученных ранее зависимостей (5–8) рассчитать и построить нормированные диаграммы обратного нелинейного рассеяния как:

$$\Pi_{OS}(2\omega, \varphi) = \Pi_{OS}(\Pi_{ZS}(\omega, \theta)), \quad \Pi_{OS}(3\omega, \varphi) = \Pi_{OS}(\Pi_{ZS}(\omega, \theta)).$$

Таким образом, первоначально решается задача моделирования процессов преобразования сигналов в эквивалентной схеме НР, которой соответствует система уравнений Кирхгофа:

$$\text{I:} \quad \varepsilon_a = u_{R_a} + u_{X_a} + u_{AC} \quad (9)$$

$$\text{II:} \quad u_{AC} = L_k \frac{di_2}{dt} + i_2 R_b + u \quad (10)$$

$$A: \quad i_a = i_2 + i_1 \quad (11)$$

$$B: \quad i_2 = i_3 + i_4 \quad (12)$$

$$AC: \quad i_1 = C_k \frac{du_{AC}}{dt} \quad (13)$$

$$i_4 = gu;$$

$$BD: \quad i_3 = \frac{d(CU)}{dt} \frac{du}{dt} \quad (14)$$

где: A, B — узлы токов; I, II — контура обхода; AC, BD — межзвонные ветви; $u_{AC} = u_d$ — напряжение, приложенное к выводам диода; u — напряжение на $p-n$ переходе.

Реактивная составляющая X_a импеданса вибратора, может носить индуктивный: ($L_a = X_a / \omega$; при $X_a > 0$) или емкостный ($C_a = -1/(X_a \omega)$; при $X_a < 0$) характер, поэтому в зависимости от знака X_a :

$$u_{X_a} = \begin{cases} L_a \frac{di_a}{dt} \\ \frac{1}{C_a} \int i_a dt \end{cases} \quad (15)$$

Проводимость g и емкость C для $p-n$ перехода зависят от напряжения u , приложенного к переходу. Для проводимости $g(u)$ удобной является экспоненциальная аппроксимация [13]: $g(u) = g_0 \exp^{bu}$, где величины g и b вычисляются через параметры диода, приводимые в справочниках.

Ёмкость $p-n$ перехода $C(u)$ определяется барьерной C_b диффузионной C_d емкостями. При $u < 0$ преобладает барьерная емкость $C_b \gg C_d$.

Дифференциальная барьерная емкость в C_b водится как [14]:

$$C_b = C_0 (1 - u / \Delta \phi_k)^\alpha = C_0 f(u),$$

где $\Delta \phi_k$ — контактная разность потенциалов, u — приложенное к $p-n$ переходу напряжение, C_0 — величина емкости при напряжении равно нулю. Величина α зависит от распределения примесей в переходе. Так $\alpha = -1/3$ для плавного перехода и $\alpha = -1/2$ для резкого перехода.

Для барьерной емкости C_b наилучшие результаты оказались для полиномиальной аппроксимация $f(u)$ [13], тогда барьерная емкость имеет вид $C_b = C_0 \sum_{n=0}^N \beta_n u^n$, поэтому при $u < \Delta \phi_k$ производная в уравнении (6) представляется в виде:

$$\frac{d(Cu)}{du} = C_0 \sum_{n=0}^N (n+1) \beta_n u^n$$

При $u > 0$ преобладает диффузионная емкость $C_d \gg C_b$. Дифференциальная диффузионная емкость является функ-

цией прямого тока, подобно тому, как барьерная емкость является функцией обратного напряжения. Кроме того, диффузионная емкость зависит от толщины базы ρ и средней длины диффузии L .

Так для толстой базы, когда $\rho \gg L$ и $(\rho/L) \approx 0$, имеем [14]:

$$C_d \approx \frac{\tau}{r_d} \approx \frac{I \tau}{\phi T},$$

где r_d — сопротивление диода переменному току; τ — время жизни избыточных носителей.

Аналогично для тонкой базы, когда $\rho < L$, и $(\rho/L) \approx (1-0,5 \cdot (\rho/L)^2)$:

$$C_d \approx \frac{\tau_D}{r_d} \approx \frac{I \tau_D}{\phi T},$$

где t_D — среднее время диффузии, т.е. среднее время пролета носителем через тонкую базу при диффузионном механизме движения; ρ — толщина базы; L — средняя длина диффузии. Учитывая, что $1/r_d = g(u)$, приходим к общему выражению для диффузионной емкости $C_d = g(u)T$, где $T = \tau$ — для толстой базы и $T = t_D$ — для тонкой базы. Поэтому при $u > 0$ производная в уравнении (6) представляется в виде:

$$\frac{d(Cu)}{du} = \frac{d(gu)}{du} T = (g + u \frac{dg}{du}) T = (1 + bu) g T.$$

Таким образом, в зависимости от знака u , $d(Cu) / du$ в уравнении (14) представимо в виде (16):

$$\frac{d(Cu)}{du} = \begin{cases} (1 + bu) g T \\ C_0 \sum_{n=0}^N (n+1) \beta_n u^n \end{cases} \quad (16)$$

Система уравнений (9)÷(14) является исходной для построения математической модели НР на основе длинного диполя. Конкретный вид модели зависит от выбора определяющих функций [15], в качестве которых целесообразно выбрать ток антенны i_a ; ток через $p-n$ переход i_2 ; напряжение $u_d = u_{AC}$, приложенное к выводам диода; напряжение на $p-n$ переходе u . Тогда уравнения (9) ÷ (14), с учетом (15) и (16) преобразуются в систему четырех дифференциальных уравнений представляющую собой математическую модель НР:

$$\begin{cases} \frac{di_a}{dt} = \frac{0.5(1 + \text{sign}(X_a))}{L_a} (\varepsilon - i_a R_a - u_d) + \frac{0.5(1 - \text{sign}(X_a))}{R_a} (i_2 - i_a (\frac{1}{C_k} + \frac{1}{C_a}) + \frac{de}{dt}) \\ \frac{di_2}{dt} = \frac{1}{L_k} (u_d - i_2 R_b - u) \\ \frac{du_d}{dt} = \frac{1}{C_k} (i_a - i_2) \\ \frac{du}{dt} = 0.5(1 + \text{sign}(u)) \frac{i_2 - gu}{(1 + bu) g T} + 0.5(1 - \text{sign}(u)) \frac{i_2 - gu}{C_0 \sum_{n=0}^N (n+1) \beta_n u^n} \end{cases} \quad (17)$$

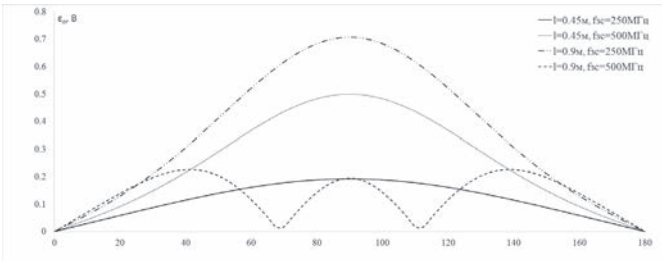


Рис. 3. Зависимость $\epsilon_a(\omega, \theta)$ ЭДС наводимой в антенной части НР

Полученная выше математическая модель (17) была загружена в программно-вычислительный комплекс LABVIEW. В качестве нелинейного элемента рассматривался полупроводниковый диод ДЗ11 с известными входными параметрами: $T = 10^{-7}$ с, $L_k = 10^{-8}$ Гн, $R_b = 40$ Ом, $C_k = 3 \cdot 10^{-13}$ Ф. В качестве входного сигнала использовался одночастотный гармонический сигнал плотность потока мощности $\Pi_{zs} = 0,01151$ Вт/м², на частотах 250 МГц и 500 МГц, в качестве антенной части НР использовался диполь толщиной 0,03 м и длинами 0,45 м и 0,9 м. ЗС воздействовал на НР в круговую с шагом 2,5°, вследствие чего, в антенной части НР наводилась $\epsilon_a(\omega, \theta)$ (рис. 3).

На графиках видно, что ввиду зависимости $\epsilon_a(\omega, \theta)$ от функции направленности антенны $f_0(\theta)$ для значений соответствующих $l/\lambda_{zs} < 1$ на участке от 0° до 180° имеется один перегиб, а для значений соответствующих $l/\lambda_{zs} = 1,5$ ($l=0,9$ м, $f_{zc}=500$ МГц) имеется три точки перегиба, что соответствует 3 лепесткам ДОНР [10].

На основании предложенной выше методики, с учетом полученных зависимостей (6–8), и указанных входных параметров были построены нормированные ДОНР для случая совпадения углов θ и φ . (рис. 4–7)

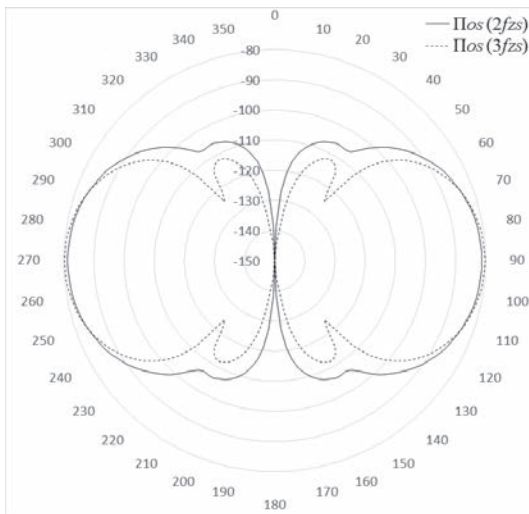


Рис. 4. ДОНР для $l = 0,45$ м $f_{zs} = 250$ МГц

Из представленных диаграмм видно следующее:

1. Для $l = 0,45$ м, $f_{zs} = 250$ МГц (рис. 4). На направлениях от 20° до 160° для ответного сигнала, как на второй, так и на третьей гармониках наблюдается два четко выраженных лепестка, что соответствует приведенным в литературе [11] диаграммам направленности для дипольных антенн при соотношении $l/\lambda_{zs} = 0,375$. Максимальное значение Π_{oc} достигается при $\theta = 90^\circ$ и составляет порядка — 80 Дб, причем на направлениях от 65° до 105° преобладает $\Pi_{oc}(3f_{zs})$. Ширина лепестка для $\Pi_{oc}(2f_{zs})$ больше ширины $\Pi_{oc}(3f_{zs})$ на значение порядка 10°.

2. Для $l = 0,9$ м, $f_{zs} = 250$ МГц ($l/\lambda_{zs} = 0,751$; рис. 5) наблюдается разделение основного лепестка на несколько частей. Максимум $\Pi_{oc}(2f_{zs})$ на 20Дб выше максимума $\Pi_{oc}(3f_{zs})$ и составляет —70 Дб. Максимум амплитуды на частоте третьей гармоники наблюдается на направлении $\theta = 55^\circ$.

3. Для $l = 0,45$ м, $f_{zs} = 500$ МГц (соотношение $l/\lambda_{zs} = 0,751$, рис. 5) наблюдается дальнейшая фрагментация основных лепестков. Максимумы на частотах второй и третьей гармоник имеют схожие значения и составляют —82 и —85 Дб соответственно.

4. Для $l = 0,9$ м, $f_{zs} = 500$ МГц (соотношение $l/\lambda_{zs} = 1,5$, рис. 6) на ДОНР наблюдается по шесть лепестков основных лепестков, что соответствует данным для длинного диполя с равным соотношением длины диполя к длине волны ОС [11]. На частоте третьей гармоники основные лепестки имеют изрезанный характер. Максимумы значений $\Pi_{oc}(2f_{zs})$ наблюдается при $\theta = 50^\circ$ и составляет — 85 Дб, $\Pi_{oc}(3f_{zs})$ — при $\theta = 25^\circ$ и составляет —100 Дб. Максимумы соответствуют боковым лепесткам.

Обобщая вышеизложенное можно отметить, что качественный вид ДОНР для диполей с нелинейной нагрузкой схож с видом ДОНР без нагрузки на частотах ОС. Для более короткой антенны амплитуда ответного сигнала на ча-

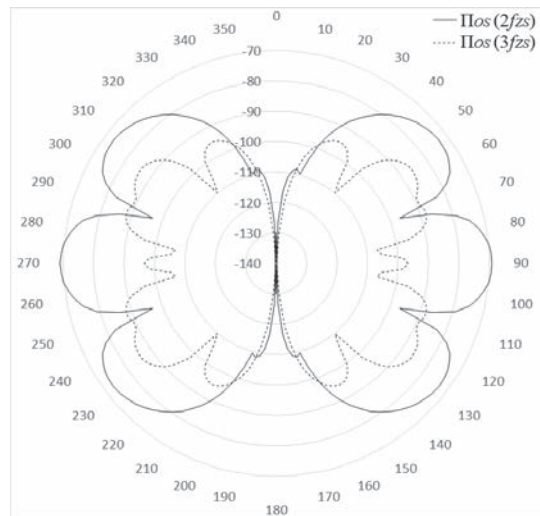


Рис. 5. ДОНР для $l = 0,9$ м $f_{zs} = 250$ МГц

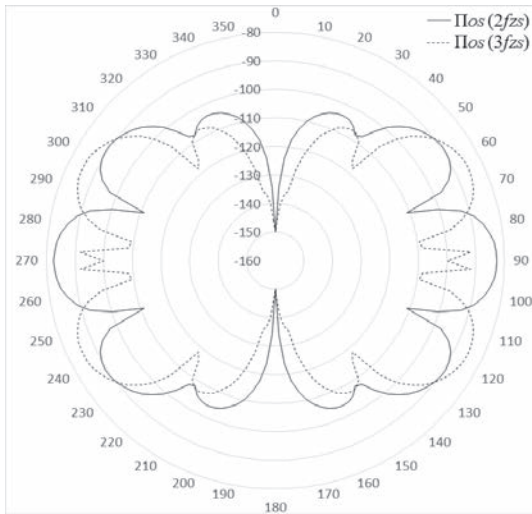


Рис. 6. ДОНР для $l = 0,45$ м, $f_{zs} = 500$ МГц

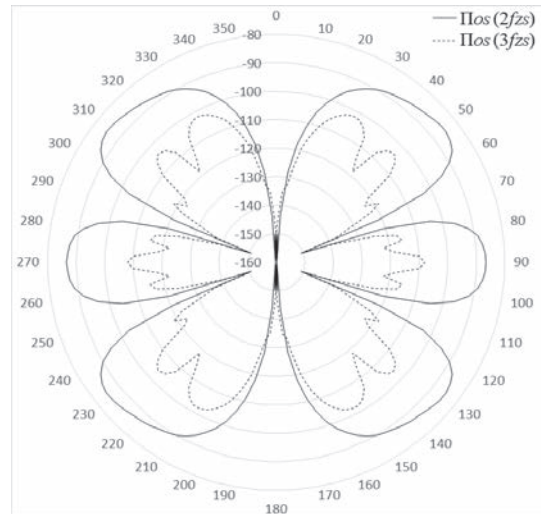


Рис. 7. ДОНР для $l = 0,9$ м, $f_{zs} = 500$ МГц

стоте третьей гармоники для определенных направлений выше амплитуды на второй гармоники. Форма ДОНР на частоте третьей гармоники имеет более сложную форму ввиду рассеяния сигнала на более высокой частоте, т.е. при большем соотношении $l/\lambda_{ос}$. Максимальные значения $\Pi_{ос}(2f_{zs})$ варьируются между значениями от -70 Дб до -80 Дб, для $\Pi_{ос}(3f_{zs})$ от -100 Дб до -80 Дб, причем углы закрытия по азимуту примерно равны для всех рассмотренных случаев.

Далее будет рассмотрен случай неравенства углов θ и φ , соответствующих направлениям распространения ОС и ЗС. В таком случае угол визирования θ будет считать неизменным, а угол отражения φ будет отличаться от угла θ на некоторую величину $\Delta = \varphi - \theta$. Методика расчётов останется той же что и для предыдущего случая. Ниже приведены расчётные ДОНР для случая $l = 0,9$ м, $f_{zs} = 500$ МГц (рис. 8–11).

Из полученных выше зависимостей видно, что при небольшой разнице между углами зондирования и отражения $\Delta \leq 10^\circ$, происходит поворот ДОНР на угол равный Δ . При больших значениях Δ искажение ДОНР будет существенным. Так, например, при повороте на 30° (рис 12), из-за наложения ДОНР приемной и передающей антенн ДОНР будет существенно меняться как по форме, так и по амплитуде.

Из представленных характеристик видно, что к повышению изрезанности ДОНР ведёт увеличение значения соотношения l/λ_{zs} , увеличение разности углов, характеризующих направления облучения НР и излучения ОС. Для длин диполя порядка $0,5$ м наблюдается близость энергетического потенциала ОС на частотах второй и третьей гармоник ЗС. Для больших длин диполя энергетический потенциал ОС на частоте второй гармоники превосходит потенциал ОС на частоте третьей гармоники.

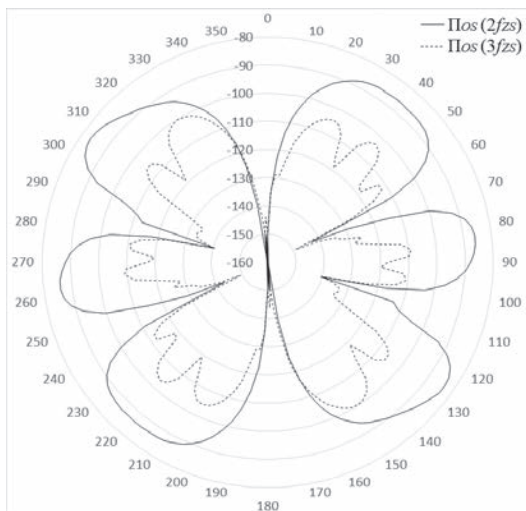


Рис. 8. ДОНР для $l = 0,9$ м, $f_{zs} = 500$ МГц и $\Delta = 5^\circ$

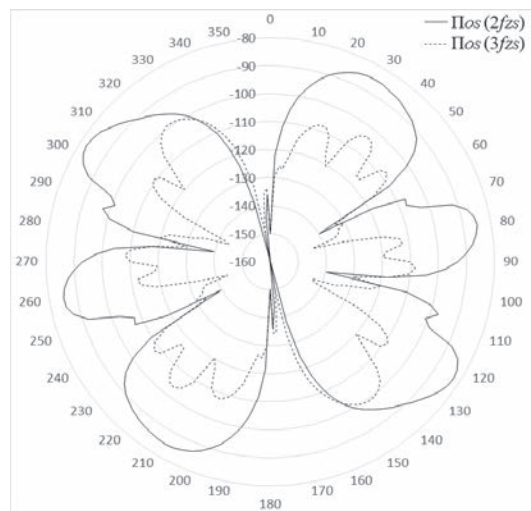


Рис. 9. ДОНР для $l = 0,9$ м, $f_{zs} = 500$ МГц и $\Delta = 10^\circ$

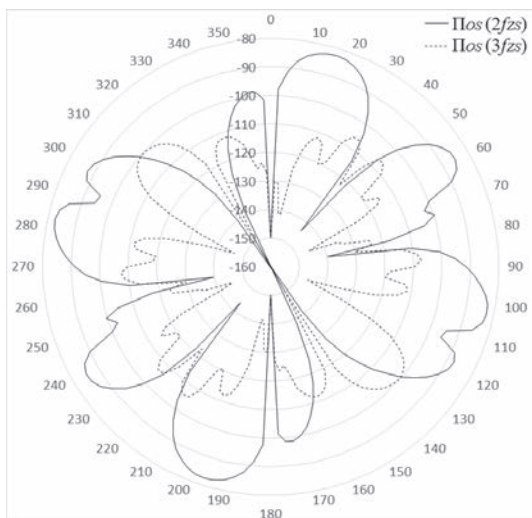


Рис. 10. ДОНР при $l=0,9\text{м}$, $f_{zs}=500\text{МГц}$ и $\Delta = 30^\circ$

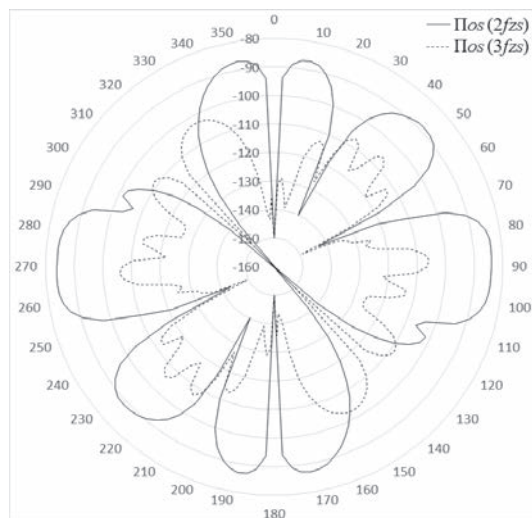


Рис. 11. ДОНР при $l=0,9\text{м}$, $f_{zs}=500\text{МГц}$ и $\Delta = 45^\circ$

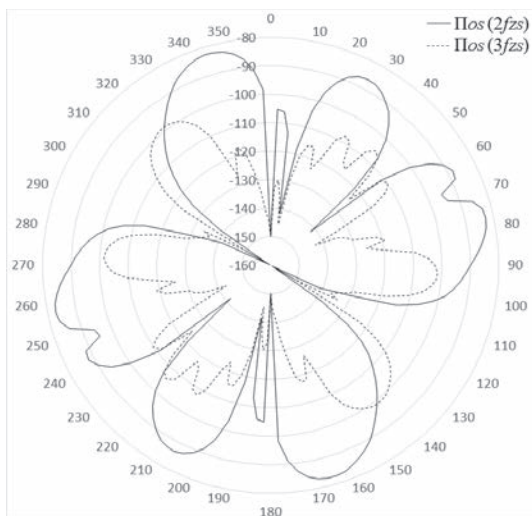


Рис. 12. ДОНР при $l=0,9\text{м}$, $f_{zs}=500\text{МГц}$ и $\Delta = 60^\circ$

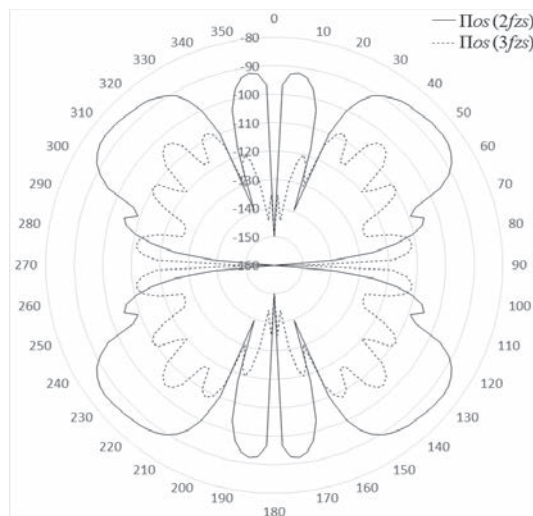


Рис. 13. ДОНР при $l=0,9\text{м}$, $f_{zs}=500\text{МГц}$ и $\Delta = 90^\circ$

Литература

1. Климененко А. Я., Панов Б. А., Свешников В. Ф. Контактные помехи радиоприёма. М.: Воениздат. 1979. 116 с.
2. Горбачев А. А. Особенности зондирования электромагнитными волнами сред с нелинейными включениями // Радиотехника и электроника. 1996. Т. 41. № 2. С. 152–157.
3. Shefer J., Klensc R. J. Harmonic radar helps autos avoid collisions // IEEE Spectrum. 1973. Vol. 10. No. 5. Pp. 38–45.
4. Ларцов С. В. Исследование объектов нелинейной радиолокации: дис. докт. техн. наук. Нижний Новгород, 2002. 308 с.

5. Бабанов Н. Ю., Ларцов С. В. Необходимые характеристики для описания пространственных свойств простых нелинейных рассеивателей // Радиотехника. 2009. № 5. С. 34–39.
6. Штейншлейгер В. Б. К теории рассеяния электромагнитных волн вибратором с нелинейным контактом // Радиотехника и электроника. 1978. Т. 23. № 7. С. 1329–1338.
7. Вернигоров Н. С., Кузнецов Т. В. К вопросу о принципе сравнения в нелинейной радиолокации // Информост. 2002. № 3. С. 7.

8. Горбачев А.А., Ларцов С.В., Тараканков С.П., Чигин Е.П. Амплитудные характеристики нелинейных рассеивателей // Радиотехника и электроника. 1996. Т. 41. № 5. С. 558–602.

9. Франческетти Дж., Пинто И. Антенны с нелинейной нагрузкой. В кн.: Нелинейные электромагнитные волны / Под ред. П. Усленги: пер. с англ. М. Мир. 1983. С. 223–249.

10. Щербаков Г.Н., Николаев А.В., Прохоркин А.Г., Усманов Р.И., Шлыков Ю.А. Исследование рассеивающих свойств нелинейного биконического отражателя — физической модели боеприпаса с электронными устройствами // Спецтехника и связь. 2011. № 1. С. 33–39.

11. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. М.: Связь. 1972. 352 с.

12. Разиньков С.Н. Математическое моделирование нелинейного рассеяния электромагнитных волн в радиолокации // Зарубежная электроника. 1997. № 1. С. 87–96.

13. Бабанов Н.Ю., Ключев А.В., Ларцов С.В., Самарин В.П. Моделирование процессов переизлучения на частоте половинной субгармоники сигнала накачки в одноконтурном параметрическом рассеивателе // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2015. № 4. С. 326–337.

14. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М.: Энергия, 1977. 672 с.

15. Бирюк Н.Д., Юргелас В.В. Основы теории параметрических радиоцепей. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012. 345 с.

MODELING OF ELECTROMAGNETIC WAVES NONLINEAR DISPERSION ON DIPOLAR VIBRATORS WITH NONLINEAR LOADING

SERGEY S. KORSAKOV

Ivanovo, Russia, sskorsakov@yandex.ru

SERGEY V. LARTSOV

N. Novgorod, Russia, svl@ggc.nnov.ru

NIKOLAY Ju. BABANOV

N. Novgorod, Russia

ABSTRACT

The aim of this study is the research of scattering process of electromagnetic waves from non-linear objects with semiconductor nature of nonlinearity in the frameworks of electromagnetic compatibility of the ships equipment.

The subject of this research is the spatial properties of semiconductor non-linear scatters. The study of the spatial properties of semiconductor non-linear scatters was undertaken by numeral simulation method. Dipole antennas of a various length, connected to the semiconductor diode were considered as models of semiconductor non-linear scatters. The analysis of processes related to the receiving, non-linear

KEYWORDS: nonlinear scattering of electromagnetic waves; semiconductor nonlinear scatters; nonlinear products; spatial properties; diagrams of nonlinear backward scattering.

transformation and scattering of electromagnetic waves by the semiconductor non-linear scatter is made on the base of the equivalent circuit.

Sequence dependences of main radiophysical model characteristics as well as characteristics of irradiating fluctuation are determined with a view to get a normalized diagram of nonlinear backward scattering of semiconductor non-linear scatter.

For dipoles of different length and at various frequencies of irradiating fluctuation characteristic curves are received for EMF (electromotive force) by nonlinear products frequencies

from angles describing spatial orientation of dipole nonlinear scatter.

For different angular direction, characterize spatial orientation of a nonlinear dipole scatter relatively to the direction of irradiating fluctuation spreading and the location of equipment to which the reflecting signal provides noises, the diagrams of nonlinear backward scattering at the second and third harmonic irradiating fluctuation frequency are received. The energy potential of signals scattered at the 2nd and 3rd harmonic irradiating fluctuation frequencies is evaluated. Besides the main factors affecting angularity of the diagrams of nonlinear backward scattering of nonlinear semiconductor scatters are determined.

REFERENCES

1. Klimenenko A. Ja., Panov B.A., Sveshnikov V.F. *Kontakt-nye pomehi radioprijoma*. Moscow: Voenizdat. 1979. 116 p. (In Russian)
2. Gorbachev A.A. Osobennosti zondirovaniya jelektromagnitnymi volnami sred s nelinejnymi vkljuchenijami [Features of sounding by electromagnetic waves of media with nonlinear inclusions]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radio engineering and electronics]. 1996. Vol. 41. No. 2. Pp. 152–157. (In Russian)
3. Shefer J., Klensch R.J. Harmonic radar helps autos avoid collisions. *IEEE Spectrum*. 1973. Vol. 10. No. 5. Pp. 38–45.
4. Lartsov S.V. Issledovanie ob'ektov nelinejnoj radiolokatsii: Dis. dokt. tekhn. nauk. [Inversigation of nonlinear radar objects. Dr. tech. sci. diss.]. Nizhny Novgorod, 2002. 308 p.
5. Babanov N. Ju., Lartsov S.V. Neobhodimye harakteristiki dlja opisaniya prostranstvennyh svojstv prostyh nelinejnyh rasseivatelej [Necessary characteristics for describing the spatial properties of simple nonlinear scatterers]. *Radiotekhnika* [Radio engineering]. 2009. No. 5. Pp. 34–39. (In Russian)
6. Shtejnshlejger V.B. K teorii rassejanija jelektromagnitnyh voln vibratorom s nelinejnym kontaktom [To the theory of scattering of electromagnetic waves by a vibrator with nonlinear contact]. *Radiotekhnika i elektronika*. [Radio engineering and electronics]. 1978. Vol. 23. No. 7. Pp. 1329–1338. (In Russian)
7. Vernigorov N.S., Kuznecov T.V. K voprosu o principe sravnenija v nelinejnoj radiolokatsii [On the principle of comparison in nonlinear radar]. *Informost*. 2002. No. 3. Pp.7 (In Russian)
8. Gorbachev A.A., Lartsov S.V., Tarakankov S.P., Chigin E.P. Amplitudnye harakteristiki nelinejnyh rasseivatelej [Ampli-

tude characteristics of nonlinear scatterers]. *Radiotekhnika i jelektronika* [Radio engineering and electronics]. 1996. Vol. 41. No. 5. Pp. 558–602. (In Russian)

9. Franchesketti D., Pinto I., Uslenga P. (Ed.) *Antenny s nelinejnoj nagruzkoj*. V kn. *Nelinejnye elektromagnitnye volny* [Antennas with non-linear load. In b. Nonlinear electromagnetic waves]. 1983. Pp. 223–249. (In Russian)
10. Shherbakov G.N., Nikolaev A.V., Prohorkin A.G., Usmanov R.I., Shlykov Ju. A Issledovanie rasseivajushhih svojstv nelinejnogo bikonicheskogo otrazhatelja – fizicheskoy modeli boepripasa s elektronnyimi ustrojstvami [Investigation of the scattering properties of a nonlinear biconical reflector – the physical model of an ammunition with electronic devices]. *Spectekhnika i svjaz'* [Special technics and communication]. 2011. No. 1. Pp. 33–39. (In Russian)
11. Kocherzhevskij G.N. *Antenno-fidernye ustrojstva* [Antenna-feeder devices]. Moscow: Svjaz'. 1972. 352 p. (In Russian)
12. Razin'kov S.N. Matematicheskoe modelirovanie nelinejnogo rassejanija jelektromagnitnyh voln v radiolokatsii [Mathematical modeling of nonlinear scattering of electromagnetic waves in radar]. *Zarubezhnaja jelektronika* [Foreign electronics]. 1997. No. 1. Pp. 87–96. (In Russian)
13. Babanov N. Ju., Kljuev A.V., Lartsov S.V., Samarin V.P. Modelirovanie processov pereizluchenija na chastote polovinnnoj subgarmoniki signala nakachki v odnokonturnom parametricheskom rasseivatele [Modeling of reradiation processes at the half-subharmonic frequency of the pump signal in a single-loop parametric lens]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Radiofizika*. 2015. No. 4. Pp. 326–337. (In Russian)
14. Stepanenko I.P. Osnovy teorii tranzistorov i tranzistornyh shem. [Fundamentals of theory of transistors and transistor circuits] Moscow: Energiya, 1977. 672 p. (In Russian)
- Birjuk N.D., Jurgelas V.V. *Osnovy teorii parametriceskih radiocepej* [Fundamentals of the theory of parametric radio circuits]. Voronezh: Voronezhskiy universitet Publ., 2012. 345 c. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Korsakov S.S., Postgraduate Student of the Ivanovo State University
 Lartsov S.V., PhD, Full Professor, Chief Engineer for the Project of JSC "Giprogazcentre".
 Babanov N. Ju., PhD, Docent, Vice-Rector in Scientific Work of the N. Novgorod State Polytechnical University.

