

## НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

Научно-технический журнал

Scientific and Technical Journal

### HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

Журнал **H&ES Research** издается с 2009 года, освещает достижения и проблемы российских инфокоммуникаций, внедрение последних достижений отрасли в автоматизированных системах управления, развитие технологий в информационной безопасности, исследования космоса, развитие спутникового телевидения и навигации, исследование Арктики. Особое место в издании уделено результатам научных исследований молодых ученых в области создания новых средств и технологий космических исследований Земли.

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

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

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

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

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

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

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

#### ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

#### JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

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

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

ПЛАТА С АСПИРАНТОВ ЗА ПУБЛИКАЦИЮ РУКОПИСИ НЕ ВЗИМАЕТСЯ

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

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

Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте.

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

© ООО «ИД Медиа Паблшер», 2019

The opinions of the authors don't always coincide with the point of view of the publisher. For the content of ads, the editorial Board is not responsible. All articles and illustrations are copyright. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock company.

POSTGRADUATE STUDENTS FOR PUBLICATION OF THE MANUSCRIPT WILL NOT BE CHARGED

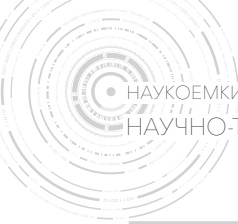
All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: [HT-ESResearch@yandex.ru](mailto:HT-ESResearch@yandex.ru).

The requirements are available on the website: [www.H-ES.ru](http://www.H-ES.ru).

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

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

© "Media Publisher", LLC 2019



**Учредитель:**

ООО «ИД Медиа Паблшер»

**Издатель:**

СВЕТЛАНА ДЫМКОВА

**Главный редактор:**

КОНСТАНТИН ЛЕГКОВ

**Редакционная коллегия:**

**БОБРОВСКИЙ В.И.**, д.т.н., доцент;  
**БОРИСОВ В.В.**, д.т.н., профессор,  
 Действительный член академии  
 военных наук РФ;  
**БУДКО П.А.**, д.т.н., профессор;  
**БУДНИКОВ С.А.**, д.т.н., доцент,  
 Действительный член Академии  
 информатизации образования;  
**ВЕРХОВА Г.В.**, д.т.н., профессор;  
**ГОНЧАРОВСКИЙ В.С.**, д.т.н., профессор,  
 заслуженный деятель науки  
 и техники РФ;  
**КОМАШИНСКИЙ В.И.**, д.т.н., профессор;  
**КИРГАНЕВ А.В.**, д.т.н., доцент;  
**КУРНОСОВ В.И.**, д.т.н., профессор,  
 академик Международной академии  
 информатизации, 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;  
**СЕНИЦЫН Е.А.**, д.т.н., профессор;  
**ШАТРАКОВ Ю.Г.**, д.т.н., профессор,  
 заслуженный деятель науки РФ.

**H&ES Research** зарегистрирован  
 Федеральной службой по надзору  
 за соблюдением законодательства в  
 сфере массовых коммуникаций и охране  
 культурного наследия.  
 Издательская лицензия  
 ПИ № ФС 77-60899.

**Адрес издателя:**

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

**Адрес редакции:**

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

**Дизайн и компьютерная верстка:**

ОКСАНА ИВАНОВА

# СОДЕРЖАНИЕ

## АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

**Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирий А.О.**

Обоснование облика перспективных радиолокационных станций  
 посредством разрабатываемой отечественной системы  
 автоматизированного проектирования ..... 4

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Будко П.А., Винограденко А.М., Гойденко В.К.**

Методика теплового диагностирования и контроля технического состояния  
 радиоэлектронного оборудования ..... 12

**Буренин А.Н., Легков К.Е.**

Основные подходы к организации оперативного управления  
 комплексами обеспечения единым временем системы управления сложным  
 организационно-техническим объектом ..... 20

**Гавришев А.А., Жук А.П.**

Применение вейвлет-анализа для качественной оценки свойств  
 системы связи на основе шумоподобных сигналов  
 автоматизированной системы управления специального назначения ..... 33

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Боровиков А.Ю., Новиков К.Б., Маслов О.А.**

Описание подхода программной реализации модуля доверенной загрузки  
 операционной системы ..... 43

**Диченко С.А.**

Контроль и обеспечение целостности информации  
 в системах хранения данных ..... 49

**Новичков В.М., Мишин Ю.Н., Филинов Н.И.**

Автоматизированная система управления процессом напыления  
 тензорезисторов на основе моносульфида самария ..... 58

**Саенко И.Б., Старков А.М.**

Подход к моделированию виртуальных локальных вычислительных сетей  
 в корпоративных информационных системах ..... 66

**Скорнякова Е.А, Сулаберидзе В.Ш.**

Проблемы автоматизации процесса производственного планирования ..... 78

**Тувев В.И., Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Солдаткин В.С.**

Многоуровневая компьютерная модель технологического процесса  
 производства светодиодных ламп ..... 86



# CONTENTS

## AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

- Konovalchik A.P., Plaksenko O.A., Schiriy A.O.**  
Justification of the appearance of perspective radar systems by means  
developing russian radar cad system..... 4

## RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

- Budko P.A., Vinogradenko A. M., Goydenko V.K.**  
The method of thermal diagnostics and control  
of technical condition of radioelectronic equipment..... 12

- Burenin A.N., Legkov K.E.**  
Basic approaches to the organization of operational management of complexes  
of providing management system with uniform time with the difficult organizational  
and technical object..... 20

- Gavrishev A.A., Zhuk A.P.**  
Application of wavelet analysis for the qualitative assessment of the properties  
of the communication system on the basis of noise signals of automated  
control systems for special purpose..... 33

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

- Borovikov A.Y., Novikov K.B., Maslov O.A.**  
Description of the software implementation approach  
of the software module for trusted boot ..... 43

- Dichenko S.A.**  
Control and security of information integrity  
in data storage systems ..... 49

- Novichkov V.M., Mishin Yu.N., Filinov N.I.**  
Automated control system for made of samarium monosulfide strain  
gages deposition process control ..... 58

- Saenko I.B., Starkov A.M.**  
The approach to modeling virtual local area networks  
in the corporate information systems..... 66

- Sulaberidze V.S., Skorniakova E.A.**  
Problems of production planning process automation ..... 78

- Tuev V.I., Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Soldatkin V.S.**  
Multilevel computer model of technological process production of led lamps ..... 86

**Founder:**  
"Media Publisher", LLC

**Publisher:**  
SVETLANA DYMKOVA

**Editor in chief:**  
KONSTANTIN LEGKOV

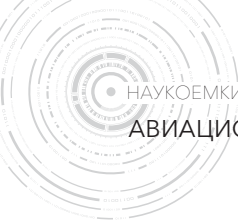
**Editorial board:**  
**BOBROWSKY V.I.**, PhD, Docent;  
**BORISOV V.V.**, PhD, Full Professor;  
**BUDKO P.A.**, PhD, Full Professor;  
**BUDNIKOV S.A.**, PhD, Docent,  
Actual Member of the Academy  
of Education Informatization;  
**VERHOVA G.V.**, PhD, Full Professor;  
**GONCHAREVSKY V.S.**, PhD, Full Professor,  
Honored Worker of Science  
and Technology of the Russian Federation;  
**KOMASHINSKIY V.I.**, PhD, Full Professor;  
**KIRPANEV A.V.**, PhD, Docent;  
**KURNOSOV V.I.**, PhD, Full Professor,  
Academician of the International Academy  
of Informatization, law and order,  
Member of the Academy of Natural  
Sciences;  
**MANUILOV Y.S.**, PhD, Full Professor;  
**MOROZOV A.V.**, PhD, Full Professor,  
Actual Member of the Academy  
of Military Sciences;  
**MOSHAK N.N.**, PhD, Docent;  
**PROROK V.Y.**, PhD, Full Professor;  
**SEMEV S.S.**, PhD, Docent;  
**SINICYN E.A.**, PhD, Full Professor;  
**SHATRAKOV Y.G.**, PhD, Full Professor;  
Honored Worker of Science  
of the Russian Federation.

Journal H&ES Research has been  
registered by the Federal service on  
supervision of legislation observance  
in sphere of mass communications and  
cultural heritage protection.  
Publishing license  
ПИ № ФС 77-60899.

**Address of publisher:**  
111024, Russia, Moscow,  
st. Aviamotornaya, 8, office 512-514;

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

**Design and computer imposition:**  
OKSANA IVANOVA



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10219

# ОБОСНОВАНИЕ ОБЛИКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**КОНОВАЛЬЧИК****Артём Павлович<sup>1</sup>****ПЛАКСЕНКО****Олег Александрович<sup>2</sup>****ЩИРЫЙ****Андрей Олегович<sup>3</sup>****АННОТАЦИЯ**

Работа посвящена разработке отечественной системы автоматизированного проектирования радиолокационных систем, радиолокационных комплексов, радиолокационных станций. Специфика разрабатываемой системы проектирования наиболее выражена в учете сценариев использования проектируемого изделия в условиях конкретных средств воздушно-космического нападения и обороны, что в сочетании с прочим функционалом позволяет осуществлять обоснование облика перспективных радиолокационных систем (комплексов, станций). В работе представлена концепция пяти уровней проектирования (это системный, структурный, логический, схемотехнический, конструктивно-технологический уровни) и основные требования при реализации данной концепции; описан редактор радиосцены, относящийся к системному уровню проектирования. В разрабатываемой системе реализуется также модуль предварительной оценки параметров радиолокационных систем, предназначенный для расчета и оценки основных тактико-технических характеристик проектируемой радиолокационной системы на этапе эскизного (эскизно-технического) проектирования. Поскольку большинство характеристик радиолокационных систем взаимосвязаны, улучшение одних может привести к ухудшению других. В основе модуля предварительной оценки лежат упрощенные расчетные методики, не требующие трудоемких вычислений. Полученные предварительные оценки являются исходными данными для более точных расчетов и моделирования, и позволяют избежать задания бессмысленных либо недостижимых исходных параметров. Представлены детали реализации имитационного моделирования. В разрабатываемой системе реализуется поддержка двух схем имитационного моделирования: на системном и структурном уровнях – по дискретно-событийной схеме, а на логическом уровне – по пошаговой схеме. В ходе имитационного моделирования рассчитываются показатели качества радиолокационной станции. При этом этап имитационного моделирования служит для верификации и уточнения параметров проектируемых станций, облик которых определен в общем виде на этапах предварительной оценки параметров и инженерного анализа.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система автоматизированного проектирования; радиолокационная станция; оценка качества радиолокационных станций; имитационное моделирование; моделирование боевых действий; дискретно-событийное моделирование; пошаговое моделирование.

**Сведения об авторах:**

<sup>1</sup>к.т.н., заместитель Генерального конструктора по перспективным проектам акционерного общества «Концерн Воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей», konovalchik@almaz-antey.ru

<sup>2</sup>к.т.н., начальник отдела конструкторского бюро перспективных проектов акционерного общества «Концерн Воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей», г. Москва, Россия, o.plaksenko@almaz-antey.ru

<sup>3</sup>к.т.н., начальник отдела конструкторского бюро перспективных проектов акционерного общества «Концерн Воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей», г. Москва, Россия, andreyschiryi@almaz-antey.ru

**Для цитирования:** Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирий А.О. Обоснование облика перспективных радиолокационных станций посредством разрабатываемой отечественной системы автоматизированного проектирования // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 4-11. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10219

## Введение

В настоящее время в АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» проводится инициативная опытно-конструкторская работа по созданию системы автоматизированного проектирования (САПР) радиолокационных станций (РЛС), радиолокационных комплексов и радиолокационных систем, а также их компонентов. Специфика разрабатываемой САПР наиболее выражена в закладываемом функционале имитационного моделирования боевых действий, для проектирования изделий с учетом конкретных условий боевого применения, средств воздушно-космического нападения, фоноцелевой обстановки.

Одним из важнейших применений разрабатываемой САПР является обоснование облика проектируемых РЛС по результатам проведения сквозного комплексного имитационного моделирования на основе требований к образцам вооружений и военной техники, а также принципов их боевого применения, и возможно технико-экономических показателей.

Разработка САПР РЛС ведется силами АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», его дочерних предприятий, а также компаний, обладающих компетенциями в области проектирования РЛС, с использованием имеющегося у них задела [1]. Общая структура САПР РЛС, этапы проектирования РЛС посредством разрабатываемой САПР (этап предварительной оценки параметров РЛС, этап инженерного анализа, этап имитационного моделирования, этап статистической обработки и оптимизации, этап оценки экономической целесообразности, этап разработки рабочей-конструкторской документации), концепция многоуровневого проектирования были ранее изложены нами в [1–5].

### 1. Уровни проектирования РЛС в разрабатываемой САПР

В разрабатываемую САПР РЛС закладывается концепция многоуровневого ведения проектирования РЛС посредством данной САПР, для чего выделено пять уровней проектирования [2], которые перечислены ниже.

1. Системный уровень: размещение на картах местности РЛС, компонентов радиолокационных (РЛ) комплексов, целей, а также маршрутов их движения, источников помех с заданием типов. Компоненты выбираются из существующих библиотек готовых изделий, образцов (шаблонов), а также из компонентов, создаваемых на следующих (нижних) уровнях проектирования. Позволяет оценить эффективность работы группировки РЛ средств с учетом местности и внешних воздействий в условиях применения конкретных средств воздушно-космического нападения (СВКН) и воздушно-космической обороны (СВКО).

2. Структурный уровень: создание (сборка) структуры РЛС из готовых модулей (антенно-фидерные устройства, приемники, передатчики и их составные части) — моделей

либо реально существующих образцов, либо разработанных на нижних уровнях САПР. На этом уровне проводится исследование возможности создания и оценка показателей эффективности работы отдельных РЛС; обоснование оптимального состава отдельных РЛС. Также РЛС собранные на этом уровне являются неделимыми элементами для системного уровня, на котором эффективность работы оценивается в составе группировки и с учетом СВКН и СВКО.

3. Логический (функционально-логический) уровень: варьирование алгоритмов цифровой обработки информации с целью обеспечения оптимального их сочетания по выбранным критериям эффективности. На этом уровне производится выбор и обоснование оптимальных алгоритмов управления РЛС, типов и параметров используемых сигналов.

4. Схемотехнический уровень: создание принципиальных схем.

5. Конструктивно-технологический уровень: создание 3D-моделей и чертежей конструктивных элементов, схем разводки плат, рабочей конструкторской документации.

Отметим, что уровни проектирования следует отличать от этапов проектирования, хотя для каждого из этапов можно выделить один или несколько уровней наиболее актуальных на данном этапе.

В разрабатываемой САПР пользователь моделирует работу полноценной РЛС в условиях воздушного налета с привязкой к конкретной местности (т.е. в окружении, близком к реальному). Результаты моделирования визуализируются в динамике, а также при моделировании рассчитывается набор показателей качества работы РЛС. Пользователь может моделировать как одну РЛС, так и группировку, состоящую из одно- или разнотипных РЛС, объединенных в иерархию вместе с командными пунктами. Также пользователь может редактировать имеющиеся модели РЛС или создать собственную модель. Таким образом, функционал системного уровня состоит в основном из двух частей: редактора радиосцены и функционала для создания сценариев имитационного моделирования боевых действий, с возможностью создания обороняющейся и нападающей боевых группировок. Причем, функционал имитационного моделирования охватывает первые три уровня (системный, структурный, логический). С точки зрения стадий проектирования, имитационное моделирование выделено в отдельный этап (см. выше), при этом этап имитационного моделирования служит для верификации и уточнения параметров проектируемых РЛС, облик которых определен в общем виде на этапах предварительной оценки параметров и инженерного анализа [6–22]. Проблематика предварительной оценки будет разобрана ниже. Вопросы инженерного анализа были обсуждены в [5] и в данной работе не рассматриваются.

Нужно отметить, что сказанное здесь и далее про РЛС (т.е. РЛ системы), также справедливо и для РЛ комплексов, и для отдельных РЛ станций (кроме, может быть, системного уровня) — подразумевая, что РЛ станции входят в состав РЛ комплексов, а РЛ комплексы, в свою очередь, входят в состав РЛ систем.

## 2. Предварительная оценка параметров РЛС

Модуль предварительной оценки параметров РЛС предназначен для расчета и оценки основных тактико-технических характеристик (ТТХ) проектируемой РЛС на этапе эскизного (эскизно-технического) проектирования. Большинство характеристик РЛС взаимосвязаны, улучшение одних может привести к ухудшению других. Модуль позволяет:

- находить оптимальный компромисс между значениями искомых ТТХ, чтобы удовлетворять предъявляемым к РЛС требованиям;
- осуществлять проверку корректности и непротиворечивости вводимых значений при оценке параметров РЛС.

Оцениваемые тактические характеристики РЛС:

- 1) Зона обзора пространства (размер сектора по азимуту, пределы по углу места, пределы по дальности).
- 2) Период обзора пространства.
- 3) Максимальная дальность обнаружения цели с заданной ЭПР при заданных вероятностях правильного обнаружения и ложной тревоги.
- 4) Вероятность обнаружения цели с заданной ЭПР на заданном рубеже.
- 5) Потенциальные точности (среднеквадратичные отклонения) измерения координат цели с заданной ЭПР на заданной дальности (по дальности, по радиальной скорости, по азимуту, по углу места, по плоскостным координатам, по высоте).
- 6) Потенциальные разрешающие способности (по дальности, по радиальной скорости, по азимуту, по углу места, по высоте).
- 7) Количество одновременно сопровождаемых целей заданной ЭПР.

Оцениваемые технические характеристики РЛС:

- 1) Раскрыв антенны (по азимуту, по углу места).
- 2) Коэффициент усиления антенны.
- 3) Ширина диаграммы направленности антенны (ДНА), желателен по половинной мощности, с учетом отклонения максимума излучения от нормали к полотну антенны (по азимуту, по углу места).
- 4) Значения нормированной ДНА (по азимуту, по углу места).
- 5) Коэффициент шума приемной системы.
- 6) Суммарный коэффициент потерь на прием и передачу.
- 7) Суммарная мощность РЛС (импульсная, средняя).

- 8) Длительность зондирующего сигнала (максимальная, минимальная).
- 9) Ширина спектра зондирующего сигнала.
- 10) Период повторения зондирующих сигналов.
- 11) Время когерентного накопления.
- 12) Измеряемая (инструментальная) дальность (максимальная, минимальная).
- 13) Дискретизация по дальности.
- 14) Измеряемая радиальная скорость (максимальная, минимальная).
- 15) Дискретизация по скорости.
- 16) Потенциал РЛС.

В основе расчетных методик модуля предварительной оценки, как правило, лежат простые математические выражения, вытекающие из фундаментальных законов. Полученные оценки являются исходными данными для более точных расчетов и моделирования, и позволяют избежать задания бессмысленных либо недостижимых параметров.

## 3. Реализация редактора радиосцены на системном уровне

В основе редактора радиосцены лежит функционал геоинформационной системы (ГИС), включающий возможности отображения в 2D и 3D проекциях и возможность импорта пространственных данных из различных источников [4]. Обеспечивается работа не только с географическими и топографическими картами, но с любыми необходимыми цифровыми данными, имеющими пространственную привязку: матрицами свойств местности (прежде всего радиофизических свойств, например, диэлектрических), матрицами высот, метеорологических данными (загружаемыми из открытых источников сети интернет из стандартизованных форматов). Перечисленные данные («некарты») нужны, прежде всего, для работы вычислительных модулей, но в случае необходимости должна обеспечиваться их визуализация как отдельных слоев. Также на системном уровне необходим функционал для создания сценариев имитационного моделирования, с возможностью создания обороняющейся и нападающей боевых группировок. Моделирование РЛС в конкретных географических условиях необходимо для учета радиофизических свойств местности, а также рельефа (углы закрытия, расчёта зон видимости РЛС с учётом полета летательных аппаратов с огибанием рельефа местности). То есть реализуется редактор радиосцены, позволяющий:

- задать положение компонентов РЛС, вписав их в рельеф местности;
- задать типы целей и их траекторию (контрольные точки, типы манёвров, ожидаемые скорости движения на участках);
- настроить режим работы РЛС: сектора сканирования, шаг сетки сканирования, режимы сопровождения и др.



Редактор радиосцены предоставляет возможность легкого переключения 2D–3D представлений. 2D-карта позволяет хорошо привязываться к местности, однако многие детали сцены на ней будут показаны неточно — в частности, трёхмерные траектории целей, зоны закрытия РЛС, положение главного лепестка диаграммы направленности антенны (ДНА) РЛС и детали рельефа местности на ней могут быть показаны лишь приблизительно, в виде проекции на плоскость. 3D-карта позволяет показать детальную картинку. Её недостаток — трудности в привязке к местности, особенно при большом увеличении.

На радиосцене отображаются разнообразные картографические подложки, как растровые, так и векторные. Подложки могут использоваться как источник данных для расчетов и моделирования. К таким подложкам относятся, в частности, матрицы свойств подстилающей поверхности: матрицы высот рельефа, матрицы высот местных предметов, матрицы типов поверхности. В состав САПР будет входить набор таких матриц, организованных в виде нескольких локальных или удалённых файловых хранилищ (для каждого типа матриц). Так как загрузка целого хранилища в память обычно невозможна, то пользователь должен иметь возможность увидеть карту покрытия, с помощью которой можно:

- понять, какие территории покрыты матричными данными для данного хранилища;
- выбрать, какие именно матрицы высот загружать как для отображения, так и для дальнейших расчётов.

Кроме того, у пользователя должна быть возможность подгружать свои картографические подложки из файлов на своей локальной ЭВМ.

Профиль местности соответствует азимутальному направлению, указанному на карточке углов закрытия визиром. Пользователю предоставляется возможность в интерактивном режиме изменять азимут и по этому азимуту оперативно отображается профиль местности.

При визуализации эксперимента отображаются следующие объекты. Статические объекты: маркеры РЛС и командных пунктов (в случае реализации работы в группировке), сетка обзора РЛС, области видимости РЛС, информация о рельефе местности, информация об отражающей способности подстилающей поверхности. Объекты с характерным временем изменения в несколько циклов обзора РЛС: трассы сопровождения в динамике. Объекты с характерным временем изменения, соответствующим одному циклу обзора: обновления трасс, зоны отождествления целей, текущие параметры выбранных целей, график зависимости сигнал/шум от времени, график зависимости невязки от времени, график зависимости параметров фильтра траекторной обработки от времени, смоделированные положения воздушных объектов, их заданные маршруты в виде контрольных точек. Объекты, изменяю-

щиеся при каждой установке луча: главный лепесток антенной решётки (положение, ширина, инструментальная дальность); отметки, пришедшие с первичной обработки; матрица дальность-скорость. Организация получения данных от имитационной модели для их оперативного отображения на радиосцене будет показана далее.

#### 4. Реализация имитационного моделирования

В разрабатываемой САПР реализуется поддержка двух схем имитационного моделирования: на 1 и 2 уровнях имитационное моделирование по дискретно-событийной схеме, а на 3 уровне — по пошаговой схеме.

Пошаговая схема обладает такими преимуществами, как простота и наглядность, в пошаговой схеме возможно смоделировать некоторые несложные виды РЛС, однако, в ней невозможно корректное моделирование РЛС с параллельной обработкой сигналов на разных частотах: например, ряда РЛС с большой инструментальной дальностью (несколько тысяч км), используемых для задач ПРО. А уж тем более в пошаговой схеме невозможно моделирование группировок СВКН и СВКО.

В дискретно-событийной схеме ведется динамический «календарь» процессов, определяющий порядок передачи управления между вычислительными блоками.

Таким образом, при имитационном моделировании функционируют два планировщика: «высокоуровневый» дискретно-событийный диспетчер и «низкоуровневый» пошаговый. Дискретно-событийный диспетчер взаимодействует с пошаговым планировщиком каждый раз, когда рассчитывает очередной событийный блок 1–2 уровней.

Основным видом имитационного моделирования в САПР-РЛС является дискретно-событийное моделирование. В этом случае в диспетчере имитационного моделирования создаётся явная очередь задач, в которой могут регистрироваться события разных типов (каждому типу событий соответствует свой обработчик). Каждое событие, регистрируемое в очереди задач, регистрируется на определённое модельное время.

Логика работы очереди задач и обработчиков в общем виде выглядит так:

- каждый раз из очереди событий выбирается событие с наименьшим модельным временем, это модельное время присваивается счётчику текущего модельного времени;
- выбранное из очереди событие передаётся в обработчик, специфичный для данного типа событий;
- обработчик может как вызывать математические расчёты, так и запланировать в очереди задач новые события, при этом модельное время этих событий должно быть не меньше, чем у текущего события;
- после обработки текущее событие удаляется из очереди.

К событиям очереди задач могут относиться как события, относящиеся к РЛС (например, начало и конец излучения импульса, конец приёма сигнала от импульса и др.), так и события, относящиеся к помехо-целевой обстановке (например, раз в 2 секунды может быть запланирована проверка состояния цели, с возможностью изменения поведения цели и пересчёта её траектории полёта).

Достоинство такого способа диспетчеризации — в её потенциальной гибкости. Главный недостаток, помимо сложности реализации, в том, что одновременный расчёт двух событий в одной очереди задач, в общем случае, не предусматривается, так как нет гарантий, что при расчёте более раннего события обстановка для более позднего события не изменится.

### 5. Оценка качества РЛС в ходе имитационного моделирования

Для оценки качества РЛС используются следующие показатели:

- максимальная дальность обнаружения (первичная обработка);
- среднеквадратичное отклонение (СКО) измерения дальности, азимута, угла места (высоты) и радиальной скорости (первичная обработка);
- максимальная дальность завязки трассы;
- среднее время захвата цели на сопровождение (от первой отметки цели до завязки трассы);
- СКО при сопровождении (от экстраполированной траекторной информации, т.е. при вторичной обработке);
- максимальное время непрерывного сопровождения цели;
- среднее количество пропусков цели при сопровождении (без потери трассы);
- реальная зона сопровождения по углу места (на каком максимальном угле места цель ещё сопровождалась).

Показатели рассчитываются для каждой цели. Также возможно усреднение расчёта по нескольким реализациям имитационного эксперимента.

### Заключение

Таким образом, функционал закладываемый в САПР, позволит проводить обоснование облика проектируемых РЛС на основании результатов проведения сквозного комплексного имитационного моделирования, включая имитацию боевых действий в условиях конкретных СВКН и СВКО, исходными данными для которого будут тактико-технические требования к разрабатываемым перспективным образцам вооружений и военной техники, а также принципы их боевого применения.

### Литература

1. Коновальчик А.П., Конопелькин М.Ю., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Постановка задачи разработки

и предварительная архитектура отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // *Материалы двадцатого научно-практического семинара «Новые информационные технологии в автоматизированных системах»* Москва, 20 апреля 2017 г). Москва: Изд-во Института прикладной математики им. М.В. Келдыша, 2017. № 20. С. 127–130.

2. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Концепция многоуровневого проектирования РЛС в разрабатываемой САПР РЛС полного сквозного цикла // *Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» «INTERMATIC — 2017»* (Москва, 20–24 ноября 2017 г.). Москва: Изд-во МИРЭА, 2017. Т. 17. № 4. С. 889–892.

3. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Функции имитации боевых действий в разрабатываемой отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // *Вопросы радиоэлектроники*. 2018. № 3. С. 30–34.

4. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Реализация редактора радиосцены на системном уровне проектирования в разрабатываемой отечественной САПР РЛС // *Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» «INTERMATIC — 2018»* (Москва, 19–23 ноября 2018 г.). Москва, 2018. Т. 18. № 3. С. 638–641.

5. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Пакет программных средств инженерного анализа в разрабатываемой отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // *Материалы Первой всероссийской конференции с международным участием «Цифровые средства производства инженерного анализа»* (Тула, 27 ноября – 01 декабря 2017 г.). Тула: Изд-во Тульского государственного университета им. Л.Н. Толстого, 2017. С. 43–44.

6. Ахияров В.В., Нефедов С.И., Николаев А.И., Служкин Г.П., Федоров И.Б., Шустиков В.Ю. Радиолокационные системы / Под ред. А.И. Николаева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 349 с.

7. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. 3-е изд. М.: Воениздат, 1991. 343 с.

8. Тяпкин В.Н., Фомин А.Н., Гарин Е.Н., Фатеев Ю.Л., Бердышев В.П., Наговицын А.А., Темеров А.В., Сомов В.Г., Лютиков И.В. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск / под общ. ред. В.Н. Тяпкина. Красноярск: Изд-во Сибирского федерального университета, 2011. 536 с.

9. Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. М.: Сов. радио, 1971. 366 с.

10. Dunnigan J. The Complete Wargames Handbook. N.Y.: Quill, 1992. 333 p.

11. Ren W., Yongcan C. Distributed Coordination of Multiagent Networks. London: Springer, 2011. 307 p.



12. *Shoham Y., Leyton-Brown K.* Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. N.Y.: Cambridge University Press, 2008. 513 p.

13. *Weiss G.* Multiagent Systems: a Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. Massachusetts: MIT Press, 1999. 619 p.

14. *Blank L., Enomoto C., Gegax D., McGuckin T., Simmons C.* A Dynamic Model of Insurgency: The Case of the War in Iraq // Peace Economics, Peace Science and Public Policy. 2008. Vol. 14. No. 2. Pp. 1–26.

15. *Новиков Д. А.* Иерархические модели военных действий // Управление большими системами. 2012. № 37. С. 25–62.

16. Имитационное моделирование боевых действий: теория и практика / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Сошникова П. А., д-ра техн. наук, проф. Глушкова И. Н. Тверь, 2013. 528 с.

17. *Бродский Ю. И.* Распределенное имитационное моделирование сложных систем. М.: Вычислительный центр им. А. А. Дороницына РАН, 2010. 156 с.

18. *Николаев П. И.* Имитационная модель взаимодействий объектов распределенной радиотехнической системы // Инженерный вестник Дона. 2007. № 2. С. 58–63.

19. *Дворников К. А., Илларионов А. В.* Применение моделирующих комплексов для оценки эффективности контура ПВО корабля // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2013. № 2. С. 10–21.

20. *Вавилов Д. В.* Математические методы при моделировании боевых действий ВМФ при исследовательском проектировании РЭВ // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2013. № 2. С. 4–10.

21. *Жеребин А. М., Зурабян Н. И.* Модель боевых действий для оценки эффективности перспективного авиационного вооружения // Вестник МАИ. 2009. Т. 16. № 4. С. 8–13.

22. *Мяжков А. Н., Бродский Ю. И.* Об управлении временем в распределённых имитационных моделях // Труды МФТИ. 2012. Т. 4. № 3(15). С. 181–186.



**НПЦ ИРС**

Научно-производственный центр  
Информационных региональных систем

▶ [npcirs.ru](http://npcirs.ru)

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

**Основными направлениями нашей деятельности являются:**

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



**НПЦ ИРС**

Научно-производственный центр  
Информационных региональных систем  
▶ [npcirs.ru](http://npcirs.ru)

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

## JUSTIFICATION OF THE APPEARANCE OF PERSPECTIVE RADAR SYSTEMS BY MEANS DEVELOPING RUSSIAN RADAR CAD SYSTEM

**ARTEM P. KONOVALCHIK**

Moscow, Russia, konovalchik@almaz-antey.ru

**OLEG A. PLAKSENKO**

Moscow, Russia, o.plaksenko@almaz-antey.ru

**ANDREY O. SCHIRIY**

Moscow, Russia, andreyschiriy@almaz-antey.ru

**KEYWORDS:** CAD; radar; radar quality; simulation; modeling of fighting; discrete event modeling; step-by-step simulation.

### ABSTRACT

The work is devoted to the development of the system of computer-aided design of radar and radar systems. The feature of the developed design system is most expressed in taking into account the scenarios of using the designed product in the conditions of specific means of aerospace attack and defense, which in combination with other functionality allows to justify the appearance of promising radar systems (complexes, stations). The work presents the concept of five levels of design (system, structural, logical, circuit, technological levels) and the basic requirements for the implementation of this concept; describes the editor of the radio scene places to the system level of design. The developed system also includes a module for preliminary assessment of radar parameters, designed to calculate and evaluate the main tactical and technical characteristics of the designed radar at the stage of preliminary (sketch-technical) design. Since most radar characteristics are interrelated, the improvement of some may lead to the deterioration of others. The basis of the module of the preliminary assessment on simplified computational method that does not require time-consuming calculations. The obtained preliminary estimates are the source data for more accurate calculations and modeling, and allow you to avoid setting meaningless or unattainable source parameters. The work presents the details of the implementation of simulation. Our system supports two simulation schemes: at the system and structural levels – according to a discrete-event scheme, and at the logical level – according to a step-by-step scheme. Step-by-step scheme has such advantages as simplicity and clarity, it is convenient to simulate processing algorithms, components of the radar, and even some simple types of radar. However, it is impossible to correctly simulate it, for example, a radar with parallel signal processing at different frequencies. Moreover, it is extremely limited opportunities for modeling groups of troops and military operations. Therefore, during simulation, two schedulers function: a “high-level” discrete-event dispatcher and a “low-level” step-by-step dispatcher. The discrete-event dispatcher

interacts with the step-by-step scheduler each time it calculates the next event block of one of the two upper levels. During the simulation, the quality indicators of the radar station are calculated. In this case, the stage of simulation modeling serves to verify and refine the parameters of the designed radar, the appearance of which is defined in general form at the stages of preliminary assessment of parameters and engineering analysis.

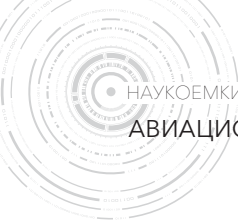
### REFERENCES

1. Konovalchik A.P., Konopelkyn M.Y., Plaksenko O.A., Schiriy A.O. Postanovka zadachi razrabotki i predvaritel'naya arkhitektura otechestvennoy SAPR RLS polnogo skvoznogo tsikla [Formulation development and preliminary architecture of the domestic CAD software radar full end-to-end cycle]. *Materialy dvadtsatogo nauchno-prakticheskogo seminar "Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh"* [Materials of the twentieth scientific and practical seminar “New information technologies in automated systems” Moscow, 20 April 2017]. Moscow, 2017. No. 20. Pp. 127-130. (In Russian)
2. Konovalchik A.P., Plaksenko O.A., Schiriy A.O. Kontseptsiya mnogourovnevnogo proektirovaniya RLS v razrabatyvaemoy SAPR RLS polnogo skvoznogo tsikla [The concept of multi-level radar design in the complete end-to-end cycle developed by CAD radar]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroeniya" – INTERMATIC – 2017* [Proceedings of the International scientific and technical conference “Fundamental problems of electronic instrument – INTERMATIC-2017”, Moscow, 20-24 November 2017]. 2017. Vol. 17. No. 4. Pp. 889-892. (In Russian)
3. Konovalchik A.P., Plaksenko O.A., Schiriy A.O. Simulation of the fighting in the national CAD software radar full end-to-end cycle. *Voprosy radioelektroniki* [Question of radio electronics]. 2018. No. 3. Pp. 30-34. (In Russian)

4. Konovalchik A.P., Plaksenko O.A., Schiriy A.O. Realizatsiya redaktora radiostseny na sistemnom urovne proektirovaniya v razrabatyvaemoy otechestvennoy SAPR RLS [Implementation of the radio scene editor at the system design level in the developed national CAD radar system]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroeniya – INTERMATIC – 2018"* [Proceedings of International scientific-technical conference "Fundamental problems of radioelectronic instrument-making" "computer vision 2018", Moscow, 19-23 November 2018]. 2018. Vol. 18. No. 3. C. 638-641. (In Russian)
5. Konovalchik A.P., Plaksenko O.A., Schiriy A.O. Paket programnykh sredstv inzhenernogo analiza v razrabatyvaemoy otechestvennoy SAPR RLS polnogo skvoznogo tsikla [Software package of engineering analysis in the developed domestic CAD system of the radar full end-to-end cycle]. *Materialy Pervoy vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Tsifrovye sredstva proizvodstva inzhenernogo analiza"* [Proceedings of the First all-Russian conference with international participation "Digital tools for the production of engineering analysis", Tula, 27-December November 2017]. Tula: Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University Publ., 2017. Pp. 43-44. (In Russian)
6. Akhiyarov V.V., Nefedov S.I., Nikolaev A.I., Slukin G.P., Fedorov I.B., Shustikov V.U. *Padiolokatsionnye sistemy* [Radar systems: textbook]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2016. 349 p. (In Russian)
7. Neupokoev F.K. *Strel'ba zenitnymi raketami* [Shooting anti-aircraft missiles]. 3rd ed. M.: Voenizdat, 1991. 343 p. (In Russian)
8. Tyapkin V.N., Fomin A.N., Garin E.N., Fateev Yu.L., Berdyshev V.P., Nagovitsyn A.A., Temerov A.V., Somov V.G., Lyutikov I.V. *Osnovy postroeniya radiolokatsionnykh stantsiy radiotekhnicheskikh voysk* [Basics of building radar stations of radio engineering troops]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ. 2011. 536 p. (In Russian)
9. Kontorov D.S., Golubev-Novozhilov Yu.S. *Vvedenie v radiolokatsionnyuyu sistemotekhniku* [Introduction to radar systems engineering]. Moscow: Sovetskoe radio, 1971. 366 p. (In Russian)
10. Dunnigan J. *The Complete Wargames Handbook*. N.Y.: Quill, 1992. 333 p.
11. Ren W., Yongcan C. *Distributed Coordination of Multiagent Networks*. London: Springer, 2011. 307 p.
12. Shoham Y., Leyton-Brown K. *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. N.Y.: Cambridge University Press, 2008. 513 p.
13. Weiss G. *Multiagent Systems: a Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. Massachusetts: MIT Press, 1999. 619 p.
14. Blank L., Enomoto C., Gegax D., Mcguckin T., Simmons C. A Dynamic Model of Insurgency: The Case of the War in Iraq. *Peace Economics, Peace Science and Public Policy*. 2008. Vol. 14. No. 2. Pp. 1-26.
15. Novikov D.A. Hierarchical models of combat. *Large-Scale Systems Control*. 2012. No. 37. Pp. 25-62. (In Russian)
16. Sozinova P.A., Glushkova I.N. (Eds.). *Imitatsionnoe modelirovanie boevykh deystviy: teoriya i praktika* [Simulation modeling of hostilities: theory and practice]. Tver, 2013. 528 p. (In Russian)
17. Brodsky Yu.I. *Raspedelennoe imitatsionnoe modelirovanie slozhnykh system* [Distributed simulation modeling of complex systems]. Moscow: Vychislitel'nyj centr im. A.A. Doronicyna RAN Publ., 2010. 156 p. (In Russian)
18. Nicholas P.I. Simulation model of interactions of objects of a distributed radio system. *Engineering journal of Don*. 2007. No. 2. Pp. 58-63. (In Russian)
19. Dvornikov K.A., Illarionov A.V. The use of modeling systems for assessing the effectiveness of the air defense system of a ship. *Problemy razvitiya korabel'nogo vooruzheniya i sudovogo radioelektronnogo oborudovaniya* [Problems of development of ship armament and ship radio-electronic equipment]. 2013. No. 2. Pp. 10-21. (In Russian)
20. Vavilov D.V. Mathematical methods in the simulation of military operations of the Navy in the research design of the REV. *Problemy razvitiya korabel'nogo vooruzheniya i sudovogo radioelektronnogo oborudovaniya* [Problems of development of ship armament and ship radio-electronic equipment]. 2013. No. 2. Pp. 4-10. (In Russian)
21. Zherebin A.M., Zurabyan N.I. Model of hostilities to assess the effectiveness of promising aircraft armament. *Aerospace MAI Journal*. 2009. Vol. 16. No. 4. Pp. 8-13. (In Russian)
22. Myagkov A.N., Brodsky Yu.I. On time management in distributed simulation models. *Proceedings of MIPT*. 2012. Vol. 4. No. 3 (15). Pp. 181-186. (In Russian)

**INFORMATION ABOUT AUTHOR:**

Konovalchik A. P., PhD, Deputy General Designer for promising projects;  
 Plaksenko O. A., PhD, Head of Department of the Design Bureau for Perspective Projects;  
 Schiriy A. O., PhD, Head of Department of the Design Bureau for Perspective Projects.



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10220

# МЕТОДИКА ТЕПЛООВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**БУДКО**

**Павел Александрович<sup>1</sup>**

**ВИНОГРАДЕНКО**

**Алексей Михайлович<sup>2</sup>**

**ГОЙДЕНКО**

**Владимир Константинович<sup>3</sup>**

**АННОТАЦИЯ**

При эксплуатации вооружения, военной и специальной техники, в особенности автономных объектов, таких как роботизированные комплексы, автономные космические и подводные аппараты, автоматизированные узлы связи и радиоцентры, малообитаемые отсеки кораблей и подводных лодок возрастает актуальность, создания эффективных унифицированных средств диагностики и способов неразрушающего контроля на этапах испытаний и текущей эксплуатации, единых для вооружения, военной и специальной техники всех видов и родов Вооруженных Сил Российской Федерации. В состав современных образцов вооружения, военной и специальной техники входит разнообразное радиоэлектронное оборудование, работоспособность которого всегда характеризуется большим числом параметров, контроль которых целесообразно осуществлять в несколько этапов. Для осуществления диагностики и контроля радиоэлектронного оборудования сбор измерительной информации необходимо осуществлять в режиме реального времени, не допуская перехода предаварийного технического состояния радиоэлектронного оборудования в аварию. Целью работы является разработка методики теплового контроля и диагностики плат, блоков, модулей радиоэлектронных систем образцов вооружения, военной и специальной техники, основанной на анализе изменения тепловых режимов элементов радиоэлектронного оборудования. Решение задачи контроля и диагностики основано на проведении мониторинга изменения температурных значений элементов. Проведенный анализ существующих способов диагностики и контроля технического состояния, применяемых в различных отраслях промышленной электроники и электротехники показал относительно высокую вероятность ошибки при измерении малых отклонений параметров контролируемых объектов от нормы, низкую достоверность результатов идентификации состояний контролируемого объекта, избыточность измерительной информации, относительно большое время поиска неисправности и высокую вероятность отказа в обслуживании. Для устранения избыточности предложено осуществлять выборочный контроль элементов радиоэлектронного оборудования, в нескольких точках, наиболее критичных для определенного типа аппаратуры параметрам, а также фиксировать не все превышения отклоняющихся от нормы параметров, а только предаварийные сигналы. В этом случае важно, чтобы данные, поступающие с каждого датчика дополняли друг друга, образуя более полную «картину» технического состояния.

**Сведения об авторах:**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, ученый секретарь публичного акционерного общества «Интелтех», г. Санкт-Петербург, Россия, budko62@mail.ru

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

<sup>3</sup>адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи им. С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, Lglvl@ya.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиоэлектронное оборудование; измерительная информация; контролируемые параметры; диагностирование; датчики.

**Для цитирования:** Будко П.А., Винограденко А.М., Гойденко В.К. Методика теплового диагностирования и контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 12-19.  
doi: 10.24411/2409-5419-2018-10220

## Введение

В состав современных образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) входит разнообразное радиоэлектронное оборудование (РЭО). Значимость и относительная доля объема этого оборудования в каждом образце ВВСТ непрерывно возрастает, что требует создания эффективных средств контроля и диагностики на этапах испытаний и текущей эксплуатации. Особенно важен неразрушающий контроль для таких необитаемых (необслуживаемых) объектов как роботизированные комплексы, автономные космические и подводные аппараты, автоматизированные узлы связи и радиоцентры, малообитаемые отсеки кораблей и подводных лодок, где исключено проведение контрольных и диагностических функций РЭО обслуживающим персоналом [1–6]. Сбор диагностической информации в подобных объектах контроля необходимо осуществлять в режиме реального времени, не допуская перехода предаварийного технического состояния (ТС) РЭО в аварию.

РЭО ВВСТ строится на единых принципах, с использованием одинаковой электронной компонентной базы, что дает возможность создания эффективных унифицированных средств контроля и диагностики, единых для ВВСТ всех видов и родов ВС РФ.

*Цель работы* — разработка методики теплового контроля и диагностики плат, блоков, модулей радиоэлектронных систем образцов ВВСТ, основанной на анализе изменения тепловых режимов элементов РЭО.

Рассмотрим задачу оценки ТС РЭО образцов ВВСТ (объектов контроля), основанной на анализе поступающей от тепловых датчиков. Разрабатываемая методика должна удовлетворять следующим условиям: 1) выполнять обработку показаний датчиков (тепловизоров) таким образом, чтобы по значению температурных значений элементов РЭО, определять состояние не только самих элементов, а всего комплекса; 2) выявлять аварийные сигналы при многомерном статистическом контроле; 3) увеличить области применения технических средств контроля и диагностики.

## Анализ существующих способов контроля

Работоспособность РЭО может контролироваться несколькими методами, определяющими готовность ее к действию с различной степенью достоверности. Применение того или иного метода определяется назначением контролируемого РЭО, его сложностью и надежностью, а иногда и техническими возможностями. Основными методами контроля работоспособности РЭО являются функциональный, допусковый, диагностический и прогнозирующий.

На практике используются все методы контроля работоспособности РЭО, однако наибольшее распростра-

нение получил метод допускового контроля в сочетании с диагностическим контролем и прогнозированием отказов оборудования.

Возможность реализации предлагаемой методики опирается на использование методов допускового контроля в сочетании с диагностическим контролем температурных отклонений наблюдаемого РЭО, применяемых в различных отраслях промышленной электроники и электротехники [5–7]. Так известен способ автоматизированного контроля ТС электрооборудования [8], его недостатком является относительно высокая вероятность ошибки при измерении малых отклонений параметров контролируемых электроустановок от нормы в рабочих режимах. Это приводит к тому, что отклонение контролируемого параметра от нормы может быть не зафиксировано, при этом идентификация отклонений контролируемых параметров от нормы ведется только по одному признаку (напряженность магнитного поля). Этим объясняется низкая достоверность результатов идентификации ТС контролируемого объекта. Кроме того, устройство, реализующее данный способ имеет относительно большое время поиска неисправности, поскольку для выбора оптимального источника ИИ (датчика, сенсора) из числа заданных необходимо осуществить последовательный контроль всех существующих источников. Обоснованный выбор оптимального датчика отсутствует. Это обусловлено тем, что в устройстве автоматизированного контроля технического состояния электроустановок [8] предварительный контроль с учетом различных состояний объектов контроля отсутствует.

Кроме промышленной электроники и электротехники методы теплового контроля активно применяются и в отрасли телекоммуникаций [3, 5, 6–8]. К недостаткам устройств, реализующих данные методы [5, 8] относятся высокая вероятность отказа в обслуживании, вызванная тем, что назначение порогов срабатывания системы контроля осуществляется без учета общего состояния системы связи и уровня загрузки буферных устройств в узлах коммутации, что вызывает блокировку узлов в загруженной сети, а также достаточно низкая производительность и высокий коэффициент простоя, поскольку для контроля сложных технических систем и идентификации их состояния необходимо производить измерение, преобразование и обработку большого числа параметров, что нередко связано с отключением системы и ее простаиванием.

В связи с указанными недостатками современных методов и устройств контроля ставится задача на разработку методики теплового диагностирования ТС РЭО ВВСТ, позволяющей осуществлять диагностику предаварийного и аварийного состояния объектов контроля в режиме *on-line*.

Разрабатываемая методика теплового диагностирования ТС РЭО, представляет собой совокупность спосо-

бов статистического комплексного контроля и диагностики РЭО ВВСТ, основанных на измерении температурных режимов элементов РЭО с учетом отслеживания среднего уровня коррелированных показателей контролируемых объектов для анализа и принятия решения на управляющее воздействие со стороны оператора.

### Описание методики теплового диагностирования технического состояния РЭО

При контроле тепловыми датчиками, учитывая, что сбор и обработка информации может вестись во многих точках контролируемого РЭО и передача измерительной информации (ИИ) на блоки обработки осуществляется постоянно, то, при нормальной работе аппаратуры, ее объем будет избыточен. Для устранения избыточности, необходимо использовать наблюдение не всех элементов РЭО, а в нескольких точках, наиболее критичных для определенного типа аппаратуры параметрам. В те моменты времени, когда температура в точках будет выходить за допустимые пределы, информация, поступающая с датчиков, будет свидетельствовать о аварийном (предаварийном) состоянии оборудования. В этом случае важно, чтобы данные, поступающие с каждого датчика дополняли друг друга, образуя более полную «картину» технического состояния.

На основе статистического анализа измеренных температур  $X_i$  нескольких образцов РЭО (радиоэлектронных модулей) устанавливают диапазон достоверности — область работоспособных состояний, представляющая интервал разброса значений температур (исходя из установки допустимых пределов  $T_n^{\min}$ ,  $T_n^{\max}$ ), соответствующих работоспособному состоянию РЭО в целом.

На заведомо работоспособных элементах РЭО по разносторонним признакам создают их «рабочий профиль», который запоминают в виде эталонных векторов ТС. В ходе текущей эксплуатации (испытаний) РЭО измеряют температурные значения в  $N$  точках, а результаты измеренных мгновенных значений оцифровывают и запоминают в виде векторов цифровой последовательности длиной  $N$ . Полученные векторы цифровой последовательности длиной  $N$  сравнивают с эталонными векторами ТС «рабочего профиля». С учетом скорости выхода контролируемых температурных значений за пределы диапазона достоверности определяют уровень предаварийного состояния контролируемого элемента РЭО [1]. По результатам сравнения оценивают ТС элемента РЭО, по наибольшему числу совпадений секторов сравниваемых диапазонов достоверности, уровню предаварийного состояния, а также идентифицируют место отказа (неисправность) элемента оборудования. Оценивают состояние РЭО в несколько этапов, причем на первом этапе, используют информацию о местах отказов и состояниях каждого элемента РЭО, по которой обнаруживают путем сравнения с диапазоном

достоверности нарушение заданного режима функционирования (нормальное или аварийное состояние). На последующих этапах определяют уровень предаварийного состояния контролируемого объекта, идентифицируемый скоростью выхода его контролируемого параметра за допустимые пределы, путем измерения всех доступных температурных значений [3, 5].

В качестве исходных данных для определения состояния РЭО выбирают контрольные точки, из значения температуры в этих контрольных точках формируют вектор входных значений  $X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}$ .

После регистрации температуры обрабатывают и нормируют значения, получаемых от датчиков, в зависимости от коэффициента излучения элемента, вида охлаждения, типа температурного датчика. На основе нормированных значений определяют текущее техническое состояние и режим работы, с помощью ряда критериев и процедур.

Полученную с датчиков ИИ проверяют по простому пороговому критерию: если значение температуры соответствует заданным порогам для текущего режима, то проводят статистический анализ флуктуаций значений и дрейфа параметров, на основе которого прогнозируют техническое состояние и выводят информацию о исправности объекта.

Если же в текущем режиме работы значения температуры превышают установленные пороговые значения, но это произошло по причине изменения режима работы РЭО. Для каждого режима заданы свои пороговые значения  $T_n^{\max/\min}(S_m)$ , где  $m$  — номер режима функционирования ( $S_m$ ), то делают вывод о исправности диагностируемого РЭО. Методика теплового диагностирования РЭО включает следующие этапы: 1) получение (измерение) температурных значений элементов РЭО; 2) обработка и нормирование температурных значений элементов РЭО; 3) контроль измеренных значений в соответствии с интервалами допусков; 4) вычисление дрейфа параметров; 5) прогноз дальнейших отклонений параметров в РЭО; 6) вывод диагностической информации на экран оператора; 7) распознавание технического состояния на основе информации имеющейся в базе неисправностей; 8) принятие решения на вывод диагностической информации на экран оператора при однозначном распознавании ТС; 9) принятие решения о продолжении функционирования ОК при подтверждении его рабочего состояния.

Алгоритм методики теплового диагностирования РЭО приведен на рис. 1.

Анализ неразрушающих методов контроля и диагностики, применяемых в различных отраслях промышленной электроники и электротехники [10–12] показал низкий показатель достоверности ИИ, заключающийся, в том числе, и в неточном задании допусков на контролируемые

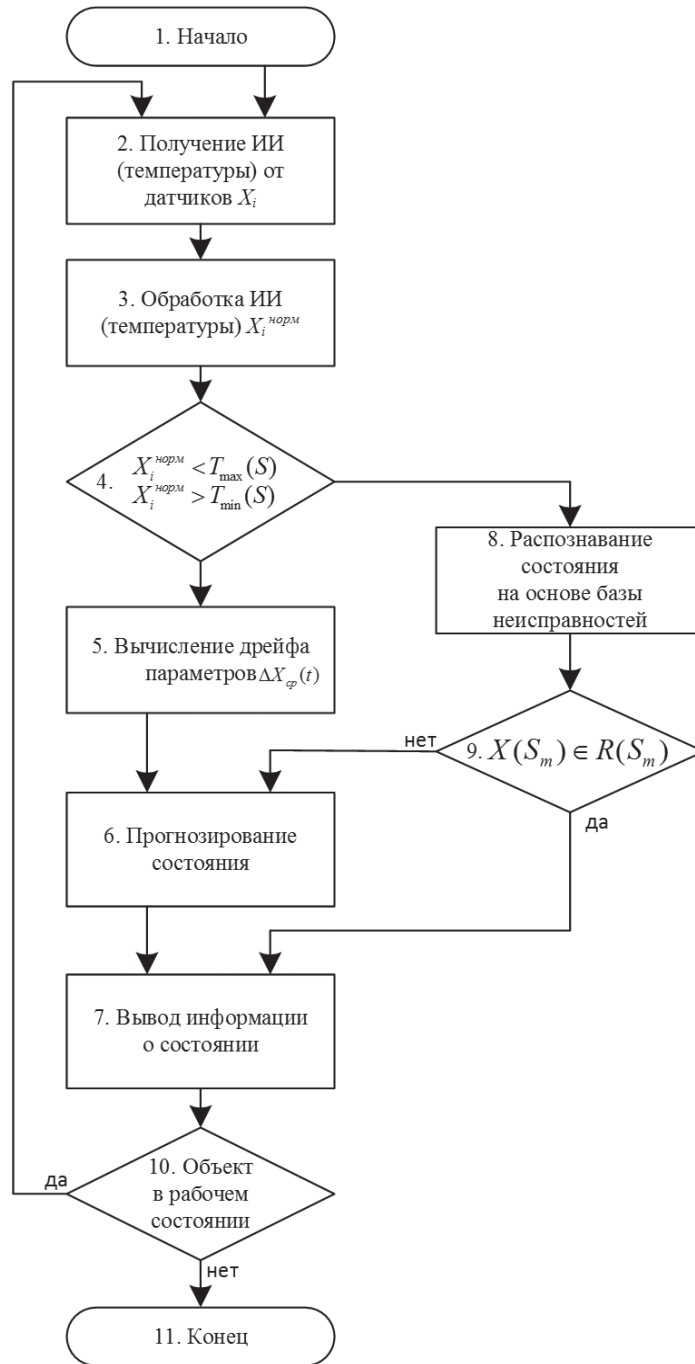


Рис 1. Алгоритм методики теплового диагностирования РЭО

параметры, что в целом подтверждает актуальность более точной проработки подобных алгоритмов.