FOR CITATION: Korsakov S.S., Lartsov S.V., Babanov N. Yu. Modeling of electromagnetic waves nonlinear dispersion on dipolar vibrators with nonlinear loading. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 36–44. (In Russian)



*Редакция журнала H&ES Research
поздравляет Вас с наступающим
Новым годом!*

*Примите самые искренние пожелания
ярких профессиональных успехов,
новых побед и достижений, крепкого
здоровья, радости и счастья,
мира и благополучия!*

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТНЫХ ТАБЛИЦ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ В СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

ЧУДНОВ

Александр Михайлович¹

КУРАШЕВ

Заур Валерьевич²

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, профессор
Военной академии связи
имени маршала Советского Союза
С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург,
Россия, chudnow @ yandex.ru

²адъюнкт Военной академии связи
имени маршала Советского Союза
С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург,
Россия, frankilou@ yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Целью работы является исследование возможности повышения эффективности функционирования системы передачи данных на основе алгоритмов рандомизированной маршрутизации. Изучаются алгоритмы маршрутизации с использованием рандомизированных маршрутных таблиц. Формирование рандомизированных таблиц и осуществляется на основе оптимального распределения потоков по маршрутам сети передачи данных. Анализ и оптимизация проводятся на формализованной модели, позволяющей учитывать пропускные способности линий и ретрансляторов связи, показатели производительности коммутационных центров, а также информационную нагрузку в информационных направлениях системы.

Разработан алгоритм оптимального распределения потоков по маршрутам, допускающий возможность использования различных вариантов задания показателя эффективности, на основе которого формируется система, вообще говоря, рандомизированных маршрутных таблиц, реализующая оптимальное по заданному показателю распределение потоков по маршрутам сети. Приведен пример работы алгоритма оптимального распределения потоков для сети с пятью коммутационными центрами обеспечивающий максимизацию вероятности своевременной доставки сообщений. Представлены примеры таблиц нерандомизированной (классической) и рандомизированной маршрутизации. При использовании таблиц рандомизированной маршрутизации на основе оптимального распределения потоков гарантируется расчетное значение показателя эффективности функционирования системы. Разработанные методы и алгоритмы формирования маршрутных таблиц предполагается использовать для автоматизации управления маршрутизацией пакетов сообщений в сети передачи данных при изменении ее состояния и условий функционирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сеть передачи данных; маршрутизация пакетов; рандомизированная маршрутизация; распределение потоков; вероятность своевременной доставки сообщений.

Для цитирования: Чуднов А. М., Курашев З. В. Принципы формирования маршрутных таблиц на основе оптимизации распределения потоков в сети передачи данных // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 46–51.

Введение

Маршрутизация пакетов сообщений пользователей относится к числу основных функций сетевого уровня сети передачи данных (СПД). Задачей маршрутизации является обеспечение максимальной эффективности функционирования СПД, определяемой, как правило, вероятностью своевременной доставки сообщений в сети [1–3, 9–13].

Маршрутизация пакетов осуществляется в коммутационных центрах (КЦ) СПД на основе маршрутных таблиц (МТ), в которых для каждого абонента — получателя сообщения определено направление (порт) выдачи пакета, отправляемого данному получателю [1, 7–9, 14]. Изменение в процессе функционирования состояния СПД, информационной нагрузки на сеть и условий функционирования приводят к необходимости управления маршрутизацией, в том числе модификацию (актуализацию) маршрутных таблиц и ввод их в действие на коммутационных центрах. В связи с этим важной является задача разработки методов и алгоритмов формирования системы МТ, обеспечивающих оптимальное (эффективное) функционирование СПД в изменяющихся условиях.

Настоящая работа направлена на разработку алгоритма формирования системы МТ на основе оптимизации распределения потоков по маршрутам сети. В отличие от работ [7–9] предложенная методика позволяет формировать МТ как в нерандомизированном (классическом), так и рандомизированном (обобщающем классический) вариантах. Близкие к рассматриваемым вопросы изучались также в [7,9] однако приведенные в [7] алгоритмы оптимизации не вполне приемлемы для встраивания в алгоритмы управления СПД в реальном времени, а алгоритмы выбора кратчайших маршрутов, используемые в [9] для построения рандомизированных МТ, вообще говоря, не обеспечивают оптимальность функционирования СПД.

В общих чертах структуру методики формирования системы МТ можно представить двумя этапами:

1. Оптимальное (подоптимальное) распределение потоков пакетов пользователей СПД по маршрутам сети. Предложен двухкаскадный алгоритм оптимизации распределения (перераспределения) потоков пакетов по допустимым маршрутам сети на основе [1], позволяющий учитывать параметры возможных фрагментов пакетных радиосетей. Алгоритм допускает использование различных показателей оптимизации, согласованным с более высоким уровнем функциональной архитектуры СПД.

2. Формирование системы, вообще говоря, рандомизированных МТ. Данные в маршрутных таблицах рассчитываются по показателям интенсивностей распределенных (по п. 1) потоков по маршрутам. При использовании в КЦ сформированных рандомизированных МТ обеспечивается (гарантируется) значение показателя эффективности функционирования СПД, рассчитанное в процессе оптимизации

распределения потоков пакетов по маршрутам (п. 1). На основе полученного распределения потоков возможно также построение нерандомизированных МТ, при использовании которых эффективность функционирования СПД будет несколько ниже по сравнению с рандомизированными (величина потерь методикой оценивается).

Ниже этапы формирования МТ рассматриваются более детально.

Постановка задачи распределения потоков по маршрутам

СПД представлена моделью, в рамках которой определены следующие объекты.

Канальная структура системы представляется парой

$$C = \langle C_n, C_y \rangle,$$

где: $C_n = (c_{k,l})_{k,l \in N}$ — матрица пропускных способностей каналов СПД, $C_y = (c_k)_{k \in N}$ — набор производительностей объектов системы, соответствующих вершинам (узлам) графа сети, $N = \{1, 2, \dots, n\}$, n — число вершин графа сети.

Распределение потоков по маршрутам $S = \langle s(\mu) \rangle_{\mu \in M}$ (управляемое состояние СПД) в модели представляется функцией распределения потоков $s: M \rightarrow R_+$, где $M = M(C)$ — множество маршрутов сети, допустимых канальной структурой C , $R_+ = \{x \in R | x \geq 0\}$

— множество неотрицательных действительных чисел.

Для маршрута $\mu \in M$ величина $s(\mu)$ определяет интенсивность информационного потока, обеспечиваемую для передачи по маршруту μ .

Данные об информационной нагрузке на СПД задаются матрицей $\Lambda = (\lambda_{i,j})$ интенсивностей потоков пакетов в информационных направлениях системы (матрицей тяготения [1–3, 6–7]), где $\lambda_{i,j}$ — интенсивность потока, обусловленного обменом данными в (i, j) -направлении, т.е. между пользователями (группами пользователей), соответствующими i -му и j -му узлам сети.

Показатель эффективности (пример) $P(S) = P(S|C, \Lambda)$ формируется на основе требований к вероятности своевременной доставки сообщений в СПД и определяется усреднением соответствующих вероятностей по информационным направлениям сети:

$$P(S|C, \Lambda) = \sum_{i,j \in N} p_{i,j} P_{ij}(S|C, \Lambda) \quad (1)$$

Задача оптимизации распределения потоков в сети передачи данных формулируется в виде: $P(S|C, \Lambda) \rightarrow \max_{S \in C}$ и состоит в нахождении оптимального распределения S информационных потоков, заданных матрицей Λ , по маршрутам сети с канальной структурой C , обеспечивающего максимальную вероятность своевременной доставки сообщений пользователей системы.

Алгоритм оптимизации

В общих чертах алгоритм оптимизации представить последовательностью действий:

1. Задать параметры вычислительного процесса: Δ_λ — шаг оптимизации, δ_p — допустимая относительная погрешность оптимизируемого параметра, Δ_λ — допустимая погрешность величины потока. Перейти к п. 2.

2. Задать: $C_p, C_y, \Lambda, \tau_{\text{доп}}$. Вычислить $M, M_{(k,l)}, M_k, M_{\langle i,j \rangle}$. Перейти к п. 3.

3. Задать текущую точку внешнего цикла $S = \langle s(\mu) = 0 \rangle_{\mu \in M}$. Текущему показателю внешнего цикла присвоить значение $P = 0$. Перейти к п. 4.

4. Задать текущую точку внутреннего цикла $S' = \langle s'(\mu) = 0 \rangle_{\mu \in M}$. Перейти к п. 5.

5. Для текущей точки S' вычислить значение показателя $P(S' | C, \Lambda)$, градиент $\zeta = \langle g(s'(\mu)) \rangle_{\mu \in M} = \langle g'(\mu) \rangle_{\mu \in M}$, перспективную точку $S'_+ = \langle s'_+(\mu) \rangle = \langle s'(\mu) + \Delta_\lambda g(s'(\mu)) \rangle$ и соответствующий ей показатель $P(S'_+ | C, \Lambda)$. Перейти к п. 6.

6. Проверить неравенство: $P(S'_+ | C, \Lambda) / P' > 1 + \delta_p$. Если неравенство выполняется, то $P' := P(S'_+ | C, \Lambda)$. $S' := S'_+$, перейти к п. 5, в противном случае перейти к п. 7.

7. Проверить: $P' / P > 1 + \delta_p$. Если выполняется, то перейти к п. 8, иначе к п. 10.

8. Вычислить минимальное ненулевое значение: $s_{\min} = \min_{\mu \in M, s'(\mu) > 0} s'(\mu)$. Если $s_{\min} > \Delta_\lambda$, то $s'(\mu) = 0$, перейти к п. 9, иначе к п. 10.

9. а) Положить $\langle s(\mu) \rangle := \langle s'(\mu) \rangle$; б) для $\mu \in M$ у которых $s'(\mu) \geq s_{\min}$, положить: $s'(\mu) := s'(\mu) - s_{\min}$; в) положить: $P := P', S' := \langle s'(\mu) \rangle$, перейти к п. 5.

10. Выдать расчетные значения S, P . Остановить вычислительный процесс.

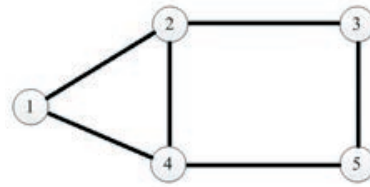


Рис. Граф сети (пример)

Пример вычислительной процедуры рассмотрим для графа сети, представленного на рисунке, при следующих исходных данных: $n=5$; $C_{\text{л}} = (c_{ij})$, причем $c_{12} = c_{13} = c_{23} = c_{34} = c_{35} = c_{45} = 100$, $c_{ji} = c_{ij}$ и $c_{ij} = 0$ в остальных случаях; $C_y = (c_i)$, причем $c_2 = 60$ и $c_i \gg 100$ в остальных случаях; $\lambda_{i,j} = 20$ для всех $i \neq j$. 2-й узел представляет собой центральную станцию радиосети общего доступа с ограниченной суммарной пропускной способностью, а 1-й, 3-й и 4-й узлы входят в эту сеть как абоненты. При этом все узлы обеспечивают взаимодействие подключенных к системе пользователей друг с другом. Значения интенсивности нагрузки $\lambda_{i,j}$ заданы исходя из условия обеспечения вероятности своевременной доставки сообщений в СПД, равной 0,99. Допустимая погрешность решения оптимизационной задачи определена значением погрешности оптимизируемого параметра $\delta_p = 0,1\%$.

Значения интенсивностей потоков на маршрутах, соответствующие текущим точкам внутреннего цикла вычислительной процедуры, и значения оптимизируемого показателя (вероятности своевременной доставки пакетов) на разных шагах процедуры представлены в табл. 1.

Алгоритм обеспечивает достаточно быструю сходимость последовательности тестируемых точек к опти-

Таблица 1

Распределение потоков на маршрутах в сети (пример работы алгоритма)

N шага	P	Маршруты, $\mu \in M$											
		12	14	23	24	35	45	123	145	235	245	354	1453
		Интенсивности потоков на маршрутах, $s'(\mu)$											
1	0,368	6,0	12,0	6,0	6,0	12,0	12,0	4,0	6,0	4,0	0,0	6,0	0,0
2	0,511	8,8	15,7	8,7	8,8	15,5	15,4	4,0	9,1	4,0	2,2	9,0	2,4
33	0,858	19,6	20,0	19,6	19,6	20,0	20,0	4,0	19,8	13,2	5,4	19,8	15,0
34	0,863	19,9	20,0	19,7	19,9	20,0	20,0	4,0	19,9	13,6	5,6	19,9	15,5
35*	0,708	15,9	16,0	15,9	15,9	16,0	16,0	0,0	16,0	9,7	1,7	15,9	11,6
61	0,865	19,8	20,0	19,9	19,9	20,0	20,0	1,3	19,9	14,3	4,9	19,9	18,1
62	0,867	19,9	20,0	19,9	19,9	20,0	20,0	1,3	19,9	14,3	4,9	19,9	18,1
63*	0,820	18,6	18,7	18,6	18,6	18,7	18,7	0,0	18,6	13,0	3,7	18,6	16,9
88	0,867	20,0	20,0	19,9	19,9	20,0	20,0	0,9	20,0	14,5	5,0	20,0	18,8
89	0,868	20,0	20,0	19,9	19,9	20,0	20,0	0,9	20,0	14,6	5,0	20,0	18,8

Примечание. Символами «*» отмечены шаги (номера 35 и 63), на которых осуществлялся сокращение потоков на внешнем цикле процедуры.

Таблица 2

а) Рандомизированная МТ

Направление Адрес	КЦ 1	КЦ 2	КЦ 4
КЦ 1	1	-	-
КЦ 3	-	1	-
КЦ 4	-	-	1
КЦ 5	-	0,75	0,25

б) Нерандомизированная МТ

Направление Адрес	КЦ 1	КЦ 2	КЦ 4
КЦ 1	1	-	-
КЦ 3	-	1	-
КЦ 4	-	-	1
КЦ 5	-	1	2

мальной. Число шагов вычислительного процесса может быть сокращено за счет некоторого увеличения допустимой погрешности оптимизируемого параметра δ_p . Из таблицы видно, что при допущении $\delta_p = 0,5\%$ оптимальное (в пределах данной погрешности) распределение потоков было бы получено за один шаг внешнего цикла оптимизации, т.е. за 34 шага внутреннего цикла. Однако, еще один шаг внешнего цикла потребовался бы для идентификации оптимальности этого распределения.

Формирование маршрутных таблиц

Рандомизированная МТ i -го КЦ в каждой j -й строке (соответствующей j -му пользователю СПД), содержит набор значений вероятностей: $p_i(j, 1), p_i(j, 2), \dots, p_i(j, h_i)$ выдачи пакета в направлении (на порт) $1, 2, \dots, h_i$ соответственно. Для упрощения представления системы МТ заменим номер порта на номер соответствующего КЦ (соседнего для i -го КЦ). При этом рандомизированная МТ представляется матрицей $P_i = (p_i(j, k))_{j,k}$, j -я строка которой соответствует адресу j -го пользователя, а k -й столбец — коммутационному центру, соседнему с i -м КЦ. Вероятности $p_i(j, k)$ определяются на основе решения задачи оптимизации распределения потоков по маршрутам по формуле:

$$p_i(j, k) = \frac{s(j, k|i)}{s_{\Sigma}(j|i)},$$

где: $s(j, k|i)$ — интенсивность потока пакетов, направляемых к j -му пользователю и проходящих через (i, j) -линию, $s_{\Sigma}(j|i)$ — интенсивность потока пакетов, направляемых к j -му пользователю и проходящих через i -й КЦ.

Как отмечалось, решение задачи распределения потоков позволяет построить нерандомизированные МТ. Так, ранжирование вычисленных значений $p_i(j, k)$ позволяет непосредственно определить для каждого получателя приоритетность портов выдачи пакетов, осуществляя в КЦ каждый раз выдачу пакета на незанятый порт более высокого приоритета (см., например, [4–5]). Примеры рандомизированной и нерандомизированной МТ представлены табл. 2, где для нерандомизированной МТ в строке для КЦ 5 ука-

заны приоритеты № 1 и № 2 направлений выдачи пакетов в КЦ 2 и КЦ 4 соответственно, адресованных в КЦ 5.

Заключение

Предложенная методика может использоваться для построения оптимального алгоритма маршрутизации пакетов, реализация которого обеспечивает максимальную вероятность своевременной доставки сообщений. В рамках рассмотренной модели могут представляться сети, фрагментами которых являются пакетные радиосети, а также другие системы связи, ресурс которых ограничен не только пропускной способностью линий связи, но и пропускной способностью отдельных элементов.

Разработанный алгоритм оптимизации распределения информационных потоков может быть использован для выработки решений по управлению маршрутизацией в СПД в реальном времени. Постановка задачи, методика решения и алгоритм оптимизации легко адаптируются к другим вариантам задания оптимизируемого функционала.

Литература

1. Чуднов А. М., Кирик Д. И., Курашев З. В. Оптимизация распределения информационных потоков в информационной системе по показателю вероятности своевременной доставки сообщений // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2017. № 2. С. 41–49.
2. Чуднов А. М. Помехоустойчивость линий и сетей связи в условиях оптимизированных помех. Л.: ВАС, 1986. 84 с.
3. Протоколы и методы управления в сетях передачи данных / под ред. Ф. Ф. Куо; пер. с англ. М.: Радио и связь, 1985. 480 с.
4. Мизин И. А., Богатырев В. А., Кулешов А. П. Сети коммутации пакетов / под ред. В. С. Семенихина. М.: Радио и связь, 1986. 408 с.
5. Будко П. А. Управление ресурсами информационно-телекоммуникационных систем. Методы оптимизации: Монография. СПб.: ВАС, 2012. 512 с.
6. Патент РФ № 2014133011. Способ оперативного управления потоками данных в сетях с коммутацией паке-

тов / Присяжнюк С. П., Аванесов М. Ю. Заявл. 12.08.2014. Оpubл. 10.02.2016.

7. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: в 2 ч. М.: Наука, 1992. 336 с.

8. Основы передачи данных / под ред. проф. И. Б. Парашука. СПб.: ВАС, 2015. 216 с.

9. Патент № 2005117777. Способ маршрутизации сообщений от узла источника к узлу назначения в динамической сети / Кэнрайт Д. Заявл. 13.11.2003. Оpubл. 10.08.2008.

10. Stieglitz K., Wiener P., Kleitman D. J. The Design of Minimum Cost Survivable Networks // IEEE Transactions on Circuit Theory. 1969. No. 16. Pp. 455–460.

11. Hsieh W., Kraimeche B. Performance analysis of end-to-end flow control mechanism in a packet switched network // J. Telecomm. Networks. 1983. Vol. 2. Pp. 103–116.

12. Conard J. W. Services and protocols of data link layer // Proc. IEEE. 1983. Vol. 71. No. Pp. 1378–1383.

13. Sun Q., Langendorfer H. A New Distributed Routing Algorithm with End-to-end Delay Guarantee // IWQoS'97. 1997. Pp. 111–114.

14. Amiri A., Pirkul H. Routing and capacity assignment in backbone communication networks // Computers & Operations Research. 1997. Vol. 24. No. 3. Pp. 275–287.

15. Siachalou S. Efficient QoS routing // The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. 2003. Vol. 43. No. 3. Pp. 351–367.

16. Pouzin L. Flow Control in Data Networks — Methods and Tools // Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Communications. Toronto, Canada, August 1976.

17. McQuillan J. M. Adaptive routing algorithms for distributed computer networks. Technical Report Report 2831. Cambridge: MA, 1974.

18. Mahmoud W. A., Kadhim D. J. A Proposal Algorithm to Solve Delay Constraint Least Cost Optimization Problem // Journal of Engineering. 2013. Vol. 19. No. 1. Pp. 155–160.

19. Interoperable Mission Critical Broadband / Narrowband Solution for Public Safety Communications. Strategic White Paper. EADS & Alcatel-Lucent. 2010. URL: www.ris.org/uploadi/editor/1341575327white_paper_c11-520862.pdf, 2012 (дата обращения 12.12.2017)

20. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011–2016. Cisco White Paper. URL: www.ris.org/uploadi/editor/1341575327white_paper_c11-520862.pdf, 2012 (дата обращения 12.12.2017)

PRINCIPLES OF FORMATION ROUTING TABLES BASED ON OPTIMIZING OF FLOWS' DISTRIBUTION IN A DATA NETWORK

ALEKSANDR M. CHUDNOV

St. Petersburg, Russia, chudnow@yandex.ru

ZAUR V. KURASHEV

St. Petersburg, Russia, Frankilou@yandex.ru

ABSTRACT

The aim of the work is to investigate the possibility of increasing the efficiency of the data transmission system based on randomized routing algorithms. Routing algorithms using randomized routing tables are studied. The formation of randomized tables is carried out on the basis of the optimal flows' distribution along the routes of the data transmission network. Analysis and optimization are carried out on a formalized model that allows to take into account the carrying capacity of communication lines and repeaters, indexes of switching centers, as well as the information load in the infor-

KEYWORDS: data communication network; packet routing; randomized routing; flow distribution; probability of messages' timely delivery.

mation directions of the system.

An algorithm for the optimal distribution of flows along the routes has been developed. It allows the use of various options for specifying the efficiency index, on the basis of which a system of generally randomized routing tables is formed, that implements the optimal flows' distribution along the network routes in accordance with the specified proximity indicator. An example of the algorithm of optimal flows' distribution for a network with five switching centers providing the maximization of the probability of messages' timely delivery

is given. Examples of tables of non-randomized (classical) and randomized routing are presented. When randomized routing tables based on the optimal allocation of flows are used, the estimated value of the system performance indicator is guaranteed.

The developed methods and algorithms for the generation of routing tables are supposed to be used to automate the management of the message packets' routing in the data transmission network when its state and operating conditions change.

REFERENCES

1. Chudnov A.M., Kirik D.I., Kurashev Z.V. Optimizing the distribution of information flows in the information system based on the probability of timely delivery of messages. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy* [Radio engineering and telecommunication systems]. 2017. Vol. 2. Pp. 41-49. (In Russian)
2. Chudnov A.M. *Pomekhoustoychivost' liniy i setey svyazi v usloviyakh optimizirovannykh pomekh* [Noise immunity of communication lines and networks in conditions of optimized interference]. Leningrad: Voennaya akademiya svyazi, 1986. 84 p. (In Russian)
3. Kuo F. (Ed.). Protocols and management methods in data networks. Moscow: Radio and communication, 1985. 480 p. (In Russian)
4. Mizin I., Bogatyrev V., Kuleshov A. *Seti kommutatsii paketov* [Packet switching networks]. Moscow: Radio and svyaz', 1986. 408 p. (In Russian)
5. Budko P. *Upravlenie resursami informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem. Metody optimizatsii: Monografiya* [Management of information and telecommunication systems resources. Optimization methods: Monograph]. St. Petersburg: Voennaya akademiya svyazi, 2012. 512 p. (In Russian)
6. Patent RF № 2014133011. *Sposob operativnogo upravleniya potokami dannykh v setyakh s kommutatsiyei paketov* [The way of operative management of data flows in networks with packet switching]. Prisyazhnik S. Avanesov M. Declared 16.08.2006. Published 10.06.2008. (In Russian)
7. Schwartz M. *Seti svyazi: protokoly, modelirovanie i analiz* [Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis]. In 2 part. Moscow: Nauka, 1992. 336 p.
8. Parashuk I.B. (Ed.). *Osnovy peredachi dannykh* [Basics of data transfer: textbook]. St. Petersburg: Voennaya akademiya svyazi, 2015. 216 p. (In Russian)
9. Patent № 2005117777. A method for routing messages from a source node to a destination node in a dynamic network. Kanrayt D. A priority 13.11.2003. Declared 16.08.2006. Published 10.06.2008.
10. Stieglitz K., Wiener P., Kleitman D.J. The Design of Minimum Cost Survivable Networks. *IEEE Transactions on Circuit Theory*. 1969. No. 16. Pp. 455-460.
11. Hsieh W., Kraimeche B. Performance analysis of end-to-end flow control mechanism in a packet switched network. *J. Telecomm. Networks*. 1983. Vol. 2. Pp. 103-116.
12. Conard J.W. Services and protocols of data link layer. *Proc. IEEE*. 1983. Vol. 71. No. Pp. 1378-1383.
13. Sun Q., Langendorfer H. A New Distributed Routing Algorithm with End-to-end Delay Guarantee. *IWQoS'97*. 1997. Pp. 111-114.
14. Amiri A., Pirkul H. Routing and capacity assignment in backbone communication networks. *Computers & Operations Research*. 1997. Vol. 24. No. 3. Pp. 275-287.
15. Siachalou S. Efficient QoS routing. *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*. 2003. Vol. 43. No. 3. Pp. 351-367.
16. Pouzin L. Flow Control in Data Networks – Methods and Tools. Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Communications. Toronto, Canada, August 1976.
17. McQuillan J.M. *Adaptive routing algorithms for distributed computer networks*. Technical Report BBN Report 2831. Cambridge: MA, 1974.
18. Mahmoud W.A., Kadhim D.J. A Proposal Algorithm to Solve Delay Constraint Least Cost Optimization Problem. *Journal of Engineering*. 2013. Vol. 19. No. 1. Pp. 155-160.
11. Interoperable Mission Critical Broadband / Narrowband Solution for Public Safety Communications. Strategic White Paper. EADS & Alcatel-Lucent. 2010. URL: www.ris.org/uploadi/editor/1341575327white_paper_c11-520862.pdf, 2012 (date of access 12.12.2017)
20. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011-2016. Cisco White Paper. URL: www.ris.org/uploadi/editor/1341575327white_paper_c11-520862.pdf, 2012 (date of access 12.12.2017)
21. Akyildiz I.F., Wang X. *Wireless Mesh Networks*. Wiley, Chichester, 2009.

INFORMATION ABOUT AUTHOR(S):

Chudnov A.M., PhD, Full Professor, Professor of the Military Academy of Telecommunications, named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny.

Kurashev Z.V., Postgraduate Student of the Military Academy of Telecommunications, named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny.

FOR CITATION: Chudnov A.M., Kurashev Z.V. Principles of routing table formation based on optimizing the distribution of flows in a data network. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 46-51. (In Russian)

МОДЕЛЬ НАСТУПЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

ЕРЕМЕЕВ

Михаил Алексеевич¹

АЛЛАКИН

Владимир Васильевич²

БУДКО

Никита Павлович³

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, начальник кафедры Военно-космической академии им. А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vka@mil.ru.

²Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М.Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, vas@mil.ru.

³Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М.Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, vas@mil.ru.

АННОТАЦИЯ

Предложен многоуровневый подход к моделированию наступления критического события информационной безопасности в информационно-коммуникационной системе. Рассмотрены угрозы информационной безопасности сетевых структур на различных логических уровнях инфокоммуникационной сети. При этом локальному уровню сети соответствует логический уровень обеспечения доступа пользователей в информационно-коммуникационную сеть для решения конкретных задач, корпоративному уровню соответствует логический уровень коммутации и маршрутизации, а глобальному - логический уровень сопряжения с компьютерной сетью «Интернет». На каждом из рассмотренных уровней проанализированы виды угроз информационной безопасности, их признаки, степень критичности как для элемента информационно-коммуникационной сети, так и для всей системы, а также существующие методы и средства защиты элементов и методы защиты от них. Предложена многоуровневая модель наступления опасного и критического события информационной безопасности на информационно-коммуникационной сети. Построен вероятностный граф состояния информационного тракта сети с учетом разновидности нарушителя и мер по противодействию несанкционированному доступу. На выходе графа предложены четыре состояния системы. Разработана модель определения критических состояний информационно-коммуникационной сети с учетом распознавания нарушения подсистемой мониторинга. Получено математическое выражение для расчета вероятности вскрытия информационно-коммуникационной сети. Предложенный метод оценки информационной безопасности имеет следующие достоинства: позволяет получить численную оценку защищенности системы в условиях неполной информации о противнике и его возможностях; предоставляет администратору сети возможность анализировать результаты воздействия различных факторов, включая случайные и преднамеренные воздействия; использует подход «сверху вниз», позволяющий рассмотреть и учесть воздействия на разных логических уровнях, не привязываясь к точке входа в систему.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многоуровневая система; информационно-коммуникационная сеть; теория игр; несанкционированный доступ; угрозы информационной безопасности; Интернет; логический уровень.

Для цитирования: Еремеев М. А., Аллакин В. В., Будко Н. П. Модель наступления критического события информационной безопасности в информационно-коммуникационной системе // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 52–60.

Введение

В современных условиях всеобщей информатизации и развития информационных технологий резко возрастает значение обеспечения информационной безопасности (ИБ) в информационно-коммуникационной системе (ИКС) специального назначения (СН), где постоянно нарастают возможности проведения кибервоздействий, как со стороны вероятного противника, так и со стороны организованных международных террористических группировок [1–5]. Эффективность обеспечения ИБ ИКС СН во многом зависит от реализации комплексного подхода к построению сетевой структуры на основе адекватного моделирования угроз ИБ, выбору средств защиты ее элементов, методов мониторинга ИБ, управления на сети и пр. [6–10].