### Определение контрольных границ температурных значений

Этап процесса контроля измеренных значений, представленной выше методики, заключается в расчете допусков на контролируемые параметры печатного узла и описан в виде алгоритма, включающего этапы расче-

та номинальных значений температур и возможных отклонений параметров в заданных режимах работы РЭО. Алгоритм приведен на рис. 2.

Первым этапом представленного алгоритма является расчет номинальных значений температур для «первичной» оценки ТС РЭО, включающего пять шагов:

Шаг 1. Ввод исходных данных. Ввод в программу схемотехнического моделирования (PSpice, Proteus) описания электрической схемы исследуемого РЭО с номи-

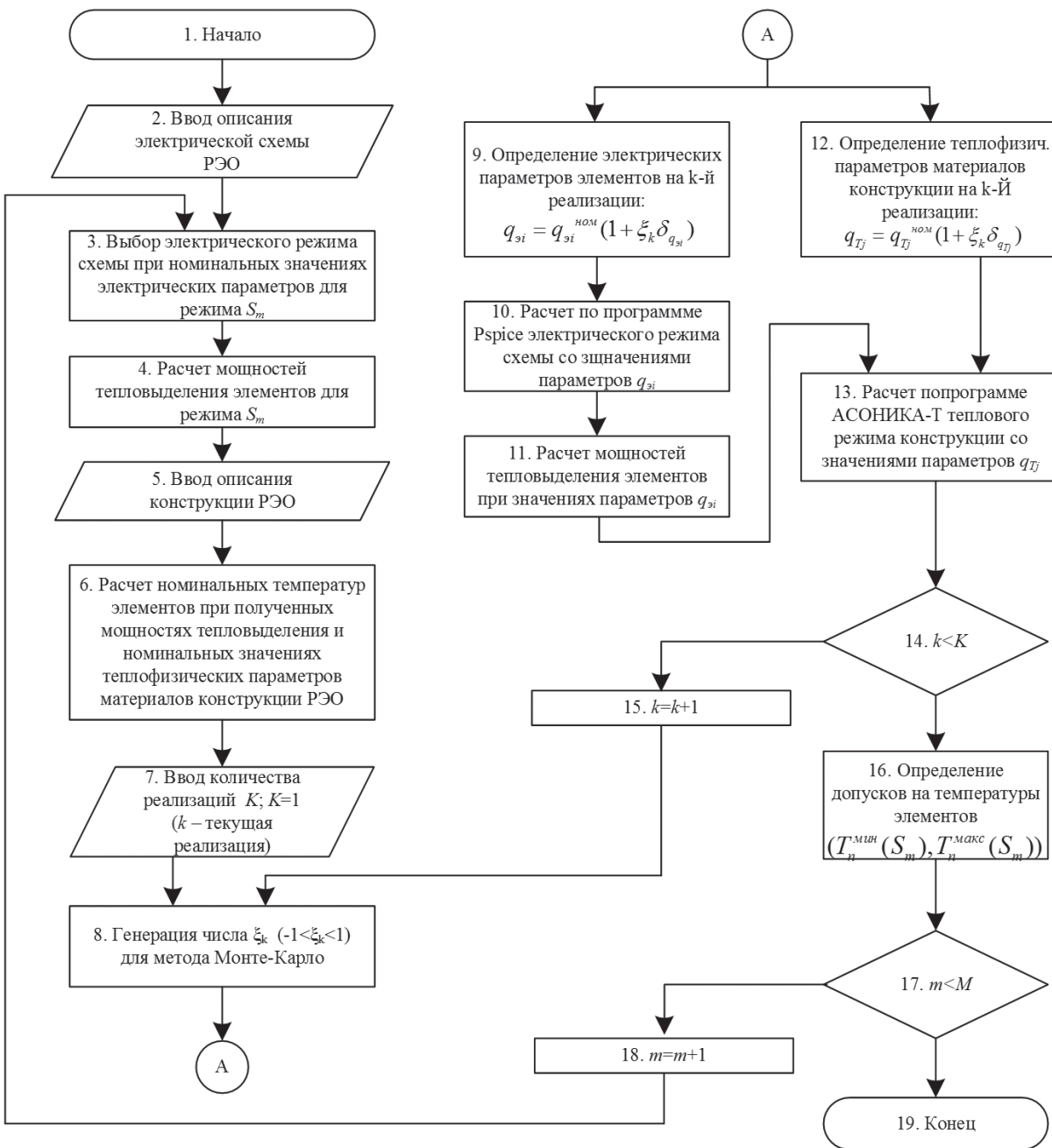


Рис 2. Алгоритм расчета допусков на температуры ЭРЭ РЭО

нальными значениями всех электрических параметров электрорадиоэлементов (ЭРЭ).

Шаг 2. Выбор электрического режима схемы РЭО при номинальных значениях электрических параметров.

Шаг 3. Расчет мощностей в принципиальной электрической схеме исследуемого РЭО с помощью программы схемотехнического моделирования. При этом используются стандартные модели ЭРЭ, заложенные в программу. Рассчитываются токи в ветвях и падения напряжения на ЭРЭ схемы при номинальных значениях всех внутренних электрических параметров.

Шаг 4. Ввод в программу анализа тепловых характеристик конструкций РЭО АСОНИКА-Т описания конструкции печатного узла с номинальными значениями всех теплофизических и геометрических параметров.

Шаг 5. Расчет с помощью программы АСОНИКА-Т температур ЭРЭ печатного узла. При этом используется типовая модель тепловых процессов в печатном узле, заложенная в программу.

Вторым этапом представленного алгоритма является расчет возможных отклонений параметров в заданных режимах работы РЭО, включающего двенадцать шагов:





Шаг 6. Ввод количества реализаций температурных значений  $K$ , **по итогам расчета**, для проведения статистического моделирования температурных допусков методом Монте-Карло.

Шаг 7. Генерация случайного числа  $\xi_k$  (с помощью генератора случайных чисел) для осуществления расчета случайных значений параметров.

Шаг 8. Расчет (определение) электрических параметров ЭРЭ на  $k$ -ой реализации цикла расчета по следующей формуле:  $q_{zi} = q_{zi}^{\text{НОМ}}(1 + \xi_k \delta_{q_{zi}})$ .

Шаг 9. Осуществление расчета принципиальной электрической схемы на основе программы схемотехнического моделирования (PSpice) исследуемого РЭО при полученных на предыдущем шаге значениях электрических параметров ЭРЭ.

Шаг 10. Расчет мощности тепловыделения на ЭРЭ, на основе полученных на шаге 3 значений токов и напряжений.

Шаг 11. Определение значений теплофизических и геометрических параметров конструкции печатного узла и температуры окружающей среды на  $k$ -ой реализации по следующим формулам:

$$q_{Tj} = q_{Tj}^{\text{НОМ}}(1 + \xi_k \delta_{q_{Tj}}), \quad (1)$$

$$q_{rl} = q_{rl}^{\text{НОМ}}(1 + \xi_k \delta_{q_{rl}}), \quad (2)$$

$$T_{oc} = T_{oc}^{\text{НОМ}}(1 + \xi_k \delta_{T_{oc}}). \quad (3)$$

Шаг 12. Расчет с помощью программы АСОНИКА-Т температур ЭРЭ печатного узла при полученных на шаге 10 и 11 мощностях тепловыделения ЭРЭ, теплофизических, геометрических параметрах конструкции печатного узла (ПУ) и температуры окружающей среды.

Шаг 13–14. Проверка условия расчета всех  $K$  реализаций по методу Монте-Карло:  $k < K$ ,  $k = k + 1$ , где  $k$  — номер текущего расчета;  $K$  — заданное количество расчетов.

Шаг 15. Расчет предельно допустимых значений температур ЭРЭ по формулам:

$$T_n^{\text{макс}} = m(T_n) + \chi\sigma(T_n), \quad (4)$$

$$T_n^{\text{мин}} = m(T_n) - \chi\sigma(T_n), \quad (5)$$

где математическое ожидание  $m(T_n)$  и СКО  $\sigma(T_n)$  представлены в виде:

$$m(T_n) = \frac{\sum_{k=1}^K T_n^k}{K}, \quad \sigma(T_n) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (T_n^k - m(T_n))^2}{K - 1}}. \quad (6)$$

Шаг 16–17. Проверка условия расчета всех  $M$  режимов работы РЭО:  $m < M$  и переход к расчету следующего режима РЭО  $m = m + 1$ .

Таким образом, в результате расчетов определился диапазон  $[T_n^{\text{мин}}, T_n^{\text{макс}}]$ , в котором может находиться температура  $n$ -го элемента в  $m$ -м режиме работы. В дальнейшем этот диапазон температур используется при контроле качества РЭО по температурному полю, путем сравнения измеренных температур элементов  $T_n^{\text{изм}}$  со значениями  $T_n^{\text{мин}}$  и  $T_n^{\text{макс}}$ . По результатам сравнения выдается решение о наличии или отсутствии дефекта в РЭО. Значения температур элементов  $T_n^{\text{изм}}$  для годных образцов РЭО должны укладываться в диапазон  $[T_n^{\text{мин}}, T_n^{\text{макс}}]$ , Образец РЭО, у которого значение определенной по термограмме температуры какого-либо элемента выходит за рассчитанные пределы, рассматривается как дефектный.

### Заключение

Результаты исследования показывают, что для осуществления теплового контроля РЭО, особенно, необитаемых автономных объектов, могут быть использованы различные инструменты теплового контроля, обеспечивающие повышение достоверности результатов идентификации и чувствительности к обнаружению аварийных (предаварийных) ситуаций.

Представленная в статье методика теплового диагностирования технического состояния РЭО может быть использована для контроля РЭО ВВСТ, и позволяет оценивать с высокой достоверностью работоспособность широкой номенклатуры РЭО.

### Литература

1. Abramov O. V., Dimitrov B. N. Reliability design in gradual failures: a functional-parametric approach // Reliability: Theory&Application. 2017. Vol. 12. No. 4 (47). Pp. 39–48.
2. Abramov O. V. Choosing Optimal Values of Tuning Parameters for Technical Devices and Systems // Automation and Remote Control. 2016. Vol. 77. No. 4. Pp. 594–603.
3. Будко П. А., Винограденко А. М., Гойденко В. К., Кузнецов С. В. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 71–101.
4. Куржанский А. Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. М.: Наука, 1977. 392 с.
5. Черноусько Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. М.: Наука, 1988. 320 с.
6. Волков Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов. М.: Высшая школа. 1987. 400 с.
7. Chernousko F. L. State Estimation for Dynamic Systems. Boca Raton: CRC Press, 1994. 304 p.
8. Будко П. А., Винограденко А. М., Гойденко В. К., Тимошенко Л. И. Метод многомерного статистического контроля технического состояния радиоэлектронного оборудо-

вания на основе комплексирования показаний нескольких типов датчиков // Датчики и системы. 2018. № 3 (223). С. 3–11.

9. Туричин А. М., Новицкий П. В., Левшина Е. С. Электрические измерения неэлектрических величин. Л.: Энергия, 1975. 576 с.

10. Патент РФ 2548602. Способ и устройство автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования / Будко Н. П., Будко П. А., Винограденко А. М., Литвинов А. И. Опубл. 20.04.2015. Бюл. № 11. 24 с.

11. Клячкин В. Н., Карпунина И. Н., Федорова М. К. Оценка стабильности температурного режима компьютера // Автоматизация процессов управления. 2016. № 3 (45). С. 58–64.

12. Клячкин В. Н., Святова Т. И., Донцова Ю. С. Диагностика состояния процесса по результатам контроля рассеяния // Труды XII Всероссийского совещания по про-

блемам управления — ВСПУ-2014 (Москва, 16–19 июля 2014 г.). Москва, 2014. С. 7605–7615.

13. Гришаев Д. Ю., Тютюнин Т. В., Ильин А. Н. Тенденции развития контрольно-проверочной аппаратуры, применяемой для проверки электрических характеристик никель-водородных и литий-ионных аккумуляторных батарей космических аппаратов // I-methods. 2016. Т. 8. № 4. С. 5–10.

14. Макаров М. И., Рудаков В. Б., Макаров В. М. Интегрированный иерархический контроль сложных электронных изделий автоматических космических аппаратов при отработочных испытаниях // I-methods. 2016. Т. 8. № 3. С. 12–17.

15. Смирнов В. А. Современный подход к совершенствованию технологических систем контроля и диагностирования сложных технических объектов // I-methods. 2012. Т. 4. № 1. С. 17–21.

---

## THE METHOD OF THERMAL DIAGNOSTICS AND CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

### PAVEL A. BUDKO

St. Petersburg, Russia, budko62@mail.ru

### ALEKSEY M. VINOGRADENKO

St. Petersburg, Russia, Vinogradenko.a@inbox.ru

### VLADIMIR K. GOYDENKO

St. Petersburg, Russia, Lglvl@ya.ru

**KEYWORDS:** electronic equipment; measuring information; controlled parameters; diagnostics; sensors.

### ABSTRACT

During the operation of weapons, military and special equipment, especially Autonomous objects, such as robotic systems, Autonomous space and underwater vehicles, automated communication centers and radio centers, low-habitat compartments of ships and submarines, the urgency of creating effective unified diagnostic tools and methods of non-destructive testing at the stages and current operation, unified for weapons, military and special equipment of all types and types of the armed forces of the Russian Federation. The composition of modern weapons, military and special equipment includes a variety of electronic equipment, the performance

of which is always characterized by a large number of parameters, the control of which is advisable to carry out in several stages. To carry out diagnostics and control of radio electronic equipment, it is necessary to collect measurement information in real time, preventing the transition of the pre-emergency technical condition of radio electronic equipment into an accident. The aim of the work is to develop a method of thermal control and diagnostics of boards, blocks, modules of radio-electronic systems of weapons, military and special equipment, based on the analysis of changes in thermal conditions of elements of radio-electronic equipment.



The solution of the problem of control and diagnostics is based on the monitoring of changes in the temperature values of the elements. The analysis of the existing methods of diagnosis and control of technical condition used in various industries of industrial electronics and electrical engineering showed a relatively high probability of error in the measurement of small deviations of the parameters of the controlled objects from the norm, low reliability of the results of identification of the States of the controlled object, the redundancy of measurement information, a relatively long Troubleshooting time and a high probability of failure in service. To eliminate redundancy, it is proposed to carry out selective control of elements of electronic equipment, at several points, the most critical parameters for a certain type of equipment, as well as to record not all exceedances of the parameters that deviate from the norm, but only pre-alarm signals. In this case, it is important that the data coming from each sensor complement each other, forming a more complete "picture" of the technical condition.

#### REFERENCES

1. Abramov O.V., Dimitrov B.N. Reliability design in gradual failures: a functional-parametric approach. *Reliability: Theory&Application*. 2017. Vol. 12. No. 4 (47). Pp. 39-48.
2. Abramov O.V. Choosing Optimal Values of Tuning Parameters for *Technical Devices and Systems. Automation and Remote Control*. 2016. Vol. 77. No. 4. Pp. 594-603.
3. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Goydenko V.K., Kuznetsov S.V. Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot. *Systems of Control, Communication and Security*. 2017. No. 4. Pp. 71-101. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf> (In Russian)
4. Kurzhansky A.B. *Upravlenie i nablyudenie v usloviyakh neopredelennosti* [Management and observation in the conditions of uncertainty]. Moscow: Nauka, 1977. 392 p. (In Russian)
5. Chernousko F.L. *Otsenivanie fazovogo sostoyaniya dinamicheskikh sistem* [Estimation of a phase condition of dynamic systems]. Moscow: Nauka, 1988. 320 p. (In Russian)
6. Volkov L.I. *Upravlenie ekspluatatsiyey letatel'nykh kompleksov* [Management of operation of flying complexes]. Moscow: Vysshaya shkola, 1987. 400 p. (In Russian)
7. Chernousko F.L. *State Estimation for Dynamic Systems*. Boca Raton: CRC Press, 1994. 304 p.
8. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Goydenko V.K., Timoshenko L.I. Method of multidimensional statistical control of technical condition of the radio-electronic equipment on the basis of the integration of indications of several types of sensors. *Datchiki & Systemi* [Sensors & Systems]. 2018. No. 3 (223). Pp. 3-11.
9. Turchin A.M., Novitskiy P.V., Levshina E.S. *Elektricheskie izmereniya neelektricheskikh velichin* [Electrical measurements of non-electrical quantities]. Leningrad: Energiya, 1975. 576 p.
10. Patent RF 2548602. Method and device of automated monitoring of technical condition of electrical. Budko N.P., Budko P.A., Vinogradenko A.M., Litvinov A.I. Publ. 20.04.2015. Bull. No. 11. 24 p. (In Russian)
11. Klyachkin V. N., Karpunina I.N., Fyodorova M.K. To assess the stability of a temperature mode of the computer. *Automation of control processes*. 2016. Vol. 45. No. 3. Pp. 58-64 (In Russian)
12. Klyachkin V. N., Svyatova T.I., Dontsova Y.S. Diagnostika sostoyaniya protsessa po rezul'tatam kontrolya rasseyaniya [Diagnostics of a condition of process by results of dispersion control]. *Trudy XII Vserossiyskogo soveshchaniya po problemam upravleniya – VSPU-2014* [Proceedings of the XII all-Russian conference on management-VSPU-2014, Moscow, 16-19 July 2014)]. Moscow, 2014. Pp. 7605-7615. (In Russian)
13. Grishaev D.Y., Tyutyunin T.V., Iliyn A.N. Advanced trends for the test equipment dedicated to check electrical performances of spacecraft lithium-ion and nickel-hydrogen batteries. *I-methods*. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 5-10. (In Russian)
14. Makarov M.I., Rudakov V.B., Makarov V.M. Hierarchical control of automatic space vehicles complicated electronic devices during the development tests. *I-methods*. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 12-17. (In Russian)
15. Smirnov V.A. The modern approach to improvement of technological systems of control and diagnostics of insuring complex technical objects. *I-methods*. 2012. Vol. 4. No. 1. Pp. 17-21. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Budko P. A., PhD, Full Professor, Scientific secretary PJC «Inteltech»;  
Vinogradenko A. M., PhD, Docent, Associate Professor at the department of technical ensuring communication and automation of the Military academy of communication;  
Goydenko V. K., Postgraduate student at the department of technical ensuring communication and automation of the Military academy of communication.



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10221

# ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНЫМ ВРЕМЕНЕМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

**БУРЕНИН****Андрей Николаевич<sup>1</sup>****ЛЕГКОВ****Константин Евгеньевич<sup>2</sup>****АННОТАЦИЯ**

Рассматриваются основные подходы к организации комплексов технических средств по обеспечению единым временем, как точным (астрономическим), так и функциональным или оперативным, требуемых элементов (должностных лиц органов управления и комплексов автоматизации) системы управления сложным организационно-техническим объектом специального назначения. Показано, что лицам, принимающим решения при управлении с использованием системы управления сложным организационно-техническим объектом специального назначения, необходимо обеспечить требуемую номенклатуру инфокоммуникационных услуг, среди которых одними из важнейших являются услуги обеспечения единым временем, в том числе в чрезвычайных условиях. Это возможно осуществить только при организации качественного управления самими комплексами технических средств по обеспечению единым временем, которые являются одними из основных компонентов системы управления сложным организационно-техническим объектом специального назначения. Показано, что создание комплексов управления комплексов технических средств по обеспечению единым временем системы управления сложным организационно-техническим объектом специального назначения, предполагает применение стандартных решений по управлению телекоммуникациями, телекоммуникационных и информационных протоколов, протоколов управления, стандартных протоколов обеспечения единым временем, с неременным учетом требований безопасности. При этом, особенно важным является наличие формализованного описания задач управления и формализации постановки задачи управления, что позволяет рассматривать основные подходы к организации управления и формированию моделей управления комплексов технических средств по обеспечению единым астрономическим и единым оперативным временем требуемых элементов системы управления на основе многоуровневого представления архитектуры самих комплексов.

**Сведения об авторах:**

<sup>1</sup>д.т.н., доцент, главный специалист  
Акционерного общества «Научно-исследовательский институт «Рубин»,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
konferencia\_asu\_vka@mail.ru

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, начальник кафедры  
автоматизированных систем управления  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия, constl@mail.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система единого времени; оперативное управление; инфокоммуникационные услуги; протоколы единого времени; комплекс технических средств.

**Для цитирования:** Буренин А.Н., Легков К.Е. Основные подходы к организации оперативного управления комплексами обеспечения единым временем системы управления сложным организационно-техническим объектом // Научоёмкие технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 20-32. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10221



## Введение

В настоящее время многие народно-хозяйственные структуры, имеющие большое значение для существования государства в сложных условиях международной обстановки, имеют или создают организационно-технические системы (объекты) специального назначения (СОТО СН), нормальная и устойчивая работа которых обеспечивается высокоорганизованными системами управления (СУ).

При этом, решение комплекса задач по созданию и развертыванию СУ СОТО СН преследует стратегические цели: с одной стороны, получения максимального эффекта при эксплуатации СОТО СН в различных условиях при фиксированном ресурсе, заложенном в нем, а, с другой — в предоставлении должностным лицам и операторам органов управления СОТО СН возможности их нормативной эксплуатации и технического обслуживания с минимальными затратами, обеспечивая при этом требуемый уровень качества работы.

Функционирование самой СУ СОТО СН предполагает синхронизированность ее элементов при проведении управляющих мероприятий, что требует организации специальных комплексов технических средств по обеспечению (КТСО) единым временем астрономическим (ЕАВ) и функциональным или оперативным (ЕОВ).

## Особенности управления комплексами технических средств обеспечения единым временем

Итак, качественное функционирование СУ СОТО СН невозможно без развертывания КТСО ее элементов данными об астрономическом и оперативном времени или КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ для поддержки и синхронизации широкого спектра задач управления СОТО СН [1, 2].

Как правило, системы единого времени специального назначения базируются на первичных сигналах от систем GPS/ГЛОНАСС (рис. 1).

Функционирование самих КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ, которое для рассматриваемой СОТО СН, как правило, осуществляется в сложных, иногда экстремальных, условиях, характеризующихся помеховыми и информационными возмущениями на нее со стороны различных нарушителей, должно (для обеспечения высоких качественных показателей) обеспечиваться непрерывным управлением в реальном масштабе времени.

Так как архитектура КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН является типичной для инфокоммуникационных сетей [3–19], архитектура процессов управления может быть представлена рис. 2.

Как правило, решения по управлению КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН являются интегрированными (то есть

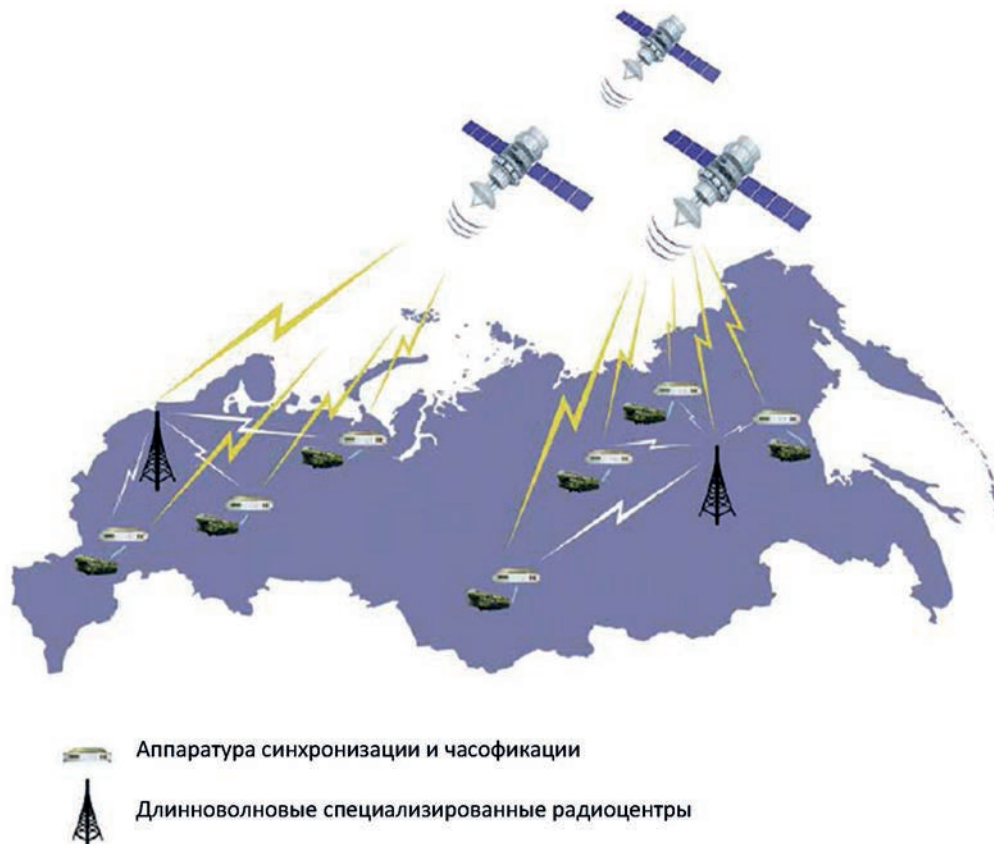


Рис. 1. Процессы получения первичных сигналов для формирования единого времени

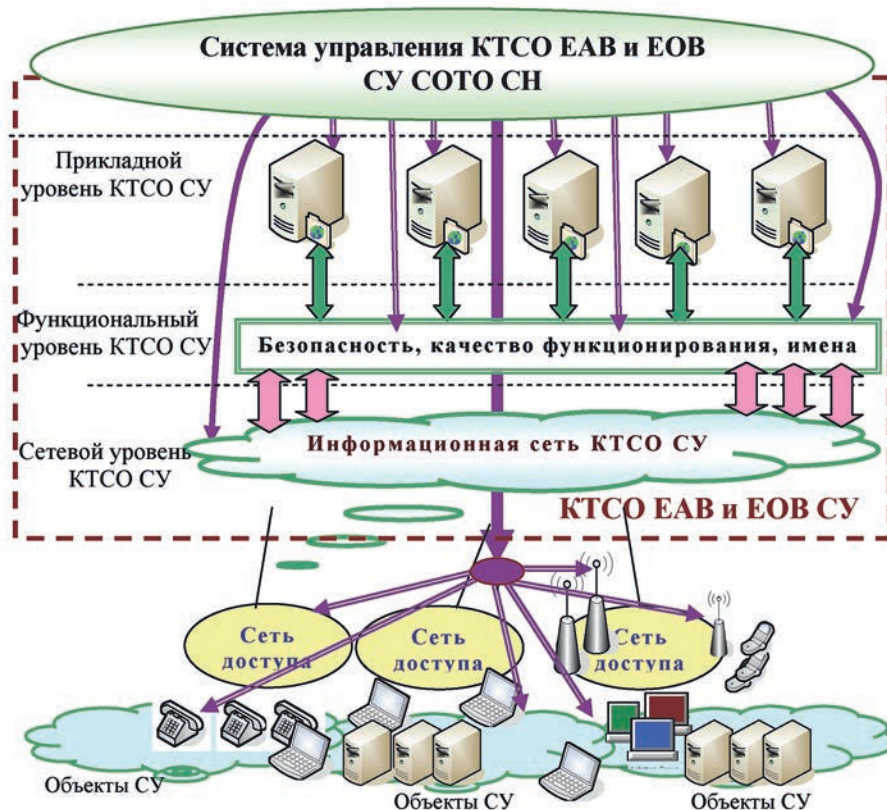


Рис. 2. Архитектура процессов управления КТСО обеспечения единого времени СУ COTO SN

включают в себя несколько задач управления). При этом средства управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO SN компонуется в составе центров управления, которые позволяют им реализовать следующие функции:

- быстро наращивать новые услуги по предоставлению ЕАВ и ЕОВ;
- поддерживать нормативное качество обслуживания должностных лиц (ДЛ) органов управления COTO SN своевременным предоставлением ЕАВ и ЕОВ;
- обеспечивать низкие затраты на эксплуатацию КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ.