Цель статьи: разработка модели наступления критического события информационной безопасности в информационно-коммуникационной системе.

1. Многоуровневый подход к построению структуры информационно-коммуникационной системы

Поскольку предполагается, что современная ИКС работает на локальном, региональном (корпоративном) и глобальном уровнях, представим ее информационный

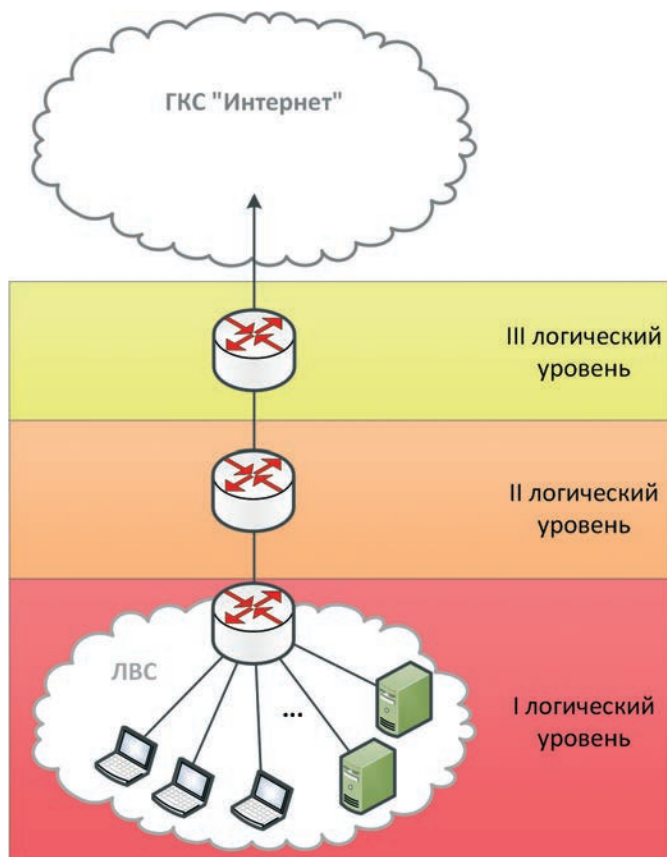


Рис. 1. Логическая схема функционирования ИКС

тракт (ИТ) с позиций многоуровневого подхода к построению защиты распределенной системы. На рис. 1 представлена логическая схема функционирования ИКС в виде информационного тракта доступа из локальной вычислительной сети (ЛВС) к глобальной компьютерной сети (ГКС) «Интернет», из которой видно, что доступ к тому или иному элементу системы осуществляется по цепочке, через соседние ее элементы, имеющие с ним связность и располагаемые на сопрягаемых логических уровнях.

На данном рисунке обозначены:

I — уровень обеспечения доступа пользователей в ИКС СН, предназначен для организации доступа пользователей к ресурсам ИКС СН при решении конкретных задач;

II — уровень коммутации и маршрутизации, промежуточное звено между ЛВС и ГКС;

III — уровень сопряжения с ГКС «Интернет».

Из рисунка видно, что любая атака, проводимая на первом логическом уровне ИКС СН, является критичной, так как фактически вероятный противник работает внутри ЛВС системы. Атаки на объекты других уровней информационного тракта ИКС ожидаемы, ввиду своего распределенного расположения, что дает возможность проведения более тщательных подготовительных мероприятий по обеспечению их безопасности.

В зависимости от места и целей реализации угрозы ИБ имеется возможность проведения оценки степени их опасности или критичности, выбора и реализации мер защиты.

2. Угрозы информационной безопасности сетевых структур

В киберпространстве на программно-аппаратные средства элементов ИКС СН постоянно направлены деструктивные воздействия, носящие, как случайный, так и преднамеренный характер [1–6, 11]. На каждом логическом уровне ИКС СН действуют соответствующие виды угроз ИБ, причем одинаковые виды угроз на разных логических уровнях (элементах ИКС) имеют различную степень критичности их реализаций, т.е. играют определенную роль в плане обеспечения безопасности всей ИКС. Критичность реализации угрозы ИБ предполагает нанесение ущерба, как самой ИКС СН, так и ее системе управления.

В табл. 1 представлены виды угроз ИБ по логическим уровням ИКС СН (ПЭВМ, коммутатор, маршрутизатор, сервер и пр.) и степени их критичности в обеспечении безопасности элементов сетевой структуры.

3. Моделирование критических событий информационной безопасности ИКС

В данной области существует большое количество решений по построению моделей объектов защиты, моделей нарушителя, моделей атак [1–9]. При этом каждое критическое событие ИБ может быть представлено как

Таблица

Виды угроз информационной безопасности элементов ИКС и методы защиты от них

Вид атаки	Объект атаки	Признаки атаки	Критичность для логического уровня системы	Критичность для системы в целом	Существующие средства и методы защиты
1	2	3	4	5	6
I уровень					
Сетевая разведка	ЛВС, шлюз в ГКС «Интернет»	Подозрительная активность в ЛВС, сканирование портов шлюза	высокая	высокая	Использование межсетевого экрана, настройка жестких политик доступа к ресурсам ЛВС, настройка динамических «черных» списков на критически важных для системы элементах, использование системы обнаружения вторжений (IDS), мониторинг событий ИБ.
Вирусы, троянские программы, руткиты	АРМ пользователя, АРМ администратора, критически важные объекты ИКС	Использование нелицензионного программного обеспечения (ПО), подозрительная активность в операционной системе, а также в ЛВС	высокая	высокая	Использование программного обеспечения из проверенных источников, использование антивирусных программ, использование IDS системы, мониторинг событий ИБ.
Сниффинг пакетов	АРМ пользователя, АРМ администратора, критически важные объекты ИКС	–	высокая	высокая	Грамотная настройка сетевого оборудования ИКС, использование шифрования при работе с удаленными сетевыми ресурсами.
IP-спуфинг	АРМ пользователя, АРМ администратора, критически важные объекты ИКС	Некорректная работа сетевых служб системы, прерывание работы пользователя без деавторизации в системе.	высокая	высокая	Авторизация пользователя в системе, без которой работа невозможна; для защиты от подмены критически важных служб системы – использование авторизации при работе с ними.
Man-in-the-Middle	Любой объект ЛВС или вся ЛВС в целом	Проблемы с валидностью сертификатов при установлении защищенных соединений по протоколу https.	высокая	высокая	Анализ сетевого трафика в системе, использование подписанных сертификатов.
Социальная инженерия	Пользователи и администраторы ИКС	Звонки от неопознанных личностей и обсуждение с ними служебных дел	высокая	высокая	Проведение первичного инструктажа перед допуском к работе в ИКС, проведение обучающих лекций с пользователями ИКС
Отказ в обслуживании (DoS)	Критически важные объекты ИКС	Подозрительная активность в ЛВС, некорректная работа или «падение» сетевых служб ЛВС	высокая	высокая	Корректная настройка и оптимизация сетевых служб ЛВС, использование IDS системы
II уровень					
Сетевая разведка	Серверы ИКС	В ГКС «Интернет» ведется постоянно и повсеместно	низкая	низкая	Формирование динамического «черного» списка в межсетевом экране сервера
Перебор паролей (brute force)	Серверы ИКС	Регистрация неоднократных попыток входа незарегистрированных пользователей	низкая	низкая	Запуск служб предоставляющих доступ к управлению сервером на нестандартных портах, формирование динамического «черного» списка в межсетевом экране сервера, задание нетривиальных паролей, ограничение прав доступа администратора и суперпользователя (root)

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Вирусы, троянские программы, руткиты	Серверы ИКС	Установленное подозрительное ПО, неизвестные выполняющиеся процессы	высокая	высокая	Полная переустановка ОС сервера из официального образа разработчика
Сниффинг пакетов	Серверы ИКС	–	низкая	низкая	Шифрование данных
Man-in-the-Middle	Серверы ИКС	–	высокая	высокая	Проверка подлинности клиента, своевременное обновление используемого ПО
Отказ в обслуживании (DoS)	Серверы ИКС	Перебои в работе или «падение» сетевых служб	низкая	низкая	Формирование динамического «черного» списка в межсетевом экране сервера
III уровень					
Сетевая разведка	Серверы ИКС	В ГКС «Интернет» ведется постоянно и повсеместно	низкая	низкая	Формирование динамического «черного» списка в межсетевом экране сервера
Перебор паролей (brute force)	Серверы ИКС	Регистрация неоднократных попыток входа незарегистрированных пользователей	низкая	низкая	Запуск служб предоставляющих доступ к управлению сервером на нестандартных портах, формирование динамического «черного» списка в межсетевом экране сервера, задание нетривиальных паролей, ограничение прав доступа администратора и суперпользователя (root)
Вирусы, троянские программы, руткиты	Серверы ИКС	Установленное подозрительное ПО, неизвестные выполняющиеся процессы	высокая	средняя	Полная переустановка ОС сервера из официального образа разработчика
Сниффинг пакетов	Серверы ИКС	–	высокая	высокая	Шифрование данных
Man-in-the-Middle	Серверы ИКС	–	высокая	высокая	Проверка подлинности клиента, своевременное обновление используемого ПО
Отказ в обслуживании (DoS)	Серверы ИКС	Перебои в работе или «падение» сетевых служб	низкая	низкая	Формирование динамического «черного» списка в межсетевом экране сервера

совокупность опасных (причинных) событий [12] на разных логических уровнях ИТ ИКС (рис. 1), в качестве которых рассматриваются угрозы ИБ (табл. 1). Для оценки вероятности реализации критических событий проводится их иерархическая декомпозиция по логическим уровням ИТ ИКС.

На рис. 2 представлена многоуровневая модель наступления критического события ИБ ИКС СН, где: $P_{1,1}$, $P_{1,2}$, ..., $P_{1,n}$ — вероятности проведения деструктивного воздействия на элемент ИТ ИКС; P^{III} , P^{II} , P^I — вероятности наступления критического события на каждом логическом

уровне ИТ ИКС; n — количество видов угроз, применяемых против ИКС СН.

Причем, при переходе к более низкому уровню иерархии ИТ ИКС критическое событие текущего логического уровня рассматривается как опасное событие следующего уровня или как критические события для всей ИКС СН. Под опасным событием на каждом логическом уровне понимается воздействие угрозы ИБ на элемент уровня, не повлекшее компрометацию его входных и выходных величин, а под критическим событием, соответственно — воздействие на элемент логического уровня, повлекшее

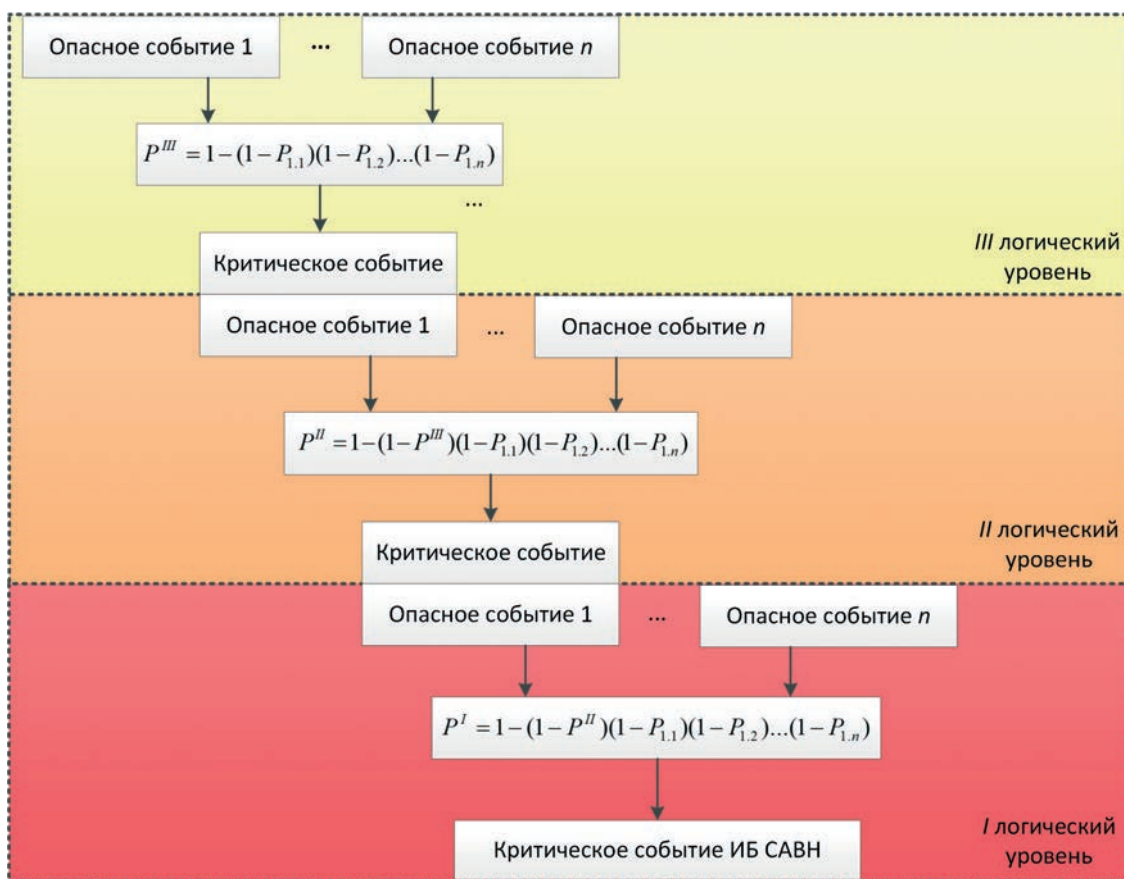


Рис. 2. Многоуровневая модель наступления критического события информационной безопасности ИКС СН

компрометацию его входных и выходных величин, повышающее вероятность вскрытия соседних элементов ИТ ИКС СН. При этом любое из опасных событий с определенной вероятностью приводит к критическому событию на текущем логическом уровне информационного тракта ИКС, но не исключает появления второго опасного события для данного элемента. Из этого следует, что опасные события для элемента логического уровня являются совместными.

Переход критического события ИТ одного логического уровня в опасное состояние на другом логическом уровне, или же наступление критического состояния всего ИТ зависит от места возникновения инцидента в нем, причин его возникновения, технической оснащенности сторон противоборства, применяемых технологий и алгоритмики воздействия на ИКС СН, а также методов защиты её элементов. При этом необходимо учитывать цели информационного воздействия при осуществлении несанкционированного доступа (НСД), а так же вероятность не обнаружения НСД подсистемой мониторинга ИБ ИКС СН.

С целью учета перечисленных выше критериев решение данной задачи предлагается представить в виде байес-

совской игры с неполной информацией о сопернике и его возможных стратегиях [13].

На рис. 3 представлена модель поведения противника с учетом распознавания нарушения подсистемой мониторинга ИБ ИКС СН.

Из рис. видно, что при совершении факта НСД на элемент любого логического уровня существует вероятность того, что НСД осуществил «случайный» или «целенаправленный» нарушитель. Ни для кого не секрет, что в ГКС «Интернет» поиск и взлом информационных ресурсов поставлены на поток [1–5]. В связи с этим, «случайный» нарушитель (Z_c) — это противник, с точки зрения обеспечения ИБ, получивший доступ к элементу ИКС случайным образом, с целью использования его вычислительных мощностей для решения своих задач. В то же время «целенаправленный» нарушитель (Z_n) — это противник, который владеет информацией о назначении и задачах ИКС СН.

Таким образом, следуя концепции теории игр [14], первым делает ход нарушитель. Поскольку нам не известно какого типа нарушитель осуществил НСД, «случайный» или «целенаправленный», то оба эти типа входят в информационное множество. Далее существует два состояния

системы мониторинга на рассматриваемом элементе, которые приводят к финальным состояниям элемента на текущем логическом уровне, а именно, система мониторинга может обнаружить НСД (P_M) или не обнаружить ($\overline{P_M}$). В зависимости от этого определены четыре класса состояния элемента на текущем логическом уровне:

1 — элемент взломан, противник знает о его назначении, система мониторинга не сообщила о факте НСД (\overline{M}), противник переходит на следующий логический уровень.

2 — элемент взломан, противник знает о его назначении, система мониторинга сообщила о факте НСД (M), проведены мероприятия по противодействию НСД.

3 — элемент взломан, противник не знает о его назначении, система мониторинга сообщила о факте НСД (M), проведены мероприятия по противодействию НСД.

4 — элемент взломан, противник не знает о его назначении, система мониторинга не сообщила о факте НСД (\overline{M}), противник не переходит на следующий логический уровень.

Классы состояния «2», «3» и «4» являются внутриуровневыми (*I, II, III*), в то время как класс состояния «1» системы позволяет нарушителю перейти на следующий её логический уровень.

В связи с этим, выстроим вариационный ряд финальных состояний, применимый как для конкретного элемента, так и для системы в целом выглядит следующим образом:

$$3 > 2 > 4 > 1$$

Данная запись означает, что класс состояния системы «3» более предпочтителен, чем класс состояния «2», который, в свою очередь, предпочтительнее классу «4». Наименее предпочтительным (критическим) классом состояния ИКС СН, является класс «1».

Ниже представлены математические выражения финальных вероятностей для элемента логического уровня:

$$P_{1n}^* = P^* P_{\Pi}^* \overline{P_M^*};$$

$$P_{2n}^* = P^* P_{\Pi}^* P_M^*;$$

$$P_{3n}^* = P^* P_c^* P_M^*;$$

$$P_{4n}^* = P^* P_c^* \overline{P_M^*},$$

где * — это номер логического уровня ИКС, P_{Π} — вероятность того, что НСД осуществил «целенаправленный» нарушитель, P_c — вероятность того, что НСД осуществил «случайный» нарушитель, P_M — вероятность определения НСД подсистемой мониторинга ИБ ИКС СН.

Тогда применяя общую теорию надежности [15] для перехода нарушителя с одного логического уровня на дру-

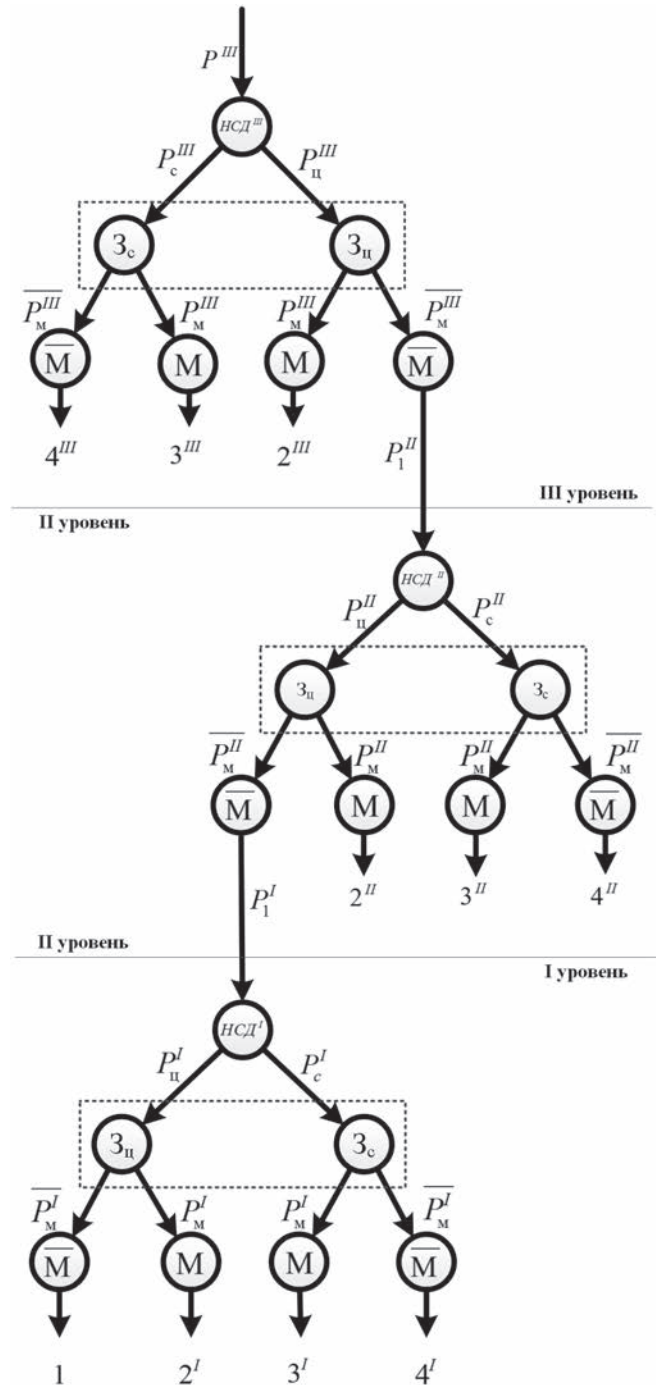


Рис. 3. Модель определения критических состояний ИКС СН с учетом распознавания нарушения подсистемой мониторинга

гой, должны быть соблюдены необходимые условия, характеризующие данную вероятность:

$$\overline{P_1^{III}} = (1 - (1 - P_{1.1})(1 - P_{1.2}) \dots (1 - P_{1.n})) P_{\Pi}^{III} \overline{P_M^{III}},$$

вероятность перехода с III логического уровня на II;

$$P_1^{II} = (1 - (1 - P_1^{III})(1 - P_{1.1})(1 - P_{1.2}) \dots (1 - P_{1.n})) P_{\Pi}^{II} \overline{P_M^{II}},$$

вероятность перехода от первого элемента II логического уровня ко второму элементу;

Таким образом, финальная вероятность вскрытия ИКС СН будет равна:

$$P_1' = \left(1 - (1 - P_1'')\right) (1 - P_{1,1}) (1 - P_{1,2}) \dots (1 - P_{1,n}) P_{1,1}' P_{1,2}' \dots P_{1,n}' .$$

Вывод

Предложенный метод расчета вероятности вскрытия ИКС имеет следующие достоинства:

оценка защищенности системы в условиях неполной информации о противнике и его возможностях;

предоставление строгого, структурированного и гибкого подхода, позволяющего анализировать результаты воздействия различных факторов, включая случайные и преднамеренные воздействия;

применение подхода «сверху вниз», позволяющего рассмотреть и учесть воздействия на разных логических уровнях, не привязываясь к точке входа в систему.

Литература

1. Дементьев В. Е. Угрозы инфотелекоммуникационной сети в условиях информационного противоборства. СПб.: ВАС, 2015. 192 с.

2. Коцыняк М. А., Кулешов И. А., Лаута О. С. Устойчивость информационно-телекоммуникационных сетей. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 92 с.

3. Анненков В. И., Баранов С. Н., Моисеев В. Ф., Сергеев Н. А. Безопасность и противоборство в информационной сфере. Аспекты национальной безопасности. М.: РУСАВИА, 2010. 446 с.

4. Анненков В. И., Баранов С. Н., Моисеев В. Ф., Хархалуп С. С. Сетевые центры. Геополитические и военно-политические аспекты современности. М.: РУСАВИА, 2013. 496 с.

5. Макаренко С. И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века: монография. СПб.: Научно-технологический институт, 2017. 546 с.

6. Климов С. М. Методы и модели противодействия компьютерным атакам. Люберцы: Каталист, 2008. 316 с.

7. Котенко И. В. Интеллектуальные механизмы управления кибербезопасностью // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2009. Т. 41. С. 74–103.

8. Котенко И. В., Саенко И. Б. Построение системы интеллектуальных сервисов для защиты информации в условиях кибернетического противоборства // Труды СПИИРАН. 2002. № 3(22). С. 84–100.

9. Саенко И. Б., Бирюков М. А., Ефимов В. В., Ясинский С. А. Модель администрирования схем разграничения доступа в облачных инфраструктурах // Информация и космос. 2017. № 1. С. 121–126.

10. Bursztein E., Mitchell J. C. Using strategy objectives for network security analysis // Information Security and Cryptology: Lecture Notes in Computer Science. 2010. Vol. 151. Pp. 337–349.

11. Буренин А. Н., Легков К. Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления: монография. М.: Медиа-Паблицер, 2015. 348 с.

12. Бобов М. Н., Горячко Д. Г., Обухович А. А. Оценка рисков информационной безопасности // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 4. С. 69–73.

13. Колобашкина Л. Б. Основы теории игр. М.: Бином, 2017. 200 с.

14. Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Шевкопляс Е. В. Теория игр. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.

15. Горелик А. В., Ермакова О. П. Основы теории надежности в примерах и задачах. М.: МИИТ, 2009. 98 с.

MODEL OF ONSET OF THE CRITICAL EVENT OF INFORMATION SECURITY IN INFORMATION COMMUNICATIONS SYSTEM

MIKHAIL A. YEREMEYEV,

St. Petersburg, Russia, vka@mil.ru

VLADIMIR V. ALLAKIN,

St. Petersburg, Russia, vas@mil.ru

NIKITA P. BUDKO,

St. Petersburg, Russia, vas@mil.ru

ABSTRACT

Multi-level approach to simulation of approach of a critical event of information security in information telecommunication system is offered. Threats of information security of network structures at different logic levels of an infocommunication network are considered. At the same time to the local level of a network there corresponds the logic level of ensuring access of users in an information and communication network for the solution of specific objectives, to corporate level there corresponds the logic level of switching and routing, and global - the logic level of conjugation to a computer network Internet. On each of the considered levels types of threats of information security, their signs, a level of criticality both for an element of an information and communication network, and for all system and also the existing methods and security features of elements and methods of protection against them are analyzed. The multiple model of approach of a dangerous and critical event of information security on an information and communication network is offered. The probable state graph of information path of a network taking into account variety of the violator and measures for counteraction to illegal access is constructed. On an output of a graph four statuses of system are offered. The model of determination of critical conditions of an information and communication network taking into account violation recognition is developed by a monitoring subsystem. Mathematical expression for calculation of probability of opening of an information and communication network is received. The offered valuation method of information security has the following advantages: allows to receive numerical evaluation of security of system in the conditions of incomplete information on the opponent and his opportunities; gives to the network administrator an opportunity to analyze results of influence of different factors, including accidental and premeditated influences; uses the approach "from top to down" allowing to

KEYWORDS: multilayer system; information and communication network; games theory; illegal access; threats of information security; Internet; logic level.

consider and consider influences at the different logic levels without being bound to entry point in system.

REFERENCES

1. Dementiev V.E. *Ugrozy infotelecommunicatsionnoi seti v usloviakh informatsionnogo protivoborstva* [Threats of an infotelecommunication network in the conditions of information antagonism]. St. Petersburg: Voennaya akademiya cvyazi Publ., 2015. 192 p. (In Russian)
2. Kotseniak M.A., Kuleshov I.A., Lauta O.S. *Ustoichivost informatsionno-telecommunicatsionnykh setei* [Stability of information and telecommunication networks]. St. Petersburg: Politehnicheskii universitet Publ., 2013. 92 p. (In Russian)
3. Annenkov V.I., Baranov S.N., Moiseev V.F., Sergeev N.A. *Bezopasnost i protivoborstvo v informatsionnoi sfere. Aspekty natsionalnoi bezopasnosti* [Safety and antagonism in the information sphere. Aspects of national security]. Moscow: RUSAVIA, 2010. 446 p. (In Russian)
4. Annenkov V.I., Baranov S.N., Moiseev V.F., Harhalup S.S. *Setetsentrizm. Geopoliticheskije i voenno-politicheskie aspekty sovremennosti* [Setetsentrizm. Geopolitical and military-political aspects of the present]. Moscow: RUSAVIA, 2013. 496 p. (In Russian)
5. Makarenko S.I. *Informatsionnoje protivoborstvo i radio-electronnaja borba v setetsentricheskijh voinah nachala XXI veka: Monografija* [Information antagonism and radio-electronic fight in setetsentrichesky wars of the beginning of the XXI century. Monograph]. St. Petersburg: Naukoiomkije tehnologii, 2017. 546 p. (In Russian)
6. Klimov S.M. *Metody i modeli protivodeistviya kompiuternym atakam* [Methods and counteraction models to computer attacks]. Lyubertci: Katalis, 2008. 316 p. (In Russian)
7. Kotenko I.V. *Intellectualnyje mehanizmy upravlenija kiber-bezopasnostiu* [Intellectual mechanisms of management of

cybersafety]. *Trudy Instituta Sistemnogo Analiza Rossijskoi Akademii Nauk* [Works of Institute of the system analysis of the Russian Academy of Sciences]. 2009. Vol. 41. Pp. 74-103. (In Russian)

8. Kotenko I.V., Sajenko I.B. Creation of system of intellectual services for protection of information in the conditions of a cybernetic antagonism. *Proccesing of SPIIRAN*. 2002. No. 3(22). Pp. 84-100. (In Russian)

9. Sajenko I.B., Biriukov M.A., Efimov V.V., Yasinski S.A. Model administrirovaniya shem razgranicheniya dostupa v oblachnyh infrastrukturah [Model of administration of schemes of differentiation of access in cloudy infrastructures]. *Informatsiya i kosmos*. 2017. No. 1. Pp. 121-126. (In Russian)

10. Bursztein E., Mitchell J.C. Using strategy objectives for network security analysis. *Information Security and Cryptology: Lecture Notes in Computer Science*. 2010. Vol. 6151. Pp. 337-349.

11. Burenin A.N., Legkov K.E. *Sovremennye infokommunikatsionnye sistemy i seti spetsial nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya: Monografiya* [Modern infocommunication systems and special purpose networks. Basics of creation and control]. Moscow: Media Publisher, 2015. 348 p. (In Russian)

12. Bobov M.N., Goriachko D.G., Obuhovich A.A. Otsenka riskov informatsionnoi bezopasnosti avtomatizirovannyh sistem [Assessment of risks of information security]. *Informatsionno-izmeritelnye i upravliauschie sistemy*. 2016. Vol. 14. No. 4. Pp.69-73. (In Russian)

13. Kolobashina L.B. *Osnovy teorii igr. Uchebnoe posobie* [Bases of the theory of games]. Moscow: Binom, 2017. 200 p. (In Russian)

14. Petrosiyan L.A., Zenkevich N.A., Shevkoplyas E.V. *Teoria igr* [Theory of games]. St. Petersburg: BXV- Petersburg, 2012. 432 p. (In Russian)

15. Gorelik A.V., Ermakova O.P. *Osnovy teorii nadiozhnosti v primerah i zadachah* [Bases of the theory of reliability in examples and tasks]. Moscow: MIIT, 2009. 98 p. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHOR(S):

Yeremeyev M.A., PhD, Full Professor, Military space academy of A.F. Mozhaysky;

Allakin V.V., Military academy of communication of Marshall of the Soviet Union of S.M. Budenny;

Budko N.P., Military academy of communication of Marshall of the Soviet Union of S.M. Budenny.

FOR CITATION: Yeremeyev M.A., Allakin V.V., Budko N.P. Model of onset of the critical event of information security in information communication system. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 52-60. (In Russian)



СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ (РАЗВИТИЮ) РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО ТИПА

ЛЯСКОВСКИЙ
Виктор Львович¹

БРЕСЛЕР
Игорь Борисович²

АЛАШЕЕВ
Михаил Александрович³

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, советник генерального директора по научной работе и инновациям АО «Научно-исследовательский институт информационных технологий», г. Тверь, Россия, niit@niit.tver.ru

²к.в.н, доцент, генеральный директор АО «Научно-исследовательский институт информационных технологий», г. Тверь, Россия, niit@niit.tver.ru

³к.т.н., специалист научно-координационного отдела АО «Научно-исследовательский институт информационных технологий», г. Тверь, Россия, niit@niit.tver.ru

АННОТАЦИЯ

В работе изложены результаты исследований, направленных на развитие научно-методического аппарата и совершенствование программно-инструментальных средств обоснования решений по созданию (развитию) распределенных информационно-управляющих систем организационного типа. Рассмотрена структура распределенных информационно-управляющих систем организационного типа, в составе которой выделены типовые элементы. Произведена структуризация исходных данных, предложена вербальная и формализованная постановка задачи обоснования решений по созданию (развитию) распределенных информационно-управляющих систем организационного типа, а также описана структура получаемого решения. Сущность поставленной задачи заключается в необходимости выбора таких решений по созданию (развитию) исследуемых систем, которые обеспечат максимизацию эффективности реализуемых в системе функциональных процессов, при обязательной реализации функциональных процессов высшего приоритета, достижении заданных предельно-допустимых временных и вероятностно-временных характеристик выполнения функциональных процессов, а также выполнении ограничений на временные и стоимостные параметры процесса создания (развития) распределенных информационно-управляющих систем. Проведенный анализ алгоритмической сложности решения поставленной задачи показал, что данная задача является NP-трудной. В связи с этим была изучена и подтверждена возможность применения приближенных методов поиска решения. На основе данных методов предложен научно-методический аппарат формирования решений по созданию (развитию) распределенных информационно-управляющих систем организационного типа в условиях ресурсных ограничений, включающий ряд моделей, методов алгоритмов и процедур. Указанный научно-методический аппарат предложено реализовать в автоматизированной системе поддержки принятия решений, позволяющей осуществлять поиск решения поставленной задачи с использованием современных информационных технологий и значительно сократить трудозатраты на поиск такого решения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплекс средств автоматизации; распределенная информационно-управляющая система; жизненный цикл систем управления; функциональная подсистема; функциональный процесс; функциональная задача; системотехнические решения по созданию (развитию) распределенных информационно-управляющих систем организационного типа.

Для цитирования: Лясковский В. Л., Бреслер И. Б., Алашеев М. А. Система поддержки принятия решений по созданию (развитию) распределенных информационно-управляющих систем организационного типа // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 61-72.

Введение

Управленческие решения по руководству министерствами, ведомствами РФ, государственными корпорациями, интегрированными структурами и предприятиями промышленности реализуются в системах обработки информации и управления (СОИУ), специально создаваемых в соответствующих министерствах, ведомствах и иных организациях РФ. Одним из основных путей повышения эффективности применения таких систем является комплексная автоматизация процессов обработки информации и управления, реализуемая в процессе создания (развития) соответствующих распределенных информационно-управляющих систем организационного типа (РИУС).

РИУС — это распределенные автоматизированные СОИУ, создаваемые для оснащения ими органов управления соответствующих министерств, ведомств, агентств и иных организаций РФ в целях повышения эффективности применения управляемых органов (объектов). РИУС, как правило, представляет собой многоуровневую систему, состоящую из нескольких функциональных подсистем (ФПС), каждая из которых реализует ряд взаимоувязанных функциональных процессов (ФП). При этом отдельные ФП реализуются посредством выполнения комплексов функциональных задач (ФЗ), решаемых в системе на различных уровнях управления СОИУ.

1. Описание типовой структурной схемы РИУС

Типовая структурная схема РИУС как объекта исследования приведена на рис. 1 и включает в свой состав подсистему обработки информации и управления, подсистему передачи информации и подсистему внешних объектов [1]. При этом, подсистема обработки информации и управления РИУС состоит из органов управления (ОУ), которые, как правило, включают в свой состав центр обработки информации и управления, а также пункты обработки ин-

формации и управления различных иерархических уровней. Подсистема передачи информации состоит из трактов передачи данных (ТПД), а подсистема внешних объектов включает как источники, так и потребители информации.

ЦОИУ — центр обработки информации и управления;
 ПОИУ — пункт обработки информации и управления;
 ТПД — тракты передачи данных.

ОУ могут быть реализованы в стационарном, перебазируемом и подвижном исполнении и включают в свой состав комплексы средств автоматизации (КСА) деятельности должностных лиц ОУ и обеспечивающие системы. Необходимость использования КСА, обеспечивающих решение ряда ФЗ в автоматизированном или автоматическом режиме, определяется, как правило, высокими требованиями к срокам обработки больших объемов информации и качеству решения ФЗ по обработке информации и формированию управленческих решений во многих ОУ.

2. Постановка задачи обоснования решений по созданию (развитию) РИУС

2.1. Вербальная постановка задачи

Создание (развитие) РИУС предполагает проектирование (модернизацию) КСА для различных иерархических уровней системы (именно в них реализуется автоматизация соответствующих ФП и ФЗ), изготовление серийных образцов КСА, а также оснащение ими ОУ и объектов из состава СОИУ.

При этом, исходя из существующего порядка выполнения работ по автоматизации пунктов, органов и объектов из состава СОИУ при обосновании рационального варианта выбора системотехнических решений по созданию (развитию) СОИУ необходимо учитывать имеющиеся ограничения по выделяемым ассигнованиям на эксплуатацию существующих, производство серийных образцов и проектирование перспективных КСА.

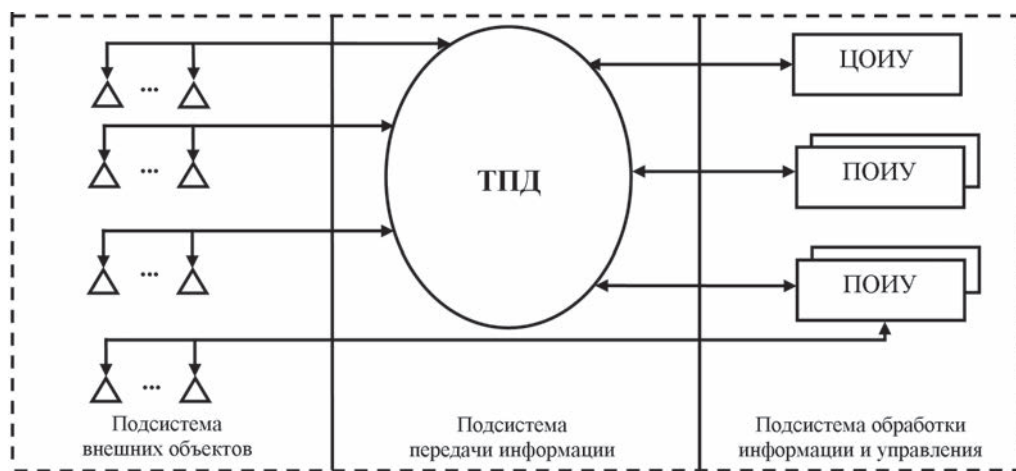


Рис. 1. Типовая схема РИУС

Ряд теоретических исследований, связанных с вопросами выбора системотехнических, схемотехнических и организационных решений по созданию (развитию) автоматизированных систем управления, информационных систем организационного типа и оснащению ими соответствующих ОУ известны и описаны в литературе. Так, например, в [1–10] описаны некоторые подходы к оценке эффективности функционирования РИУС, их подсистем и элементов, а также ряд частных постановок задач и соответствующих методов (научно-методических подходов) по выбору ряда системотехнических, схемотехнических и организационных решений для различных этапов жизненного цикла указанного класса систем.

Тем не менее, на сегодняшний момент времени вопросы обоснования, оценки и выбора системотехнических решений по созданию (развитию) РИУС недостаточно формализованы и, в основном, основаны на интуиции и опыте разработчиков систем, комплексов и средств автоматизации. При этом, как правило, не рассматриваются вопросы сбалансированной реализации межуровневых функциональных подсистем и функциональных процессов, а оценки вероятностно-временных характеристик функционирования РИУС проводятся эмпирически только на этапах испытаний.

Ниже приводится наиболее общая формулировка задачи выбора системотехнических решений по созданию (развитию) РИУС с учетом ресурсных ограничений на отдельных плановых этапах, произведена ее формализация и оценка сложности решения, а также предложены общая методика и алгоритм решения.

Сущность выбора варианта решений по созданию (развитию) РИУС [11] состоит в том, что для каждого планового этапа прогнозирования (ЭП) должны быть выбраны системотехнические решения по автоматизации ОУ за счет оснащения (дооснащения) ОУ серийными КСА (оснащение возможно в текущий момент времени) или разрабатываемыми КСА (оснащение возможно в будущем после момента окончания соответствующей опытно-конструкторской работы) с учетом допустимого (назначенного) ресурса использования КСА в составе РИУС. При этом, в процессе выбора варианта развития КСА должны быть также учтены требования по комплексной межуровневой автоматизации отдельных ФП, то есть выбор для реализации в ОУ таких ФЗ, которые составляют рассматриваемый ФП.

Следует отметить, что ФП имеют различную степень важности (значимости), которая определяется степенью влияния реализуемого ФП на общую эффективность применения РИУС по целевому назначению. При этом существует подмножество таких ФП, которые должны быть обязательно реализованы в РИУС — ФП высшего приоритета.

С учетом изложенных требований в качестве целевой функции для решения рассматриваемой задачи целесоо-

бразно выбрать комплексный показатель [1, 11–14], отражающий степень автоматизации требуемых ФП, при необходимости выполнения ряда ФП в масштабе реального времени. Для этого ниже будем использовать два частных показателя:

1. Показатель оценки реализации ФП высшего приоритета (ФПв).

2. Показатель оценки степени автоматизации остальных ФП (ФПо).

Показатель оценки реализации ФПв (показатель 1) может быть записан как векторная дискретная булева функция, элементы которой принимают значение «1» — при реализации ФП, «0» — в противном случае.

Показатель оценки степени автоматизации ФПо (показатель 2) может быть записан как взвешенное по важности отношение реализованных ФПо к сумме важностей всех ФПо.

При этом для показателей 1 и 2 под реализованным ФП будем понимать ФП, для которого реализованы все составляющие его ФЗ и выполняются требования к временным или вероятностно-временным характеристикам (ВХ, ВВХ) его выполнения (в случае, если такие требования для рассматриваемого ФП заданы).

В качестве исходных данных, используемых для решения рассматриваемой задачи, приняты:

1. Организационная структура РИУС, описываемая как множество ОУ и связей подчинения и взаимодействия между ними. При этом каждый ОУ может быть оснащен не более чем одним КСА определенного типа.

2. Функциональная структура РИУС, описываемая как совокупность функциональных подсистем (ФПс). Каждая из ФПс состоит из множества ФП, составными частями которых являются ФЗ.

В зависимости от предъявляемых требований к своевременности выполнения ФП подразделяются на ФП реального времени и ФП нереального времени. Основное различие между указанными видами ФП состоит в том, что для ФП реального времени предъявляются требования к ВХ или ВВХ длительности их выполнения, а для ФП нереального времени такие требования не предъявляются.

В зависимости от важности, которая определяется степенью влияния реализуемого ФП на общую эффективность применения РИУС по целевому назначению, все ФП подразделяются на ФПв и ФПо.

3. Типы ОУ, каждый из которых характеризуется множеством ФЗ, подлежащих реализации в КСА.

4. Типы КСА, предназначенные для автоматизации ОУ, в зависимости от стадии жизненного цикла КСА разделяемые на действующие (находящиеся на этапе эксплуатации в ОУ), серийные (находящиеся на этапе серийных поставок) и разрабатываемые (находящиеся на этапах выполнения соответствующих научно-исследовательских или опытно-конструкторских работ).

5. Текущий вариант оснащения ОУ КСА, в том числе включающий сведения о типах КСА, эксплуатируемых на ОУ, их остаточном ресурсе и параметрах реализуемых в КСА ФЗ.

6. Требования к ВХ и ВВХ выполнения ФП в РИУС.

7. Перечень, организационные, производственные и финансовые характеристики предприятий, которые выполняют работы или могут принимать участие в процессах разработки, производства и поставки КСА.

8. Перечень ЭП с указанием их продолжительности и объемов финансирования.

Задача решается с учетом следующих условий и допущений:

— ФП в РИУС считается реализованным в том случае, когда реализованы все ФЗ, составляющие данный ФП, а также удовлетворены требования к ВХ и ВВХ его выполнения (если такие требования для рассматриваемого ФП заданы);

— КСА для автоматизации ОУ представляются как неделимые элементы, в связи с чем выбор отдельных схемотехнических решений из состава КСА для оснащения ОУ не рассматривается;

— в рамках допустимого ресурса использования КСА всех типов, а также при принятии решения по продлению срока эксплуатации КСА, надежность характеристики реализации ФП (ФЗ) остаются неизменными и удовлетворяют заданным требованиям;

— помещения (сооружения) и объекты, в которых размещены (планируется разместить) средства автоматизации из состава РИУС, удовлетворяют требованиям по массогабаритным, климатическим и энергетическим показателям для размещения соответствующих типов КСА (в случае, если для ряда помещений (сооружений) и объектов требования по массогабаритным, климатическим и энергетическим показателям не выполняются, то к таким объектам предъявляются соответствующие требования, которые должны быть реализованы до момента поставки КСА на объекты автоматизации);

— каналы и сети передачи данных удовлетворяют информационным потребностям РИУС по обмену данными для реализации всех ФП (в случае, если для ряда направлений обмена указанные информационные потребности не выполняются, то к элементам подсистемы передачи информации (объектам телекоммуникационной инфраструктуры) предъявляются соответствующие требования, которые должны быть реализованы до момента поставки КСА на объекты автоматизации);

— должностные лица ОУ имеют требуемый уровень квалификации (то есть, при выполнении автоматизируемых ФЗ и ФП время выполнения соответствующих функций управления должностными лицами ОУ не превышает заданного);

— объекты управления, которыми должна управлять РИУС, оснащены соответствующим окончательным оборудованием, обеспечивающим интеграцию КСА в контур управления без каких-либо доработок.

Результатами решения поставленной задачи являются:

1. Решения по разработке КСА, описывающие распределение работ по разработке КСА по ЭП и соответствующим предприятиям-разработчикам с указанием финансовых и временных ресурсов, выделяемых на выполнение каждой работы.

2. Решения по изготовлению КСА и оснащению ОУ, описывающие распределение работ по изготовлению КСА по ЭП и соответствующим предприятиям-изготовителям с указанием оснащаемых ОУ, а также финансовых и временных ресурсов, выделяемых на выполнение каждой работы.

3. Решения по продлению эксплуатации КСА на ОУ, определяющие для каждого ЭП перечень ОУ, для которых осуществляется продление эксплуатации КСА с указанием требуемых финансовых ресурсов.

2.2. Формализованная постановка задачи

С учетом указанных исходных данных, допущений и ограничений формализованная постановка задачи формирования решений по развитию РИУС в условиях ресурсных ограничений может быть записана в следующем виде.

На каждом ЭП необходимо определить вариант создания (развития) РИУС на основе выбора системотехнических решений $X^*(u)$, $Y^*(u)$, $Z^*(u)$, обеспечивающий максимизацию эффективности реализации ФП $\mathcal{E}(X(u), Y(u), Z(u))$, при обязательной реализации ФПв, заданных предельно-допустимых ВХ и ВВХ выполнения ФП, а также выполнении ограничений на временные $T_{\text{доп}}$ и стоимостные $C_{\text{доп}}$ параметры процесса развития РИУС:

$$\langle X^*(u), Y^*(u), Z^*(u) \rangle = \underset{X(u), Y(u), Z(u)}{\text{Arg max}} - (X(u), Y(u), Z(u)) \quad (1)$$

при выполнении ограничений:

$$\begin{aligned} \Omega(X(u), Y(u)) \cap \Omega_b &= \Omega_b; \\ \forall i, i \in \Omega_{\text{pb1}}: P_i(X(u), Y(u)) &\geq P^{\text{пр}}_i(u); \\ \forall i, i \in \Omega_{\text{pb2}}: \tau_i(X(u), Y(u)) &\leq \tau^{\text{пр}}_i(u); \\ C(X(u), Y(u), Z(u)) &\leq C_{\text{доп}}(u); \\ T(X(u), Y(u), Z(u)) &\leq T_{\text{доп}}(u); \end{aligned}$$

где

$u \in \{1, \dots, U\}$, U — количество плановых ЭП развития РИУС;

$X(u)$ — решения по разработке КСА;

$Y(u)$ — решения по изготовлению КСА и оснащению ОУ;

$Z(u)$ — решения по продлению эксплуатации КСА;

$\Omega(X(u), Y(u))$ — множество реализованных ФП;

Ω_b — множество ФПв;

$\Omega_{рв1}$ — множество ФП реального времени, для которых предъявляются требования к ВВХ их выполнения;

$\Omega_{рв2}$ — множество ФП реального времени, для которых предъявляются требования к ВХ их выполнения;

$P_i(X(u), Y(u))$ — вероятность своевременного выполнения i -го ФП;

$P^р_i(u)$ — требуемая вероятность своевременного выполнения i -го ФП;

$\tau_i(X(u), Y(u))$ — среднее время выполнения i -го ФП;

$\tau^р_i(u)$ — требуемое среднее время выполнения i -го ФП;

$C(X(u), Y(u), Z(u))$ — стоимость реализации решений по созданию (развитию) РИУС;

$C_{доп}(u)$ — финансовые ограничения на развитие РИУС;

$T(X(u), Y(u), Z(u))$ — продолжительность выполнения работ по созданию (развитию) РИУС;

$T_{доп}(u)$ — длительность ЭП.

3. Научно-методический аппарат формирования решений по созданию (развитию) РИУС в условиях ресурсных ограничений

3.1. Модели и методы оценки временных и вероятностно-временных характеристик функционирования КСА

Наиболее распространенными и применяемыми на практике для моделирования процессов функционирования РИУС, их подсистем и элементов является следующие типы моделей:

- аналитические модели;
- имитационные (монтекарловские) модели;
- комбинированные аналитико-имитационные модели;
- метамодел;
- полунатурные и натурные модели (модели, основанные на физических принципах функционирования РИУС, их подсистем и элементов).

Для оценки временных и вероятностно-временных характеристик функционирования КСА в интересах решения поставленной задачи разработаны и апробированы как аналитические, так и аналитико-имитационные модели, подробно описанные в трудах авторов [1, 9–10].

3.2. Методы оценки стоимостных и временных параметров разработки КСА

К наиболее часто применяемым в ценообразовании методам оценки затрат на различных этапах жизненного цикла КСА из состава РИУС относятся [15]:

1. Методы экспертной оценки потребительских достоинств образца и предложения на этой основе уровня его цены.
2. Экстраполяционно-статистические методы.
3. Аналого-сопоставительные методы.
4. Нормативные методы.
5. Методы регрессивного анализа.
6. Агрегатные методы.
7. Нормативно-калькуляционные методы.
8. Методы учета показателей освоения.

Целесообразность применения основных методов ценообразования на различных этапах жизненного цикла КСА приведена в табл. 1.

3.3. Общая методика формирования решения

Проведенный анализ алгоритмической сложности решения поставленной задачи показал, что данная задача является NP-трудной [1, 9, 11]. При этом метод полного перебора является наиболее трудоемким точным методом поиска оптимального решения. Применение других, менее трудоемких точных методов (например, метода ветвей и границ) для задач подобного класса позволяет находить решение для больших размерностей, но, как показано в [1, 10, 11], тоже

Таблица 1

Методы расчета цены на различных этапах жизненного цикла КСА

№ п/п	Этап	Что известно об образце	Метод
1	НИР (разработка технического задания на ОКР, аванпроекта, технического предложения)	Примерный технический облик образца	Методы экспертной оценки. Экстраполяционно-статистические методы
2	Эскизный проект	Технические характеристики аналога. Приросты технических характеристик разрабатываемого образца по отношению к аналогу	Аналого-сопоставительные методы. Нормативные методы
3	Технический проект	Основные характеристики образца	Методы регрессивного анализа
4	Изготовление опытного образца, проведение государственных испытаний	Комплектация образца. Стоимость комплектующих	Агрегатные методы. Нормативно-калькуляционные методы
5	Серийные поставки	Стоимость образца. Объем заказа	Методы учета показателей освоения

для весьма ограниченных размерностей исходных данных. В связи с этим рассматривалась возможность применения «жадных» алгоритмов поиска решения, основанных на использовании метода максимального элемента. При этом на каждом шаге алгоритма формируется локально-оптимальное решение в соответствии с выбранным показателем эффективности и заданными ограничениями. Как показано в [1], уже при относительно небольшой погрешности исходных данных, эффективность применения подобного «жадного» алгоритма сходится к эффективности поиска решения с использованием точного метода (метода ветвей и границ или метода полного перебора). Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что на начальном этапе проектирования РИУС, когда исходные данные для решения задач выбора системотехнических решений по созданию (развитию) РИУС определены неточно, для решения поставленной задачи целесообразно использовать комплексный «жадный» алгоритм.

В связи с этим был предложен эвристический алгоритм решения (рис. 2), основанный на итеративно-последовательном формировании решения, начиная с реализации в РИУС наиболее важных ФП.

Рис. 2. Алгоритм решения задачи формирования решения по созданию (развитию) РИУС

Сущность решения задачи (1) с использованием предложенного алгоритма заключается в выполнении следующих действий:

1. Формирование базового варианта решения для каждого ЭП.

1.1. Последовательное рассмотрение всех ФПс в порядке убывания их важности.

1.2. Для выбранной ФПс осуществляется последовательное рассмотрение всех ФПв в порядке убывания их важности.

1.3. Для выбранного ФПв осуществляется последовательное рассмотрение всех ОУ, ФЗ которых входят в рассматриваемый ФПв, в порядке уменьшения суммарной важности ФЗ.

1.4. Для выбранного ОУ осуществляется последовательное рассмотрение всех ЭП.

1.5. Для выбранного ЭП осуществляются:

1.5.1. Оценка полноты реализации всех ФЗ выбранного ФПв. Если реализованы не все ФЗ выбранного ФПв, то осуществляется переход к процедуре создания решения на оснащение ОУ новым КСА на ЭП. Затем осуществляется переход к очередному ЭП (п. 1.5).

1.5.2. Оценка удовлетворения требований к своевременности решения (на основе оценки ВХ и ВВХ) всех ФЗ выбранного ФПв в КСА. Если требования к своевременности выполняются не для всех ФЗ выбранного ФПв, то осуществляется переход к процедуре создания решения на

оснащение ОУ новым КСА на ЭП. Затем осуществляется переход к очередному ЭП (п. 1.5).

1.5.3. Оценка остаточного ресурса КСА на ОУ. Если остаточный ресурс КСА меньше продолжительности ЭП и стоимость продления эксплуатации не превышает остаточный объем финансирования ЭП, то создается решение на продление эксплуатации КСА. Затем осуществляется переход к очередному ЭП (п. 1.5).

1.6. Если рассмотрены все ЭП, то осуществляется переход к очередному ОУ (п. 1.4).

1.7. Если рассмотрены все ОУ, то осуществляется переход к очередному ФПв (п. 1.3).

1.8. Если рассмотрены все ФПв, то осуществляется переход к очередной ФПс (п. 1.2).

1.9. Если рассмотрены все ФПс, то базовый вариант решения сформирован и осуществляется переход к п. 2.

2. Формирование рационального варианта для каждого ЭП.

Выполняются действия по п. 1.1–1.9, при этом все ФПв считаются реализованными, и последовательно (в соответствии со значением параметра важности) рассматриваются ФП не из состава ФПв, задача решается в условиях оставшихся ресурсов.

3.4. Процедура создания решения на оснащение ОУ новым КСА на ЭП

Данная процедура (рис. 3) позволяет для выбранных ОУ и ЭП сформировать решения по разработке и изготовлению КСА для оснащения данного ОУ.

Сущность процедуры заключается в выполнении следующих действий:

1. Из всего множества типов КСА выбираются те, которые предназначены для оснащения ОУ данного типа. Список выбранных типов КСА не упорядочивается.

2. Выбирается очередной тип КСА.

3. Оценивается возможность реализации в КСА всех ФЗ из состава данного ФП для данного типа ОУ. Положительный результат оценки формируется в том случае, если каждая ФЗ входит либо в список реализованных в КСА задач, либо в список новых задач КСА. Отрицательный результат оценки формируется в противном случае. Если результат отрицательный, то осуществляется переход к п. 17.

4. Оценивается состояние разработки КСА («КСА разработан»). Положительный результат оценки формируется в одном из следующих случаев:

а) стадия жизненного цикла КСА равна «серийный»;

б) стадия жизненного цикла КСА равна «разрабатываемый» и запланирована работа по разработке данного КСА с окончанием не позднее окончания данного ЭП.

Отрицательный результат оценки формируется в противном случае. Если результат отрицательный, то осуществляется переход к п. 8.

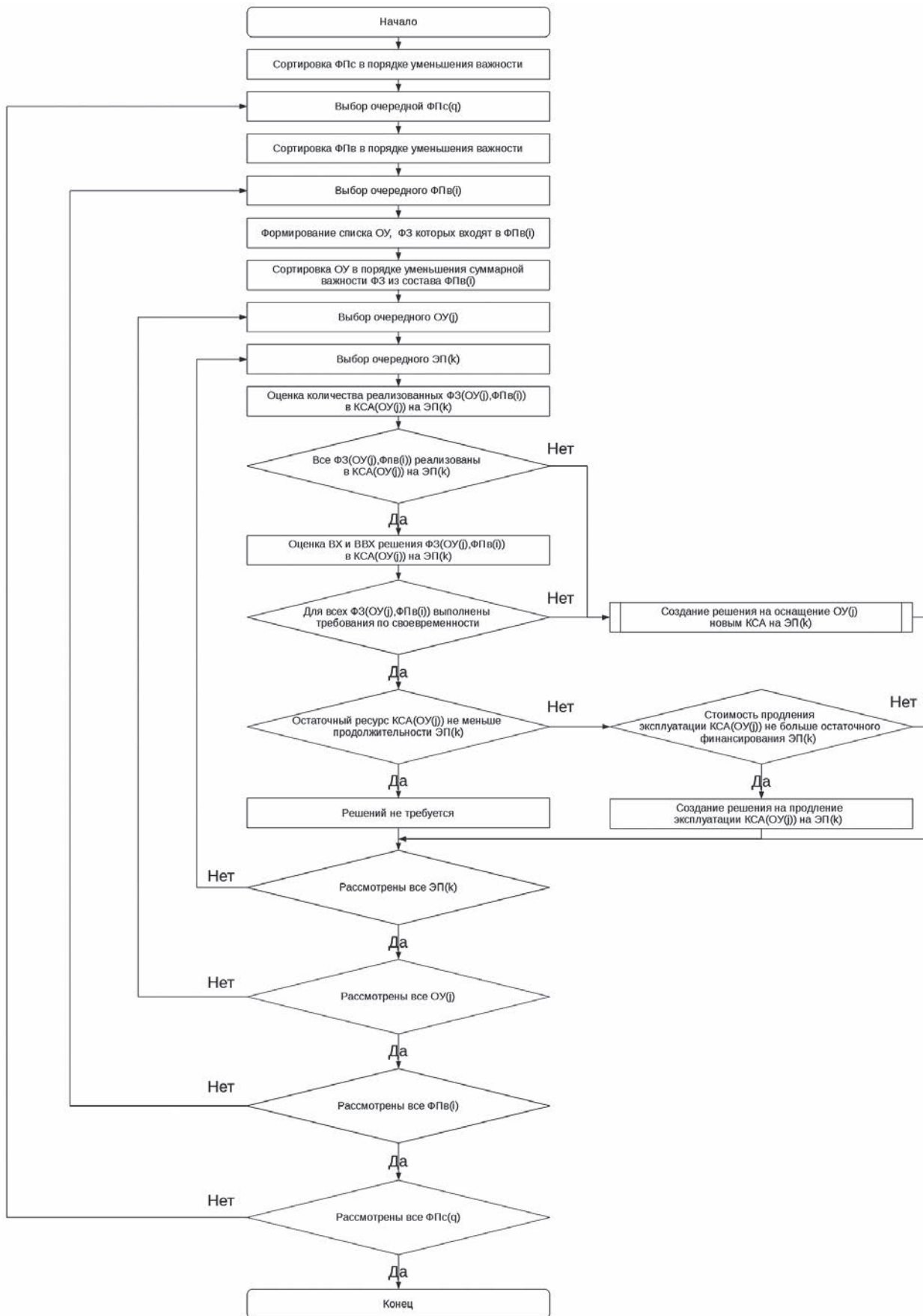


Рис. 2. Алгоритм решения задачи формирования решения по созданию (развитию) РИУС

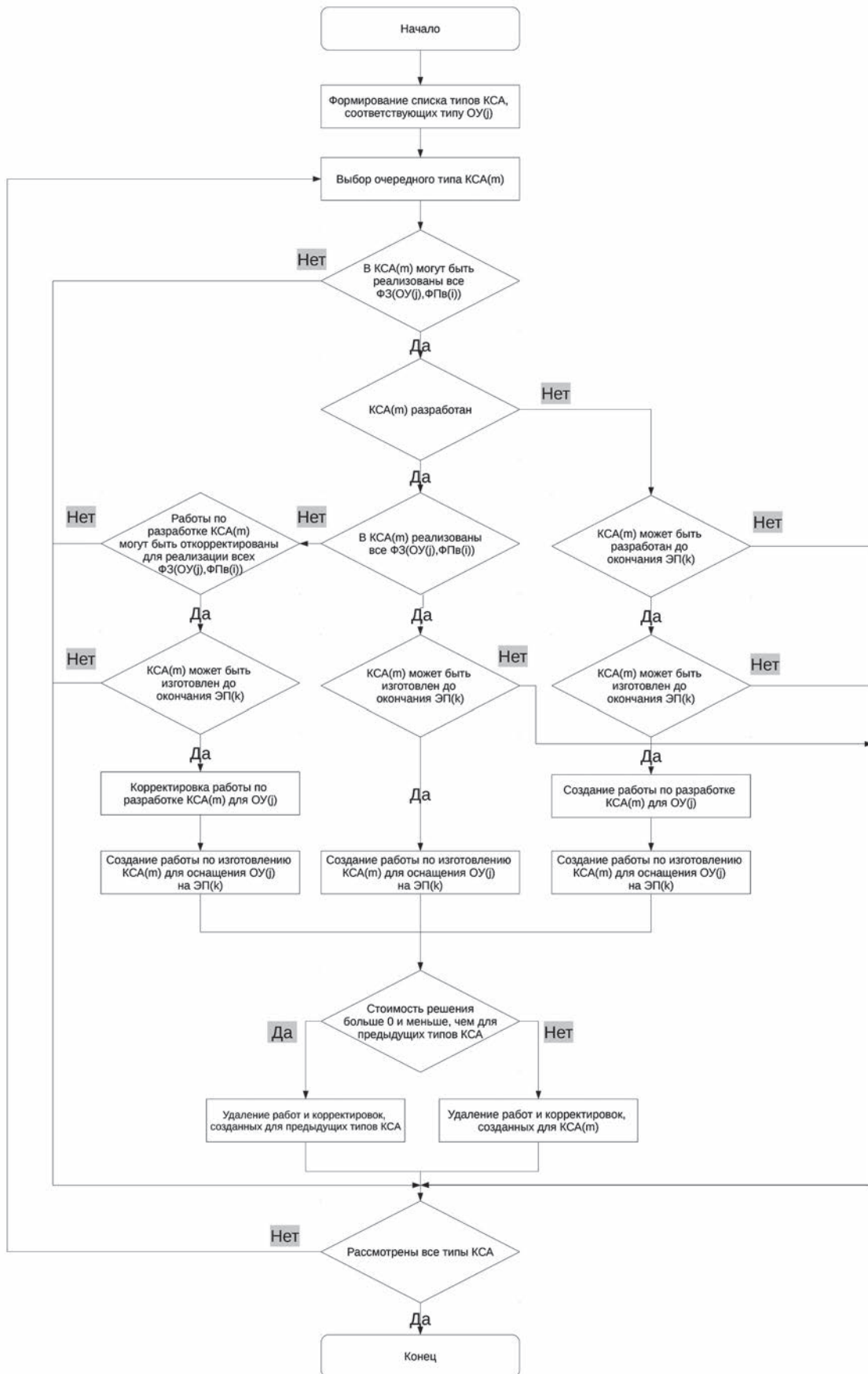


Рис. 3. Процедура создания решения на оснащение ОУ новым КСА на ЭП

5. Оценивается реализованность в КСА всех ФЗ из состава данного ФП для данного типа ОУ. Положительный результат оценки формируется в том случае, если каждая ФЗ входит либо в список реализованных в КСА задач, либо в список реализуемых новых ФЗ соответствующей работы по разработке КСА. Отрицательный результат оценки формируется в противном случае. Если результат отрицательный, то осуществляется переход к п. 12.