Для обеспечения задачи управления создают специальную информационную сеть КТСО ЕВ (рис. 2), обеспечивающую процессы управления услугами ЕВ путем организации взаимосвязи с компонентами различных средств на основе единых интерфейсов и протоколов в соответствии с концепцией TMN.

Основной задачей управления является обеспечение функционирования КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO SN с заданными показателями качества при разнообразных внешних и внутренних возмущениях как на сами КТСО ЕВ, так и на СУ COTO SN в целом.

В общем случае процесс управления КТСО ЕВ включает следующие этапы: получение информации о состоянии КТСО ЕАВ и ЕОВ, анализ полученной информации,

выработка решения и исполнение решения, т.е. осуществление управляющих воздействий.

Система управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO SN состоит из программно-аппаратных средств, оперативного и административного персонала, обеспечивающих процессы управления. Поэтому важной задачей, которую нужно решить при ее построении, является оптимальное (рациональное, целесообразное) распределение функций управления между ДЛ управления КТСО ЕВ и аппаратно-программными средствами комплексов автоматизации.

При внедрении современного комплекса управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO SN ДЛ управления получают следующее:

- оперативно обнаруживаются и устраняются неисправности в КТСО;
- снижаются эксплуатационные расходы и появляются дополнительные возможности за счет своевременно предоставленных услуг ЕАВ и ЕОВ;
- появляется возможность контролировать элементы других систем управления, пользующихся услугами ЕВ на правах присоединения;
- появляется возможность контролировать техническое состояние и работоспособность как отдельных элементов, так и всего компонента обеспечения ЕВ в целом.

Кроме того повышается качество предоставляемых услуг ЕАВ и ЕОВ.

При этом основными функциями управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН являются:

- контроль качества предоставляемых услуг ЕВ;
- контроль состояния элементов КТСО ЕАВ и ЕОВ;
- управление функционированием КТСО ЕАВ и ЕОВ в соответствии с условиями эксплуатации, включая управление формированием оперативного времени;
- управление структурой КТСО ЕАВ и ЕОВ;
- управление ресурсами КТСО ЕАВ и ЕОВ;
- управление безопасностью КТСО ЕАВ и ЕОВ.

### **Подсистемы системы управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН**

Весь комплекс задач управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН целесообразно условно разделить на задачи управления средствами КТСО (исполняет подсистема технологического управления), управления информационной сетью КТСО и сетью серверов КТСО ЕАВ и ЕОВ, управления услугами КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ (исполняет подсистема оперативно-технического управления), управления планированием предоставления услуг ЕАВ и ЕОВ (исполняет подсистема организационного управления). Таким образом выделяются три подсистемы СУ КТСО ЕВ.

Одной из важнейших задач, которую необходимо решать при организации технологического управления компонентом (управление оборудованием КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН), является задача оперативного мониторинга состояния ее элементов и, в первую очередь, мониторинг серверного оборудования. Решение задач мониторинга состояния серверного оборудования КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН обычно осуществляется по схеме «менеджер-агент» с применением стандартных протоколов управления, среди которых исключительно используют протокол SNMP.

Состояния каждого элемента серверного оборудования КТСО ЕВ отражаются в соответствующих элементах баз управляющей информации (МІВ). Для отражения текущего (в реальном масштабе времени) состояния серверного оборудования КТСО ЕВ при обработке данных, считываемых с МІВ, целесообразно применять различные методы обработки статистической информации, учитывающие специфику определенной группы параметров серверного оборудования.

Задачи оперативно-технического управления (управление информационной сетью КТСО ЕВ и услугами, предоставляемыми КТСО ЕВ) включают мониторинг и оценку состояния всей сетевой структуры КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН (информация о состоянии элементов КТСО ЕВ уже сформирована и на ее основе формируется далее

информация о сетевой структуре КТСО ЕВ). Выявляются перегруженные направления и ветви информационной сети КТСО ЕВ, анализируются пути приведения характеристик комплексов оборудования к норме и из множества управляющих воздействий выбираются те, которые в данной ситуации наилучшим образом могут обеспечить приведение характеристик к норме.

При фиксации СУ структурных изменений в КТСО ЕВ автоматически переформируется план распределения нагрузки информационной сети компонента обеспечения ЕВ. После получения информации от СУ КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН или от ДЛ управления КТСО ЕВ о структурных изменениях, лицом, принимающим решение, отдается команда на ввод тех или иных резервов, а при их отсутствии на использование алгоритмов ограничения нагрузки (т.е. отключения от получения ЕАВ и ЕОВ наименее важных пользователей СУ СОТО СН, решающих второстепенные задачи по управлению СОТО СН).

Задачи планирования при управлении КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН являются наиболее важными и представляют собой процесс постановки целей, которые требуется достичь, и разработки программы их достижения, оформленной в виде совокупности документов (при ручном управлении) или совокупности формализованных команд (при автоматизированном управлении), основным из которых является план предоставления услуг ЕАВ и ЕОВ.

Содержанием процесса планирования является распределение ресурсов КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН и определение порядка их использования. Сущность и содержание планирования определяется ее целевым предназначением, характером функционирования и принципами применения в тех или иных условиях эксплуатации. При этом задачи планирования в КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН разбиваются на группы задач для информационной сети, для сети серверов ЕВ и для предоставляемых услуг ЕВ.

Изменения в структуре КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН, приводят к необходимости перераспределения функций управления по звеньям и уровням управления СУ, а также соответствующего уточнения состава и взаимосвязи задач, решаемых должностными лицами при управлении КТСО ЕВ.

В целом управление КТСО ЕАВ и ЕОВ осуществляется в целях поддержания показателей качества обслуживания клиентов СУ СОТО СН по предоставлению услуг ЕВ и характеристик функционирования информационной сети КТСО ЕВ в пределах заданных норм. При этом основными причинами, вызывающими отклонение показателей качества функционирования КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН и показателей качества обслуживания клиентов СУ от нормы, являются структурные и функциональные изменения, вызванные ненадежностью оборудования и возмущениями из внешней среды или от нарушителей.

### Технологические и целевые основы управления и описание компонента обеспечения ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН как объекта управления

В качестве технологических основ могут быть взяты технологии сетевого управления. Так в настоящее время реально существуют простые протоколы управления сетью Internet трех версий (SNMP v1, 2 и 3) и две концепции управления:

- концепция OSI, которая предусматривает для управления сетями создание сетевых служб NMS — (ISO 7498–4, 9595, 9596), обеспечивающих функционирование сетей, планирование, управление и контроль работы всех их компонентов, при этом служба управления сетью образуется совокупностью распределенных по сети (применительно к компоненте обеспечения по КТСО ЕАВ и ЕОВ) аппаратных и программных средств и информационных ресурсов, размещенных во всех ее элементах;

- модель TMN, определенная Рек. МСЭ-Т М.3010, М.3020, М.3100 и рядом других, которая позволяет строить систему управления неоднородной КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН, построенной на разных технологиях, оборудовании и программном обеспечении.

Эффективное решение задач управления сложными КТСО ЕАВ и ЕОВ возможно только тогда, когда четко представлена (или синтезирована) подробная адекватная модель совокупности КТСО, которая должна отвечать концептуальной модели глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ).

При этом будем считать, что система управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН достаточно эффективна, если она обеспечивает заданный прирост показателей качества функционирования компонента обеспечения. Поэтому обоснованный выбор показателей качества управляемых КТСО ЕАВ и ЕОВ в настоящее время является сложным вопросом, правильное решение которого возможно на базе системного подхода.

Выбор в качестве показателя эффективности КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН только одного частного критерия приводит к ситуации, когда не учитываются другие показатели. Поэтому целесообразно, чтобы осуществлялась одновременная оценка качества функционирования КТСО и эффективности компонента обеспечения по таким показателям как верность данных ЕВ, вероятность доставки данных ЕВ клиентам СУ СОТО СН, среднее время доставки данных ЕВ.

Но при этом возникают существенные практически неразрешимые трудности оценки качества КТСО ЕАВ и ЕОВ, которые можно преодолеть, выбирая в качестве основных показателей вероятностно-временные показатели качества функционирования, и налагая обоснованные ограничения на показатели верности и затрат.

Выполнение целей, поставленных перед системой управления КТСО ЕАВ и ЕОВ, в конечном итоге, должно

гарантировать функционирование ее в целом и отдельных ее частей компонента обеспечения с требуемой эффективностью. Тогда управление КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН будем считать эффективным, если оно обеспечивает требуемую эффективность функционирования каждого КТСО ЕАВ и ЕОВ в условиях воздействия на него и систему управления различных естественных и преднамеренных возмущений и помех (в т.ч. деструктивные возмущения и программно-аппаратные атаки нарушителей).

Проблемы оценки эффективности функционирования сложных КТСО ЕАВ и ЕОВ требуют исчерпывающего решения, как при создании их систем управления, так и при их эксплуатации, а в зависимости от цели, оценку эффективности их функционирования можно производить по различным правилам. При этом множество аргументов, от которых зависит процесс функционирования КТСО, назовем параметрами КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН. Каждый конкретный КТСО ЕАВ и ЕОВ предназначен для решения вполне определенного круга задач. При этом как он справляется с решением этих задач, позволяют судить определенные характеристики качества, под каждой из которых будем понимать некоторую численную характеристику, являющуюся функционалом от процесса функционирования КТСО ЕАВ и ЕОВ и определяющую одну из сторон качества этого процесса.

Учитывая воздействие на КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН различных случайных факторов, рассмотрим характеристики качества с вероятностных позиций. Пусть совокупность КТСО ЕАВ и ЕОВ может находиться в счетном множестве состояний  $S$ . Пусть также задано отображение  $\tilde{A}$  этого множества само в себя. Тогда процесс функционирования компонента обеспечения может быть задан графом  $G(S, \tilde{A})$ , вершинами которого являются возможные состояния, а дугами и петлями — возможные переходы из одного состояния в другое под действием некоторых причин.

Множеству состояний КТСО ЕАВ и ЕОВ  $S$  ставится в соответствие множество вероятностей  $P = \{P_i\}$ , каждый элемент  $P_i$  которого есть вероятность нахождения компонента обеспечения в определенном состоянии.

Для любой КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН существует отображение множества причин во множество параметров  $L$ . Следовательно, существует отображение множества  $L$  во множество  $P = \{P_i\}$ . Элементы его являются функциями параметров, определяющих конкретные стороны процесса функционирования каждого КТСО ЕАВ и ЕОВ и могут служить характеристиками качества ее функционирования.

Под эффективностью КТСО ЕАВ и ЕОВ обычно понимается мера соответствия подсистемы своему назначению. При этом всегда стоит вопрос формулирования задачи исследования на эффективность, а цель исследования эффектив-



ности КТСО заключается в установлении степени влияния различных параметров из множества  $L$  на этот показатель.

Решение сформулированной задачи предполагает наличие математического описания процесса функционирования КТСО ЕАВ и ЕОВ. Полнота его зависит от того, сколько и каких параметров включено в множество  $L$ , а результатом реализации математического описания должны явиться численные значения характеристик качества (показателей эффективности). При этом влияние параметров на эффективность КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН можно оценивать по приращению показателей эффективности.

Понятно, что для КТСО ЕАВ и ЕОВ, основными показателями качества его функционирования являются показатели, характеризующие способность КТСО устойчиво выполнять задачи по предоставлению услуг ЕАВ и ЕОВ требуемого качества, например, случайное  $t_s$  или среднее  $t_s^*$  время предоставления данных ЕВ.

Поскольку целью функционирования каждого КТСО ЕАВ и ЕОВ является предоставление клиентам СУ СОТО СН данных о ЕВ с требуемым качеством и точностью, то при выполнении этой цели эффективность КТСО ЕАВ и ЕОВ обеспечиваются с вероятностью не меньшей требуемой  $P_r$ , несмотря на целый ряд возмущений.

При управлении КТСО ЕАВ и ЕОВ АСУС соответствие определенному управлению зафиксированному его состоянию обеспечивает оператор управления, включающий функции планирования и оперативного управления (выполнение плана).

В соответствии со стандартами управления, приведенными ранее, осуществляется декомпозиция оператора управления по уровням архитектуры, т. е. управление комплексом представлено: планированием, управлением услугами КТСО, управлением информационной сетью и сетями серверов ЕВ, управлением оборудованием КТСО.

С целью реализации пяти основных функций управления, заложенный в модели NMS OSI, осуществляемых прикладными процессами комплексов автоматизации СУ КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН, каждый из операторов должен выполнять пять задач управления: качеством (производительностью, скоростью обработки и т. д.) функционирования, структурой компонента обеспечения, процессами выявления неисправностей и их устранения, использованием ресурсов, безопасностью.

Задачи управления серверным и коммутационным оборудованием КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН, в основном сводятся к поддержанию их в работоспособном состоянии с качеством работы не ниже требуемого. Поэтому основное внимание уделяется организации эффективного мониторинга параметров оборудования КТСО, выявлению взаимовлияния параметров друг на друга и возможному прогнозированию предаварийных и аварийных состояний, их предотвращению за счет своевременного ремонта и настройки.

Пять задач управления (качеством, конфигурацией или структурой, отказами, ресурсами и безопасностью) оборудованием КТСО являются в определенной степени вырожденными, выполняются со значительной долей ручного труда по администрированию оператором АРМ подсистемы технологического управления СУ КТСО и лишь в незначительной степени допускают автоматизацию процессов управления (за исключением задач мониторинга), в то время когда пять задач управления информационной сетью и сетью серверов ЕВ в составе компоненты обеспечения, образованной совокупностью КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН, существенно более разносторонние в силу того, что сам объект управления (информационная сеть или сеть серверов ЕВ) значительно сложнее по организации, режимам функционирования, вариантам использования, количеству управляемых параметров и номенклатуре элементов. При этом разные группы задач различаются важностью, влиянием на текущее функционирование сетей (серверов ЕВ и информационной), требуемыми оперативными характеристиками, степенью участия операторов и должностных лиц органов управления КТСО в процессе управления и т. д.

Так, задача управления ресурсами, сводящаяся в основном к учету и контролю использования ресурсов КТСО, серверов, коммутационного оборудования информационной сети совокупности КТСО и сети серверов, их каналов, трактов и линий связи, с целью информирования должностных лиц управления компонентом обеспечения ЕВ об объеме потребляемых ресурсов за определенный период времени, а также к статистической обработке данных, к оценке коэффициентов использования и загрузки важнейших ресурсов и хранении этой информации в соответствующих базах данных, является, очевидно, для рассматриваемых КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН наименее важной, с достаточно низкими требованиями по оперативности.

Очевидно, что наиболее важной задачей, непосредственно влияющей на качество обслуживания клиентов СУ СОТО СН, решение которой должно осуществляться в реальном масштабе времени и с минимальным привлечением должностных лиц управления СУ КТСО, является задача управления качеством функционирования (производительностью, скоростью обработки). Особенностью задачи управления качеством КТСО ЕВ является решение частной задачи управления процессами формирования метрик оперативно-го времени для всех операций управления СОТО СН.

Следующей по важности является задача управления структурой каждого КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН и компонентом обеспечения ЕВ в целом. Она решается со значительным привлечением должностных лиц по управлению КТСО, которые только и могут принять решения по изменению структуры или корректировке существующей

щих структур. Поэтому задачи по управления структурой КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН реализуются как задачи поддержки принятия обоснованных решений должностными лицами управления. Требования по оперативности решения задач управления структурой компонента обеспечения ЕВ существенно ниже, чем для задач управления качеством функционирования.

Также одной из задач управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН является задача управления при отказах комплексов технических средств, необходимость, решения которой, возникает в результате ненормальной работы средств и служб, неправильного использования ресурсов КТСО и в случае, когда возможности подсистемы технологического управления исчерпаны. Однако в большинстве практически реализуемых системах управления КТСО ЕВ эта задача в значительной степени решается в рамках подсистем эксплуатации.

Среди всех задач управления компонентом обеспечения ЕВ особо важную роль играет задача управления безопасностью, которая для КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН, функционирующих в условиях интенсивных целенаправленных информационных воздействий многочисленных нарушителей, является исключительно важной и фактически влияющей на качество функционирования СУ СОТО СН и СОТО СН в целом. Связано это с тем, что различные информационные воздействия, достигнув поставленные цели, могут свести на нет нормальное функционирование КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН, привести к функциональному отказу отдельных ее компонентов или под-

системы целиком, дезорганизовать работу подсистемы, исказить данные о едином времени или изменить форму предоставления единого оперативного времени.

### Многоуровневые модели управления компонентом обеспечения ЕВ

Несмотря на сложность обеспечения функционирования СУ СОТО СН в чрезвычайных условиях, требуется все-таки предоставить требуемую номенклатуру услуг ЕВ (ЕАВ и ЕОВ) и передать эти данные с гарантированным качеством индивидуальным или групповым пользователям СУ СОТО СН несмотря на возможные широкого спектра массивированные возмущения, что должно предопределять необходимость разработки специальных подходов к организации управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН. В качестве такого подхода может быть взят и адаптирован для целей управления КТСО подход, приведенный в работах [3–5], предполагающий декомпозицию общей задачи управления на три уровня управления, в соответствии с трехуровневой архитектурой КТСО ЕВ: управление прикладным уровнем, управление функциональным уровнем, управление сетевым уровнем КТСО, на каждом из которых управление осуществляется в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т сер X.700, М-3\*\*\* (TMN) и стандартом ISO 7498–4 по пяти основным задачам (рис. 3).

Поскольку каждый уровень функциональной архитектуры КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН представлен соответствующей сетью (серверов ЕВ, услуг безопасности, информационной сетью и т.д.), то организация управле-



Рис. 3. Архитектура задач управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН

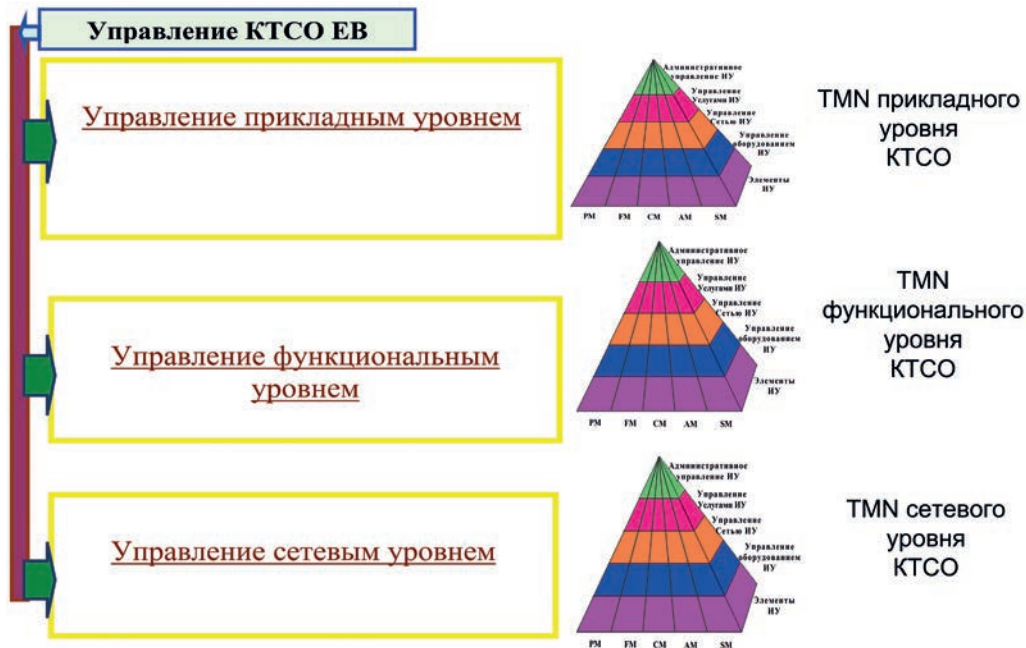


Рис. 4. TMN –ориентированная архитектура многоуровневых процессов управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO CH

ния им должна осуществляться в соответствии с моделью TMN (рис. 4). При этом присутствуют независимые в соответствии с постулатами модели OSI пирамиды TMN, описывающие модели подсистемы управления соответственно прикладного, сетевого и базового уровней КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO CH.

В соответствии с архитектурной моделью управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO CH (см. рис. 4), предполагающей организацию многоуровневого иерархического управления, отвечающего концепции управления TMN, соответственно пирамида управления TMN прикладным уровнем КТСО ЕВ, пирамида управления TMN функциональным уровнем КТСО ЕВ и пирамида управления TMN сетевым уровнем КТСО ЕВ СУ COTO CH, целесообразно представить формализованную схему решения задач управления ею как показано на рис. 5 и рис. 6.

Система управления, оценив информацию, полученную в процессе мониторинга КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO CH, вырабатывает вектор управления

$$\mathbf{U}_{KTCO} = [\mathbf{u}_{PL}, \mathbf{u}_{FL}, \mathbf{u}_{NL}], \quad (1)$$

где  $\mathbf{u}_{PL}$ ,  $\mathbf{u}_{FL}$ ,  $\mathbf{u}_{NL}$  — векторы управления соответственно прикладным, функциональным и сетевым уровнями КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO CH.

Вектор управления прикладным уровнем КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO CH  $\mathbf{u}_{PL}$  вырабатывается на основе данных мониторинга о многомерной нагрузке требований на

получение услуг ЕВ  $\Lambda_{PL}$ , параметров многомерного обслуживания  $\mathbf{M}_{PL}$ , структуре сетей уровня  $S_{PL}$  и параметров атак на уровень  $\mathbf{R}_{PL}$

$$\mathbf{u}_{PL} = f_{PL}(\Lambda_{PL}, \mathbf{M}_{PL}, S_{PL}, \mathbf{R}_{PL}). \quad (2)$$

Вектор управления функциональным уровнем КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ COTO CH  $\mathbf{u}_{FL}$  вырабатывается на основе данных мониторинга о многомерной нагрузке требований на получение услуг уровня  $\Lambda_{FL}$ , параметров многомерного обслуживания  $\mathbf{M}_{FL}$  (обеспечение безопасности, санкционированное обеспечение адресами, геоинформационное обеспечение и т.д.), структуре сетей услуг уровня  $S_{FL}$  и параметров атак на уровень  $\mathbf{R}_{FL}$

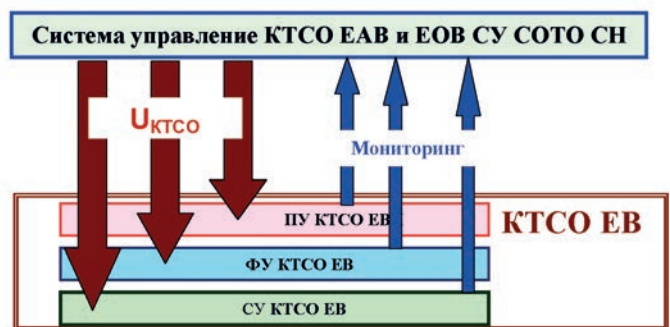


Рис. 5. Формализованная постановка задачи управления компонента обеспечения ЕВ

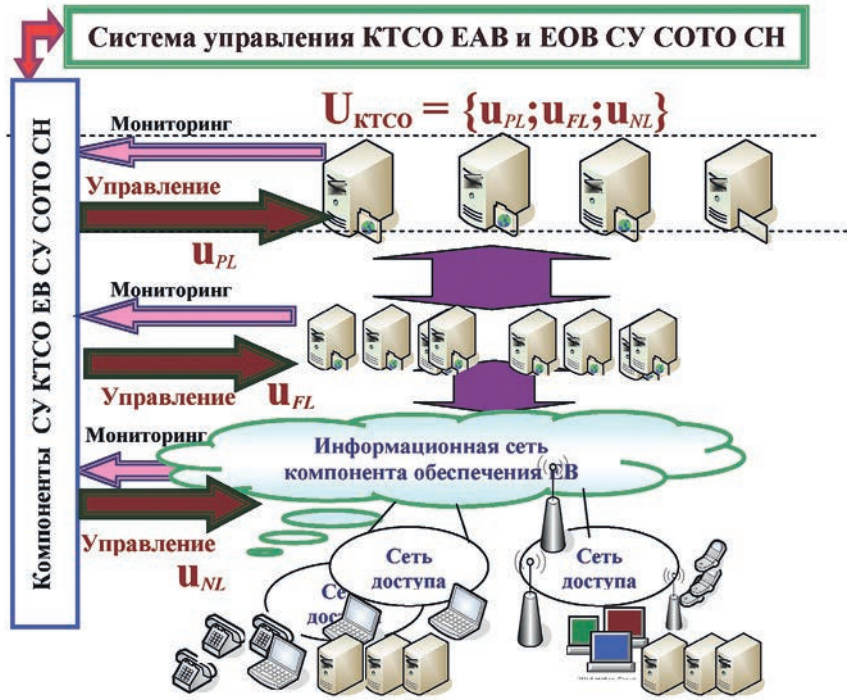


Рис. 6. Формализованная схема задач управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН

$$\mathbf{u}_{FL} = f_{FL}(\Lambda_{FL}, \mathbf{M}_{FL}, S_{FL}, \mathbf{R}_{FL}). \quad (3)$$

Вектор управления сетевым уровнем КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН  $\mathbf{u}_{NL}$  вырабатывается на основе данных мониторинга о многомерной нагрузке требований на получение инфокоммуникационных услуг уровня  $\Lambda_{NL}$ , параметров многомерного обслуживания  $\mathbf{M}_{NL}$ , структуре информационной сети  $S_{NL}$  и параметров атак на уровень  $\mathbf{R}_{NL}$ .

$$\mathbf{u}_N = f_{NL}(\Lambda_{NL}, \mathbf{M}_{NL}, S_{NL}, \mathbf{R}_{NL}). \quad (4)$$

Выбор того или иного управления компонентом обеспечения ЕВ осуществляется исходя из обеспечения экстремума выбранного показателя качества его функционирования (5), который может быть функциональным (6), аддитивным (7) или мультипликативным (8) от показателей качества уровней КТСО ЕВ:

$$U_{KTCO} \rightarrow exstr\{Q_{KTCO}\}. \quad (5)$$

$$Q_{KTCO} = F\{Q_k\}. \quad (6)$$

$$Q_{KTCO} = \sum_{k=1}^3 r_k Q_k. \quad (7)$$

$$Q_{KTCO} = \prod_{k=1}^3 r_k Q_k. \quad (8)$$

Естественно, что наиболее благоприятным для управления КТСО ЕВ является вариант, когда показатель качества является аддитивным (7) или мультипликативным (8), т.е. является взвешенной суммой или произведением от показателей качества функционирования прикладного, функционального и сетевого уровней КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН. При выборе соответствующих показателей качества функционирования КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН этого не трудно осуществить.

Уровневые векторы управления  $\mathbf{u}_{PL}$ ,  $\mathbf{u}_{FL}$ ,  $\mathbf{u}_{NL}$  строятся так, чтобы достигался экстремум уровня показателя качества, т.е. соответственно:

$$\mathbf{u}_{PL} \rightarrow exstr\{Q_1\}. \quad (9)$$

$$\mathbf{u}_{FL} \rightarrow exstr\{Q_2\}. \quad (10)$$

$$\mathbf{u}_{NL} \rightarrow exstr\{Q_3\}. \quad (11)$$

Ясно, что для КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН наиболее важными является временные характеристики получения ЕАВ и ЕОВ, которые можно интерпретировать как случайные времена доставки данных о ЕАВ и ЕОВ  $t_{sPL}$ ,  $t_{sFL}$ ,  $t_{sNL}$  (или использовать средние их значения  $t_{sPL}^*$ ,  $t_{sFL}^*$ ,  $t_{sNL}^*$ ), т.е.:

$$exstr\{Q_1\} \rightarrow \min t_{s,PL}; \quad exstr\{Q_1\} \rightarrow \min t_{s,PL}^*$$

или  $t_{s,PL} \leq t_{s,PL}; \quad t_{s,PL}^* \leq t_{s,PL}^*.$  (12)

$$exstr\{Q_2\} \rightarrow \min t_{s,FL}; \quad exstr\{Q_2\} \rightarrow \min t_{s,FL}^*$$

или  $t_{s,FL} \leq t_{s,FL}; \quad t_{s,FL}^* \leq t_{s,FL}^*.$  (13)

$$exstr\{Q_3\} \rightarrow \min t_{s,NL}; \quad exstr\{Q_3\} \rightarrow \min t_{s,NL}^*$$

или  $t_{s,NL} \leq t_{s,NL}; \quad t_{s,NL}^* \leq t_{s,NL}^*.$  (14)

Таким образом, общую модель многоуровневого управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН можно представить схемой, на которой задачи управления каждым уровнем КТСО решаются в соответствии с моделью управления OSI (рекомендации МСЭ-Т X. 700) и концепцией TMN (рекомендации МСЭ-Т X. 30\*\*) с сформированными на каждом уровне TMN-архитектуры всех составляющих вектора управления (рис. 7).

Приведенная на рис. 7 модель иерархического многоуровневого TMN-ориентированного управления компо-

нентом обеспечения ЕВ элементов СУ СОТО СН позволяет решать, в соответствии с концепцией TMN (управление оборудованием, управление сетями, управление услугами, управление всем уровневый компонентом), все пять задач управления (ресурсами, структурой, качеством функционирования, безопасностью, отказами) каждым уровнем КТСО независимо от других уровней, с учетом специфики его функционирования.

### Выводы

В настоящее время в нефтегазовой отрасли, электроэнергетике, атомной промышленности и других сферах (сложные организационно-технические объекты специального назначения или СОТО СН) все большее внимание уделяется созданию современных систем управления, которые обеспечивают должностных и административных лиц средствами эффективного управления.

Функционирование СОТО СН в значительной степени влияет на экономическую мощь государства и поэтому как сами СОТО СН, так и системы управления ими, наряду с влиянием на них внешней среды, с большой вероятностью будут подвергаться разнообразным массивированным возмущениям различных нарушителей.

Организация эффективного управления СОТО СН, особенно в чрезвычайных обстоятельствах, предполагает обеспечение элементов системы управления значениями

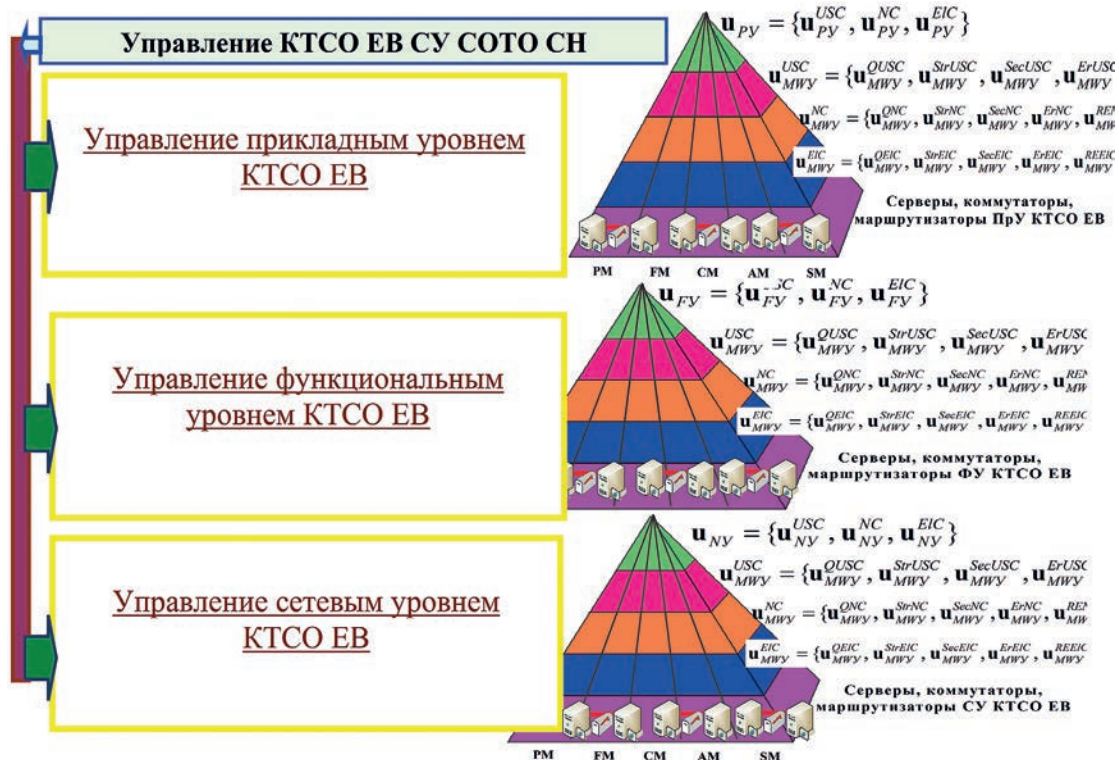


Рис. 7. Модель многоуровневого управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН

единого времени, как астрономического, так и функционального или оперативного, которое осуществляют специально создаваемые комплексы технических средств обеспечения единым временем (КТСО ЕВ). Их функционирование с высокими качественными показателями возможно лишь при организации управления ими в рамках системы управления КТСО.

При этом в качестве основных функций СУ КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН целесообразно рассматривать:

- контроль качества предоставляемых услуг ЕВ;
- контроль состояния элементов КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН;
- управление функционированием КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН в соответствии с условиями обстановки, включая управление формированием оперативного времени;
- управление структурой КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН;
- управление ресурсами КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН;
- управление безопасностью КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН.

При организации управления следует учитывать, что эффективное решение задач управления КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН возможно только тогда, когда четко представлена (синтезирована) адекватная модель комплексов.

Поскольку архитектурная модель КТСО ЕАВ и ЕОВ СУ СОТО СН включает три уровня, то управление ею также целесообразно декомпозировать на три уровня управления: управление прикладным уровнем, управление функциональным уровнем, управление сетевым уровнем КТСО, на каждом из которых процесс управления осуществляется в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т сер Х.700, М-3\*\*\* (TMN) и стандартом ISO 7498-4 для пяти задач управления, к которым относятся задачи управления функционированием или качеством функционирования (производительностью уровня, скоростью обработки, формированием спектра функций оперативного времени), безопасностью, структурой, ресурсами уровня и сбойными ситуациями с выработкой соответствующего вектора управления, компоненты которого представляют собой векторы управления соответственно прикладным, функциональным и сетевым уровнями, каждый из которых вырабатывается СУ на основе данных мониторинга о многомерной нагрузке требований на получение услуг ЕВ, параметров многомерного обслуживания, структуре сетей уровня и параметров атак на уровень, а выбор того или иного управления уровнем КТСО осуществляется исходя из обеспечения экстремума определенного показателя качества, который может быть функциональным, аддитивным или мультипликативным.

## Литература

1. Система Единого времени для спецпотребителей. URL: [www.chas.prom.com](http://www.chas.prom.com). 2017 (дата обращения 10.02.2018).
2. Система единого времени» «Интелтек Плюс». URL: <http://www.inteltec.ru/>. 2017 (дата обращения 10.02.2018).
3. Буренин А. Н., Легков К. Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: Медиа Паблшер, 2015. 348 с.
4. Буренин А. Н., Курносов В. И. Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями. М.: Наука, 2011. 464 с.
5. Ушаков И. А. Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем. М.: Радио и связь, 1991. 132 с.
6. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, 1984. Т. 1. 528 с.
7. Шнепс-Шнеппе М. А. Системы распределения информации. Методы расчета. М.: Связь, 1979. 342 с.
8. Емельянов А. В., Легков К. Е., Оркин В. В. Анализ проблем информационной безопасности информационных систем специального назначения при управлении ими // Труды II Межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях». СПб.: Изд-во ВАС, 2017. С. 122–126.
9. Шаньгин В. Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. М.: ДМК Пресс, 2012. 592 с.
10. Ерохин С. Д., Артамонова Я. С., Легков К. Е. К вопросу о методике выявления угроз информационной безопасности в пограничном пространстве // I-methods. 2013. Т. 5. № 2. С. 19–22.
11. Бабошин В. А., Сиротенко Ф. Ф. Модель процесса мониторинга транспортной сети специального назначения на основе нечеткой логики // I-methods. 2013. Т. 5. № 1. С. 20–25.
12. Ерохин С. Д., Легков К. Е. Информационные угрозы автоматизированных систем управления технологическими процессами // I-methods. 2014. Т. 6. № 1. С. 24–26.
13. Корсунский А. С., Масленникова Т. Н., Ерышов В. Г. Модель системы анализа защищенности информации в автоматизированных системах // I-methods. 2015. Т. 7. № 4. С. 30–34.
14. Mitra D., Ramakrishnan K. G. Technics for traffic enginering of multiservice in priority networks // BLTJ. 2001. Vol. 1. Pp. 123–130.
15. Зима В. М., Молдовян А. А., Молдовян Н. А. Безопасность глобальных сетевых технологий. СПб.: Изд-во СПбУ, 1999. 234 с.
16. Котенко И. В., Степашкин М. В., Богданов В. С. Анализ защищенности компьютерных сетей на раз лич-



ных этапах проектирования и эксплуатации // Известия вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49. № 5. С. 3–8.

17. *Gorodetsky V., Kotenko I., Karsayev O.* The Multi-agent Technologies for Computer Network Security: Attack Simulation, Intrusion Detection and Intrusion Detection Learning // *The International Journal of Computer Systems Science & Engineering*. 2003. Vol. 18. № 4. Pp. 191–200.

18. *Harmer P., Williams P., Gunsch G., Lamont G. B.* An artificial immune system architecture for computer security applications // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2002. Vol. 6. No. 3. Pp. 252–280.

19. *Al-Kasassbeh M., Adda M.* Network fault detection with Wiener filter-based agent // *Journal of Network and Computer Applications*. 2009. Vol. 32. No. 4. Pp. 824–833.

---

## BASIC APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF OPERATIONAL MANAGEMENT OF COMPLEXES OF PROVIDING MANAGEMENT SYSTEM WITH UNIFORM TIME WITH THE DIFFICULT ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL OBJECT

**ANDREY N. BURENIN,**

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

**KONSTANTIN E. LEGKOV,**

St-Petersburg, Russia, constl@mail.ru

### ABSTRACT

Basic approaches to the organization of complexes of technical means for providing with uniform time, both exact (astronomical), and functional or operational, required elements (officials of governing bodies and complexes of automation) of management system of a special purpose difficult organizational and technical object are considered. It is shown that the persons making decisions at management with use of management system of a special purpose difficult organizational and technical object need to provide the required nomenclature of infocommunication services among which one of the major are services of providing with uniform time, including in extraordinary conditions. It is possible to carry out it only at the organization of high-quality management of complexes of technical means for providing with uniform time which are one of principal components of management system a special purpose difficult organizational and technical object.

It is shown that creation of complexes of management of complexes of technical means on providing management system with uniform time with a special purpose difficult organizational and technical object, assumes application of standard solutions on telecommunication management, telecommunication and information protocols, protocols of management, standard protocols of providing with uniform time, with indispensable accounting of safety requirements. At the same time, existence of the formalized description of tasks of

**KEYWORDS:** common timing system; operational management; infocommunication services; protocols of uniform time; complex of technical means.

management and formalization of problem definition of management is especially important that allows to consider basic approaches to the organization of management and forming of models of management of complexes of technical means for providing management system with uniform astronomical and uniform operational time of required elements on the basis of multilevel representation of architecture of complexes.

### REFERENCES

1. *Sistema Edinogo vremeni dlya spetspotrebiteley* [Common timing system for spetspotrebiteley]. URL: [www.chas.prom.com](http://www.chas.prom.com). 2017. (date of access 10.02.2018). (In Russian)
2. *Sistema edinogo vremeni "Inteltek Plyus"* [Common timing system of Inteltek Plus]. URL: <http://www.inteltec.ru/> (date of access 10.02.2018). (In Russian)
3. *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)
4. *Burenin A. N., Kurnosov V.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya sovremennymi telekommunikatsionnymi setyami* [Theoretical bases of management of modern telecommunications networks].

Moscow: Nauka, 2011. 464 p. (In Russian)

5. Ushakov I.A. *Veroyatnostnyye modeli nadezhnosti informatsionno-vychislitel'nykh sistem* [Probabilistic models of reliability of information-computing systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1991. 132 p. (In Russian)

6. Feller W. *An Introduction to Probability Theory and its Applications*. 3rd ed. 1968. Vol. 1. 528 p.

7. Shneps-Shneppe M.A. *Distribution System information. Calculation methods*. Moscow: Svyas', 1979. 342 p. (In Russian)

8. Emel'yanov A.V., Legkov K.E., Orkin V.V. *Analiz problem informatsonnoy bezopasnosti informatsonnykh sistem spetsial'nogo naznacheniya pri upravlenii imi* [Analysis of problems of information security of information systems for special purposes and their control]. *Trudy II Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy tekhnicheskogo obespecheniya voysk v sovremennykh usloviyakh"* [Proceedings of the II Interuniversity scientific and practical conference "Problems of technical support of troops in modern conditions"]. St. Petesburg: Voennaya akademiya svyazi Publ., 2017. Pp. 122-126. (In Russian)

9. Shan'gin V.F. *Zashchita informatsii v komp'yuternykh sistemakh i setyakh* [Information Protection in computer systems and networks]. Moscow: DMK Press, 2012. 592 p. (In Russian)

10. Erokhin S.D., Artamonov Y.S., Legkov K.E. *To the question about the methods of identification of information security threats in the border space*. *I-methods*. 2013. Vol. 5. No. 2. Pp. 19-22. (In Russian)

11. Baboshin V.A., Sirotenko F.F. *The model of the process of monitoring the transportation network for special purposes based on fuzzy logic*. *I-methods*. 2013. Vol. 5. No. 1. Pp. 20-25. (In Russian)

12. Erokhin S.D., Legkov K.E. *Information threats are automated systems of control of technological processes*. *I-methods*. 2014. Vol. 6.

No. 1. Pp. 24-26. (In Russian)

13. Korsun A.S., Maslennikova T.N., Erychov V.G. *Model system analysis of information security in automated systems*. *I-methods*. 2015. Vol. 7. No. 4. Pp. 30-34. (In Russian)

14. Mitra D., Ramakrishnan K.G. *Technics for traffic engening of multiservice in priority networks*. *BLTJ*. 2001. Vol. 1. Pp. 123-130.

15. Zima V.M., Moldovyan A.A., Moldovyan N.A. *Bezopasnost' global'nyh setevykh tehnologij* [The global security network technologies]. St. Petesburg: SPbU Publ., 1999. 234 p. (In Russian)

16. Kotenko I.V., Stepashkin M.V., Bogdanov V.S. *Vulnerability Analysis of Computer Networks on Design Stages and Maintenance*. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering]. 2006. Vol. 49. No. 5. Pp. 3-8. (In Russian)

17. Gorodetsky V., Kotenko I., Karsayev O. *The Multiagent Technologies for Computer Network Security: Attack Simulation, Intrusion Detection and Intrusion Detection Learning*. *The International Journal of Computer Systems Science & Engineering*. 2003. Vol. 18. No. 4. Pp. 191-200.

18. Harmer P., Williams P., Gunsch G., Lamont G.B. *An artificial immune system architecture for computer security applications*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2002. Vol. 6. No. 3. Pp. 252-280.

19. Al-Kasassbeh M., Adda M. *Network fault detection with Wiener filter-based agent*. *Journal of Network and Computer Applications*. 2009. Vol. 32. No. 4. Pp. 824-833.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Burenin A. N., PhD, Full Professor, Chief specialist of "Research Institute "Rubin";

Legkov K. E., PhD, Head of the Department of automated systems of control of the Military Space Academy.

---

**For citation:** Burenin A.N., Legkov K.E. Basic approaches to the organization of operational management of complexes of providing management system with uniform time with the difficult organizational and technical object. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 20-32. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10221 (In Russian)





doi: 10.24411/2409-5419-2018-10222

# ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**ГАВРИШЕВ****Алексей Андреевич<sup>1</sup>****ЖУК****Александр Павлович<sup>2</sup>****АННОТАЦИЯ**

В пакете программ ScicosLab проведено экспериментальное моделирование системы связи на основе шумоподобных сигналов, предназначенной для одновременной передачи в одном канале полезной и служебной информации для целей дистанционного управления режимами работы беспроводной системы связи, служащей для обеспечения информационного обмена между управляющим сервером и объектами управления. Были получены временные, спектральные диаграммы и автокорреляционная функция передаваемых в канале связи сигналов моделируемой системы связи. Отмечено, что из полученных при моделировании качественных показателей видно, что передаваемые сигналы являются шумоподобными и имеют непрерывный вид во временной и спектральной области. Автокорреляционная функция так же подтверждает сказанное. Так же из временных и спектральных диаграмм затруднительно визуально выделить передаваемые полезные сигналы, представляющие собой последовательности равномерных прямоугольных импульсов, что указывает на их скрытность от постороннего наблюдателя. На основе вейвлет-анализа была получена скалограмма передаваемых в канале связи сигналов моделируемой системы связи. В канале связи передается два сигнала (полезный сигнал и шумоподобный сигнал), хотя на временных, спектральных диаграммах и автокорреляционной функции этого практически не видно. Таким образом, с помощью вейвлет-анализа получилось выявить два сигнала из одного шумоподобного сигнала, что указывает на недостаточную скрытность исследуемой системы связи на основе шумоподобных сигналов при заданных условиях моделирования. Для противодействия вейвлет-анализу систем связи на основе шумоподобных сигналов, в которых в одном канале связи одновременно передается несколько полезных сигналов, необходимо, чтобы передаваемые в канале связи сигналы обладали скалограммами, близкими к скалограмме белого шума, что является классическим подходом для защищенных беспроводных систем связи. Достичь этого можно разными способами, например использовать в качестве кода расширения сигналы, полученные с помощью генераторов хаотических сигналов.

**Сведения об авторах:**

<sup>1</sup>старший преподаватель Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь, Россия, alexxx.2008@inbox.ru

<sup>2</sup>к.т.н., профессор, профессор Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь, Россия, alekszhuk@mail.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** шумоподобные сигналы; качественный анализ; вейвлет-анализ; скрытность; ScicosLab.

**Для цитирования:** Гавришев А. А., Жук А. П. Применение вейвлет-анализа для качественной оценки свойств системы связи на основе шумоподобных сигналов автоматизированной системы управления специального назначения // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 33-42. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10222

### Введение

Современные автоматизированные системы управления специального назначения используются во многих приложениях, в частности для управления робототехническими комплексами, комплексами систем охранно-пожарной сигнализации, системами идентификации и контроля доступа и т.д. В качестве подсистемы в данных системах обязательным элементом является беспроводная система связи для обеспечения информационного обмена между управляющим сервером и объектами управления. В этих условиях возникает необходимость дистанционного управления режимами работы беспроводной системы связи: скоростью передачи, мощностью излучения и т.д. [1].

Из литературы известно [1], что известные способы дистанционного управления беспроводными системами связи требуют использования дополнительных канальных или временных ресурсов, так как передача команд управления ведется либо по отдельно выделенной линии дистанционного управления, либо в составе информационного канала, что связано с прерыванием обмена оперативной информацией между объектом управления и управляющим сервером. Одним из путей решения задачи уменьшения использования канальных и временных ресурсов, а также уменьшения времени прерывания обмена оперативной информацией является передача в общей полосе полезного сигнала и служебной информации [1]. Это возможно, если в качестве передаваемых сигналов использовать шумоподобные сигналы [1].

В работе [1] предложена такая система связи на основе шумоподобных сигналов, предназначенная для одновременной передачи в одном канале полезного сигнала и служебной информации. Структурные схемы приемной и передающей сторон данной системы связи представлены ниже (рис. 1, 2). Согласно предлагаемому подходу [1], служебная информация  $B(t)$ , которая представляет собой последовательность импульсов большой длительности, перемножается с псевдослучайной последовательностью (ПСП), как показано на рис. 1. Полученный шумоподобный сигнал  $Z(t)$  суммируется с основным полезным сигналом

и передается в канал связи. Передаваемый сигнал  $Y(t)$  можно представить в виде  $Y(t) = S(t) + Z(t)$ , где  $S(t)$  — основной сигнал, а  $Z(t)$  — шумоподобный сигнал. Из рис. 1 видно, что полезный сигнал  $S(t)$  для шумоподобного сигнала  $Z(t)$  играет роль мощной помехи еще до передачи в канал связи. Далее на приемной стороне, вычисляя функцию взаимной корреляции поступающего сигнала, можно выделить составляющие основного и шумоподобного сигналов. В качестве корреляторов используются согласованные фильтры, задачей которых является не восстановление формы сигнала, искаженного шумом, а получение одного отсчета, по которому можно судить о присутствии или отсутствии на входе фильтра сигнала известной формы, то есть либо основного сигнала  $S(t)$ , либо шумоподобного сигнала  $Z(t)$ . При этом шумоподобный сигнал  $Z(t)$  перемножается на приеме с ПСП, образованной в приемнике и в точности совпадающей с ПСП, используемой в передатчике. Таким образом, возможно восстановить передаваемые одновременно служебную информацию и дополнительную полезную информацию, например команды управления беспроводной системой связи [1]. Авторы данного подхода утверждают, что сигнал, полученный в результате сложения шумоподобного сигнала  $Z(t)$ , представляющего собой произведение служебной информации  $B(t)$  и ПСП, с основным полезным сигналом  $S(t)$ , также является шумоподобным, и постороннему наблюдателю его достаточно трудно отличить от естественного шума [1].

Вместе с тем, актуальным вопросом для любой системы связи на основе шумоподобных сигналов является ее качественный анализ для целей оценки ее скрытности от постороннего наблюдателя [2, 3]. В настоящее время самыми распространенными методами качественного анализа передаваемых в канале связи шумоподобных сигналов для целей оценки их скрытности от постороннего наблюдателя являются их временные диаграммы, спектральные диаграммы, построенные на основе Фурье-преобразования и оконного преобразования Фурье, автокорреляционная функция и некоторые другие [2, 4–6]. Более подробно с их математическим описанием можно ознакомиться в ра-

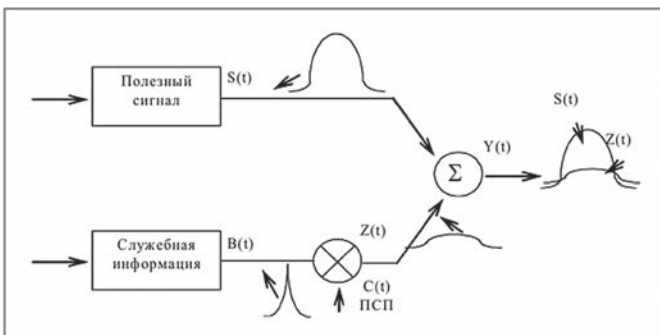


Рис. 1. Структурная схема передающей стороны

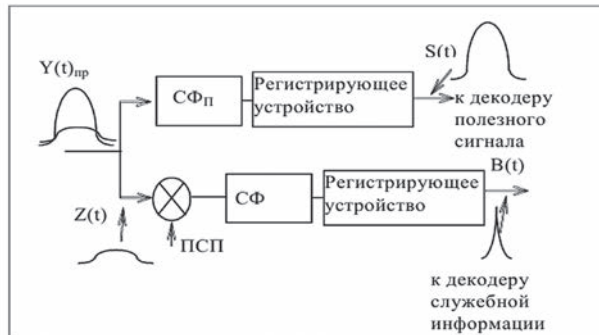


Рис. 2. Структурная схема приемной стороны



ботах [2, 4–6] и спискам литературы к ним. Так же в последние годы набирает популярность относительно новый метод качественного анализа передаваемых в канале связи шумоподобных сигналов — вейвлет-анализ [3, 5–10]. В частности, хоть качественный анализ передаваемых в канале связи шумоподобных сигналов для целей оценки их скрытности от постороннего наблюдателя является достаточно сложной задачей [3], однако в некоторых случаях с помощью вейвлет-анализа возможно обнаружить передаваемые сверхширокополосные сигналы [3], определить тип модуляции, применяемый в системах связи на основе расширения спектра [8] или, например, выделить и локализовать перескок фазы фазоманипулированного шумоподобного сигнала [7]. Более подробно с математическим описанием вейвлетов можно ознакомиться в работах [3, 5–10] и спискам литературы к ним.

В данной работе авторы хотят провести в пакете программ ScicosLab [2, 11, 12] экспериментальное моделирование системы связи на основе шумоподобных сигналов, предложенной в работе [1], и провести качественный анализ передаваемых в канале связи шумоподобных сигналов, полученных при моделировании, для целей оценки их скрытности от постороннего наблюдателя.

Целью данной статьи является экспериментальное моделирование системы связи на основе шумоподобных сигналов, предложенной в работе [1] и качественный анализ полученных шумоподобных сигналов, передаваемых в канале связи, для целей оценки их скрытности от постороннего наблюдателя.

### Основная часть

Проведем моделирование описанной выше системы связи на основе шумоподобных сигналов в пакете программ ScicosLab [2, 11, 12]. В качестве источников служебной и полезной информации выберем генераторы равномерных прямоугольных импульсов, работающие в диапазоне  $[-1; 1]$ , причем один из них будет иметь большую длительность, а другой меньшую. В качестве кода расширения возьмем распространенные  $m$ -последовательности. Они представляют собой линейные рекуррентные последовательности максимального периода, формируемые  $k$ -разрядными генераторами на основе регистров сдвига. Представить их можно в виде следующих отношений (1) [13]:

$$\begin{cases} r_1 := r_0, r_2 := r_1, \dots, r_{k-1} := r_{k-2} \\ r_0 := a_0 r_1 \oplus a_1 r_2 \oplus \dots \oplus a_{k-2} r_{k-1}, \\ \Gamma_i := r_k \end{cases} \quad (1)$$

где  $r_0, r_1, \dots, r_{k-1}$  —  $k$  однобитных регистров;  $a_0, a_1, \dots, a_{k-1}$  — коэффициенты неприводимого двоичного полинома степени  $k-1$ ;  $\Gamma_i$  —  $i$ -е значение выходной гаммы. Среди особенностей процесса моделирования отметим тот факт, что в канале связи на передаваемые сигналы действует аддитивная гауссовская помеха.