6. Оценивается возможность изготовления КСА до окончания данного ЭП. При получении отрицательного результата оценки осуществляется переход к п. 17.

7. Создается работа на изготовление КСА на основе распределения финансирования и временных ресурсов, полученного при оценке в п. 6. Осуществляется переход к п. 16.

8. Оценивается возможность разработки КСА до окончания данного ЭП. При получении отрицательного результата оценки осуществляется переход к п. 17.

9. Оценивается возможность изготовления КСА до окончания данного ЭП. При получении отрицательного результата оценки осуществляется переход к п. 17.

10. Создается работа по разработке КСА на основе распределения финансирования и временных ресурсов, полученного при оценке в п. 5.

11. Создается работа по изготовлению КСА на основе распределения финансирования и временных ресурсов, полученного при оценке в п. 6. Осуществляется переход к п. 16.

12. Оценивается возможность корректировки работ по разработке КСА для реализации всех ФЗ из состава данного ФП. При получении отрицательного результата оценки осуществляется переход к п. 17.

13. Оценивается возможность изготовления КСА до окончания данного ЭП. При получении отрицательного результата оценки осуществляется переход к п. 17.

14. Корректируется работа по разработке КСА на основе распределения финансирования и временных ресурсов, полученного при оценке в п. 12.

15. Создается работа по изготовлению КСА на основе распределения финансирования и временных ресурсов, полученного при оценке в п. 13. Осуществляется переход к п. 16.

16. Если стоимость созданных работ по изготовлению (корректировок работ) и разработке данного типа КСА больше нуля и меньше, чем стоимость созданных работ по изготовлению (корректировок работ) и разработке ранее рассмотренных типов КСА, то созданные работы по изготовлению (корректировки работ) и разработке ранее рассмотренных типов КСА удаляются. В противном случае

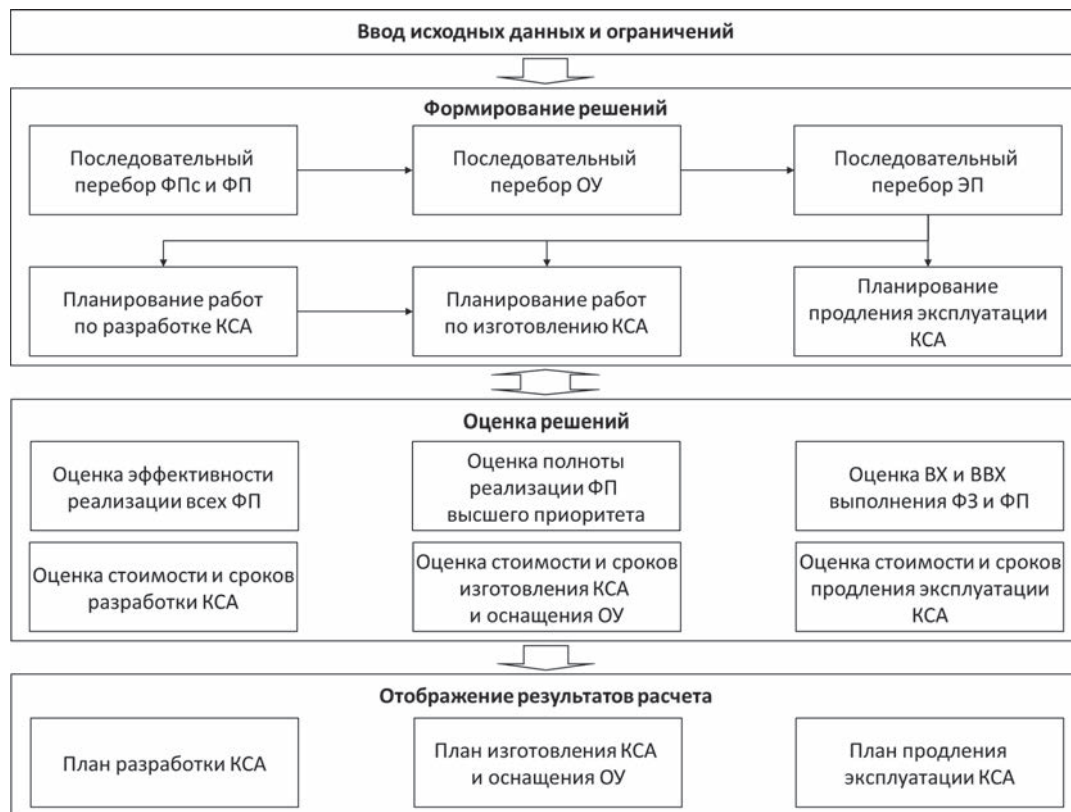


Рис. 4. Обобщенная схема решения задачи формирования решений по развитию РИУС с использованием автоматизированной системы поддержке принятия решений

удаляются работы по изготовлению (корректировок работ) и разработке данного типа КСА.

17. Если рассмотрены не все типы КСА, то осуществляется переход к п. 2.

18. Конец выполнения процедуры.

Для решения поставленной задачи с использованием вышеописанного научно-методического аппарата в настоящее время разрабатывается автоматизированная система поддержки принятия решений, что позволит упростить процедуры задания исходных данных, проведения расчетов и отображения результатов решения.

Обобщенная схема решения поставленной задачи с использованием предлагаемой автоматизированной системы поддержки принятия решений представлена на рис. 4.

Заключение

Таким образом, в настоящей статье рассмотрены постановка задачи формирования решений по созданию (развитию) РИУС, предложены научно-методический аппарат ее решения и последовательность его применения в составе разрабатываемой автоматизированной системы поддержки принятия решений.

Литература

1. *Лясковский В. Л.* Системотехнические основы автоматизации процессов обработки информации и управления в иерархических системах военного назначения. Тверь: ВА ВКО, 2014. 244 с.

2. *Бушуев С. Н., Осадчий А. С., Фролов В. М.* Теоретические основы создания информационно-технических систем. СПб.: ВАС, 1998. 382 с.

3. *Шнак В. Ф., Директоров Н. Ф., Мирошников В. И., Навойцев С. П., Наумов В. Н., Серегин А. В., Синецук Ю. И., Туровский О. М.* Информационные технологии в системе управления ВМФ. СПб.: Элмор, 2005. 832 с.

4. *Лунаев В. В.* Системное проектирование сложных программных средств для информационных систем. М: СИНТЕГ, 2002. 268 с.

5. *Бородакий Ю. В., Боговик А. В., Курносов В. И., Лободинский Ю. Г., Масановец В. В., Паращук И. Б.* Основы теории управления в системах специального назначения /

Под общей ред. Ю. В. Бородакий, В. В. Масановец. М.: Управление делами Президента Российской Федерации, 2008. 400 с.

6. *Khan K. M., Zhang Y.* Managing Corporate Information Systems Evolution and Maintenance. Idea Group Inc., 2005. 376 p.

7. *Буренок М. В., Ляпунов В. М., Мудров В. И.* Теория и практика планирования и управления развитием вооружения / Под ред. А. М. Московского. М.: Вооружение, политика, конверсия, 2004. 418 с.

8. *Буренок В. М., Ивлев А. А., Корчак В. Ю.* Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. М.: Граница, 2007. 408 с.

9. *Пильщиков Д. Е.* Методы и методики создания перспективных КСА для пунктов (органов) управления ВВС на основе применения типовых проектных решений и процедур. Тверь: ВА ВКО, 2005. 200 с.

10. *Лясковский В. Л.* Методологические основы создания (развития) и оснащения иерархических автоматизированных систем специального назначения. Тверь: ВА ВКО, 2010. 284 с.

11. *Лясковский В. Л., Бреслер И. Б., Алашеев М. А.* Постановка задачи формирования направлений развития автоматизированных систем организационного типа и алгоритм ее решения // Программные продукты и системы. 2017. № 2. С. 165–171.

12. *Арепин Ю. И., Допира Р. В., Смоляков А. А.* Военная кибернетика: Методология создания автоматизированных систем управления техническим обеспечением. Тверь: НИИ ЦПС, 2006. 203 с.

13. *Krogstie J.* Model-Based Development and Evolution of Information Systems: A Quality Approach. London: Springer Science & Business Media, 2012. 442 p.

14. *Gorla N., Somers T. M., Wong B.* Organizational impact of system quality, information quality and service quality // Journal of Strategic Information Systems. 2010. No. 19 (3). Pp. 207–228.

15. *Лунаев В. В.* Техничко-экономическое обоснование проектов сложных программных средств. М.: СИНТЕГ, 2004. 284 с.

THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF ORGANIZATIONAL DISTRIBUTED INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS

VICTOR L. LJASKOVSKIJ,
Tver, Russia, niit@niit.tver.ru

IGOR B. BRESLER,
Tver, Russia, niit@niit.tver.ru

MIHAIL A. ALASHEEV,
Tver, Russia, niit@niit.tver.ru

KEYWORDS: automated system; design of control systems; a complex of means of automation; distributed information-control system; life cycle of control systems.

ABSTRACT

The work describes the results of research aimed at developing a methodical apparatus and improving software and tools for substantiating solutions for the creation (development) of distributed information-control systems of an organizational type. The structure of distributed information-control systems of the organizational type is considered, in which the typical elements of the system are singled out. The structuring of the initial data is done, a verbal and formalized statement of the problem of justifying solutions for the creation (development) of distributed information-control systems is proposed, and the structure of the solution is described. The essence of the task is to choose such solutions for the creation (development) of the systems that will ensure the maximization of the efficiency of the functional processes implemented in the system, with the mandatory implementation of the highest priority functional processes, the achievement of specified maximum permissible time and probabilistic time characteristics of the performance of functional processes, as well as the implementation of restrictions on the time and cost parameters of the process of creating (developing). The analysis of the algorithmic complexity of the solution of the problem posed showed that this problem is NP-hard. In this connection, the possibility of using approximate methods of finding solutions has been studied and confirmed. On the basis of these methods, the methodological apparatus for the formation of solutions for the creation (development) of distributed information-control systems in the conditions of resource constraints is proposed, including a number of models, methods of algorithms and procedures. This methodical device is proposed to be implemented in an automated decision support system that allows to find for the solution of the task with the use of computer facilities and significantly reduce the labor costs for the search for such a solution.

REFERENCES

1. Ljaskovskij V.L. *Sistemotekhnicheskie osnovy avtomatizacii processov obrabotki informacii i upravlenija v ierarhicheskikh sistemah voennogo naznachenija* [System Integrators basics of automation of information processing and management in hierarchical systems for military use]. Tver: Voennaya akademiya vozdušno-kosmičeskoj oborony, 2014. 244 p. (In Russian)
2. Bushuev S.N., Osadchij A.S., Frolov V.M. *Teoreticheskie osnovy sozdanija informacionno-tehnicheskikh sistem* [Theoretical basics of information technology systems]. St. Petersburg: Voennaya akademiya svyazi, 1998. 382 p. (In Russian)
3. Shpak V.F., Direktorov N.F., Miroshnikov V.I., Navoytsev S.P., Naumov V.N., Seregin A.V., Sineshchuk Yu.I., Turovskiy O.M. *Informacionnye tehnologii v sisteme upravlenija VMF* [Information technologies in a Navy control system]. St. Petersburg: Elmor, 2005. 832 p. (In Russian)
4. Lipaev V.V. *Sistemnoe proektirovanie slozhnykh programmykh sredstv dlja informacionnykh sistem* [System development of complex software for information systems]. Moscow: SINTEG, 2002. 268 p. (In Russian)
5. Borodakij Ju.V., Bogovik A.V., Kurnosov V.I., Lobodinckiy Yu.G., Masanovets V.V., Parashchuk I.B. *Osnovy teorii upravlenija v sistemah special'nogo naznachenija* [Fundamentals of control theory in the special-purpose systems]. Moscow: 2008. 400 p. (In Russian)
6. Khan K.M., Zhang Y. *Managing Corporate Information Systems Evolution and Maintenance*. Idea Group Inc (IGI), 2005. 376 p.
7. Burenok M.V., Ljapunov V.M., Mudrov V.I. *Teorija i praktika planirovanija i upravlenija razvitiem vooruzhenija* [Theory and practice of planning and managing of weapons development]. Moscow: Vooruzhenie, politika, konversija, 2004. 418 p. (In Russian)

8. Burenok V.M., Ivlev A.A., Korchak V. Ju. *Programmno-celevoe planirovanie i upravlenie sozdaniem nauchno-tehnicheskogo zadela dlja perspektivnogo i netradicionnogo vooruzhenija* [Programme-oriented planning and management of the establishment of the scientific and technical basis for the long-term and non-conventional weapons]. Moscow: Granits, 2007. 408 p. (In Russian)

9. Pilshnikov D.E. *Metody i metodiki sozdaniya perspektivnyh KSA dlja punktov (organov) upravlenija VVS na osnove primeneniya tipovyh proektnykh reshenij i procedur* [Methods and techniques for the development of advanced Air Force complex automation equipment on the basis of standard design solutions and procedures]. Tver: Voennaya akademiya vozdušno-kosmicheskoy oborony, 2005. 200 p. (In Russian)

10. Ljaskovskij V.L. *Metodologicheskie osnovy sozdaniya (razvitija) i osnashhenija ierarhicheskikh avtomatizirovannykh sistem specialnogo naznachenija* [Methodological bases of creation (development) and equipment of the hierarchical special purpose automated systems]. Tver: Voennaya akademiya vozdušno-kosmicheskoy oborony, 2010. 284 p. (In Russian)

11. Ljaskovskij V.L., Bresler I.B., Alasheev M.A. *Postanovka zadachi formirovaniya napravleniy razvitija avtomatizirovannykh sistem organizacionnogo tipa I algoritm eje reshenija* [Statement of the problem of formation of directions of development of the automated systems of organizational type and the algorithm of its solution]. *Programmnye produkty i sistemy*

[Software & Systems]. 2017. No. 2. Pp. 165-171. (In Russian)

12. Arepin Ju.I., Dopira R.V., Smoljakov A.A. *Voennaja kibernetika: Metodologija sozdaniya avtomatizirovannykh sistem upravlenija tehničeskim obespečenijem* [Military cybernetics: Methodology of creation of automated technical support control systems]. Tver: Nauchno-issledovatel'skiy institut Tsentrogrammsistem, 2006. 203 p. (In Russian)

13. Krogstie J. *Model-Based Development and Evolution of Information Systems: A Quality Approach*. Springer Science & Business Media, 2012. 442 p.

14. Gorla N., Somers T.M., Wong B. *Organizational impact of system quality, information quality, and service quality*. *Journal of Strategic Information Systems*. 2010. No. 19 (3). Pp. 207-228.

15. Lipaev V.V. *Tehniko-jekonomicheskoe obosnovanie proektov slozhnykh programmnykh sredstv* [Feasibility study of complex software projects]. Moscow: SINTEG, 2004. 284 p. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Ljaskovskij V.L., PhD, Professor, CEO's Councilor for Research and Innovation of Research Institute of Information Technologies.

Bresler I.B., PhD, Associate Professor, CEO of Research Institute of Information Technologies.

Alasheev M.A., PhD, Specialist of Scientific Coordination Department of Research Institute of Information Technologies.

FOR CITATION: Ljaskovskij V.L., Bresler I.B., Alasheev M.A. The decision support system for the design and development of organizational distributed information and control systems. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 61-72. (In Russian)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ АДАПТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ

КАФЛАНОВ
Рустам Ильясович¹

ОРКИН
Вадим Витальевич²

Сведения об авторах:

¹курсант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, kaflanfromk@gmail.com

²адъюнкт кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, orc225@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В работе проанализировано возможное применение интеллектуальной системы в качестве решателя при управлении функционированием информационной системы. Одной из задач управления информационными системами является обеспечение направления заявок на предоставление информационных услуг к серверам с определёнными показателями качества обслуживания. Существует множество методов, которые возможно применять в системах управления информационными системами для формирования плана распределения, в котором определяется приоритетность выбора направлений для каждого конкретного класса заявок на предоставление информационных услуг. Однако складывается ситуация, что применение какого-либо одного метода недостаточно из-за того, что система может находиться в различных условиях, в том числе в условиях возмущений. Следовательно, необходимо адаптивное управление информационной системой, заключающееся в оперативном изменении плана распределения. Принятие решения по применению конкретной процедуры управления параметрами, характеризующими функционирование информационной системы, является сложной задачей и ясно, что она должна решаться без оператора. Предлагается использовать интеллектуальную систему для оперативного выбора процедур управления при различных состояниях информационной системы. В качестве интеллектуальной системы выступает искусственная нейронная сеть. Проведено множество исследований, которые свидетельствуют о том, что искусственные нейронные сети хорошо зарекомендовали себя в системах поддержки принятия решений и в комплексах средств автоматизации. К повсеместному внедрению искусственных нейронных сетей ведёт глобальная автоматизация технологий, используемых в сложных технических системах. Интеллектуальные системы обучаются на примерах, благодаря чему могут использоваться при решении задач, в которых неизвестны алгоритмы решения. В данной работе рассматриваются методы и алгоритмы в интеллектуальных системах в отношении их применимости для реализации функции выбора процедуры управления параметрами, характеризующими функционирование информационной системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: информационная система; искусственная нейронная сеть; интеллектуальная система; распределение заявок; автоматизированная система управления.

Для цитирования: Кафланов Р. И., Оркин В. В. Использование интеллектуальной системы при адаптивном управлении информационными потоками // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 73-79.

Введение

Сложно представить себе организационно-техническую систему, не обладающую информационной инфраструктурой либо не использующую информационные технологии. В связи с этим необходима разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений, прогнозирования и оценивания, приспособляющихся к различным условиям. Важным является также развитие систем управления в информационных системах для повышения их эффективности. Эффективность информационной системы определяется своевременностью предоставления должностным лицам органов управления сложными организационно-техническими системами требуемой информации. Соответственно, в сложных условиях (в условиях возмущений) возникает проблема направления потоков заявок на предоставления информационных услуг к серверам с требуемым качеством обслуживания. Применение статического плана распределения не отвечает требованиям по качеству обслуживания заявок. В методах с изменением таблиц маршрутизации (планов управления) прослеживается низкая адаптивность к изменениям внешней среды. Требуется при рассмотрении вариантов разрешения данной проблемной ситуации проанализировать возможность применения искусственных нейронных сетей. Искусственные нейронные сети (ИНС) возможно использовать при выполнении разных задач. Они основываются на предположении о работе нейронов низшего уровня в мозге, но непосредственного отношения к нему не имеют. ИНС позаимствовали только структуру и параллелизм работы мозга. 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 (желаемого результата). Под целевые значения или желаемый результат подгоняются входные значения — это процедура называется «обучением с учителем». Цель обучения ИНС — последующее выполнение задач в системе управления информационной системой.

Постановка задачи

В работе в качестве интеллектуальной системы, реализующей функции управления информационной системой при формировании плана распределения информационных потоков предполагается использование ИНС.

Нейронные сети представляют собой классическую технологию, основанную на примерах [1–2]. Вид нейронной сети зависит от поставленной задачи, разбиение обучающих данных также играет роль в продуктивности сети и влияет на некоторые аспекты, например, на способ

накопления ошибок, оказывает прямое влияние на количество входов и выходов нейронной сети. Задача данной работы — показать и обосновать возможность применения нейронной сети конкретного вида в работе системы управления информационной системой.

Дано:

$Serv_{IP} = \{serv_1, serv_2, \dots\}$ — множество параметров, характеризующих производительность серверов информационной системы;

S_{IP} — состояние информационной системы, характеризующееся для данной задачи следующими важными параметрами:

T_{jk} — время обслуживания заявки j -го типа на k -м узле предоставления услуг.

q_k — длина очереди к k -му узлу предоставления услуг.

$M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}, k = \overline{1, r}$ — множество узлов предоставления услуг;

$B = \{b_1, b_2, \dots, b_j\}, j = \overline{1, n}$ — множество запрашиваемых классов информационных услуг;

$Z = \langle L, R \rangle$ — возмущающие параметры (внешние и внутренние воздействия на информационную систему), где:

$L = \{l_1, l_2, \dots\}$ — множество параметров, характеризующих загрузку направлений получения информационных услуг;

$R = \{I_{KA}, I_{fl}, I_{RV}\}$ — множество параметров, характеризующих интенсивность воздействий на информационную систему (кибератаки на программно-аппаратные средства, естественные и преднамеренные помехи, отказы технических средств, деструктивные воздействия противника);

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i\}$ — множество вариантов построения (типов) искусственной нейронной сети;

Найти:

$$v_i : S(t + \Delta t) = S_j \mid T_{jk} < T_{jk}^{nr} \cap q_k < q_k^{nr}, l = \overline{1, h},$$

где S_1 — конкретное состояние информационной системы, h — число состояний информационной системы,

T_{jk}^{nr} — требуемое (максимально допустимое) время обслуживания заявки на предоставление услуги типа j на узле k ,

q_k^{nr} — максимально допустимая длина очереди к k -му узлу предоставления услуг.

Рассмотрение возможности применения искусственной нейронной сети при адаптивном управлении информационными потоками.

Нейронные сети обладают способностью обучаться на примере ситуаций (прецедентов), в дальнейшем определяя черты происходивших ранее ситуаций, сопоставляя состояние в настоящем времени с состояниями в прошлом. В случае отсутствия типовых алгоритмов решения задач в качестве интеллектуальной системы управления можно использовать ИНС.

Примем за исходные условия, что планируемая к изменению в управлении информационной системой ИНС состоит из трех слоев. Во входной слой будет поступать массив данных, характеризующих состояние информационной системы, полученных в результате мониторинга узлов предоставления услуг (время обслуживания конкретных классов заявок на предоставление информации, загрузка каналов, наличие очередей к серверам) в режиме онлайн. Далее массив данных, характеризующих состояние системы, поступает в скрытый слой, где происходит их обработка посредством суммирования, после чего обработанная информация поступает в выходной слой, где через функцию активации результат нормируется. Затем выдается управляющий сигнал, воздействующий на распределение информационных потоков. Будет изменяться план распределения заявок (1) на i -м узле-потребителе информационных услуг путем коррекции на определённую величину значения вероятности направления заявки определённого класса к определённому узлу предоставления информационных услуг. Представление плана распределения заявок в информационной системе в виде вероятностной матрицы (1) является новым подходом к выбору приоритетного направления для передачи заявки. Заявка передаётся к узлу предоставления услуг (серверу), вероятность своевременного обслуживания на котором выше.

$$\Pi^i = \begin{pmatrix} P_{11}^i & P_{12}^i & \dots & P_{1r}^i \\ P_{21}^i & P_{22}^i & \dots & P_{2r}^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1}^i & P_{n2}^i & \dots & P_{nr}^i \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Каждая j -я строка матрицы, соответствующая j -му классу предоставляемых в информационной системе услуг, представляет собой вектор $A_j^i = (P_{j1}^i, P_{j2}^i, \dots, P_{jk}^i, \dots, P_{jr}^i)$, где P_{jk}^i — вероятность обращения к k -му узлу предоставления услуг, $k = 1, r; j = 1, n$, где:

n — число классов предоставляемых системой услуг;

r — число узлов предоставления услуг.

Вектор задаётся исходя из правила

$$A_j^i = (P_{j1}^i, P_{j2}^i, \dots, P_{jk}^i, \dots, P_{jr}^i), \sum_{k=1}^r P_{jk}^i = 1. \quad (2)$$

По своей структуре нейронная сеть, исследуемая в данной работе, является сетью прямого распространения; в ней сигналы распространяются от входного слоя к выходному в одном направлении и граф, визуализирующий такую структуру, не имеет циклов и петель.

ИНС имеют ряд особенностей, которые делают их хорошим инструментом для создания систем управления: способностью к обучению по прецедентам и способностью обобщать данные. Они способны адаптироваться

к изменению свойств информационной системы и к изменениям внешней среды.

Как правило, потоки заявок в информационной системе неравномерны и изменяются в зависимости от оперативной обстановки. Традиционные контроллеры в системах управления информационными системами используют данные блока мониторинга системы обслуживания заявок, формирующего данные о результатах работы серверов. Традиционные контроллеры периодически вносят изменения в план путём его нормирования в соответствии с полученными данными. По результатам, полученным блоком мониторинга системы обслуживания заявок, контроллеры осуществляют сравнение значений качества обслуживания заявок с требуемыми, вычисляют отклонения и при необходимости осуществляют принудительное «штрафование» направления, по которому сервер прекратил обслуживание либо резко снизил качество обслуживания. Вероятность выбора этого направления существенно снижается (изменяются значения вероятностной матрицы (1)) и это направление не будет выбрано для передачи заявки на получение информации.

Рассмотрим возможность применения схемы работы нейросети с использованием традиционных контроллеров, которая называется гибридной схемой.

Ключевой особенностью ИНС с гибридной схемой является то, что она способна решать задачу при частичном или полном незнании правил решения, основываясь лишь на собственном опыте, качество которого зависит в том числе и от формирования обучающей выборки. Обычно в таком случае используется схема обучения с «учителем» с применением метода обратного распространения ошибки. Приводим алгоритм метода.

Шаг 1. Веса сети $w(k)$ задаются случайными числами.

Шаг 2. Очередной прецедент (пример) x поступает на вход ИНС.

Шаг 3. Вычисляется выходное значение u для каждого нейрона.

Шаг 4. При несовпадении результата с эталонным необходимо изменять веса w_i и снова подать рассматриваемый входной вектор x на вход сети (шаг 2). Перейти на шаг 3. Если приемлемая точность не достигнута, вернуться на шаг 2.

Шаг 5. При совпадении выходного значения с эталонным сеть считается обученной.

Суть метода обратного распространения ошибки заключается в том, что на основании обучающей выборки формируется значение ошибки, которое затем направляется в обратном направлении к нейронам для корректировки их весовых значений.

Для формирования обучающей выборки будет использоваться технология подражающего нейроуправления, где помимо самой нейросети будет также использоваться обычный контроллер (рис. 1), который, работая по заранее разра-

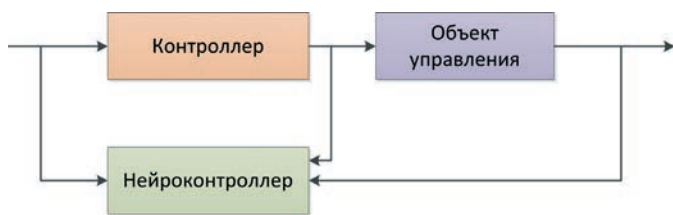


Рис. 1. Схема обучения нейроконтроллера в гибридной схеме

ботанным алгоритмам управления распределением информационных потоков в сети, будет формировать обучающую выборку для обучения нейросети (эталонные значения y). После обучения, нейросеть начинает самостоятельно управлять распределением информационных потоков, выполняя функции традиционного контроллера. Недостатком такой организации управления является то, что такой нейроконтроллер не способен управлять лучше, чем традиционный контроллер. Поэтому такой способ применяется в основном для обучения нейроконтроллера с обязательным привлечением других элементов и способов обучения.

Данный недостаток устраняется при обобщенном инверсном нейроуправлении (ОИНУ). Данный вид управления с помощью ИНС предусматривает обучение нейросети не в режиме реальной работы, а в режиме подготовки к ней, принимая во внимание имеющиеся прецеденты и поведение информационной системы в различных состояниях и в различных условиях. Прецеденты и образцы поведения образуются в результате подачи управляющего сигнала на информационную систему в виде некоторого случайного процесса. Значения и компоненты вектора данного процесса и значения на выходе системы заносятся в протоколы. На основе протоколов формируется информация для обучения ИНС. На этапе обучения ИНС должна выявить и «внести в память» зависимость между входными и выходными значениями, а также состоянием системы.

В процессе обучения ИНС предлагается использовать обратную связь, благодаря которой ошибка (дельта между желаемым и имеющимся значениями выходной функции) распространяется в обратном направлении. ИНС с использованием такой технологии носит название «инверсного нейроэмулятора». В ходе управления информационной системой инверсный нейроэмулятор подключается как традиционный контроллер замкнутым или разомкнутым способами. При замкнутом способе в ИНС подается уставка (её значения) и данные о состоянии информационной системы, поступающие по обратной связи. Данная связь имеет стабилизирующую роль. В случае использования ИНС, подключенной замкнутым способом, можно достичь высокой эффективности управления информационной системой.