В начале в качестве примера рассмотрим временную, спектральную диаграммы и автокорреляционную функцию для одной из временных реализаций передаваемых в канале связи сигналов, полученных в результате моделирования (рис. 3–5). Заметим, что временные, спектральные диа-

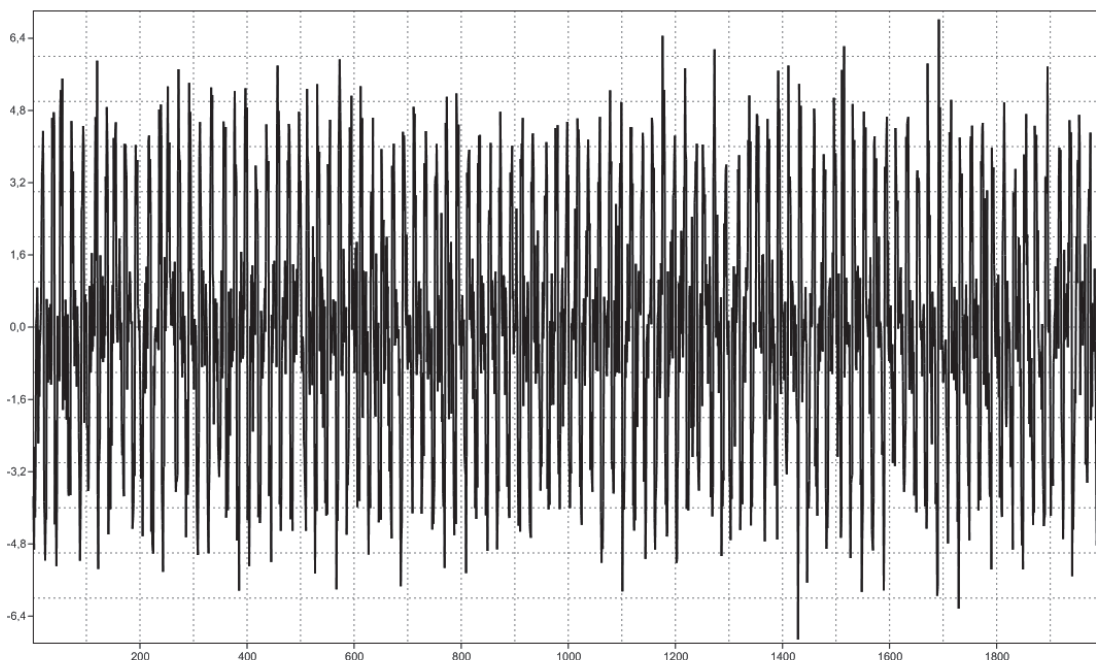


Рис. 3. Временная диаграмма фрагмента передаваемого в канале связи сигнала

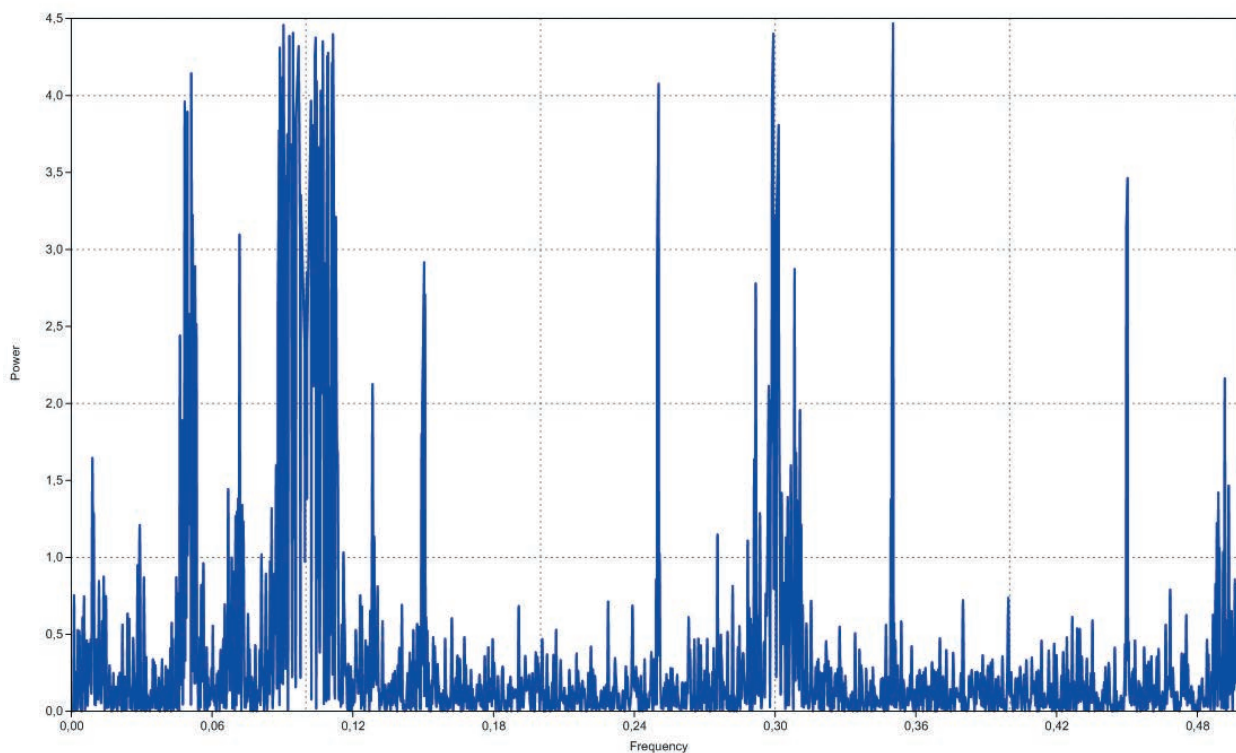


Рис. 4. Спектральная диаграмма фрагмента передаваемого в канале связи сигнала

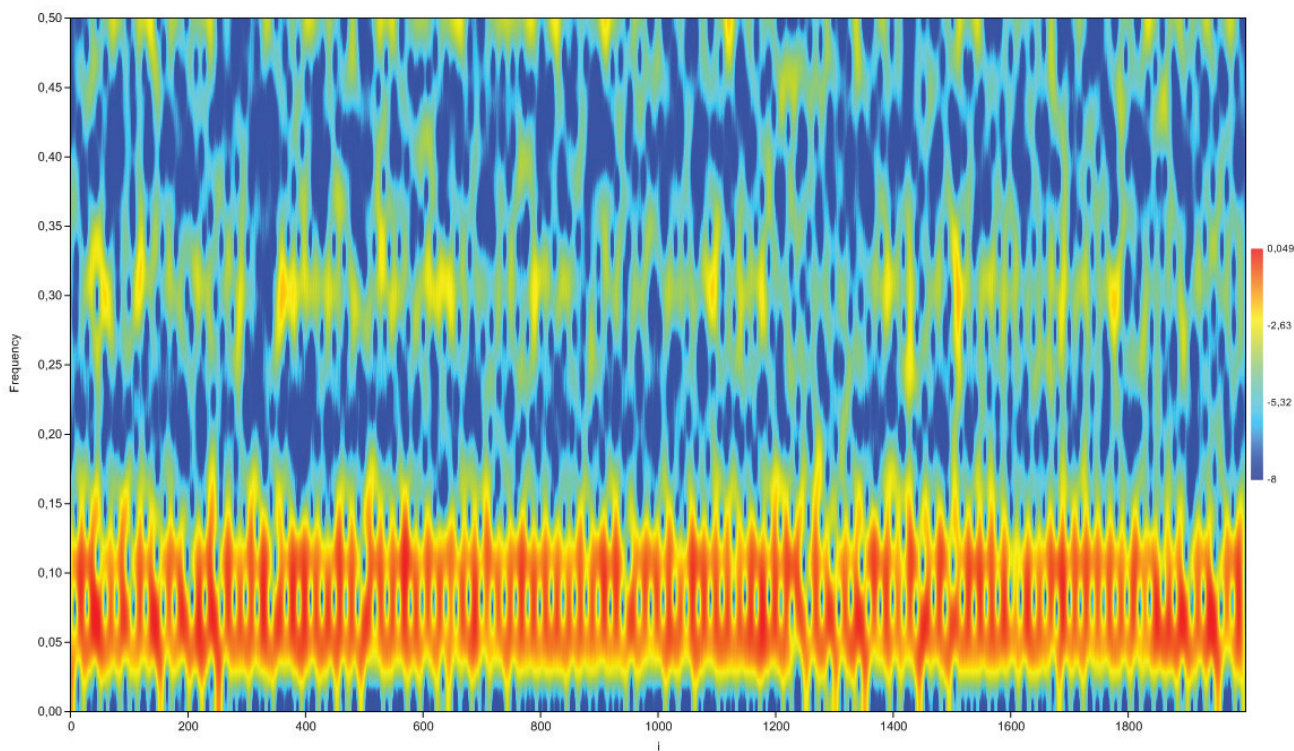


Рис. 5. Спектральная диаграмма на основе оконного преобразования Фурье фрагмента передаваемого в канале связи сигнала

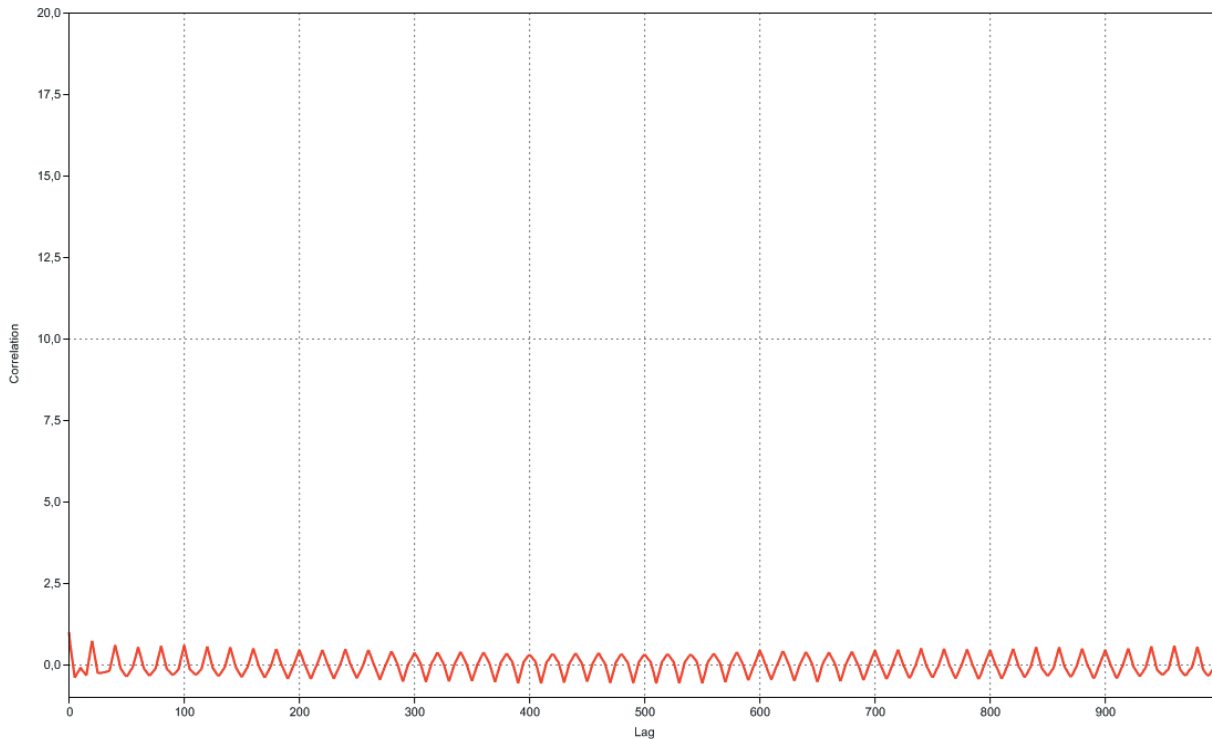


Рис. 6. Автокорреляционная функция фрагмента передаваемого в канале связи сигнала

граммы и автокорреляционная функция получены авторами с помощью программы PAST [14]. Как видно из полученных качественных показателей, передаваемые сигналы являются шумоподобными и имеют непрерывный вид во временной и спектральной области. Так же из них затруднительно визуально выделить полезные сигналы, представляющие собой последовательности равномерных прямоугольных импульсов, что указывает на скрытность от постороннего наблюдателя [2]. Автокорреляционная функция представляет собой затухающую функцию, находящуюся в диапазоне приблизительно значений  $[0; 0,4]$ , с максимумом в начале координат. Это указывает на то, что сигнал так же является шумоподобным, так как обнаруживает корреляцию только со своим недавним прошлым [6]. Вместе с тем из спектральной диаграммы, построенной на основе оконного преобразования Фурье (рис. 5), заметно, что по оси ординат в промежутке  $[0,04; 0,14]$  в канале связи потенциально могут передаваться два сигнала (в нашем случае — полезный сигнал и служебная информация), либо исследуемый сигнал является сложным шумоподобным сигналом.

Далее рассмотрим применение вейвлет-анализа для моделируемой системы связи. В данной работе в качестве материнского вейвлета будет использоваться вейвлет Морле [3, 5–10]. Вейвлет Морле хорошо локализован во временной, а также частотной области и подходит к анализу сложных колебаний [15]. Как известно, результаты

вейвлет-анализа обычно представляются в виде функции скалограммы (оценка локального спектра энергии)  $S(a, b) = |W_A(a, b)|^2$ , которая затем обычно визуализируется в виде плоского изображения поверхности  $S(a, b)$  в координатах  $(a, b)$  в виде топографической карты, либо в виде представления поверхности в трехмерном пространстве  $(a, b, S)$  [3, 5–10]. В данной работе на скалограммах по оси ординат будут отложены значения масштаба в логарифмических координатах, а по оси абсцисс — значения времени. Заметим, что скалограммы получены авторами с помощью программы PAST [14].

Таким образом, на рис. 7 приведена скалограмма, соответствующая временной диаграмме, спектральным диаграммам и автокорреляционной функции с рис. 3–6.

Проведем анализ скалограммы (см. рис. 7), на которой по оси ординат (масштаб) и оси абсцисс (время) расположены квазипериодические компоненты (участки, обведенные контуром) и чисто шумовые компоненты. Как видно, квазипериодические компоненты, имеющие непрерывный вид, по оси ординат расположены около значений  $[2,8; 3,6]$  и около значений  $[4,0; 4,6]$ . Как явно видно на скалограмме — в канале связи передается два сигнала (полезный сигнал и шумоподобный сигнал), хотя на временных, спектральных диаграммах и автокорреляционной функции этого практически не видно. Вместе с тем, спектральная диаграмма, построенная на основе оконно-

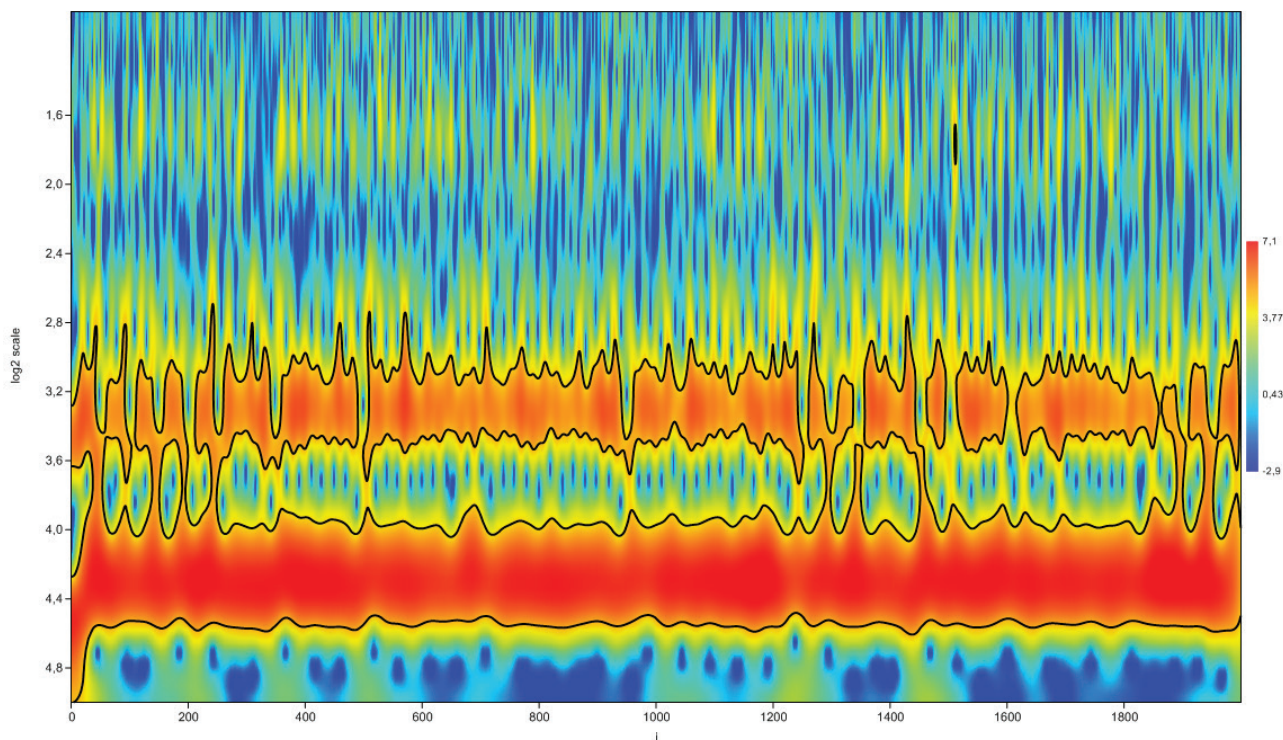


Рис. 7. Скалограмма фрагмента передаваемого в канале связи сигнала

го преобразования Фурье, так же зафиксировала данный факт, хоть и не так четко, как скалограмма, построенная на основе вейвлет-анализа. Данное утверждение согласуется с другими работами, в частности с [3], в которых проводится обнаружение шумоподобных сигналов с помощью оконного преобразования Фурье и вейвлет-анализа. Так же можно заключить, что около значений [2,8; 3,6] находится сигнал, полученный перемножением служебной информация с ПСП, а около значений [4,0; 4,6] — полезный сигнал. Таким образом, с помощью вейвлет-анализа получилось выявить два сигнала из одного шумоподобного сигнала, что указывает на недостаточную скрытность исследуемой системы связи на основе шумоподобных сигналов при заданных условиях моделирования. Кроме того, как следует из описания ее функционирования, полезная информация, которая суммируется с шумоподобным сигналом, полученным перемножением служебной информация с ПСП, передается в открытом виде. Вейвлет-анализ при определенных условиях позволяет ее отделить от шумоподобного сигнала и потенциально возможно восстановить ее смысл, что так же является неприемлемым.

Далее в качестве примера для сравнения приведем скалограмму белого шума, как пример абсолютной иррегулярности (рис. 8).

Из работ [3, 5–10] и списков литературы к ним известно, что в состав белого шума входят одновременно,

как квазипериодические компоненты, эволюционирующие по времени, так и чисто шумовые компоненты, на которых значения скалограммы остаются приблизительно одинаковыми в широком диапазоне частот. При этом, скалограмма имеет топографию сложного горного массива [3, 5–10]. На рис. 8 это заметно по хаотично разбросанным участкам, обведенным контуром. Скалограмма передаваемого в канале связи сигнала, представленная на рис. 7, не обладают хаотично разбросанными участками (хоть и являются изрезанными) и сосредоточены в определенном интервале. Это указывает на то, что рассматриваемые сигналы подчиняются детерминистическим законам — они хоть и являются иррегулярными, однако потенциально могут быть отнесены к шумоподобным сигналам. Для повышения скрытности от постороннего наблюдателя передаваемые в канале связи сигналы должны иметь скалограмму, близкую к скалограмме белого шума, что является классическим подходом для защищенных беспроводных систем связи. Достичь этого можно разными способами, например использовать в качестве кода расширения сигналы, полученные с помощью генераторов хаотических сигналов [2, 16]. Так же потенциально возможно подобрать таким образом параметры передаваемых сигналов, описанных в [1], чтобы скалограмма сигнала, полученного в результате сложения шумоподобного сигнала  $Z(t)$  с основным полезным сигналом  $S(t)$ , так же была схожа со скалограммой белого шума.

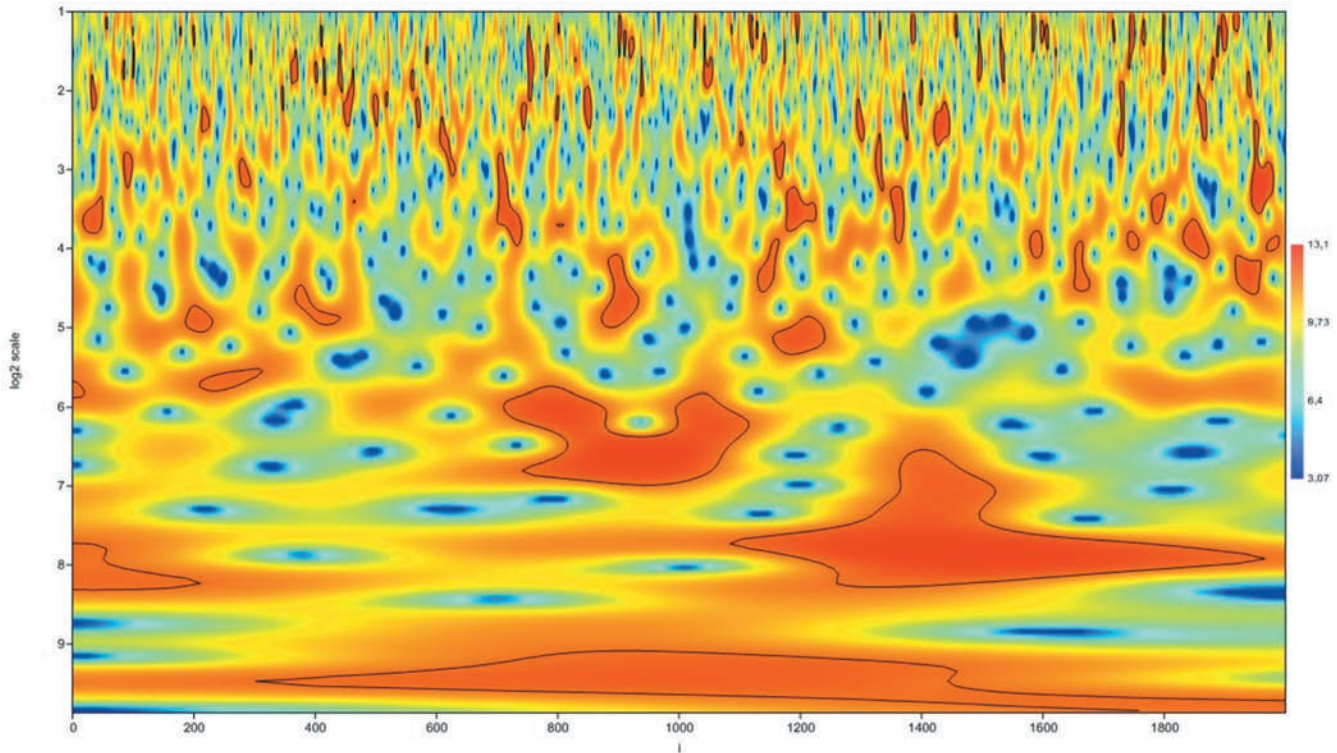


Рис. 8. Скалограмма белого шума

### Заключение

В данной работе было проведено экспериментальное моделирование системы связи на основе шумоподобных сигналов, предложенной в работе [1] и предназначенной для одновременной передачи в одном канале полезной и служебной информации для целей дистанционного управления режимами работы беспроводной системы связи, служащей для обеспечения информационного обмена между управляющим сервером и объектами управления.

Были получены временные диаграммы, спектральные диаграммы и автокорреляционная функция передаваемых в канале связи сигналов моделируемой системы связи. Отмечено, что из полученных при моделировании качественных показателей видно, что передаваемые сигналы являются шумоподобными и имеют непрерывный вид во временной и спектральной области. Автокорреляционная функция так же подтверждает сказанное. Так же из временных и спектральных диаграмм затруднительно визуально выделить передаваемые полезные сигналы, представляющие собой последовательности равномерных прямоугольных импульсов, что указывает на их скрытность от постороннего наблюдателя. Вместе с тем, из спектральной диаграммы, построенной на основе оконного преобразования Фурье (рис. 5), видно, что по оси ординат в промежутке  $[0,04; 0,14]$  в канале связи потенциально могут передаваться два сигнала.

Далее на основе вейвлет-анализа была получена скалограмма передаваемых в канале связи сигналов моделируемой системы связи. Как видно на скалограмме — в канале связи передается два сигнала (полезный сигнал и шумоподобный сигнал), хотя на временных, спектральных диаграммах и автокорреляционной функции этого практически не видно (виден один шумоподобный сигнал). Вместе с тем, спектральная диаграмма, построенная на основе оконного преобразования Фурье, так же зафиксировала данный факт, хоть и не так четко, как скалограмма, построенная на основе вейвлет-анализа. Данное утверждение согласуется с другими работами, в частности с [3], в которых проводится обнаружение шумоподобных сигналов с помощью оконного преобразования Фурье и вейвлет-анализа. Таким образом, с помощью вейвлет-анализа при заданных условиях моделирования получилось выявить два сигнала из одного шумоподобного сигнала, что указывает на недостаточную скрытность исследуемой системы связи на основе шумоподобных сигналов, представленной в работе [1]. Кроме того, как следует из описания ее функционирования, полезная информация, которая суммируется с шумоподобным сигналом, полученным перемножением служебной информации с ПСП, передается в открытом виде. Вейвлет-анализ при определенных условиях позволяет ее отделить от шумоподобного сигнала и потенциально возможно восстановить ее смысл, что так же является неприемлемым.

Для противодействия вейвлет-анализу систем связи на основе шумоподобных сигналов, в которых в одном канале связи одновременно передается несколько полезных сигналов, необходимо, чтобы передаваемые в канале связи сигналы обладали скалограммами, близкими к скалограмме белого шума, что является классическим подходом для защищенных беспроводных систем связи. Достичь этого можно разными способами, например использовать в качестве кода расширения сигналы, полученные с помощью генераторов хаотических сигналов [2, 16]. Так же потенциально возможно подобрать таким образом параметры передаваемых сигналов, описанных в [1], чтобы скалограмма сигнала, полученного в результате сложения шумоподобного сигнала  $Z(t)$  с основным полезным сигналом  $S(t)$ , так же была схожа со скалограммой белого шума.

### Литература

1. Назаров С. Н., Шагарова А. А. Применение шумоподобных сигналов при передаче команд по каналам управления радиосвязи // Научный Вестник МГТУ ГА. 2011. № 164 (2). С. 43–47.
2. Гавришев А. А. Моделирование и количественно-качественный анализ распространенных защищенных систем связи // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 5 (77). С. 84–122.
3. Войнов Д. С., Гончаров А. В., Кузьмин А. А., Уткин В. В. Особенности обнаружения сверхширокополосных сигналов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Череповецкие научные чтения-2017» (Череповец, 21–22 ноября 2017 г.). Череповец: ЧГУ, 2018. С. 39–41.
4. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров: пер. с англ. М.: Мир, 1990. 312 с.
5. Клионский Д. М., Орешко Н. И., Геннерер В. В. Новый подход к автоматизированному выявлению шаблонов в телеметрических сигналах на основе декомпозиции на эмпирические моды // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2009. № 15(70). В. 12/1. С. 118–129.
6. Круглова Т. Н., Шурыгин Д. Н., Литвин Д. А., Тарковалин С. А., Власов А. С., Рыженков С. И., Арцебашев В. В. Оценка эффективности различных методов анализа временных диагностических сигналов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 8. С. 237–241.
7. Медведский Ю. Н., Шаранов Г. А., Подшивалов В. Ю. Анализ сложных фазоманипулированных сигналов СВЧ диапазона на основе вейвлет-преобразования с применением акустооптического процессора // Сборник докладов IV Всероссийской Микроволновой конференции (Москва, 23–25 ноября 2016 г.). М.: ИРЭ РАН им. Котельникова. 2016. С. 174–178.
8. Leonis N., Katsoulis G., Amditis A., Uzunoglu N. Estimation of Spread Spectrum Signal Parameters Utilizing Wavelet Transform Analysis // Radioengineering. 2005. Vol. 14. No. 1. Pp. 12–19.
9. Яковлев А. Н. Применение вейвлет-преобразования для обработки гидроакустических сигналов // Труды шестой междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения. АПЭП-2002» (Новосибирск, 23–26 сентября 2002 г.). Новосибирск, 2002. Т. 4. С. 47–52.
10. Витязев В. В., Цветков А. С. Вейвлет-анализ звездной плотности астрометрических каталогов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2009. № 4. С. 113–123.
11. Mons S., Layec A., Benadji A., Reveyrand T., Sommet R., Ngoya E., Quéré R. Scilab/Scicos toolboxes for Telecommunications // Scilab Contest & International Workshop. “Open source Software for Scientific Computation SCILAB, Research, Development and Applications”. Hangzhou, P.R. China, 28–29 september 2006. Tsinghua University Press, 2006. Pp. 129–142.
12. Громашева О. С., Оськин Д. А. Моделирование и исследование систем в Scilab. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. 260 с.
13. Баричев С. Г. Криптография без секретов. М.: Горячая Линия-Телеком, 2004. 44 с.
14. Hammer Ø., Harper D. A. T. Paleontological Data Analysis. Blackwell Publ., 2006. 370 p.
15. Kryz'ko V. A., Papkova I. V., Soldatov V. V. Analysis of nonlinear chaotic vibrations of shallow shells of revolution by using the wavelet transform // Mechanics of Solids. 2010. Vol. 45. No. 1. Pp. 85–93.
16. Sun K. Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies. Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH, 2016. 333 p.







## APPLICATION OF WAVELET ANALYSIS FOR THE QUALITATIVE ASSESSMENT OF THE PROPERTIES OF THE COMMUNICATION SYSTEM ON THE BASIS OF NOISE SIGNALS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR SPECIAL PURPOSE

**ALEKSEJ A. GAVRISHEV,**

Stavropol, Russia, alexxx.2008@inbox.ru

**ALEKSANDR P. ZHUK,**

Stavropol, Russia, alekszhuk@mail.ru

**KEYWORDS:** noise-like signals; qualitative analysis; wavelet analysis; stealth; ScicosLab.

### ABSTRACT

The software package ScicosLab experimental modeling of communication system based on noise-like signals, designed for simultaneous transmission in one channel of useful and service information for remote control modes of wireless communication system, which serves to provide information exchange between the control server and the control objects. Time, spectral diagrams and autocorrelation function of the signals transmitted in the communication channel of the simulated communication system were obtained. It is noted that the obtained qualitative indicators show that the transmitted signals are noise-like and have a continuous appearance in the time and spectral region. Autocorrelation function also confirms the above. Also from the time and spectral diagrams it is impossible to visually distinguish the transmitted useful signals, which are sequences of uniform rectangular pulses, which indicates their secrecy from an outside observer. On the basis of wavelet analysis, a scalogram of the signals transmitted in the communication channel of the simulated communication system was obtained. As can be clearly seen in the diagram – in the communication channel is transmitted two signals (a useful signal and a noise-like signal), although the time, spectral diagrams and autocorrelation function is practically not visible. Thus, with the help of wavelet analysis it was possible to identify two signals from one noise-like signal, which indicates the lack of secrecy of the communication system based on noise-like signals. To counteract the wavelet analysis of communication systems based on noise-like signals, in which several useful signals are transmitted simultaneously in one communication channel, it is necessary that the signals transmitted in the communication channel have scalograms close to the white noise scalogram, which is a classic approach for protected wireless systems. This can be achieved in different ways, for example, to use as an expansion code signals obtained by chaotic signal generators.

### REFERENCES

1. Nazarov S.N., Shagarova A.A. Application likely noise signals at transfer of commands on radio communication control paths. *Civil Aviation High technologies*. 2011. No. 164. Pp. 43–47. (In Russian)
2. Gavrishchev A.A. Modeling and quantitative and qualitative analysis of common secure communication systems. *Prikladnaya Informatika-Journal of Applied Informatics*. 2018. Vol. 13. No. 5 (77). Pp. 84–122 (In Russian)
3. Vojnov D.S., Goncharov A.V., Kuz'min A.A., Utkin V.V. Osobennosti obnaruzheniya sverhshirokopolosnyh signalov [Features of detection of ultra-wideband signals]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Cherepovetskie nauchnye chteniya-2017»* [Materials of the all-Russian scientific-practical conference "Cherepovets scientific readings-2017", Cherepovets, 21–22 November 2017]. Cherepovets. CSU. 2018. Pp. 39–41. (In Russian)
4. Moon F.C. *Chaotic vibrations: an introduce for applied scientists and engineers*. New York. John Wiley & Sons. 1987. 311 p.
5. Klionskiy D.M., Oreshko N.I., Geppener V.V. New approach to automatic pattern extraction in telemetric signals on the basis of the empirical mode decomposition. *Belgorod State University Scientific Bulletin Economics Information technologies*. 2009. No. 15(70). No. 12/1. Pp. 118–129. (In Russian)
6. Kruglova T.N., Shurygin D.N., Litvin D.A., Tarkovalin S.A., Vlasov A.S., Ryzhenkov S.I., Artsebashev V.V. Performance evaluation different methods of analysis temporary diagnostic signals. *Modern high technologies*. 2016. No. 8. Pp. 237–241. (In Russian)
7. Medvedskij Yu.N., Sharapov G.A., Podshivalov V. Yu. Analiz slozhnyh fazomanipulirovannyh signalov SVCH diapazona na osnove vejvlet-preobrazovaniya s primeneniem akustoopticheskogo processora [Analysis of complex phase-shift keyed signals of the UHF band based on the wavelet transformation with the use of acous-

to-optic processor]. *Sbornik dokladov IV Vserossiyskoy Mikrovolnovoy konferentsii* [Collection of reports of the IV all-Russian Microwave conference Moscow, November 23-25, 2016]. Moscow. Institute of Radio-engineering and Electronics Publ. 2016. Pp. 174-178. (In Russian)

8. Leonis N., Katsoulis G., Amditis A., Uzunoglu N. Estimation of Spread Spectrum Signal Parameters Utilizing Wavelet Transform Analysis. *Radioengineering*. 2005. Vol. 14. No. 1. Pp. 12-19.

9. Jakovlev A.N. Primenenie vejvlet-preobrazovaniya dlya obrabotki gidroakusticheskikh signalov [The application of the wavelet transform for processing sonar signals]. *Trudy shestoy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya. APEP-2002»* [Proceedings of the sixth international scientific and technical conference "Actual problems of electronic instrument making", Novosibirsk, September 23-26, 2002]. Novosibirsk, 2002. Vol. 4. Pp. 47-52. (In Russian)

10. Vityazev V.V., Tsvetkov A.S. Wavelet analysis of stellar density in huge astrometric catalogues. *Vestnik of Saint Petersburg university. Mathematics. Mechanics. Astronomy*. 2009. No. 4. Pp. 113-123. (In Russian)

11. Mons S., Layec A., Benadji A., Reveyrand T., Sommet R., Ngoya E., Quéré R. Scilab/Scicos toolboxes for Telecommunications. *Scilab*

*Contest & International Workshop. "Open source Software for Scientific Computation SCILAB, Research, Development and Applications"*. Hangzhou, P.R. China, 28-29 september 2006. Tsinghua University Press, 2006. Pp. 129-142.

12. Gromasheva O.S., Oskin D.A. *Modeling and research of systems in Scilab*. Vladivostok. POI FEB RAS Publ. 2017, 260 p. (in Russian)

13. Barichev S.G. *Kriptografiya bez sekretov* [Cryptography without secrets]. Moscow. Goryachaya Liniya-Telekom Publ., 2004. 44 p. (In Russian)

14. Hammer Ø., Harper D.A.T. *Paleontological Data Analysis*. Blackwell Publ., 2006. 370 p.

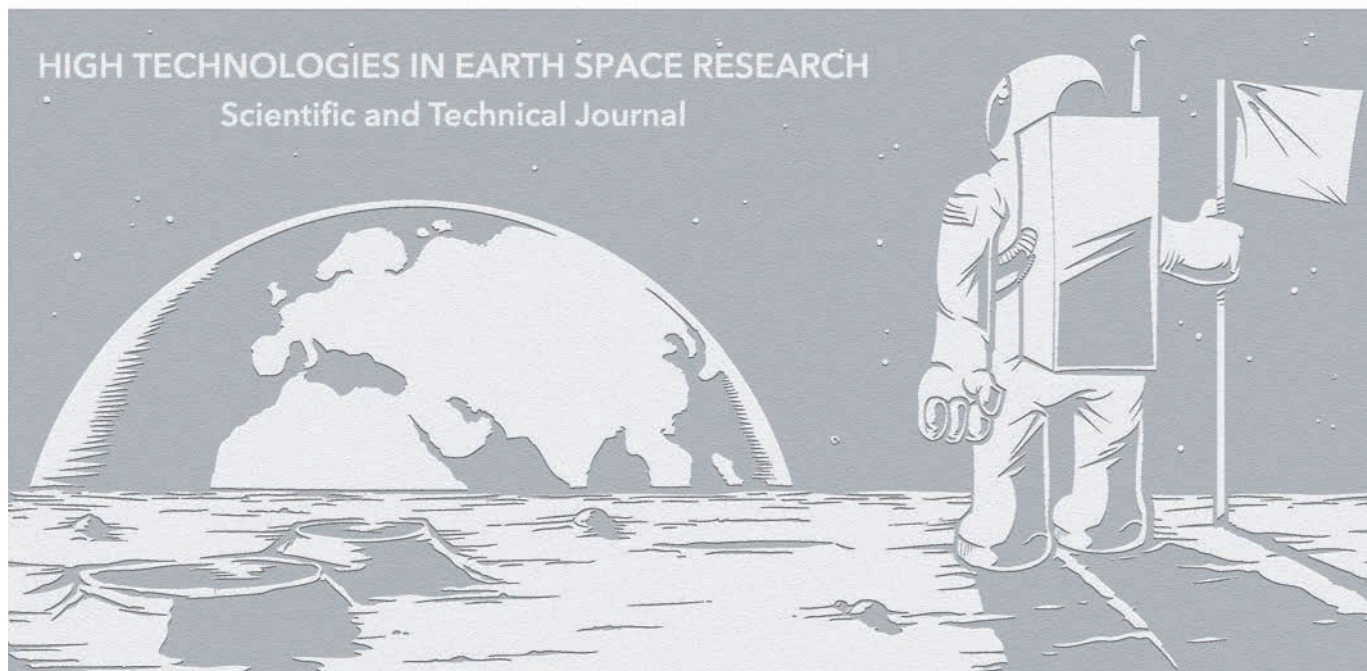
15. Krys'ko V.A., Papkova I.V., Soldatov V.V. Analysis of nonlinear chaotic vibrations of shallow shells of revolution by using the wavelet transform. *Mechanics of Solids*. 2010. Vol. 45. No. 1. Pp. 85-93.

16. Sun K. *Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies*. Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH., 2016. 333 p.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Gavrishev A.A., Senior lecturer of North-Caucasus Federal University; Zhuk A.P., PhD, Full Professor, Professor of North-Caucasus Federal University.

**For citation:** Gavrishev A.A., Zhuk A.P. Application of wavelet analysis for the qualitative assessment of the properties of the communication system on the basis of noise signals of automated control systems for special purpose. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 33-42. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10222 (In Russian)





doi: 10.24411/2409-5419-2018-10223

# ОПИСАНИЕ ПОДХОДА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МОДУЛЯ ДОВЕРЕННОЙ ЗАГРУЗКИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

**БОРОВИКОВ**

**Алексей Юрьевич<sup>1</sup>**

**НОВИКОВ**

**Константин Борисович<sup>2</sup>**

**МАСЛОВ**

**Олег Алексеевич<sup>3</sup>**

## АННОТАЦИЯ

На автоматизированных рабочих местах, обрабатывающих конфиденциальную информацию, должны применяться сертифицированные аппаратно-программные модули доверенной загрузки для обеспечения защиты от несанкционированного доступа к информации на этапе начального старта и загрузки операционной системы. Однако в изделиях, применяемых во встраиваемых системах, использование данных модулей не всегда представляется возможным в связи с жесткими требованиями к габаритам изделия, энергопотреблению и тепловыделению. Решением данной проблемы является программная реализация функций доверенной загрузки, не требующая модификации аппаратного обеспечения автоматизированного рабочего места. При этом программный модуль доверенной загрузки встраивается в проприетарное программное обеспечение Basic Input Output System процессорной платы из состава автоматизированного рабочего места. Наиболее распространенным способом является разработка модуля Unified Extensible Firmware Interface с функциями доверенной загрузки для его встраивания в существующее программное обеспечение Unified Extensible Firmware Interface Basic Input Output System. Однако в составе данного программного обеспечения остается большое количество бинарных модулей, которые могут содержать программные ошибки, недеklarированные возможности или уязвимости. Восстановление алгоритма работы данных модулей с целью обнаружения и устранения вышеперечисленных опасных функциональных возможностей является крайне трудоемкой задачей. Для решения вопросов, связанных с уменьшением количества и объема бинарных модулей и повышения уровня доверия к программному обеспечению Basic Input Output System, предлагается реализовать замещение проприетарного программного обеспечения Basic Input Output System для получения его исходного кода и встроить в него функции доверенной загрузки. Наличие исходного кода на программное обеспечение Basic Input Output System позволит гарантировать в нем отсутствие опасных функциональных возможностей и обеспечить корректное функционирование программного модуля доверенной загрузки. В этом случае значительно снижается трудоемкость анализа программного обеспечения Basic Input Output System, так как дизассемблирование бинарного кода с последующим восстановлением алгоритма работы не требуется. В рамках работы рассмотрен подход программной реализации модуля доверенной загрузки операционной системы посредством замещения проприетарного программного обеспечения Basic Input Output System на программное обеспечение проекта Coreboot и встраивание в него функций доверенной загрузки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** аппаратно-программный модуль доверенной загрузки; программный модуль доверенной загрузки, доверенная загрузка операционной системы; несанкционированный доступ к информации; Basic Input Output System; Unified Extensible Firmware Interface; программное обеспечение Coreboot.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup>начальник сектора первого аналитического отдела Пензенского филиала федерального государственного унитарного предприятия «Научно-технический центр «Атлас», г. Пенза, Россия, alexey\_bau@mail.ru

<sup>2</sup>инженер Пензенского филиала федерального государственного унитарного предприятия «Научно-технический центр «Атлас», г. Пенза, Россия, novikov.konstantin.nk@gmail.com

<sup>3</sup>начальник первого аналитического отдела Пензенского филиала федерального государственного унитарного предприятия «Научно-технический центр «Атлас», г. Пенза, Россия, oa\_de\_ao@mail.ru

**Для цитирования:** Боровиков А.Ю., Новиков К.Б., Маслов О.А. Описание подхода программной реализации модуля доверенной загрузки операционной системы // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 43-48. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10223

Важнейшей задачей в области обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем (АС) является сохранение свойств информации, таких как доступность, целостность и конфиденциальность.

На автоматизированных рабочих местах (АРМ), на которых обрабатывается конфиденциальная информация, для защиты от несанкционированного доступа к информации (НСД) внутреннего нарушителя с целью нарушения вышеуказанных свойств, как правило применяется следующий комплекс мероприятий:

- в случае однопользовательской системы и отсутствия необходимости ввода/вывода информации на внешние носители применяются организационно-режимные (технические) меры защиты, такие как опечатывание корпуса и всех разъемов для подключения внешних устройств, направленные на защиту от несанкционированной загрузки и считывания защищаемой информации;

- в случае многопользовательской системы и при необходимости ввода/вывода информации на внешние носители применяются сертифицированные аппаратно-программные средства защиты информации, такие как аппаратно-программные модули доверенной загрузки информации (АПМДЗ) и средства защиты информации от несанкционированного доступа (СЗИ от НСД), обеспечивающие защиту от НСД и замкнутость программной среды.

Однако ситуация осложняется в тех случаях, когда необходимо обеспечить защиту от НСД к информации на объектах критичных к способу и месту размещения АРМ или для специализированных устройств, реализующих критичные функции с точки зрения требований нормативных документов по безопасности информации (межсетевые экраны, коммутационное оборудование и т.д.). В данных случаях вышеуказанные мероприятия не могут быть реализованы в полной мере из-за отсутствия возможности установить АПМДЗ в изделия с малыми габаритами и критичными к увеличению тепловыделения и потребляемой мощности, а компенсировать отсутствие АПМДЗ за счет организационно-режимных (технических) мероприятий не представляется возможным, так как данные изделия требуют обслуживания в процессе эксплуатации и использования внешних разъемов для ввода/вывода информации.

Отсутствие АПМДЗ в данных изделиях приводит к тому, что до или в процессе загрузки операционной системы (ОС) появляется возможность осуществить преднамеренные попытки НСД к информации или среде ее обработки (хранения), так как на данном этапе отсутствуют какие-либо меры ее защиты. Наиболее простым способом атаки является загрузка ОС с внешнего носителя, позволяющая внутреннему нарушителю получить доступ к защищаемой информации.

Для защиты от вышеуказанных угроз для данных типов изделий может быть применен подход по реализации в них процедуры доверенной загрузки.

Процедура доверенной загрузки — это процесс загрузки системного программного обеспечения после выполнения успешной аутентификации оператора изделия и исключительно с выбранного учебного носителя, реализованный в доверенной среде.

Доверенная среда — это совокупность программно-технических средств и коммуникационных ресурсов, для которых однозначно определены состав, архитектура, алгоритмы функционирования, правила обработки информации и в отношении которой верны следующие предположения:

- проведены исследования по требованиям нормативных документов по безопасности информации в объеме, согласованном с регулятором;

- гарантирована ее целостность и неизменность в составе изделия на период эксплуатации за счет реализации соответствующих программно-технических и организационно-режимных мер.

Средства, обеспечивающие процедуру доверенной загрузки, должны иметь соответствующие разрешительные документы для их применения. Средства доверенной загрузки могут быть реализованы и на программном уровне.

Программные средства или модули доверенной загрузки (ПМДЗ) получают управление при выполнении ПО BIOS и не требует наличия дополнительных аппаратных устройств для их функционирования. Обязательным условием программной реализации МДЗ является необходимость его встраивания в ПО BIOS. Данный процесс с учетом сложности современного ПО BIOS, его объема и многофункциональности (наличие ядра ОС, продвинутый графический интерфейс, возможность подключения к Internet и т.д.) является крайне трудоемким. При этом данный вариант реализации может повлечь за собой нестабильность работы процессорной платы, выявить которую на этапе отладки и тестирования проблематично в связи с отсутствием исходного кода на ПО BIOS и детального понимания его принципов функционирования. Также большой объем бинарного кода, на который отсутствует исходный код и программная документация, не позволяют гарантировать отсутствие программных ошибок или опасных функциональных возможностей, которые могут повлиять на правильное функционирование ПМДЗ.

На настоящее время был проведен ряд научно-технических работ, по результатам которых разработан подход, который лишен вышеуказанных недостатков. Для реализации данного подхода необходимо обеспечить полное замещение ПО проприетарного BIOS с получением на него исходного кода для возможности встраивания функций МДЗ. При этом ПО BIOS будет реализовывать ис-

ключительно базовые (минимально необходимые) функции проприетарного BIOS, достаточные для корректного функционирования процессорной платы с установленной операционной системы, а передачу управления на загрузчик операционной системы будет осуществлять ПМДЗ, что позволит обеспечить доверенную и максимально быструю загрузку процессорной платы и системы в целом.

Общий алгоритм работы ПО BIOS с функциями ПМДЗ представлен ниже (рис. 1).

По сравнению с алгоритмом работы ПО BIOS процессорной платы, на которой установлен АПМДЗ в виде платы расширения, в вышеописанном случае не требуется осуществлять поиск дополнительного встроенного программного обеспечения (*Option ROM*) внешней платы АПМДЗ и передавать на него управление, что позволяет исключить угрозы, связанные с перехватом управления и исполнения потенциально опасного ПО с других плат расширения до передачи управления на АПМДЗ.

В рамках вышеуказанных работ был проведен анализ существующих свободно-распространяемых проектов для замещения ПО BIOS на ПО в исходных кодах с минимальным объемом бинарных вставок и по результатам анализа было определено, что наиболее подходящей основой для разработки ПМДЗ является ПО проекта «Coreboot».

Проект «Coreboot» — это проект по созданию свободной прошивки BIOS. Основной целью проекта является получение минимальной прошивки, достаточной для быстрой и полной инициализации аппаратного обеспечения, необходимой для правильного его функционирования, по возможности свободной от бинарных вставок.

Ниже приведен алгоритм функционирования ПО проекта «Coreboot», полученный по результатам анализа

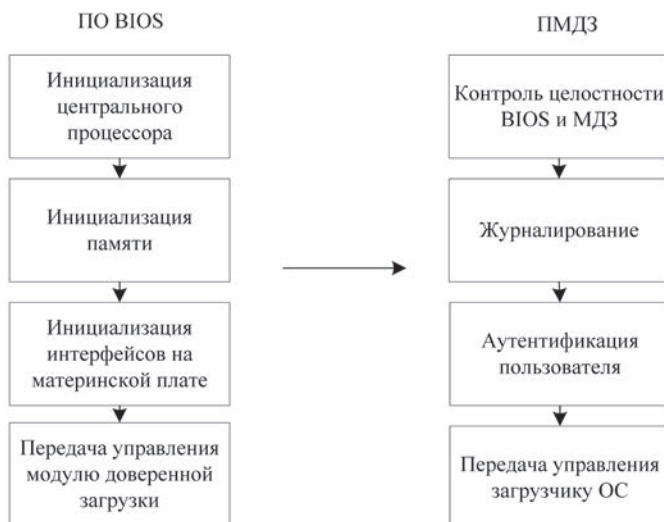


Рис. 1. Алгоритм работы ПО BIOS с функциями ПМДЗ

технической документации и исходного кода ПО проекта «Coreboot».

Схема функционирования программного обеспечения проекта «Coreboot» представлена ниже (рис. 2).

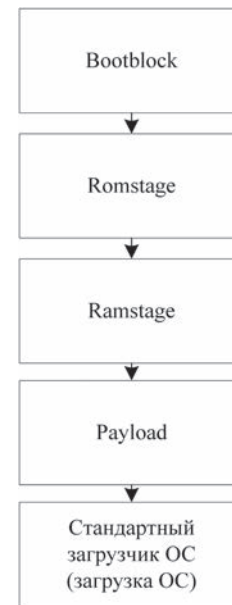


Рис. 2. Схема функционирования ПО проекта «Coreboot»

В процессе функционирования программного обеспечения проекта «Coreboot» можно выделить четыре основные стадии инициализации аппаратного обеспечения:

– Стадия 0 — Bootblock (Reset vector).

При подаче питания на процессорную плату центральный процессор выполняет первые инструкции начиная с адреса `0xFFFFF0`, где располагается reset vector. Данные инструкции написаны на языке «Assembler» и находятся в файле `src/cpu/x86/16bit/reset16.inc`, начиная с метки `__start`. По результатам исполнения данных инструкций происходит переход к метке `_start16bit` файла `src/cpu/x86/16bit/entry16.inc`. По данной метке исполняется код, предназначенный для обнуления буферов ассоциативной трансляции, установки в глобальной таблице дескрипторов селекторов `0x08` (инструкции) и `0x10` (данные). Далее происходит переход в защищенный режим, при этом в регистр сегмента кода устанавливается новое значение селектора `0x08`. В остальные сегментные регистры записывается селектор `0x10`. В защищенном режиме происходит инициализация модуля операций с плавающей точкой (метка `__fpu_start` файла `src/cpu/x86/fpu_enable.inc`) и потоковое SIMD-расширение процессора (`src/cpu/x86/32bit/entry32.inc`).

После проведения вышеуказанной минимальной инициализации дальнейшая реализация инструкций цен-

трального процессора описывается на языке «С». Однако, на данном этапе у центрального процессора нет доступа к стеку для полноценного использования кода, написанного на языке «С». Для решения этой задачи на данной стадии используется специально разработанный сообществом проекта «Coreboot» транслятор (компилятор) ROMCC, который транслирует операторы «С» в специальный код на языке «Assembler». По результатам выполнения трансляции создаются файлы с расширением \*.inc, исполняемый код которых выполняется без использования стека. По результатам выполнения данного этапа становится доступным кэш центрального процессора. Далее осуществляется поиск точки входа в romstage по файловой системе CBFS и передача на нее управления.

#### – Стадия 1 — Romstage

На данном этапе доступен кэш центрального процессора для организации временного стека. Если в прошивке присутствуют бинарные вставки MRC или FSP, то данный бинарный код получает управление именно в этот момент. При помощи FSP или без его участия выполняется инициализация платформо-зависимых регистров MSR, регистров диапазона типа памяти процессора MTRR, расширенного программируемого контроллера прерываний APIC, чипсета и микросхемы SuperIO. После этого инициализируется контроллер оперативной памяти и далее осуществляется поиск точки входа в ramstage по файловой системе CBFS и передача на нее управления.

#### – Стадия 2 — Ramstage

На данном этапе осуществляется переход на метку start файла src/arch/x86/lib/c\_start.S, по который заполняются таблицы дескрипторов, в том числе, таблица дескрипторов прерываний IDT, очищается область не инициализированной памяти BSS и стек, а также вызывается функция hardwaremain() из src/boot/hardwaremain.c для построения дерева устройств и конфигурации устройств ввода-вывода. Дерево устройств строится по структуре devicetree, которая содержит информацию обо всех используемых PCI и legacy устройствах. Значения, заносимые в структуру devicetree, должны быть корректно заданы в файле ./src/device/devicetree.cb. Без построения дерева устройств шина PCI не будет сконфигурирована. После конфигурации шины PCI и устройств на данной шине инициализация аппаратного обеспечения считается выполненной в полном объеме. Далее осуществляется поиск точки входа в полезную нагрузку (payload), копирование в оперативную память кода payload и передача на него управления.

#### – Стадия 3 — Payload

На данном этапе управление передается полезной нагрузке, предназначенной для чтения MBR, поиска стан-

дартного загрузчика ОС и передачи на него управления для осуществления дальнейшей загрузки.

При этом стадии 0, 2, 3 являются платформо-независимыми и при замещении проприетарного ПО BIOS исходный код проекта «Coreboot» практически не подлежит изменениям. Стадия 1 в отличие от стадий 0, 2, 3 напротив является платформо-зависимой и осуществляет низкоуровневую инициализацию системной логики процессорной платы. Для современных процессорных плат Intel существуют специализированные бинарные вставки (*Intel FSP*), которые выполняют данные функции. Получить полный исходный код данной стадии возможно только при использовании методов реверс-инжиниринга.

Таким образом, программное обеспечение проекта «Coreboot» осуществляет инициализацию центрального процессора, контроллера оперативной памяти, чипсета, распределение карты памяти, инициализацию шины PCI и устройств на данной шине. После того, как выполнены все вышеперечисленные действия управление передается на «полезную нагрузку» и аппаратная платформа готова для дальнейшей загрузки операционной системы.

По результатам анализа функциональных возможностей ПО проекта «Coreboot» определено, что оптимальным местом для встраивания ПМДЗ является полезная нагрузка (Стадия 3) в связи с тем, что данная стадия не привязана к аппаратному обеспечению процессорной платы и собирается отдельно от остальных стадий. На настоящее время существуют различные типы полезной нагрузки, в которые возможно встроить функции защиты МДЗ:

- отечественная ЗОСРВ «Нейтрино» (разработчик ООО «СВД Встраиваемые системы») или ядро Linux может использоваться в качестве полезной нагрузки и может быть встроена в микросхему ПЗУ вместе с бинарным кодом проекта «Coreboot». При этом ЗОСРВ «Нейтрино» удовлетворяет требованиям к средствам вычислительной техники (СВТ) по 3 классу защиты информации от несанкционированного доступа и может быть использована при создании автоматизированных систем (АС), имеющих класс защищенности до 1Б включительно;

- SeaBIOS или GRUB2 может использоваться для загрузки ОС Astra Linux, MCBC и семейства Windows.