Разомкнутый способ заключается в подаче на вход ИНС только значений уставки. Данные значения поступа-

ют с задержкой. Полагается, что сформированная при обучении модель с применением ОИНУ адекватная, значит управляющий сигнал, поступающий от ИНС, обеспечит состояние информационной системы, которое задавали уставкой. Поскольку в ИНС не поступает информация о текущем состоянии информационной системы, а её анализ требует затраты ресурсов (прежде всего времени), схема ОИНУ разомкнутого типа имеет большую оперативность. Но без обратной связи результативность управления низка.

При ОИНУ в ИНС отсутствует необходимость в наличии точной модели информационной системы, которой ИНС управляет. Данное преимущество важно для распределённых информационных систем, потому что построение их точных моделей иногда просто невозможно. Недостатком является высокая сложность мероприятий по накоплению информации для обучения ИНС, так как необходимо тщательно подбирать процесс, подаваемый в систему. Также недостатком является возможность завестись в тупик процесс обучения ИНС благодаря неоднозначности выборки и противоречивости примеров для обучения.

Каждый из подходов к построению схемы интеллектуальной системы с использованием ИНС имеет свои недостатки. Недостаток подражающего нейроуправления заключается в том, что нейроконтроллер не превзойдет по эффективности традиционный контроллер, в то время как при обобщенном инверсном нейроуправлении нейроконтроллер способен намного эффективнее производить процесс управления за счет наличия обратной связи. Но недостатком схемы обобщенного нейроуправления является сложность формирования обучающей выборки. Данный недостаток отсутствует в схеме подражающего нейроуправления, так как нет необходимости подбирать обучающую выборку, ввиду того, что нейроконтроллер учится у традиционного контроллера в режиме онлайн. Традиционный контроллер по заданному алгоритму производит обработку входных данных и выдает соответствующие результаты. Набор входных и полученных традиционным контроллером выходных данных можно использовать в качестве эталонной модели для обучающегося нейроконтроллера, и чем дольше будет продолжаться процесс обучения, тем более точным образом результат, получаемый



Рис. 2. Обучение нейроконтроллера в схеме обобщенного инверсного управления

нейроконтроллером, будет соответствовать результатам получаемым обычным контроллером.

Из всего выше сказанного следует, что необходимо обучить нейросеть по схеме подражающего нейроуправления, а непосредственно в процессе функционирования информационной системы управление производить по схеме обобщенного инверсного нейроуправления. Таким образом, мы сможем избежать недостатков обеих схем и воспользоваться их достоинствами, что в результате приведет к высокоэффективному распределению информационных потоков.

Заключение

В данной работе показана возможность применения нейронной сети в качестве интеллектуальной системы управления потоками информации. Наряду с нейронной сетью предлагается использовать блок управления (контроллер), сократив его функции до минимума, а именно:

- пересчет элементов в плане распределения заявок;
- использование возможности повторной передачи при кратковременной недоступности информационного направления с более высоким качеством обслуживания.

Система управления получает возможность решать задачи, в которых неизвестны закономерности развития ситуации в информационной системе, сохранить требуемое качество обслуживания в условиях возмущений.

Работы в области интеллектуальных систем приобретают всё большую актуальность. Применение данных систем в информационном обеспечении представляет интерес для дальнейших исследований. Планируется разработка модели интеллектуальной системы и алгоритма её работы по распределению информационных потоков [3-15].

Литература

1. Тимофеева О. П., Палицына С. С. Обучение нейронной сети интеллектуальной системы управления городскими светофорами // Труды НГТУ. 2016. № 1. С. 25–31.
2. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. М.: Радиотехника, 2001. 256 с.
3. Легков К. Е., Емельянов А. В. Подход к формализации описания подсистемы мониторинга автоматизированной системы управления инфокоммуникациями // Навигация и гидрография. 2017. № 48. С. 27–34.
4. Легков К. Е., Буренин А. Н. Вопросы обеспечения эффективного и устойчивого функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами в условиях существенных деструктивных изменений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 7–8. С. 275–285.

5. Легков К. Е., Буренин А. Н., Емельянов А. В. Основные показатели качества функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами // Информатика и космос. 2017. № 2. С. 58–64.

6. Легков К. Е. Модели информационных подсистем автоматизированной системы управления сложными объектами // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 5. С. 33–44.

7. Оркин В. В., Легков К. Е., Буренин А. Н. Постановка задачи управления функционированием информационной системы // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействию терроризму. 2017. № 7–8 (109–110). С. 36–39.

8. Легков К. Е., Буренин А. Н. Вопросы организации эффективного функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействию терроризму. 2017. № 9–10 (111–112). С. 8–12.

9. Буренин А. Н., Легков К. Е. Методический подход к формализации описания функционирования архитектурных уровней инфокоммуникационных сетей специального назначения // Электросвязь. 2016. № 3. С. 37–40.

10. Буренин А. Н., Легков К. Е. Основные методические подходы к формализации управления инфокоммуникационными сетями специального назначения // Инфокоммуникационные технологии. 2016. Т. 14. № 2. С. 137–142.

11. Легков К. Е., Буренин А. Н., Емельянов А. В., Оркин В. В. Вопросы системного анализа архитектур систем управления информационными системами и сетями специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 12. С. 65–70.

12. Буренин А. Н., Легков К. Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления: монография. М.: Медиа-Паблицер, 2015. 348 с.

13. Буренин А. Н., Легков К. Е., Боговик А. В. Моделирование процедур поддержки процессов организационного управления системами специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 4. С. 58–62.

14. Легков К. Е., Буренин А. Н. Организация оперативного управления инфокоммуникационными сетями специального назначения в условиях интенсивных воздействий // Электросвязь. 2015. № 7. С. 29–33.

15. Легков К. Е. Управление сетями инфокоммуникационных систем специального назначения // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. № 10. С. 210–214.

INTELLIGENT SYSTEM USING IN ADAPTIVE CONTROL OF INFORMATION FLOWS

RUSTAM I. KAFLANOV,

St. Petersburg, Russia, orc225@mail.ru

VADIM V. ORKIN,

St. Petersburg, Russia, orc225@mail.ru

KEYWORDS: information system; artificial neural network; intellectual system; distribution of applications; automated control system.

ABSTRACT

In this paper we analyzed the possible application of an intelligent system as a solver in the of the information system functioning control. One of the tasks of information systems control is to ensure that requests for information services are sent to servers with certain quality of service indicators. There are many methods that can be used in information systems control systems to form a distribution plan, which determines the priority of choosing the directions for each particular class of requests. However, the situation develops that the use of any one method is not enough due to the fact that the system can be in different conditions, including perturbation conditions. Therefore adaptive control in the information system is very important. It consists in promptly changing the control plan. The decision to apply a particular procedure of control of parameters that characterize the functioning of the information system is a complex task and it is clear that this task should be solved without an operator. It is proposed to use an intelligent system to make an operational choice of management procedures for various states of the system. In this capacity, an artificial neural network can act. Numerous studies in this area show that artificial neural networks are good in decision support systems and in automation systems. The introduction of artificial neural networks requires global automation of processes used in complex technical systems. Intellectual systems have the ability to learn by examples, so they are used in solving problems in which solution algorithms are unknown. In this article, we will consider the algorithms and methods of artificial neural networks with respect to their applicability for implementing the function of selecting a procedure of control the parameters that characterize the functioning of the information system.

REFERENCES

1. Timofeyeva O.P., Palitsyna S.S. Obucheniye neyronnoy seti intellektual'noy sistemy upravleniya gorodskimi svetoforami [Training of a neural network of an intelligent urban traffic light control system]. *Proceedings of Nizhny Novgorod State*

Technical University. R.E. Alekseeva, 2016. No. 1. Pp. 25-31. (In Russian).

2. Golovko V.A. *Neyronnye seti: obucheniye, organizatsiya i primeneniye* [Neural networks: training, organization and application]. Moscow: Radiotekhnika, 2001. 256 p. (In Russian)

3. Legkov K.E., Emelyanov V.A. Podhod k formalizatsii opisaniya podsistemy monitoringa avtomatizirovannoy sistemy upravleniya infokommunikatsiyami [An approach to formalization of the description of the monitoring subsystem of the automated control system communications]. *Navigatsiya i gidrografiya* [Navigation and hydrography]. 2017. No. 48. Pp. 27-34. (In Russian)

4. Legkov K.E., Burenin A.N. Voprosy obespecheniya ehffektivnogo i ustojchivogo funkcionirovaniya informatsionnyh podsistem avtomatizirovannykh sistem upravleniya slozhnymi organizatsionno-tekhnicheskimi ob"ektami v usloviyah sushchestvennykh destruktivnykh izmenenij [The efficient and sustainable functioning of information subsystems of automated control systems of complex technical objects under conditions of significant destructive changes]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Tula state University. Technical science]. 2017. No. 7-8. Pp. 275-285. (In Russian)

5. Legkov K.E., Burenin A.N., Emelyanov A.V. Osnovnye pokazateli kachestva funkcionirovaniya informatsionnyh podsistem avtomatizirovannykh sistem upravleniya slozhnymi organizatsionno-tekhnicheskimi ob"ektami [The main indicators of quality of functioning of information subsystems of automated control systems of complex technical objects]. *Informatsiya i kosmos* [Information and space]. 2017. No. 2. Pp. 58-64. (In Russian)

6. Legkov K.E. Model of information subsystems of the automated control system of complex objects. *T-Comm*. 2017. Vol. 11. No. 5. Pp. 33-44. (In Russian)

7. Orkin V.V., Legkov K.E., Burenin A.N. Postanovka zadachi upravleniya funkcionirovaniem informatsionnoy sistemy [Statement of the problem performance management information system]. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16. Tekh-*

nicheskie sredstva protivodejstviyu terrorizmu [Questions of defense equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism]. 2017. No. 7-8 (109-110). Pp. 36-39. (In Russian)

8. Legkov K.E., Burenin A.N. Voprosy organizacii ehffektivnogo funkcionirovaniya informacionnyh podsystem avtomatizirovannyh sistem upravleniya slozhnymi organizacionno-tekhnicheskimi ob"ektami [The issues of organization of effective functioning of information subsystems of automated control systems of complex technical objects]. *Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodejstviyu terrorizmu* [Questions of defense equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism]. 2017. No. 9-10 (111-112). Pp. 8-12. (In Russian)

9. Burenin A.N., Legkov K.E. Metodicheskij podhod k formalizacii opisaniya funkcionirovaniya arhitekturnyh urovnej infokommunikacionnyh setej special'nogo naznacheniya [Methodological approach to formalization of the description of the functioning of the architectural levels of information and communication networks]. *Ehlektrosvyaz'* [Telecommunications]. 2016. No. 3. Pp. 37-40. (In Russian)

10. Burenin A.N., Legkov K.E. Osnovnye metodicheskie podhody k formalizacii upravleniya infokommunikacionnymi setyami special'nogo naznacheniya [Basic methodological approaches to formalization of management information and communication networks]. *Infokommunikacionnye tekhnologii* [Information and communication technology]. 2016. Vol. 14. No. 2. Pp. 137-142. (In Russian)

11. Legkov K.E., Burenin A.N., Emelyanov A.V., Orkin V.V.

Questions of the system analysis of system architecture management of information systems and networks. *T-Comm.* 2016. Vol. 10. No. 12. Pp. 65-70. (In Russian)

12. Burenin A.N., Legkov K.E. *Sovremennye infokommunikacionnye sistemy i seti spetsial'nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya: Monografiya.* [Modern infocommunication systems and special purpose networks. Basics of creation and control]. Moscow: Media Publisher, 2015. 348 p. (In Russian)

13. Burenin A.N., Legkov K.E., Borovik A.V. Modeling procedures to support processes of organizational management systems of special purpose. *T-Comm.* 2016. Vol. 10. No. 4. Pp. 58-62. (In Russian)

14. Legkov K.E., Burenin A.N. Organizaciya operativnogo upravleniya infokommunikacionnymi setyami special'nogo naznacheniya v usloviyah intensivnyh vozdejstvij [The organization of operational management of ICT networks in heavy impacts]. *Ehlektrosvyaz'* [Telecommunications]. 2015. No. 7. Pp. 29-33. (In Russian)

15. Legkov K.E. Upravlenie setyami infokommunikacionnyh sistem special'nogo naznacheniya [Network management infocommunication systems of a special purpose]. *Uspekhi sovremennoj radioehlektroniki* [Successes of modern radio electronics]. 2015. No. 10. Pp. 210-214. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Kaflanov R.I., Student of Military Space Academy;
Orkin V.V., Postgraduate Student of Military Space Academy.

FOR CITATION: Kaflanov R.I., Orkin V.V. Intelligent system using in adaptive control of information flows. *H&ES Research.* 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 73-79. (In Russian)



ФОРМАЛИЗОВАННОЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЯВНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

ПУГАЧЕВ

Алексей Юрьевич¹

КУРЧИДИС

Виктор Александрович²

АНИСИМОВ

Олег Витальевич³

Сведения об авторах:

¹заместитель начальника отдела (научно-исследовательского) Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, nil.vko@gmail.com

²д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматики и вычислительных средств Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, idahmer2@yandex.ru

³к.т.н., доцент, профессор кафедры автоматики и вычислительных средств Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, qwaker@inbox.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

явные диагностические модели; формализация; концептуальные модели; неисправности; радиоэлектронная аппаратура; семантическая сеть.

АННОТАЦИЯ

Восстановление исправного состояния сложных технических комплексов связано с проведением диагностирования, которое направлено на отыскание и устранение причин возникшей неисправности. Для повышения эффективности этого процесса применяются средства автоматизации информационной поддержки, назначением которых является переход от ручного к автоматизированному получению диагностической информации. Однако, процесс диагностирования в целом следует охарактеризовать как трудно автоматизируемый, поскольку он включает в себя набор разнородных действий, последовательность выполнения которых определяется обслуживающим персоналом.

Показано, что существующие методы и средства информационной поддержки на основе формализованных концептуальных моделей радиоэлектронной аппаратуры характеризуются достаточно высокой эффективностью, обусловленной применением предметных терминов и понятий в конструкциях естественного языка, но не позволяют автоматизировать непосредственно саму операцию определения вероятного места и причины неисправности.

Предложен подход к формализованному концептуальному представлению неисправностей, выступающему основой для формирования диагностической информации, которая по своей форме и содержанию характеризует возможные причины и место возникновения неисправностей. Подход основан на построении явных диагностических моделей, особенностью которых является наличие в них явного описания неисправных состояний аппаратуры, что имеет для обслуживающего персонала важное значение в процессе отыскания места и причины возникновения неисправностей.

Проанализированы особенности описания неисправностей радиоэлектронной аппаратуры, что приводит к целесообразности построения концептуальных явных диагностических моделей на основе семантических сетей. Объектно-информационное описание неисправностей формируется на нескольких уровнях: базовый уровень предметных понятий и их взаимосвязи, уровень объектов с конкретной аппаратной реализацией, а также дефектный уровень с описанием неисправностей.

Использование предлагаемых моделей дает возможность представлять совокупность признаков неисправностей на естественно-подобном языке. Определенные таким образом признаки могут использоваться в средствах информационной поддержки для принятия решения о вероятном месте и причинах возникновения неисправностей, за счет чего повышается уровень автоматизации процесса диагностирования.

Для цитирования: Пугачев А. Ю., Курчидис В. А., Анисимов О. В. Формализованное концептуальное представление неисправностей для построения явных диагностических моделей радиоэлектронной аппаратуры // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 80–89.

В процессе эксплуатации сложных технических комплексов обслуживающий персонал (ОП) сталкивается с нестандартными ситуациями, которые связаны с нарушением функционирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), входящей в состав этих комплексов. В основе этих нарушений лежат различные факторы, обусловленные особенностями конструкции или эксплуатации аппаратуры, поэтому восстановление работоспособности связано с проведением диагностирования, которое направлено на отыскание и устранение причин возникшей неисправности.

Процесс диагностирования в целом следует охарактеризовать как трудно автоматизируемый, поскольку он включает в себя набор разнородных действий, последовательность выполнения которых определяется обслуживающим персоналом. Эти действия связаны с определением параметров, подозреваемых в нарушении, измерением значений этих параметров, сравнением измеренных значений с эталонными и принятием решения о найденном месте и причине отказа (МПО).

Для повышения эффективности процесса диагностирования РЭА широко применяются средства автоматизации (СА) информационной поддержки, основным назначением которых является переход от ручного к автоматизированному получению диагностической информации (ДИ). В связи с этим следует отметить методы и средства информационной поддержки на основе формализованных концептуальных моделей РЭА, которые направлены на сокращение времени, затрачиваемого на формирование диагностической информации (ДИ) при выполнении операций диагностирования [1–4]. Эти методы характеризуются достаточно высокой эффективностью, обусловленной применением предметных терминов и понятий в конструкциях естественного языка при формировании ДИ. Однако, содержимое ДИ в упомянутых методах ограничивается видом используемых моделей РЭА, так, что формируемая ДИ представляется только совокупностью признаков, описывающих исправную аппаратуру. Эта ДИ может быть использована в качестве вспомогательной при диагностировании, что косвенно способствует определению МПО [5]. Однако, упомянутые методы не позволяют автоматизировать непосредственно саму операцию определения МПО, что приводит к противоречию в науке, которое состоит в том, что существует необходимость комплексной автоматизации процесса диагностирования РЭА сложных технических комплексов, направленного на определение МПО, при этом отсутствует методический аппарат для решения данной научной задачи.

В данной работе предлагается подход, связанный с формализованным концептуальным представлением неисправностей, выступающим основой для формирования ДИ, которое по своей форме и содержанию характеризует возможные причины и место возникновения неисправностей.

Предлагаемый подход основан на выделении двух классов диагностических моделей (ДМ), различающихся по структуре и способам применения в процессе диагностирования: неявные и явные ДМ. Неявные диагностические модели (НДМ), как правило, содержат описание исправной РЭА, причем ДИ, формируемая с помощью таких моделей, содержит значения номинальных свойств СвРЭА⁽⁰⁾, соответствующих эталонному состоянию аппаратуры [6–7]. Эти свойства, наравне с фактически выявленными на РЭА свойствами СвРЭА^(*), могут использоваться обслуживающим персоналом при формировании диагностических признаков ДПр неисправностей (рис. 1).

Использование НДМ позволяет сократить время, отводимое на выработку и уточнение данных, необходимых для определения МПО. Однако, значительная часть действий при диагностировании РЭА, в частности, определение МПО, выполняется силами ОП, так, что уровень автоматизации процесса диагностирования при использовании СИП на основе НДМ в целом остается невысоким (рис. 2а).

Особенность другого класса ДМ — явных диагностических моделей (ЯДМ) — заключается в наличии в них явного описания неисправных состояний аппаратуры, что позволяет сформировать «образ» неисправности — совокупность признаков, позволяющая идентифицировать состояние РЭА. В то же время описание неисправности, приводимое в ЯДМ, позволяет составить причинно-следственную связь между совокупностью диагностических признаков ДПр и причиной неисправного состояния аппаратуры. Такое описание неисправности имеет для ОП важное значение при принятии решения ПР_{МПО} (рис. 2б) о полноте ДИ для отыскания МПО. Схема принятия такого решения проиллюстрирована на рис. 3.

Для решения задачи автоматизации диагностирования на основе ЯДМ имеет большое значение уровень формализации данных, содержащихся в моделях. При этом анализ существующей эксплуатационной документации (ЭД) на КСН показывает, что класс ЯДМ представлен в ней в виде таблиц неисправностей, мнемосхем и диаграмм на основе естественного языка. Формализованная интерпретация этих данных с использованием машинных языков оказывается чрезвычайно трудоемкой [8], так что применение таких моделей для автоматического анализа следует признать нецелесообразным.

В работе предлагается осуществить представление явных ДМ на основе формализованной концептуализации неисправностей. Особенностью такого представления является описание неисправностей РЭА в предметных понятиях $A_{\text{ядм}}$ и отношениях $R_{\text{ядм}}$ на естественном языке, что делает возможным формирование в процессе диагностирования ранее не применяемых типов запросов к СА на естественно-подобном языке, а также обеспечивает повышение полноты и точности формируемой ДИ.

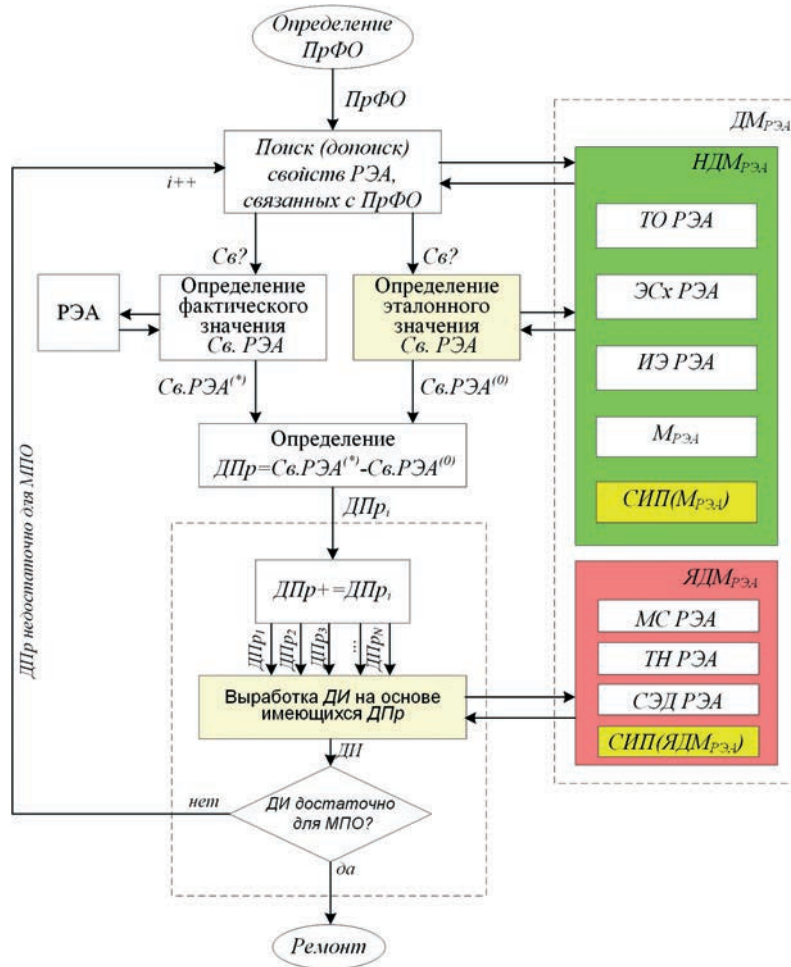


Рис. 1. Процесс диагностирования радиоэлектронной аппаратуры

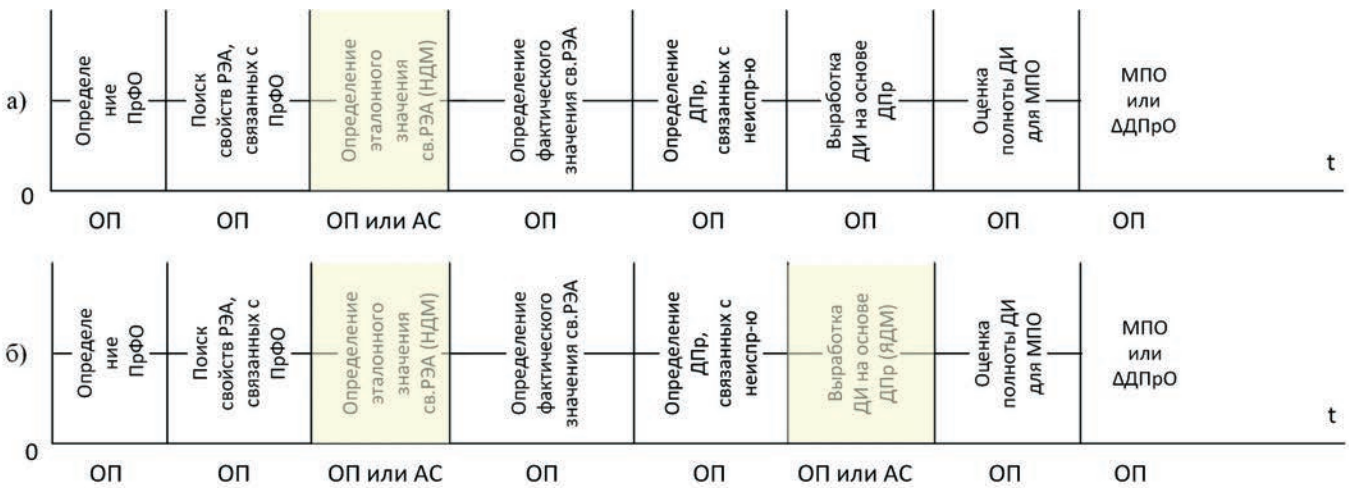


Рис. 2. Временные диаграммы процесса диагностирования:
 а) с применением неявных диагностических моделей;
 б) с применением неявных и явных диагностических моделей

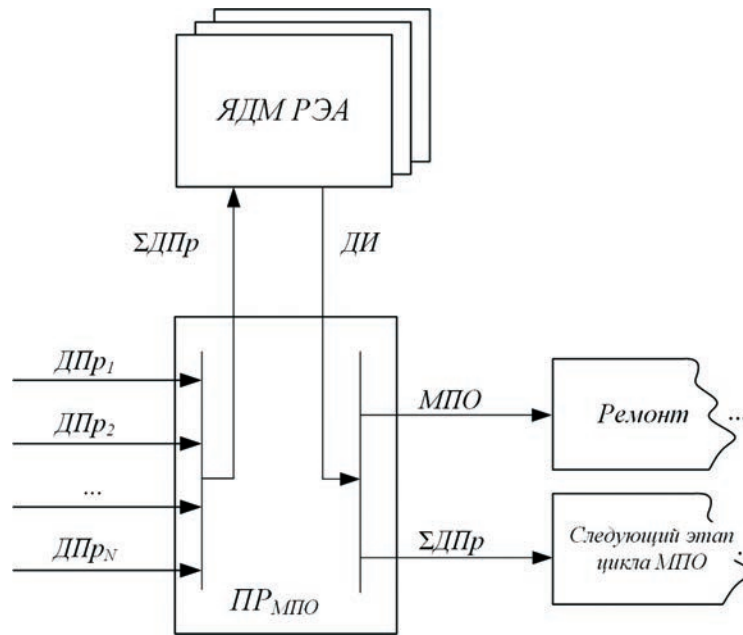


Рис. 3. Схема принятия решения с использованием явных диагностических моделей

Для выбора информационной модели предметной области, используемой для построения ЯДМ, следует принять во внимание следующие особенности:

- формальное описание неисправностей РЭА через девиацию номинальных значений ее свойств;
- типизация свойств на основе многоаспектного описания РЭА;
- разделение свойств, описывающих неисправности, на прототипы и экземпляры.

Формальный аспект описания неисправностей состоит в том, что РЭА как сложный объект КСН, состоящий из множества \hat{E} элементов, может быть представлен конечной совокупностью свойств $\hat{P}^{(0)}$, представляющих собой полную комбинацию номинальных свойств $p_i^{(0)} \in \hat{P}^{(0)}$ аппаратуры [9]. В целях описания неисправного состояния РЭА всякому номинальному свойству $p_i^{(0)}$ следует сопоставить одно или несколько ненормальных свойств $P_i^{(*)} = \{p_i^{(j)}, p_i^{(j+1)}, \dots, p_i^{(N)}\}$, $j > 0$, характеризующих нарушения i -го свойства. Совокупность номинального $p_i^{(0)}$ и всех сопоставленных ему ненормальных свойств $P_i^{(*)}$ составляют полный набор i -ого свойства P_i , а полная комбинация номинальных и ненормальных свойств РЭА составляет множество \hat{P} . При этом всякое свойство $p_i^{(a)} \in \hat{P}$ РЭА представляется в виде множества, состоящего из одного или нескольких базовых бинарных отношений $p_i = r(e_1, e_2) \cup r(e_3, e_4) \cup \dots \cup r(e_{n-1}, e_n)$, связывающих некоторое число элементов $E = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ аппаратуры, таких что $E \subseteq \hat{E}$ [10].

Типизация свойства $p_k^{(a)}$ основывается на том, что базовые бинарные отношения вида $r(e_i, e_j)$, входящие в это

свойство, целесообразно классифицировать на несколько видов: структурные отношения $R_S \subseteq \hat{R}$ («неисправный компонент входит в компонент»), функциональные отношения $R_F \subseteq \hat{R}$ («нарушение выполнения функции влияет на невыполнение другой функции»), параметрические отношения $R \subseteq \hat{R}$ («значение параметра находится вне диапазона», «величина параметра ниже номинального значения»). Кроме того, для описания неисправностей могут использоваться отношения, описывающие предметную область, затрагивающие несколько аспектов описания РЭА («отклонение параметра от номинала влияет на невыполнение функции», «структурный компонент не формирует требуемый параметр»). Наличие типизированных предметных отношений $r_\alpha(e_i, e_j)$ в ЯДМ выступает основой для многоаспектного представления неисправностей.

Разделение свойств, описывающих неисправность, на свойства-прототипы и свойства-экземпляры реализуется на основе отношений классификации. Учитывая особенности построения РЭА на основе базовых несущих конструкций, а также модульность типовой структуры КСН, следует разделить понятие «элемент описания конкретной РЭА» (экземпляр, объект) и «типовой элемент описания РЭА» (класс, прототип). На основе такого разделения в каждом аспекте описания аппаратуры могут быть определены иерархические отношения вложения («ячейка А входит в блок Б»), «функция f_1 не выполняется из-за невыполнения функции f_{11} » и наследования («ячейка А является стандартной ячейкой», «параметр p_1 является электрическим параметром»). Наличие подобных отношений формирует таксономию понятий \hat{R} , описывающих РЭА [11].

Наличие в приведенном описании категорий «класс как прототип», «объект как экземпляр», а также типизированных отношений со встроенной семантической схемой их определения позволяет определить порядок построения концептуальных явных диагностических моделей РЭА на основе семантических сетей. Такой способ построения ЯДМ имеет вид ориентированного графа G , вершины которого соответствуют объектам на основе предметных понятий \hat{A}_s , а ребра задают отношения \hat{R}_s [12]. Следует отметить, что формируемое описание элементов E РЭА базируется на предметных понятиях $A_{\text{ЯДМ}} \cup A_{\text{НДМ}}$, а свойства исправной и неисправной аппаратуры используют в описании отношения типов $R_{\text{ЯДМ}} \cup R_{\text{НДМ}}$, в результате чего может быть сформировано объектно-информационное описание неисправностей РЭА следующего вида:

$$G = \langle \hat{E}, \hat{A}, \hat{R} \rangle, \quad (1)$$

где $\hat{E} = E^{(0)} \dot{\cup} E^{(*)}$ — совокупность элементов описания РЭА, в которую входят элементы $E^{(0)}$, описывающие эталонную РЭА, а также элементы $E^{(*)}$ описания неисправностей;

$\hat{A} = A^{(0)} \cup A^{(*)}$ — совокупность предметных терминов $A^{(0)}$ исправной аппаратуры и терминов $A^{(*)}$ неисправностей, на которых базируется описание \hat{E} конкретной РЭА;

$\hat{R} = R^{(0)} \cup R^{(*)}$ — совокупность предметных отношений $R^{(0)}$, представляющих номинальные свойства РЭА, и отношений $R^{(*)}$, используемых для представления свойств, которые характеризуют нарушения в аппаратуре.

Следует отметить, что единство терминологии в предметной области, используемое в выражении (1) для описания РЭА, позволяет в качестве основы для создания ЯДМ использовать понятия $A_{\text{НДМ}}$ и отношения $R_{\text{НДМ}}$, описывающие исправную аппаратуру, расширяя их с точки зрения описания неисправностей. В свою очередь, всякое свойство $p_i^{(0)}$ конкретной исправной РЭА, состоящее из набора бинарных отношений вида $r(e_1, e_2) \cup r(e_3, e_4) \cup \dots \cup r(e_{n-1}, e_n)$, содержит экземпляры типовых понятий и отношений для некоторой типовой РЭА, что позволяет установить типизацию отношений для предметных терминов на более абстрактном уровне описания аппаратуры. Разделение в графе G уровня классов понятий $G_a = \langle \hat{A}, \hat{R}_a \rangle$ и объектного уровня понятий $G_o = \langle \hat{E}, \hat{R}_o \rangle$ позволяет явно различать семантику иерархических \hat{R}_a и предметных \hat{R}_o отношений, что способствует повышению эффективности семантического разбора запросов на извлечение данных из такой модели.

Уровень G_a классов семантической модели, изображенный на рис. 4, состоит из базовых предметных понятий \hat{A} и отношений \hat{R}_a , составляющих основу дескриптивной

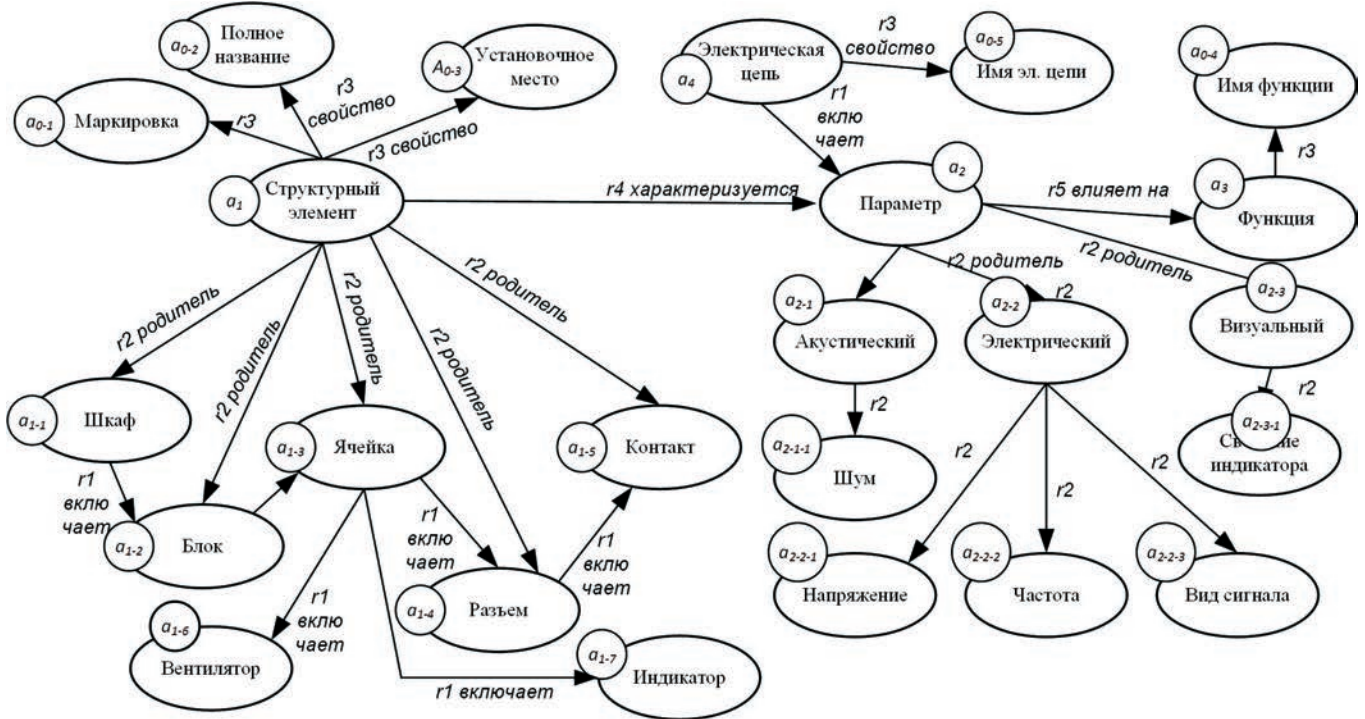


Рис. 4. Уровень классов семантической модели описания РЭА

логики в описании типовой РЭА, которая используется в качестве базового набора правил семантизации запросов.

Понятия \hat{A} уровня классов следует составлять на основе описаний, приведенных в эксплуатационной документации (ЭД) на КСН [13], с учетом их обобщения, а также разделять по следующим категориям:

- структурные понятия $A_S \subseteq \hat{A}$: контейнер, шкаф, блок, ячейка, разъем, контакт, резистор, индикатор, триггер, и др.;
- параметрические понятия $A_{П} \subseteq \hat{A}$: параметр, электрический сигнал, напряжение, частота, цепь сигнала и пр.;
- функциональные понятия $A_F \subseteq \hat{A}$: функция, функциональная задача;

общенаучные и технические термины $A_G \subseteq \hat{A}$, используемые для описания составных понятий: название, аббревиатура, и т.д.

К отношениям \hat{R}_a этого уровня целесообразно отнести следующие:

- иерархические отношения между классами, различающиеся на отношения гипонимии (АКО — «A Kind Of», «является частным случаем») и меронимии (НР — «Has Part», «входит в состав», «является частью») [14];
- отношение характеристики («характеризуется», «описывается»);
- отношение функциональной реализации («выполняет», «формирует»);

отношение функциональной зависимости («зависит от»); другие отношения, характеризующие межаспектную взаимосвязь элементов описания аппаратуры.

Описание всякого бинарного отношения $r_i(e_j, e_k)$ из множества отношений \hat{R}_a базового уровня составляет семантическое правило $q(r_i)$ интерпретации, в котором имеют значение тип r_i бинарного отношения, а также типизация и порядок следования операндов e_j, e_k . Совокупность семантических правил для каждого класса отношений формируют семантический набор Q_a на уровне классов G_a , используемый для интерпретации запросов на естественно-подобном языке в формальное описание свойств РЭА и обратно.

Следует отметить, что уровень G_a классов семантической модели является базовым уровнем для формирования семантической НДМ РЭА.

Объектный уровень G_o семантической модели формируется на основе добавления к предыдущему уровню G_a совокупности \hat{E} элементов описания РЭА в виде объектов на основе их связи с соответствующими классами множества \hat{A} с помощью отношения классификации *ISA* («Object IS A Class»). Кроме того, взаимосвязь объектов описания РЭА достигается установлением между ними отношений \hat{R}_a , определенных в базовом уровне G_a семантической модели по семантическим правилам Q_a . Графически объектный уровень G_o может быть представлен на рис. 5.

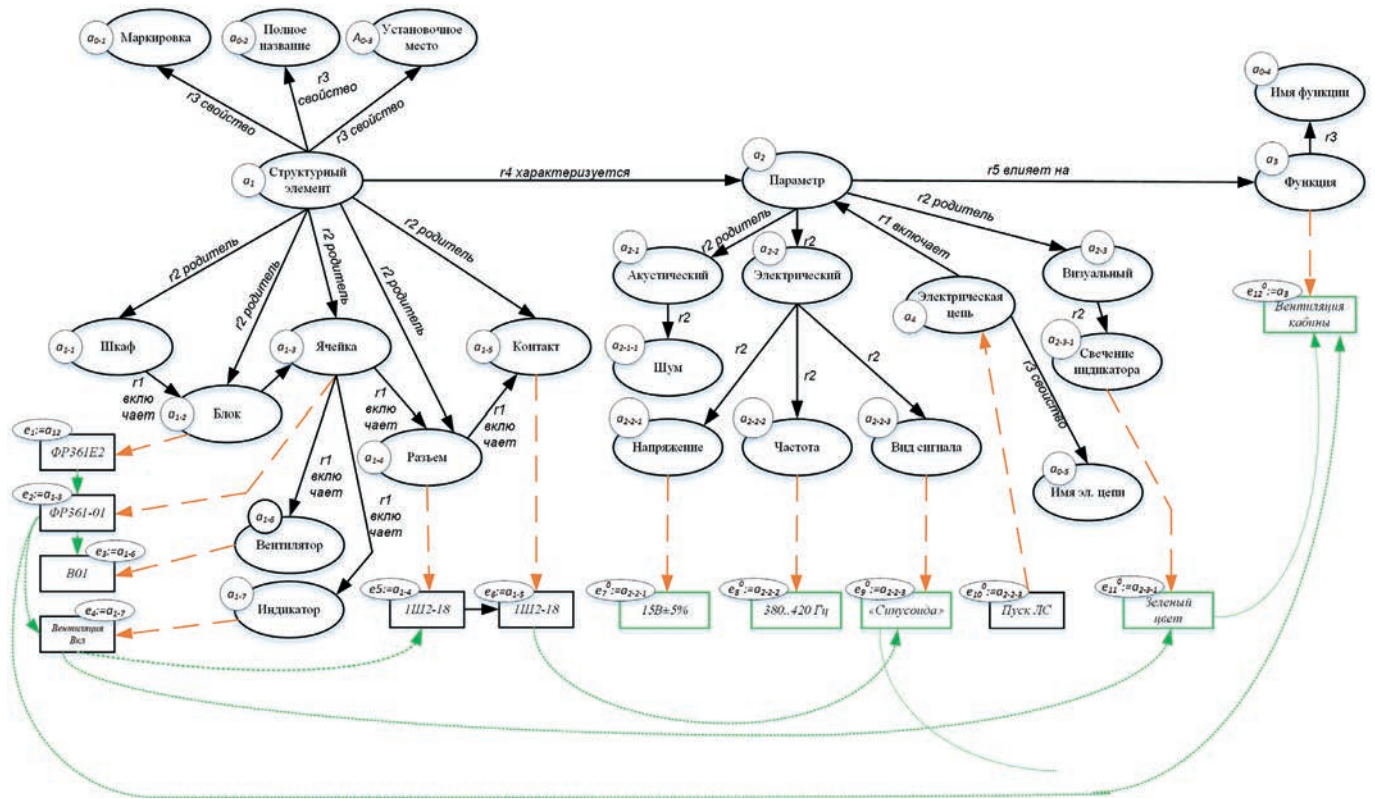


Рис. 5. Уровень объектов семантической модели описания РЭА

Объектно-информационная модель уровня G_o реализует многоаспектное описание РЭА благодаря наличию соответствующих элементов этого описания:

структурных элементов $E_{стр} \subseteq \hat{E}$ («блок ФР361Е» ISA «Блок», «ячейка ФР361М-01» ISA «Ячейка», «разъем III2» ISA «разъем 40-контактный», «контакт 2III2–8» ISA «контакт медный», «индикатор «+5В-1» ISA «индикатор», «резистор R11» ISA «МЛТ-резистор»);

параметрических элементов описания РЭА $E_{парам} \subseteq \hat{E}$ («сигнал «Готовность РК» ISA «параметр» АКО «электрический» АКО «вид сигнала», «вращение вентилятора» ISA «параметр» АКО «акустический» АКО «шум/гул»);

функциональных элементов $E_{функц} \subseteq \hat{E}$ («функция «Формирование Строб ПсУ 1» ISA «Функция» АКО «Функция формирования управляющих сигналов»).

Основным семантическим правилом q , принадлежащим множеству правил Q объектного уровня, является правило типа ISA «Объект класса реализует свойства родительского класса».

Следует отметить, что уровень G_o объектов семантической модели является нижним уровнем семантической сети, описывающей исправную аппаратуру, следовательно, этот уровень завершает формирование НДМ РЭА.

Для построения ЯДМ в рамках приведенного объектно-информационного представления РЭА, предлагается дополнить существующую модельную структуру уровнем описания дефектов G_d , или *дефектным уровнем* семантической модели G . Этот уровень характеризуется расширением множества понятий \hat{A} за счет его дополнения глоссарием неисправностей \hat{A}_d , который содержит множество понятий, связанных с проявлением нарушений в РЭА: «неисправность», «нарушение функционирования», «отклонение от номинала», «дисфункция», «дефект» и другие. Эти понятия, достаточно абстрактно характеризующие нарушения в аппаратуре, могут быть конкретизированы с использованием уточняющей терминологии в различных аспектах:

механический: «окисление», «обгорание», «слабый контакт», «затрудненное вращение»;

электрический: «отклонение параметра от допуска», «изменение формы импульса», «увеличение девиации частоты», «снижение эффективности усиления»;

визуальный: «слабая индикация», «изменение частоты мерцания»;

акустический: «повышенный шум», «паразитные вибрации» и т.д.

Процесс концептуальной формализации приведенных нарушений целесообразно выполнить с учетом аспектов описания исправной РЭА в НДМ на основе сопоставления номинальному свойству $q(r_i)$ одного или нескольких свойств $p_i^{(1)}, p_i^{(2)}, \dots, p_i^{(N)}$, характеризующих нарушения такого свойства:

$$p_i^{(0)} \leftrightarrow p_i^{(1)}, p_i^{(2)}, \dots, p_i^{(N)}. \quad (2)$$

Представив левую и правую часть выражении (2) в виде бинарного отношения вида $r_k(e_i, e_j)$, следует выделить общий элемент для каждого свойства — операнд выражения, записанный первым. При этом различие сопоставленных свойств p_i и $p_i^{(1)}, p_i^{(2)}, \dots, p_i^{(N)}$ состоит во втором операнде:

$$r_a(e_i, e_j^{(0)}) \leftrightarrow r_a(e_i, e_j^{(1)}), r_a(e_i, e_j^{(2)}), \dots, r_a(e_i, e_j^{(N)}), \quad (3)$$

где $e_j^{(0)}$ — элемент, содержащий номинальное описание i -ого компонента аппаратуры;

$e_j^{(1)}, e_j^{(2)}, \dots, e_j^{(N)}$ — элементы, содержащие описания i -ого компонента аппаратуры, отличные от номинала.

Учитывая наличие номинального описания $e_j^{(0)}$ в объектном уровне G_o семантической модели, предлагается на дефектном уровне G_d этой сети для всякого $e_j^{(0)}$ представить набор элементов-сателлитов $e_j^{(1)}, e_j^{(2)}, \dots, e_j^{(N)}$, характеризующий отклонение от номинала. Тогда описание всякого номинального свойства $p_i^{(0)}$ на уровне G_d следует дополнить совокупностью свойств-сателлитов $p_i^{(1)}, p_i^{(2)}, \dots, p_i^{(N)}$, содержащих информацию о некотором нарушении в РЭА. Такое формальное описание неисправного свойства может быть интерпретировано в предикатную форму вида $\alpha R \beta$ на естественно-подобном языке и хорошо согласуется по структуре с описанием диагностической информации, имеющейся в ЭД [15–16]. В структуре сети, реализующей объектно-информационное представление неисправностей (рис. 6), отображены все три уровня семантических моделей: уровень классов G_o , уровень объектов G_o и уровень дефектов G_d .

Таким образом, в целом для семантической сети G на каждом уровне формируются множества предметных понятий \hat{A} , объектных понятий \hat{E} , отношений $\hat{R} = R_o \cup R_d$, а также семантических правил $\hat{Q} = Q_o \cup Q_d$. Это позволяет формально описывать неисправности аппаратуры через связи и закономерности изменения одних величин при изменении других: отклонения параметров при нарушениях выполнения функции, дисфункции структурных компонентов РЭА при разрыве электрической цепи и т.д. Множество таких связей, образованных отношениями между различными элементами и сателлитами, формирует диагностический портрет неисправности — полную совокупность свойств РЭА, описывающих ее состояние:

$$S_k \leftrightarrow \bigcup_{i=1, j=0}^N p_i^{(j)} \quad (4)$$

где N — количество свойств, составляющих полное описание РЭА;

j — модификатор свойства аппаратуры, указывающий на номинал или сателлит.

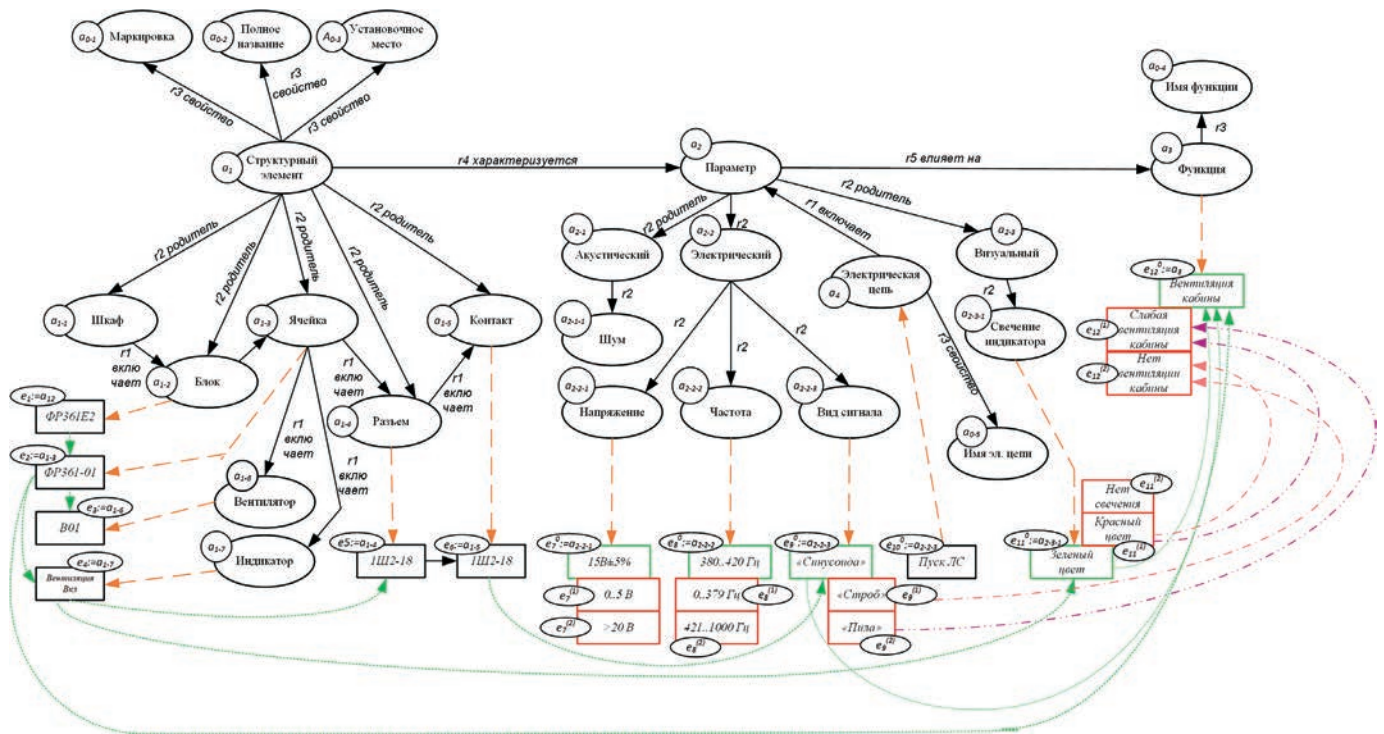


Рис. 6. Общая структура семантической сети неисправностей

Наличие описания всякого состояния S_k позволяет выполнить явное сопоставление левой и правой частей равенства, представленное в выражении (4).

Наличие формального описания состояния РЭА S_k , а также всякого свойства $p_i^{(j)}$ из правой части выражения (4) в объектно-информационной модели неисправностей G позволяет выполнить множество формальных сопоставлений:

$$S_k \leftrightarrow P_k, \quad (5)$$

где $P_k = \bigcup_{i=1}^N p_i^{(j)}$ — полная совокупность свойств РЭА, описывающая состояние S_k .

При выявлении признаков неисправностей в процессе диагностирования обслуживающему персоналу становятся известными значения некоторой части диагностических параметров, формально представленных свойствами $P_{изв}$, входящими в множество P_k из правой части выражения (5). Для определения вероятного места и причины возникновения неисправности, соответствующих состоянию аппаратуры S_k , с формальной точки зрения необходимо отыскать множество свойств $P_{неизв}$ таких, что $P_{неизв} = P_k \setminus P_{изв}$. Определенные таким образом свойства $P_{неизв}$ характеризуют совокупность диагностических признаков, позволяющих идентифицировать неисправное состояние S_k .

Характеризуя рассмотренный подход в целом, следует отметить, что он направлен на формализацию концептуального представления неисправностей РЭА в терминах

и понятиях предметной области на естественном языке. Такое представление выступает основой для построения формализованных явных диагностических моделей на основе многоуровневых семантических сетей, которые отражают многоаспектное описание неисправностей аппаратуры в виде совокупности свойств.

Использование предлагаемых моделей дает возможность представлять совокупность признаков неисправностей на естественно-подобном языке для определения МПО. Это может служить основой для формирования запросов со стороны обслуживающего персонала в системах информационной поддержки процесса диагностирования аппаратуры в конструкциях естественного языка, в которых определяются признаки неисправностей, подлежащих устранению. Определенные таким образом признаки могут использоваться в предлагаемых моделях для принятия решения о вероятном месте и причинах возникновения неисправностей. За счет этого повышается уровень автоматизации выполняемых операций по диагностированию, что способствует сокращению времени, требуемого на восстановление сложных технических комплексов.

Литература

1. Лавриненко В. Ю. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. М.: Высшая школа. 1978. 320 с.
2. Прилепский В. А., Контев А. Н. Контроль состояния и диагностирование неисправностей авиационных элект-

тросистем и пилотажно-навигационных комплексов. Самара: СГАУ имени академика С.П. Королева. 2011. 102 с.

3. Жаднов В. В. Методы имитационного моделирования отказов радиоэлектронной аппаратуры // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2012. № 15. С. 253–262.

4. Калитенков Н. В., Солодов В. С. Надежность и диагностика транспортного радиооборудования и средств автоматизации. М.: Моркнига, 2014. 298 с.

5. Анисимов О. В., Игнатъев С. В., Тихонов В. Б. Основные направления совершенствования системы технической эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры зенитного ракетного вооружения // Военная мысль. 2011. Т. 8. № 3. С. 72–77.

6. Давыдов П. С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. М.: Радио и связь, 1988. 256 с.

7. Глуценко П. В. Техническая диагностика. М.: Вузовская книга, 2008. 248 с.

8. Анисимов О. В., Пугачев А. Ю. Особенности формализованного представления данных таблицы неисправностей для автоматизации процесса восстановления радиоэлектронной аппаратуры // Сборник статей XVII Научно-технической конференции / ВУНЦ ВВС «ВВА». 2014. С. 108–113.

9. Анисимов О. В., Курчидис В. А. Формирование диагностической информации в виде фрагментов электрических схем радиоэлектронной аппаратуры // Труды МАИ.

2017. № 94. URL: http://mai.ru/upload/iblock/b17/anisimov-kurchidis_rus.pdf.

10. Городецкий А. Е., Тарасова И. А., Зиняков В. Ю. Комбинированное логико-вероятностное и лингвистическое моделирование отказов сложных систем // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1(74). С. 35–42.

11. Rousopoulos N. D. A semantic network model of data bases.— TR No 104, Department of Computer Science, University of Toronto, 1976.

12. Хабаров С. П. Интеллектуальные информационные системы. PROLOG — язык разработки интеллектуальных и экспертных систем. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 140 с.

13. БК2.008.209ТО. Изделие 83Ф6Е2. Техническое описание, часть 1.

14. Van de Riet, R. P. Linguistic Instruments in Knowledge Engineering. Elsevier Science Publishers. 1992. 98 p.

15. БК 2.008.209 ИЭ. Изделие 83Ф6Е2. Инструкция по эксплуатации.

16. Анисимов О. В., Курчидис В. А., Попов Т. А., Приветень А. С., Рыбакин А. А. Метод информационной поддержки обслуживающего персонала при восстановлении радиоэлектронной аппаратуры // Материалы ВНК «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения» (Москва, 14 мая 2014 г.). М.: Концерн «Системпром», 2014. С. 33–45.

FORMALIZED CONCEPTUAL MALFUNCTIONS REPRESENTATION FOR RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT EXPLICIT DIAGNOSTIC MODELS COMPOSITION

ALEXEY Y. PUGACHEV,

Yaroslavl, Russia, nil.vko@gmail.com

VIKTOR A. KURCHIDIS,

Yaroslavl, Russia, idahmer2@yandex.ru

OLEG V. ANISIMOV,

Yaroslavl, Russia, qwaker@inbox.ru

KEYWORDS: explicit diagnostic models; formalization; conceptual models; malfunctions; radionics; semantic network.

ABSTRACT

Restoration of serviceable condition of complex technical complexes is associated with diagnostic operation, which goal is to find and eliminate the malfunction principles. To improve the efficiency of this process, automation information support tools are applied in purpose of transition from manual to automated acquisition of diagnostic information. However, the diagnostic process should be characterized as difficult to automate in general because it consists of several dissimilar actions, the sequence of which is determined by the service personnel.

Existing information support methods and threads based on formalized conceptual models of radio electronic equipment are about to be highly efficient due to using of subject terms and concepts in natural language constructions, but these methods do not allow to determine the malfunction principles automatically as the process, itself.

The article suggests an approach to formalized malfunction concept that represents diagnostic information generation framework that characterizes possible faults causes and locations by its form and

content. This approach based on explicit diagnostic models composition featured by explicit description of equipment in faulty state. This description makes for personnel a great sense while they determine possible fault causes.

Faulty-state equipment description analysis leads to explicit diagnostic models construction method by using semantic network. Object-information description of faults is formed on several layers: base layer of subject concepts and its relationships, second one lies on specific hardware implementation, and the third layer that is the defects layer - based on faults description.

Using of the proposed models makes possible to represent a set of malfunctions signs in a natural-like language. The signs defined in this way can be used in information support tools for decision making on the likely location and causes of faults so the diagnostic process automation level may be increased.

REFERENCES

1. Lavrinenko V. Ju. *Osnovy jekspluatacii radioelektronnoj apparatury* [Basics of operation of radio electronic equipment] Moscow: Vysshaja shkola, 1978. 320 p. (In Russian)
2. Prilepskij V.A., Koptev A.N. *Kontrol' sostojanija i diagnostirovanie neispravnostej aviacionnyh jelektronsistem i pilotazhno-navigacionnyh kompleksov* [Faults monitoring and diagnosis in aircraft electrical systems and flight control systems]. Samara: SGAU named after academician S.P. Korolyev. 2011. 102 p. (In Russian)
3. Zhadnov V.V. *Metody imitacionnogo modelirovanija otkazov radioelektronnoj apparatury* [Simulation methods of electronic equipment failures]. *Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah* [New information technologies in automated systems]. 2012. Vol. 15. Pp. 253-262. (In Russian)
4. Kalitenkov N.V., Solodov V.S. *Nadezhnost' i diagnostika transportnogo radiooborudovanija i sredstv avtomatiki* [Reliability and diagnostics of transport radio equipment and automation facilities]. Moscow: Morkniga, 2014. 298 p. (In Russian)
5. Anisimov O.V., Ignatyev S.V., Tikhonov V.B. *Osnovnye napravlenija sovershenstvovanija sistemy tehnicheskoy jekspluatacii radioelektronnoj apparatury zenitnogo raketnogo vooruzhenija* [The main directions of improving the maintaining system of the radio-electronic equipment for anti-aircraft missile weapons]. *Voennaya Mysl*. Vol. 8. 2011. No 3. Pp. 72-77. (In Russian)
6. Davydov P.S. *Tehnicheskaja diagnostika radioelektronnyh ustrojstv i sistem* [Technical diagnostics of radio electronic devices and systems] Moscow: Radio i Svyaz, 1988. 256 p. (In Russian)
7. Glushhenko P.V. *Tehnicheskaja diagnostika* [Technical Diagnosis]. Moscow: Vuzovskaya Kniga, 2008. 248 p. (In Russian)
8. Anisimov O.V., Pugachev A. Ju. *Osobennosti formalizovannogo predstavlenija dannyh tablicy neispravnostej dlja avtomatizacii processa vosstanovlenija radioelektronnoj apparatury* [Features of the formalized data representation of the fault table for automating the recovery of electronic equipment]. *Sbornik statej XVII Nauchno-tehnicheskoy konferencii, VUNC VVS «VVA»* [The collection of reports of the XVII Scientific and Technical Conference at Military Training Scientific Center "Military Air Academy"]. 2014. Pp. 108-113. (In Russian)
9. Anisimov O.V., Kurchidis V.A. *Formirovanie diagnosticheskoy informacii v vide fragmentov jelektricheskikh shem radioelektronnoj apparatury* [Diagnostic information forming of fragments of electrical circuits of radio electronic equipment]. *Trudy MAI* [Moscow Aviation Institute reports collection]. 2017. No. 94. URL: http://mai.ru/upload/iblock/b17/anisimov-kurchidis_rus.pdf. (In Russian)
10. Gorodeckij A.E., Tarasova I.A., Zinjakov V. Ju. *Kombinirovannoe logiko-verojatnostnoe i lingvisticheskoe modelirovanie otkazov slozhnyh sistem* [Combined logic-probabilistic and linguistic modeling of complex systems failures]. *Informacionno-upravljajushhie sistemy* [Information-control systems]. 2015. No. 1(74). Pp.35-42. (In Russian)
11. Roussopoulos A.N.D. *A semantic network model of databases*. TR No 104, Department of Computer Science, University of Toronto, 1976.
12. Habarov S.P. *Intellektual'nye informacionnye sistemy. PROLOG – jazyk razrabotki intellektual'nyh i jekspertnyh sistem*. [Intelligent information systems. PROLOG as the language of the intellectual and expert systems development.] Saint Petersburg: SPbGLTU, 2013. 140 p. (In Russian)
13. YK2.008.209TO. *Izdelie 83F6E2. Tehnicheskoe opisanie* [Product 83F6E2. Technical Description]. Part 1. (In Russian)
14. Van de Riet, R.P. *Linguistic Instruments in Knowledge Engineering*. Elsevier Science Publishers. 1992. 98 p.
15. YK2.008.209 IJe. *Izdelie 83F6E2. Instrukcija po jekspluatacii*. [Product 83F6E2. User's manual]. (In Russian)
16. Anisimov O.V. Kurchidis V.A., Popov T.A., Priveten A.S., Rybak-in A.A. *Metod informacionnoj podderzhki obsluzhivajushhego personala pri vosstanovlenii radioelektronnoj apparatury* [The informational support method of maintenance personnel in the radio electronic equipment restoration process]. *Materialy VNK "Sovremennye tendencii razvitiya teorii i praktiki upravlenija v sistemah special'nogo naznachenija"* ["Sistemprom" report collection]. 2014. Pp. 33-45. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Pugachev A. Y., Deputy Head of the Science Research Division of the Yaroslavl Higher Military College Of Anti-Air Defense.
 Kurchidis V.A., PhD, Professor, Professor of the Yaroslavl Higher Military College Of Anti-Air Defense.
 Anisimov O.V., PhD, Docent, Professor of the Yaroslavl Higher Military College Of Anti-Air Defense.

FOR CITATION: Pugachev A. Y., Kurchidis V.A., Anisimov O.V. Formalized conceptual malfunctions representation for radio electronic equipment explicit diagnostic models composition. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 80-89. (In Russian)

ALGORITHM OF INFORMATION SYSTEMS ADAPTIVE CONTROL UNDER THE CONDITIONS OF MASS PERTURBATIONS

BURENIN

Andrey Nikolaevich¹

LEGKOV

Konstantin Evgenyevich²

ORKIN

Vadim Vitalyevich³

Information about authors:

¹PhD, Docent, Chief Specialist of JSC «Research Institute "Rubin", Saint-Petersburg, Russia, direct-2011@mail.ru

²PhD, Head of the Department of Automated Control Systems of Military Space Academy, St. Petersburg, Russia, constl@mail.ru

³Postgraduate Student of the Military Space Academy, St. Petersburg, Russia, orc225@mail.ru

ABSTRACT

The main feature of information systems as control objects is availability of both modern and prospective networks, software and hardware based on advanced technologies, as well as traditional networks with outdated equipment united by a single transport network for information transfer and by universal access procedure to transfer service. At some point in the information system they need to communicate with each other. In the conditions of increasing of the number, heterogeneity and complexity of equipment, the complexity of network and information technologies, of the network topology branching the task of managing the modern information system becomes one of the most important. The main task of control in this case is to ensure the functioning of an information system with specified performance indicators in conditions of mass perturbations. In general, the control process includes the following steps: obtaining information about the behavior of each information network and its equipment, analyzing the received information, developing and executing of the solution, i.e. control actions implementation on all objects of management (all networks, their control systems, their equipment). However, the introduction of centralized network control is difficult due to the heterogeneity of information technology and the types of equipment used in the network, including the network control systems themselves. This leads to a number of additional problems. The heterogeneity of network control systems can cause interruptions in information flows, slowing down the processes of generating control commands and increasing the probability of errors. One of the main tasks of the information system functioning control is the task of controlling the parameters that characterize the functioning of the system. This task can be solved on the basis of special procedures development for the formation of an information flow control plan (requests for the provision of services). The control plan is developed on the basis of the data distribution plans necessary for the work of officials at all nodes of the information system and determines the pre-determined order of the outgoing directions for the information transfer. The choice of this or that procedure for the formation of the control plan is recommended to carry out on the basis of the scientific and methodical apparatus of adaptive resource-saving information systems control, in which the adaptive control algorithm plays an important role.

KEYWORDS: algorithm; the order of choice; information system; flow of requests; control plan.

For citation: Burenin A. N., Legkov K. E., Orkin V. V. Algorithm of adaptive control of information systems under the conditions of mass perturbations. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 90–95.

INTRODUCTION

For the effective functioning of the currently created automated control systems (ACS) in complex organizational and technical objects it is necessary to provide timely information to managers and automation complexes with the required quality levels. For this purposes an information infrastructure control system with information systems at the heart is created.

Adaptive control appeared in the 50s of the XX century, when conventional control methods in complex technical systems could not be used. The questions of adaptive control are revealed in the works of Zemlyakov S. D., Rutkovsky V. Yu., Tsyarkin Ya. Z. and Landau I. D. [1–2]. Adaptive management becomes relevant for information systems. The task of the information system functioning control includes control the parameters that characterize the information system functioning [4] based on the application of the procedures for the formation of the information flow management plan (requests for information). The problems of routing in communication networks, distributed automated systems and telecommunication networks were considered in the scientific works of a number of authors (M. Yu. Avanesov, A. N. Burenin, E. V. Goncharov, G. P. Zakharov, A. P. Kuleshov, V. G. Lazarev, I. A. Mizin, N. Ya. Parshenkov, S. P. Prisyazhnyuk, S. I. Samoylenko, B. Ya. Sovetov, and others) [3–9]. However, a number of questions related to the possibility of using the developed methods and algorithms, the classification of which was carried out in [4, 10], in information systems. Their comparative analysis and determination of conditions for their most effective utilization remain open. Thus, it is necessary to consider the possibility of applying the procedures for managing the parameters that characterize the information system functioning under various conditions, including conditions of external influences on the information system. In the present work, a part of this tasks is solved by the development of the algorithm for adaptive control of information flows in the information subsystem of the ACS in complex organizational and technical objects, which is an actual scientific task and corresponds to the current trends in the development of information technologies.

FORMULATION OF THE PROBLEM

The task of controlling the parameters that characterize the information system (IS) functioning is a complex task and involves the utilization of procedures applied depending on the state of the IS.

As in the case of other control tasks of the IS, it is necessary in its functioning control that control goals be achieved. To do this, it is necessary to match the values of the efficiency indicators to required values in conditions of external influences.

In the functioning control plane it is advisable to set the efficiency of the IS with some functional $F(t, \mathbf{L}, \mathbf{Z}, S, \mathbf{U}_p, \mathbf{U}_s)$, which depends on the fixed, unperturbed parameters and characteristics of the IS \mathbf{L} , on disturbing external parameters \mathbf{Z} ,

on the state of the subsystem S , from the functioning control of the IS \mathbf{U}_p on controlling the structure. S is the status of the information subsystem, $S = \langle V, Y \rangle$, where V stands for the monitored state of the system (communication between nodes, the number of servers providing services, the degree of loading of nodes (servers)), Y is the uncontrolled state of the system (the intensity of receipt and maintenance of requests).

Considering $F(t, \mathbf{L}, \mathbf{Z}, S, \mathbf{U}_p, \mathbf{U}_s)$ as a function of functioning control, it can be argued that the choice of a specific procedure $\mathbf{U}_f = x$ will provide a very specific value of the IS efficiency indicator, where x is the decision to choose the procedure for controlling the operation of the IS. We represent the functional F in the following form $f(x, s, z)$. As an effectiveness indicator of the IS, it is advisable to take a functional, depending on the size and connectivity of the IS structure, the performance and reliability of the IS components (state s). Therefore, the solution of the task of controlling the functioning of the IS is to search for one $\mathbf{U}_f(t) = x_i : x_i \in \Delta$, where $\Delta = \{ \mathbf{X} | P \{ f(x, s, z) \geq f_{tr}(x, s, z) \} \geq P_{tr} \}$, with other things being equal, the performance indicator of the IS takes a value not less than the required one. Here is the “solution” or the state of the environment $z \in \mathbf{Z}$, s is the state of the system at the time of choice of x , m is the number of possible procedures for controlling the functioning.

ALGORITHM OF INFORMATION FLOW ADAPTIVE CONTROL

The previously developed methods of infocommunication systems and networks control [3, 4, 6] can be used for information systems control, with some limitations (the absence of a telecommunications component in the IS). IS can be in the conditions of the enemy's influence, so it should be about complex adaptive management, i.e. application of several options for changing the flow control plan, depending on the situation. In accordance with this, the algorithm of adaptive control of information flows in the IS is proposed in the paper.

The algorithm can be conditionally divided into parts that perform their “work” with a certain indicator of efficiency (the quality of service level for requests for the provision of information). At the initial stage functioning is performed based on the method of managing the processes of providing services with the formation of quality reliefs. Then, when information is received from the monitoring subsystem (its elements are located at each service node) that the quality of service level has decreased, the local adaptation procedures are connected, which operate on the basis of the received traffic data and queues to the service delivery servers.

In this case, the quality relief matrices continue to be corrected after a certain time T_f given before the entire system is operational. When the value of the performance indicator $P > P_{tr1}$ is reached a return to functioning is made based on the method of managing the processes of providing services

with the formation of quality reliefs (to the normal mode of operation).

For $P < P_{ir2}$, a transition to the functioning using global adaptation procedures (probabilistic-game procedures based on the statistics of the service of incoming requests). Formation of the management plan takes place with the help of a set of probabilistic vectors that collect statistics of successful (unsuccessful) attempts to transmit requests in various directions.

For $P < P_{ir3}$ (significant structural changes and almost complete lack of information about the availability of servers on the nodes), a transition to the functioning based on the method of intelligent probe control. Here P_{ir1} , P_{ir2} , P_{ir3} are the values of the efficiency indicators determined before the system's operation (based on the results of simulation).

ALGORITHM FOR SELECTING THE DIRECTION OF INFORMATION TRANSFER BASED ON THE DISTRIBUTED PROGRAM CONTROL METHOD WITH GLOBAL AND LOCAL ADAPTATION PROCEDURES

The main part of the developed algorithm (Figure 1) is the method of distributed program control with global and local adaptation procedures (GLA), the essence of which is the formation of probabilistic matrices at distributed IS control centers that respond to the success of requests for information to those or other nodes of the IS.

The main advantage of all gaming procedures in general [7, 10], and in case of their application for IS parameters management in particular, lies in the fact that the formation of procedures and control plans does not require the transfer of any service information. Requests from officials and complexes of automation are service information. When creating a control plan for each new request, the results of their service in previous time are used, and after the maintenance this plan is corrected again.

Let the information system (IS) contain r nodes for the provision of services $\{SN_1, SN_2, \dots, SN_k, \dots, SN_r\}$ and z nodes of the service consumers $\{N_1, N_2, \dots, N_1, \dots, N_z\}$. Let SN_k provide n types of information services. There is a stochastic matrix (2) in each i -node of the IS — the recipient of the information service. In this matrix number of columns equal to r (the number of SNs to which the node can access (the number of outgoing directions)) and the number of lines equal to n (the number provided information services). Each j -th row of the matrix, corresponding to the j -th kind of services, is a vector:

$$A^i_j = (P^i_{j1}, P^i_{j2}, \dots, P^i_{jk}, \dots, P^i_{jr}), \quad (1)$$

where P^i_{ik} — probability of access to the k -th service node),

$$k = \overline{1, r}; \quad \sum_{k=1}^r P^i_{jk} = 1.$$

$$\Pi^i = \begin{pmatrix} P^i_{11} & P^i_{12} & \dots & P^i_{1r} \\ P^i_{21} & P^i_{22} & \dots & P^i_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P^i_{n1} & P^i_{n2} & \dots & P^i_{nr} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Thus control plan matrixes are generated for each consumer node of the IS indicating the order of the choice of outgoing directions. When transmitting a request, the direction with the highest probability of transmission is selected.

This rule will be met if the probability of selecting the priority transmission direction is set to be proportional to the highest value of the quality of service indicator from the matrix of quality reliefs. As a given indicator we take the probability of timely service. For example, we apply to service 2 (second line of the plan), that

$$P^i_{21} = \frac{Q_{21}}{Q_{21} + Q_{22} + \dots + Q_{2r}},$$

$$P^i_{22} = \frac{Q_{22}}{Q_{21} + Q_{22} + \dots + Q_{2r}}, \quad (3)$$

$$P^i_{2r} = \frac{Q_{2r}}{Q_{21} + Q_{22} + \dots + Q_{2r}}.$$

Accordingly, each IS node is associated with a matrix with a number of columns equal to r (the number of SNs to which the node can access) and the number of rows equal to n , which contains the values of the service quality indicators for each SN for each type of request, represented by the expression (4).

$$Q^i = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1r} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \dots & Q_{nr} \end{pmatrix} \quad (4)$$

The outgoing direction γ is selected. An action of the γ -type is performed. If the request is served with the required value of quality indicator (information is provided to the consumer without exceeding the permissible time T_d), then this direction is encouraged, otherwise it is fined.

An algorithm is presented that is an integral part of the algorithm of information flow adaptive control in the IS.

The order of the algorithm:

Step 1. The beginning of the algorithm.

Step 2. Calculation of the probabilities of the k -th type action. Assignment of the vector A^i_j . The vector is given from the rule (1). The matrix (2) is formed by the formulas (3)

Step 3. Calculating P_o — the average probability of requests servicing with quality below the required.

Step 4. Calculation of α, β by the formulas:

$$\alpha = \frac{P_o - fP_o}{P_o + fP_o},$$

$$\beta = \frac{1 - P_o + fP_o}{1 - P_o - fP_o}, \quad (5)$$

where f — coefficient obtained before the start of the functioning of the system (simulation) and showing the degree of influence of the results of service requests on the likelihood of subsequent selection of relevant directions.

Step 5. Receiving an application for the provision of a j -kind service. Variables Nap_i serve to not select the same direction in retransmitting.

Step 6. In the j -th line of the matrix the maximum number is found among all P_{jk} , for $k = \overline{1, r}$, then the direction γ is chosen equal to k , at which P is maximum to which corresponds to the number found. $m = 1$ (the first attempt to transmit in the current direction). k must not be equal to the already selected direction number.

Step 7. The action of type γ (transmit in the direction of γ) is performed.

Step 8. The action is performed

$$l = \arg \max_{k=1, r} P_{jk}, k \neq \gamma, k = \overline{1, r},$$

where l is the second highest priority.

Step 9. Obtaining the result of an action of the type γ .

Step 10. If the application is served with the required quality, then the direction of γ is encouraged:

$$P_{j\gamma}^* = \frac{P_{j\gamma} \beta}{1 + (\beta - 1) P_{j\gamma}}. \quad (6)$$

Step 11. Comparison of m and value $\left[\frac{2P_{j\gamma}}{P_{jl}} \right]$, the number

of retry attempts required; m is the number of the attempt to transmit information (application) in the priority direction. If they are equal, the transmission attempts end, otherwise the transition to step 12.

Step 14. If not equal, then the number of the attempt is increased by 1 and the transition to the transfer of the request in the chosen direction.

Step 12. If the application was not served with the required quality, then the direction of γ is penalized:

$$P_{j\gamma}^* = \frac{P_{j\gamma} \alpha}{1 + (\alpha - 1) P_{j\gamma}}. \quad (6)$$

Step 13–15. Elements of the corresponding line of the matrix are normalized after the penalty of direction (7) and after the promotion (8) in such a way that $\sum_{k=1}^r P_{jk} = 1, j = \overline{1, s}$.

$$P_{jk}^* = \frac{P_{jk}}{1 + (\alpha - 1) P_{j\gamma}}, k \neq \gamma, k = \overline{1, r}; \quad (7)$$

$$P_{jk}^* = \frac{P_{jk}}{1 + (\beta - 1) P_{j\gamma}}, k \neq \gamma, k = \overline{1, r}. \quad (8)$$

Step 16–17. Assigning new values to matrix elements $P_{jk} = P_{jk}^*, k = \overline{1, r}$.

Step 18. Checking the condition, if the request is served at all.

Step 19. If the application is not served, then if there is a need to apply local adaptation elements, a few more attempts are made to get service in this direction (priority) (go to step 8).

Step 20. If the application is served, then the conclusion “Request is served”.

Step 21. If there is no need to apply the local adaptation elements, then assigning the auxiliary variable to the number of the current selected direction and transition to step 6. Nap_v is the number of the direction by which the transfer attempt was already made. If the flag about the application of the elements of local adaptation (LA) is present, then it is necessary to go to step 6.

Step 22. The end of the algorithm.

CONCLUSION

Along with the problems of integration of heterogeneous automated systems, there are tasks of improving of information interaction protocols. The algorithm of adaptive control of information flows in information systems is proposed. Suggestions and results of this work can form the basis for the operation protocols used in the program complexes for managing the information system of various control centers operating under perturbation conditions. In special purpose systems it is especially important to provide for the influence of external factors and impacts as a cause of the change in the state of the information system. Therefore, the integrated application of known methods for the distribution of flows in the IS control system is an urgent task for the newly created integrated information systems for special purposes, especially for distributed ones. Complex adaptive control algorithms can form the basis for management of information systems for special purposes.

REFERENCES

1. Zemlyakov S. D., Rutkovskiy V. Yu. Obobshchenny algorithm adaptatsii odnogo klassa bespoiskovykh samonastroyayushchikhsya sistem s model'yu [Generalized algorithm for adapting of the class of search-and-search self-tuning systems with a model]. *Avtomatika. i telemekhanika*. 1967. Vol. 28. No. 6. Pp. 88–94. (In Russian)
2. Tsyppin YA. Z. *Adaptatsiya i obucheniye v avtomaticheskikh sistemakh* [Adaptation and training in automatic systems]. Moscow: Nauka, 1968. 400 p. (In Russian)

3. Burenin A. N. Ob upravlenii marshrutizatsiyey na osnovе modifitsirovannykh adaptivnykh metodov [On the management of routing based on modified adaptive methods]. *Tekhnika sredstv svyazi*. 1991. № 7. Pp. 51–59. (In Russian)

4. Burenin A. N., Legkov K. E. *Sovremennye infokommunikatsionnye sistemy i seti. Osnovy postroyeniya i upravleniya* [Modern infocommunication systems and networks. Fundamentals of construction and management]. Moscow: Media Publisher Publ., 2015. 348 p. (In Russian)

5. Avanesov M. Yu., Prisyazhnyuk S. P. *Operativnoye upravleniye potokami dannykh v mul'tiservisnykh setyakh svyazi* [Operational management of data flows in multiservice communication networks]. St. Petersburg: Balt. state. tech. university, 2007. 81 p. (in Russian)

6. Lazarev V. G. Savvin N. G. *Seti svyazi, upravlenie, kommutatsiya* [Network communication, management, switching]. Moscow: Svyaz, 1973. 264 p. (In Russian)

7. Is'yanov V. M., Lazarev V. G., Parshenkov N. Ya. *Det-sentralizovannyi sposob dinamicheskogo raspredeleniya informatsii na avtomaticheskii kommutiruyemykh setyakh svyazi* [Decentralized way of dynamic information distribution on automatically switched networks]. In book “Avtomaty i upravleniye setyami svyazi”. Moscow: Nauka, 1971. Pp. 68–71. (In Russian)

8. Butrimenko A. V., Ginzburg S. L. *Ob odnom sposobe det-sentralizovannogo dinamicheskogo raspredeleniya potokov informatsii* [About one method of decentralized dynamic distribution of information flows]. In book “Information networks and commutation”. Moscow: Nauka, 1968. Pp. 32–69. (In Russian)

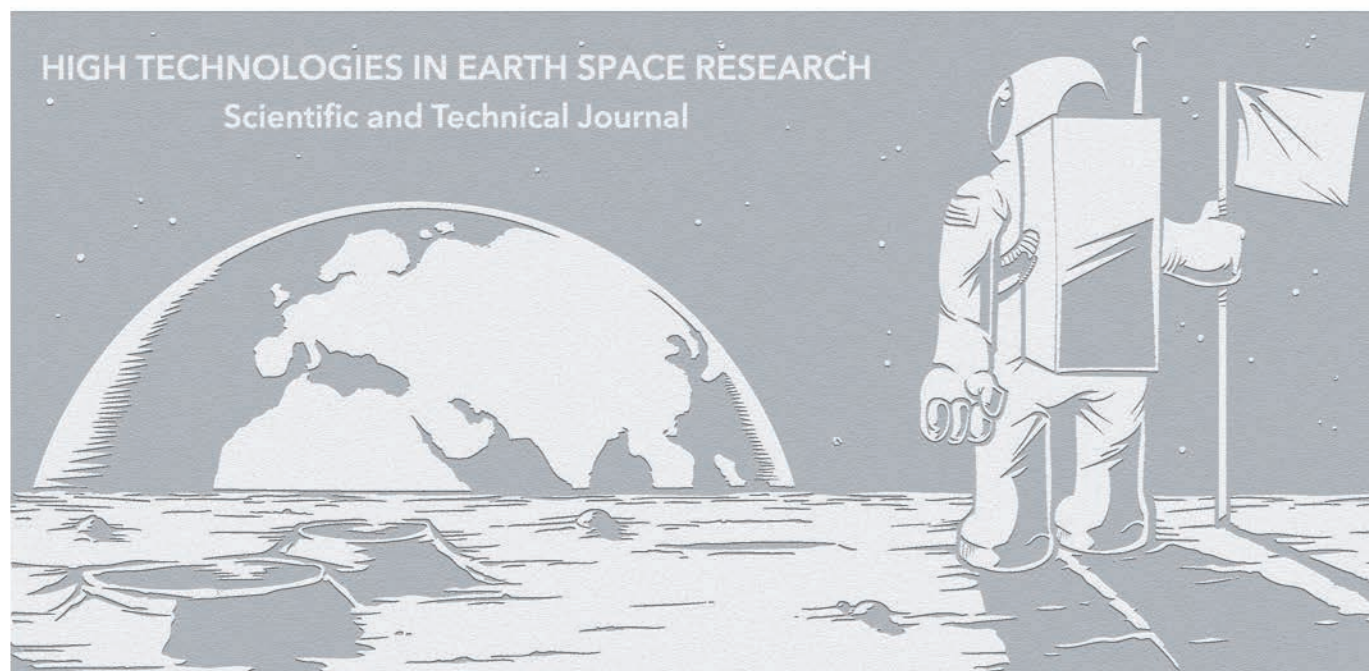
9. Butrimenko A. V., Lazarev V. G. Sistema poiska optimal'nykh putey peredachi soobshcheniy [The system of searching for optimal ways of transmitting messages]. *Problems of Information Transmission*. 1965. Vol. 1. No. 1. Pp. 80–87. (In Russian)

10. Novikov S. N. Klassifikatsiya metodov marshrutizatsii v mul'tiservisnykh setyakh svyazi [Classification of routing methods in multiservice communication networks]. *Vestnik SibGUTI*. 2013. No. 1. Pp. 57–67. (in Russian)

11. Gibbens R. J., Kelly F. P., Key P. B. Dynamic alternative routing — modeling and behavior. In Proceedings of the 12 International Teletraffic Congress, June 1988. Pp. 507–516.

12. Rainer Handel, Manfred N. Hunder, Stefan Schroder. *ATM Networks. Concepts, Protocols, Applications*. Addison-Wesley Publishing Company, 1999. 327 p.

13. Lindberger K. Analytical Methods for the Traffic Problems with Statistical Multiplexing in ATM-Network. *Teletraffic and Datatraffic in a Period of Change*. International Teletraffic Congress –13. Copenhagen, 1991. Pp. 807–813.



АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ МАССОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

БУРЕНИН Андрей Николаевич,

г. Санкт-Петербург, Россия, direct-2011@mail.ru

ЛЕГКОВ Константин Евгеньевич,

г. Санкт-Петербург, Россия, constl@mail.ru

ОРКИН Вадим Витальевич,

г. Санкт-Петербург, Россия, orc225@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: алгоритм; очередность выбора; информационная система; поток заявок; план управления.

АННОТАЦИЯ

Основной особенностью информационных систем, как объектов управления, является наличие как современных перспективных сетей и программно-аппаратных средств, основанных на передовых технологиях, так и существующих традиционных сетей, объединенных единой транспортной сетью для передачи информации и универсальной процедурой доступа к транспортной услуге. Причем в рамках информационной системы им необходимо взаимодействовать друг с другом. В условиях увеличения количества, разнородности и сложности оборудования, усложнения сетевых и информационных технологий, разветвленности топологии сетей задача управления современной информационной системой становится одной из важнейших. Основная задача управления при этом – это обеспечение функционирования информационной системы с заданными показателями эффективности в условиях массовых возмущений. В общем случае процесс управления включает следующие этапы: получение информации о поведении каждой информационной сети и ее оборудовании, анализ полученной информации, выработка и исполнение решения, т.е. осуществление управляющих воздействий на все объекты управления (все сети, их системы управления и оборудование). Вместе с тем внедрение централизованного сетевого управления затрудняется в связи с разнородностью информационных технологий и типов оборудования, применяемых в сетях, включая и сами системы сетевого управления. Это приводит к появлению ряда дополнительных проблем. Разнородность систем сетевого управления может вызвать

прерывания в информационных потоках, замедление процессов выработки управляющих команд и повышение вероятности возникновения ошибок. Одной из основных задач управления функционированием информационной системы является задача управления параметрами, характеризующими процессы функционирования системы. Данная задача может быть решена на основе разработки специальных процедур формирования плана управления потоками информации (заявок на предоставление услуг). План управления разрабатывается на основе данных планов распределения информации, необходимой для работы должностных лиц, на всех узлах информационной системы и определяет заданную на определенное время очередность выбора исходящих направлений передачи информации. Выбор той или иной процедуры формирования плана управления планируется осуществлять на основе научно-методического аппарата адаптивного ресурсосберегающего управления информационными системами, в котором важную роль играет алгоритм адаптивного управления.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Буренин А. Н., д.т.н., доцент, главный специалист АО «Научно-исследовательский институт «Рубин»;

Легков К. Е., к.т.н., начальник кафедры автоматизированных систем управления Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского;

Оркин В. В., адъюнкт кафедры Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Буренин А. Н., Легков К. Е., Оркин В. В. Алгоритм адаптивного управления информационными системами в условиях массовых возмущений // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 90–95.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Редакция журнала H&ES Research принимает к публикации статьи на русском и английском языках. Предоставляемая рукопись должна быть актуальной, обладать новизной, отражать постановку задачи, содержать описание основных результатов исследования, выводы, а также соответствовать указанным ниже правилам оформления. Текст должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научнотеоретический уровень публикуемого материала.

Статья предоставляется в электронном виде, единым файлом, имеющим следующую структуру: заглавие статьи, сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, текст статьи (включая иллюстрации, таблицы и формулы), пристатейный список литературы, англоязычный блок. Также представляется отдельная папка с экспортированными изображениями рисунков в формате TIFF, EPS по требованиям указанным в п.7.

К статье прилагается экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати и две рецензии кандидатов или докторов наук по профилю планируемой публикации материалов (сканированные копии в электронном виде).

Все материалы высылаются электронной почтой в адрес журнала: HT-iESResearch@yandex.ru.

1. **Статья подготавливается** в редакторе MS Word. Шаблон статьи можно скачать на сайте журнала www.h-es.ru.

2. **Данные об авторе:** фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и полное название организации – места работы, город, страна, адрес электронной почты и почтовый адрес каждого автора полностью.

3. **Объем аннотации** 200 – 250 слов. Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), без сокращений, структурированной, отражать основное содержание статьи: предмет, цель, методологию проведения исследований, результаты исследований, область их применения, выводы. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Предложения должны начинаться словами: показано, получено, исследовано, предсказано и т.д. и т.п.

4. **Ключевые слова:** от 5 до 7 слов (словосочетаний), разделенных точкой с запятой.

5. **Объем статьи** без аннотации – от 15 до 30 тыс. знаков с пробелами. Рисунки и таблицы в объеме статьи не учитываются.

6. **Формульные выражения** выполняются в редакторе Math Type. Формулы нумеруются в круглых скобках, источники – в прямых. Нумерация формул и приведение в списке источников, на которые нет ссылок по тексту, не допускается. Длина формулы в одну строчку 8-9 см.

Простые формулы и буквенные обозначения величин следует писать в строку обычным текстом. В формулах использовать только буквы латинского и греческого алфавита!

Размеры шрифтов (Size) предварительно перед набором первой формулы установить (в MathType) следующие: кегль основной – 10, крупный индекс – 7, мелкий индекс – 5, крупный символ – 12, мелкий символ – 8. Формулы, не содержащие специальных математических символов, должны быть набраны в тексте (в формате Word). Греческие обозначения, скобки (квадратные и круглые) и цифры всегда набираются прямым шрифтом. Латинские буквы на-

бираются курсивом как в формулах, так и в тексте, кроме устойчивых форм (max, min, cos, sin, tg, log, exp, det ...).

Нельзя использовать сканированные формулы! Все формулы должны быть набраны вручную!

7. **Рисунки и таблицы** в статье должны быть пронумерованы и снабжены подписями, в тексте статьи должны иметься ссылки на каждый рисунок и таблицу (рис.1 и табл.1). Если рисунок или таблица единственные в статье, то их не нумеруют.

Рисунки должны быть четкими, с хорошо проработанными деталями. Избегать текстовых надписей на иллюстрациях. Заменять их цифровыми обозначениями, которые поясняются в подписи или в основном тексте. Все рисунки прилагаются в виде отдельных файлов в формате TIFF, EPS с разрешением не менее 300 dpi для оригинального размера в печатном издании (для больших рисунков ширина от 14 до 20 см, для маленьких от 7 до 9 см).

8. **Список литературы:** от 15 до 50 наименований. Из них самоцитирований не должно быть более 25%. В числе источников желательно не менее 50 % иностранных источников (для статей на английском языке – 15% российских). Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее 8 статей из научных журналов не старше 10 лет, из них 4 – не старше 3 лет.

Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты и другую нормативную и непериодическую документацию. Эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или в виде постраничных сносок (если автор непременно хочет указать нормативный документ или сослаться на свою диссертацию). Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.052008. **Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала www.h-es.ru.**

9. **На английском языке** предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, информация об авторах (должность, ученая степень, ученое звание, место работы), город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы.

Все названия издательств и журналов должны быть транслитерированы, а не переведены. Названия организаций в списках литературы (Труды Академии...) должны быть четко выверены с данными организации и иметь официальное английское наименование, которое указано на их сайте или также транслитерированы. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала www.h-es.ru.

10. Структура статьи на английском языке

Introduction (введение)

Materials and methods (материалы и методы).

Results and Discussions (результаты и обсуждение).

Conclusions (вывод)

Acknowledgements (благодарности, необязательный раздел)

References (ссылки на использованную литературу)

На русском языке предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, информация об авторах (должность, ученая степень, ученое звание, место работы), город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы.

Внимание! Редакция оставляет за собой право отклонить представленные материалы, оформленные не по указанным правилам.