Для упрощения процесса замещения проприетарного ПО BIOS на ПО проекта «Coreboot» для современных платформ фирмы Intel в состав проекта «Coreboot» входят ряд полезных утилит и библиотек, таких как:

- flashrom — утилита для определения, чтения, записи, проверки и стирания flash-памяти микросхем;

- supertool — утилита для определения контроллера ввода/вывода системной платы;

- nvramtool — утилита для чтения/записи параметров «Coreboot» из/в CMOS/NVRAM и отображения информации из таблицы «Coreboot»;

- mkelfimage — утилита для формирования образов ELF-загрузчика из ядра Linux;
- inteltool — утилита для предоставления информации о процессоре/чипсете фирмы Intel системных плат;
- msrtool — утилита для создания дампов специфических MSR-регистров чипсета;
- ectool — утилита для создания дампов памяти (RAM) контроллеров (Embedded/Environmental Controller, EC) портативных платформ.

По результатам изучения ПО проекта «Coreboot» и его апробирования в процессе замещения проприетарного BIOS на нескольких процессорных платах отечественного производителя ЗАО «НПФ «Доломант» была разработана технология замещения проприетарного ПО BIOS, которая позволяет получить исходный код на ряд современных аппаратных платформ фирмы *Intel* и обеспечить возможность встраивания в его ПО ПМДЗ.

При этом наличие исходного кода проекта «Coreboot» позволяет выполнить его анализ на предмет наличия программных ошибок и опасных функциональных возможностей и в случае обнаружения исключить их, так и встроить в состав функции доверенной загрузки, такие как аутентификацию пользователей, в том числе с использованием внешних считывателей информации, контроль целостности ПО BIOS и системных файлов ОС, журналирование событий. Наличие исходного кода и минимального объема бинарных вставок позволяет повысить уровень доверия к ПО BIOS и существенно сократить объемы и сроки проведения работ по обеспечению корректного встраивания ПМДЗ в ПО BIOS и получить соответствующие разрешительные документы.

Таким образом по результатам рассмотрения возможности программной реализации функций доверенной загрузки сделан вывод, что на настоящее время возможно разработать ПО BIOS на базе свободно-распространяемого ПО проекта «Coreboot», реализующее функции доверенной загрузки ОС. Реализация программного модуля доверенной загрузки на основе ПО проекта «Coreboot» является наиболее оптимальным подходом, позволяющим в дальнейшем провести анализ ПО BIOS с функциями ПМДЗ на соответствие требованиям по информационной безопасности.

## Литература

1. *Агеев Е. Л.* UEFI как замена устаревшему BIOS // Сборник тезисов докладов XLIV Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения–2018» (Москва-Ахтубинск-Байконур, 17–20 апреля 2018 г.). М.:

Изд-во Московского авиационного института (национальный исследовательский университет), 2018. Т. 2. С. 46–47.

2. *Sazonov S. V.* Programming ROM BIOS Extension of a personal Computer // RSDN Magasine. 2008. No. 4. Pp. 12–16.

3. *Лыдин С. С.* О средствах доверенной загрузки для аппаратных платформ с UEFI BIOS // Вопросы защиты информации. 2016. № 3. С. 45–50.

4. *Иванников П. В., Алтухов Н. О.* Современные типы атак на BIOS // Молодежный научно-технический вестник. 2015. № 6. С. 20.

5. *Счастный Д. Ю.* Перспективы развития средств доверенной загрузки. Взгляд разработчика // Вопросы защиты информации. 2017. № 3. С. 27–28.

6. *Чекин Р. Н.* Современные угрозы безопасности обработки информации со стороны встроенного программного обеспечения BIOS // Доклады ТУСУРа. 2010. № 1–1(21). С. 54–55.

7. *Добросердов К. О.* Сравнительный анализ возможностей унифицированного расширяемого микропрограммного интерфейса // ИТ-СТАНДАРТ. 2015. № 3. С. 54–62.

8. *Попов К. Г., Шамсутдинов Р. Р.* Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты. 2015. М.: Аэтерна. С. 57–72.

9. *Алексеев Д. М., Иваненко К. Н., Убирайло В. Н.* Доверенная загрузка как механизм информационной безопасности // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Влияние науки на инновационное развитие» (Екатеринбург, 28 февраля 2017 г.). Уфа: Омега Сайнс, 2017. С. 19–20.

10. *Чепанова Е. Г.* Формирование критериев сравнения модулей доверенной загрузки // Вопросы защиты информации. 2014. № 4. С. 60–63.

11. *Беляева Е. А.* Комплексная оценка функциональных возможностей аппаратно-программных модулей доверенной загрузки // Безопасность информационных технологий. 2013. № 1. С. 81–82.

12. *Беляева Е. А., Модестов А. А.* Классификация функциональных возможностей аппаратно-программных модулей доверенной загрузки // Безопасность информационных технологий. 2013. № 3. С. 75–77.

13. *Хрусталева А. О.* Аппаратно-программный модуль доверенной загрузки // Аллея науки. 2017. Т. 1. № 10. С. 800–804.

14. *Zimmer V.* Embedded Firmware Solutions. NY: A-Press One, 2015. 55 p.

15. *Sallihin D.* BIOS Ninjutsu Uncovered. NY: A-Press One, 2006. 720 p.





## DESCRIPTION OF THE SOFTWARE IMPLEMENTATION APPROACH OF THE SOFTWARE MODULE FOR TRUSTED BOOT

**ALEXEY Y. BOROVIKOV**

Penza, Russia, alexey\_bau@mail.ru

**KONSTANTIN B. NOVIKOV**

Penza, Russia, novikov.konstantin.nk@gmail.com

**OLEG A. MASLOV**

Penza, Russia, oa\_de\_ao@mail.ru

### ABSTRACT

At workstations that process confidential information and restricted access information, certified hardware and software modules for trusted loading of information (operating system) are used. However, in embedded systems, the use of these modules is not always possible, unless changes are made to the size of the device, changes in heat generation parameters, or there are no ports or outputs required for the plug-in module. The solution of this problem is the software implementation of trusted boot functions that do not require hardware modification of the workstation by changing the Basic Input Output System software used in the workstation. The most common solution is the development of the Unified Extensible Firmware Interface module with trusted boot functions for embedding it into the existing Unified Extensible Firmware Interface Basic Input Output System software. At the same time, this software contains a number of modules that may contain undeclared features or vulnerabilities. Restoring the algorithm of the Unified Extensible Firmware Interface Basic Input Output System modules developed by the manufacturer of the system logic of the CPU is a time consuming task. The more profitable way to solve the above stated problem is to develop your own Basic Input Output System software with trusted boot functions to replace the standard software completely.

### REFERENCES

1. Ageev Y.L. UEFI kak zamena ustarevshemu BIOS [UEFI as a replacement for the legacy BIOS]. *Sbornik tezisev dokladov XLIV Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii "Gagarinskie chteniya -2018"* [Collection of abstracts XLIV international youth scientific conference "Gagarin readings -2018", Moscow-Akhtubinsk-Baikonur, 17-20 April 2018]. Moscow: MAI Publ., 2018. Pp. 46-47. (In Russian)
2. Sazonov S.A. Programming rom bios extension of a personal computer. *RSDN Magazine*. 2018. No. 4. Pp. 12-16.
3. Lydin S.S. Modules of trusted boot for hardware platforms with UEFI BIOS. *Voprosy zašity informacii* [Information security questions]. 2016. No. 3. Pp. 45-50. (In Russian)
4. Ivannikov P.V., Altuhov N.O. Sovremennye tipy atak na BIOS [Modern BIOS attack types]. *Molodejnyy nauchno-technicheskiy vestnik* [Scientific and technical magazine for teenagers]. 2015. No. 6. P. 20. (In Russian)
5. Schastnyi D.Y. Trusted startup tools development perspective from the de-

**KEYWORDS:** trusted OS bootloader; unauthorized data access; Basic Input Output System; Unified Extensible Firmware Interface; Coreboot software.

- veloper's aspect. *Voprosy zašity informacii* [Information security questions]. 2017. No. 3. Pp. 27-28. (In Russian)
6. Chekin R.N. The modern BIOS firmware threats of information security // Proceedings of TUSUR. 2010. No. 1-1(21). Pp. 54-55. (In Russian)
  7. Dobroserdov K.O. Sravnitel'nyy analiz vozmozhnostey unifikirovannogo rasshiraemogo mikroprogrammnoy interfeysa [Comparative analysis of the UEFI and BIOS possibilities]. *IT-STANDARD*. 2015. No. 3. Pp. 54-62. (In Russian)
  8. Popov K.G., Shamsutdinov P.P. *Aktualnyye voprosy technicheskikh nauk: teoreticheskiy i prakticheskiy aspekty* [Comparative analysis of hardware-software modules for trusted boot]. Moscow: Aeterna, 2015. Pp. 57-72. (In Russian)
  9. Alekseev D.M., Ivanenko K.N., Ubiraylo V.N. Doverennaya zagruzka kak mekhanizm informatsionnoy bezopasnosti [Trusted OS bootload as security mechanism]. *Cbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Vliyaniye nauki na innovatsionnoye razvitiye"* [Collection of materials of the International scientific-practical conference "the impact of science on innovative development", Ekaterinburg, 28 February 2017]. Ufa: Omega Sayns, 2017. Pp. 19-20. (In Russian)
  10. Chepanova E.G. Formation the comparison criteria of trusted startup hardware modules. *Voprosy zašity informacii* [Information security questions]. 2014. No. 4. Pp. 60-63. (In Russian)
  11. Belyaeva E.A. Complex Assessment of the Functionality of Hardware-Software Modules for Trusted Boot. *IT Security*. 2013. No. 1. Pp. 81-82. (In Russian)
  12. Belyaeva E.A., Modestov A.A. Feature's Classification of Hardware-Software Unites of Trusted Boot. *IT Security*. 2013. No. 3. Pp. 75-77. (In Russian)
  13. Hrystalyov A.O. Hardware-Software Modules for Trusted Boot. *Alleya nauki* [Science street]. 2017. No. 10. Pp. 800-804. (In Russian)
  14. Zimmer V. *Embedded Firmware Solutions*. New York: A-Press One, 2015. 55 p.
  15. Sallihun D. *BIOS Ninjutsu Uncovered*. New York: A-Press One, 2006. 720 p.

### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Borovikov A.Y., head of analytics department sector in Science and Technology Center "Atlas";

Novikov K.B., engineer of analytics department sector in Science and Technology Center "Atlas";

Maslov O.A., head of analytics department in Science and Technology Center "Atlas".





doi:

# КОНТРОЛЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

**ДИЧЕНКО**  
**Сергей Александрович**

## АННОТАЦИЯ

Постоянное увеличение объема информации, обрабатываемой в автоматизированных системах управления, которая уже просто физически не помещается во внутренней долговременной памяти средств ее обработки, приводит к необходимости использования систем хранения данных. Одним из основных требований к существующим системам хранения данных, независимо от структуры их построения и принципов работы, является обеспечение защищенности хранящейся в них информации. В свою очередь, одной из мер обеспечения защищенности информации в системах хранения данных в условиях случайных ошибок и деструктивных воздействий злоумышленника (несанкционированного изменения данных (например, посредством действия вредоносного кода) или выхода из строя части носителя (например, отдельных ячеек, секторов)) является защита их целостности. Задача защиты целостности данных является сложной, ввиду своей комплексности, так как включает в себя не только контроль целостности данных, но и ее обеспечение, что подразумевает восстановление данных, целостность которых была нарушена по различным причинам. Наиболее популярным является решение комплексной защиты целостности данных, связанной с одновременным решением задач контроля и обеспечения целостности данных, которое достигается за счет последовательного применения сначала криптографического преобразования к данным, а затем применения технологии резервного копирования данных, что, как известно, приводит к введению высокой избыточности. Разработанный метод контроля и обеспечения целостности информации в системах хранения данных позволяет снизить вводимую избыточность за счет агрегирования существующих решений для заданного уровня защищенности информации. Для осуществления контроля целостности данных в представленном методе выбрана функция хэширования, что является необходимым при хранении данных в условиях воздействий злоумышленника, а процедура восстановления данных выполняется за счет избыточных модулярных кодов, применение математического аппарата которых при совместном использовании с функцией хэширования обеспечивает построение оригинальной схемы, позволяющей обеспечить минимальную избыточность.

## Сведения об авторе:

к.т.н., старший преподаватель  
Краснодарского высшего военного  
училища имени С.М.Штеменко,  
г. Краснодар, Россия, dichenko.sa@yandex.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** безопасность информации; контроль и обеспечение целостности данных; криптографические примитивы; хэш-функция; хэш-код; избыточные коды.

## Введение

В настоящее время перед пользователями различных автоматизированных систем управления стоят задачи по защите обрабатываемых в них данных. Одной из мер обеспечения защищенности данных, обрабатываемых в автоматизированных системах, является защита их целостности [1].

Особую актуальность решение задачи защиты целостности данных приобретает в процессе функционирования повсеместно создаваемых центров обработки данных, содержащих в своем составе системы хранения, с отличающимися структурами построения и принципами работы в условиях случайных ошибок и деструктивных воздействий злоумышленника (несанкционированного изменения данных (например, посредством действия вредоносного кода) или выхода из строя части носителя (например, отдельных ячеек, секторов)).

Задача защиты целостности данных включает в себя не только контроль целостности данных, но и ее обеспечение, то есть восстановление данных, целостность которых была нарушена.

Известны различные способы решения задачи контроля и обеспечения целостности данных, среди которых наибольший интерес представляют следующие.

## Существующие решения контроля и обеспечения целостности данных

В настоящее время наиболее популярным решением комплексной защиты целостности данных является последовательное применения сначала криптографических преобразований к данным для контроля их целостности, одними из известных и широко используемых из которых являются

схемы применения хэш-функций [2–6], а затем применение технологии резервного копирования данных для их восстановления в случае нарушения целостности (рис. 1).

Хорошо известно [7, 8], что восстановление данных, целостность которых была нарушена, посредством применения технологии резервного копирования достигается введением высокой избыточности, равной 100% от общего объема защищаемых данных. К тому же, одним из главных недостатков наиболее типичных и распространенных схем хэширования, где от каждого подблока блока данных, подлежащего защите, вычисляется хэш-код, является высокая избыточность при осуществлении контроля целостности последовательностей подблоков блока данных небольшой размерности.

Высокая избыточность, вводимая для контроля и обеспечения целостности данных, является одним из главных недостатков существующих решений, поэтому поиск путей снижения вводимой избыточности для заданного уровня защищенности данных в условиях случайных ошибок и деструктивных воздействий злоумышленника является актуальным. К тому же, не смотря на повсеместное применение хэш-функций, они крайне мало исследованы, а практические предложения по их применению сводятся к нахождению путей повышения их криптостойкости [9, 10], а предложения по применению хэш-функций, позволяющие, снизить вводимую избыточность для заданного уровня защищенности данных, весьма немногочисленны.

*Цель статьи* — снижение вводимой избыточности при защите целостности данных посредством разработки метода контроля и обеспечения целостности данных.



Рис. 1. Схема, поясняющая процедуру криптографического контроля целостности данных с возможностью их восстановления из резервной копии

**Основная идея метода контроля и обеспечения целостности данных на основе совместного использования криптографических хэш-функций и кодов, контролирующих ошибки**

Блок данных  $M$ , подлежащий защите, для осуществления контроля и обеспечения целостности содержащихся в нем данных представляется в виде подблоков фиксированной длины  $M = \{m_1 \| m_2 \| \dots \| m_n\}$ , где « $\|$ » обозначает операцию конкатенации,  $n$  — количество подблоков в блоке данных  $M$ , которые интерпретируются как последовательность  $n$  информационных символов, к которым добавляются  $r$  дополнительных (контрольных) символов, достаточных для защиты целостности данных.

Полученное кодовое слово  $(n+r, n)$ -кода представлено на рис. 2.

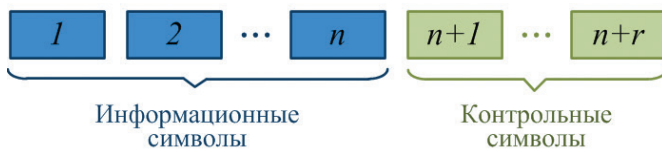


Рис. 2. Схема представления кодового слова  $(n+r, n)$ -кода

Добавление дополнительных (контрольных) символов выполняется по правилам построения избыточных кодов в зависимости от требуемых корректирующих характеристик получаемого кода (рис. 3). Полученный код в последующем будет использоваться для восстановления защищаемых данных ( $n$  подблоков блока данных  $M$ ) в случае нарушения их целостности и называться *внутренним кодом*.

Правила построения  $(n+r, n)$ -кодов, описание их параметров: длины блока  $n+r$ , длины информационной части блока  $n$  и минимального кодового расстояния  $d_{\min}$  представлено в [11].

Процедуре восстановления предшествует контроль целостности данных, который осуществляется на основе криптографических методов, где к  $n$  информационным



Рис. 3. Схема, поясняющая процедуру построения кодового слова  $(n+r, n)$ -кода

и  $r$  контрольным подблокам защищенного блока данных  $M' = \{m_1 \| m_2 \| \dots \| m_n \| \dots \| m_{n+r}\}$ , применяется хэш-функция  $h$ , удовлетворяющая свойствам, определенным в ГОСТ Р 34.11–2012.

Для достижения поставленной цели в разработанном методе для контроля целостности данных использована система хэш-кодов, правила построения которой аналогичны правилам построения линейных избыточных кодов, в частности, кодов Хемминга, что позволяет сократить количество вычисляемых хэш-кодов по сравнению с классическими схемами хэширования.

Данная система известна как *линейная система хэш-кодов* [12], под которой понимается множество хэш-кодов, полученных с помощью стандартной процедуры реализации хэш-функции от совокупностей подблоков блока данных в порядке, определенном специальной процедурой выбора подблоков, основанной на математическом аппарате линейной алгебры.

Данная система основана на математическом аппарате теории систем векторов и линейных векторных пространств, где данные, подлежащие защите, представлены двоичными векторами  $\vec{m}_i, \vec{m}_{i+1}, \vec{m}_{i+2}, \dots, \vec{m}_{i+k}$ , их множество рассматривается как система линейно независимых векторов:

$$x_1 \vec{m}_i + x_2 \vec{m}_{i+1} + x_3 \vec{m}_{i+2} + \dots + x_c \vec{m}_{i+k} = 0,$$

только при нулевом наборе коэффициентов:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_c$ , где  $x_q \in \{0, 1\}$ ,  $q = 1, 2, 3, \dots, c$ .

Данная система образует базис:

$$\vec{m}_i = E_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{m}_{i+1} = E_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}, \dots, \vec{m}_{i+k} = E_k = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}$$

Множество подблоков блока данных, подлежащих защите, и их хэш-кодов

$$\{\vec{m}_i, \vec{m}_{i+1}, \vec{m}_{i+2}, \dots, \vec{m}_{i+k}, \vec{s}_i, \vec{s}_{i+1}, \vec{s}_{i+2}, \dots, \vec{s}_{i+n}\},$$

в свою очередь, также можно рассматривать как систему линейно независимых векторов, где базисом для них будет:  $E_0, E_1, \dots, E_k$ .

Множество всех возможных схем хэширования подблоков  $\{\vec{m}_i, \vec{m}_{i+1}, \vec{m}_{i+2}, \dots, \vec{m}_{i+k}\}$  блока данных представляется в виде двоичной матрицы, составленной из коэффициентов базиса:

$$n \cdot \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix},$$

где каждая строка соответствует схеме хэширования и  $n \leq k$ . При этом строки матрицы обладают свойствами: являются различными и линейно-независимыми векторами; расстояние между векторами (по Хэммингу)  $d_{\min} \geq 2$ ; каждый вектор имеет вес (в смысле Хэмминга)  $\omega \geq d_{\min}$ ; нулевой вектор не входит в матрицу.

Аналогичными свойствами обладает порождающая матрица в теории линейных кодов [13–15], что обеспечивает возможность использования правил построения линейных кодов для построения линейных систем хэш-кодов.

Хэширование исходного блока данных представляется в виде следующего выражения:

$$(\bar{m}_i, \bar{m}_{i+1}, \bar{m}_{i+2}, \dots, \bar{m}_{i+k}) \rightarrow (\bar{m}_i, \bar{m}_{i+1}, \bar{m}_{i+2}, \dots, \bar{m}_{i+k}, \bar{s}_{i+k+1}, \bar{s}_{i+k+2}, \dots, \bar{s}_{i+g}),$$

где символ « $\rightarrow$ » означает отображение (специальная многомерная некоммутативная операция хэширования).

Тогда, получение защищенного блока данных с помощью хэширования представляется в виде следующего выражения:

$$(\bar{m}_i, \bar{m}_{i+1}, \dots, \bar{m}_{i+k}) \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1,g-k} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2,g-k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{k,g-k} \end{pmatrix} =$$

$$= (\bar{m}_i, \bar{m}_{i+1}, \dots, \bar{m}_{i+k}, \bar{s}_{i+k+1}, \dots, \bar{s}_{i+g}),$$

где  $\bar{s}_{i+g} = h(a_0 \bar{m}_i \| a_1 \bar{m}_{i+1} \| \dots \| a_k \bar{m}_{i+k})$ ,  $a_k \in \{0, 1\}$

или  $\bar{M}_v \otimes G = (\bar{m}_i \bar{m}_{i+1} \dots \bar{m}_{i+k} \bar{s}_{i+k+1} \dots \bar{s}_{i+r})$ , где символ « $\otimes$ » означает специальную многомерную некоммутативную операцию хэширования подблоков  $\bar{m}_i$ , отмеченных единичным символом  $a_{k,g-k} = 1$  матрицы  $G$ ; если же  $a_k = 0$ , то  $a_k \bar{m}_{i+k} = \emptyset$ ;  $\bar{M}_v(\bar{m}_i, \bar{m}_{i+1}, \dots, \bar{m}_{i+k})$  — информационный вектор (блок данных).

Для контроля целостности данных (обнаружения ошибки) в теории линейных кодов используют понятие синдром. Синдром  $\bar{S}$  — это матрица-строка  $(s_1 s_2 \dots s_L)$  с  $L$  элементами  $s_L \in \{0, 1\}$ , по одному для каждого проверочного символа.

Под ошибкой в защищенном блоке данных  $(\bar{m}_i \bar{m}_{i+1} \dots \bar{m}_{i+k} \bar{s}_{i+k+1} \dots \bar{s}_{i+g})$  будет пониматься результат несоответствия двоичного вектора с результатом, полученным в результате проверки синдрома. К примеру, для  $\bar{m}_{i+k}$  в соответствии с условием:

$$P(\bar{m}_{i+k}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \bar{s}_{i+k}^* = \bar{s}_{i+k}; \\ 0, & \text{если } \bar{s}_{i+k}^* \neq \bar{s}_{i+k}, \end{cases} \quad (2)$$

где « $\bar{s}_u^*$ » обозначает вычисленный хэш-код при запросе на использование данных, « $\bar{s}_u$ » — эталонный хэш-код,  $u = i + k + 1, \dots, i + g$ ; «1» означает, что нарушения целостности проверяемого подблока блока данных нет, «0» — есть.

Схема применения хэш-функции к подблокам защищенного блока данных  $M'$  (элементам внутреннего кода), основанная на линейной системе хэш-кодов, предназначена для криптографического контроля целостности данных и будет называться *внешним кодом* (рис. 4).



Рис. 4. Общая схема, поясняющая метод контроля и обеспечения целостности данных на основе совместного использования криптографических методов и кодов, контролирующих ошибки

После обнаружения и локализации подблока  $\tilde{m}_i$  защищенного блока данных  $M'$  с нарушением целостности выполняется его восстановление, где « $\tilde{\bullet}$ » обозначает подблок защищенного блока данных с нарушением целостности.

Для достижения поставленной цели в разработанном методе при обеспечении целостности данных процедура восстановления выполняется на основе математического аппарата кодов, контролирурующих ошибки, по правилам, построения которых представлен блок данных  $M'$ , подлежащий защите (внутренний код), что позволит сократить количество вводимой избыточности по сравнению с технологией резервного копирования данных. К тому же, процедура восстановления данных обеспечивается посредством внутреннего кода, обладающему корректирующими способностями, необходимыми для обнаружения, а не исправления ошибки.

**Пример.** Рассмотрим случай, где в качестве внутреннего кода используется простой код с проверкой на четность, а внешний код строится по правилам, аналогичным правилам построения линейного избыточного (7,4)-кода Хемминга.

Для этого используем систему линейно независимых векторов, которая в теории линейных кодов используется для построения (7,4)-кода Хемминга:

$$(\tilde{m}_1 \tilde{m}_2 \tilde{m}_3 \tilde{m}_4) \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & | & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & | & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} = (\tilde{m}_1 \tilde{m}_2 \tilde{m}_3 \tilde{m}_4 \tilde{s}_1 \tilde{s}_2 \tilde{s}_3).$$

Схема, поясняющая метод контроля и обеспечения целостности данных для указанного случая представлена на рис. 5.

Для контроля целостности защищенного блока данных, полученного в соответствии с (1):

$$(\tilde{m}_1 \tilde{m}_2 \tilde{m}_3 \tilde{m}_4) \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & | & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & | & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} = (\tilde{m}_1^* \tilde{m}_2^* \tilde{m}_3^* \tilde{m}_4^* \tilde{s}_1^* \tilde{s}_2^* \tilde{s}_3^*)$$

вычисляется синдром  $\vec{S} = (s_1, s_2, s_3)$ , соответствующий предикату (2):

$$P(\vec{S}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{s}_z = \vec{s}_z^*; \\ 0, & \text{если } \vec{s}_z \neq \vec{s}_z^*, \end{cases}$$

где  $\vec{s}_z$  — эталонный хэш-код, вычисленный ранее, а  $\vec{s}_z^*$  — хэш-код, вычисленный от данных, подлежащих проверке,  $z = 1, 2, 3$ .

В соответствии с табл. 1 по полученному синдрому определяется подблок блока данных с нарушением целостности. Допустим, что ошибка произошла в подблоке  $\tilde{m}_2$  блока данных.

После контроля целостности данных (обнаружения и локализации подблока  $\tilde{m}_2$  блока данных с нарушением целостности) выполняется процедура восстановления.

По условию внутренним кодом является код с проверкой на четность, в соответствии с правилами построения которого, где к  $n$  информационным символам дописыв-



**Рис. 5.** Схема, поясняющая метод контроля и обеспечения целостности данных (внутренний код – код с проверкой на четность, при построении внешнего кода используется систему линейно независимых векторов для построения (7,4)-кода Хемминга)

вается  $n + 1$  контрольный символ, так чтобы полное число единиц в кодовом слове было четным [14]:

$$m_4 = m_1 \oplus m_2 \oplus m_3,$$

где « $\oplus$ » означает операцию сложения по модулю 2, поэтому для  $n = 3$  получим:

$$\begin{aligned} 0 \ 0 \ 1 &\leftrightarrow 0 \ 0 \ 1 \ 1, \\ 0 \ 1 \ 0 &\leftrightarrow 0 \ 1 \ 0 \ 1, \\ 0 \ 1 \ 1 &\leftrightarrow 0 \ 1 \ 1 \ 0 \end{aligned}$$

и так далее. Минимальное расстояние выбранного кода  $d_{\min} = 2$ , и, следовательно, никакие ошибки не могут быть исправлены. Как известно [14], простой код с проверкой на четность используется для обнаружения (но не исправления) ошибки. Однако, ввиду оригинальной схемы построения разработанный метод, в котором агрегированы известные решения, позволяет после локализации подблока  $m_2$  блока данных с нарушением целостности посредством криптографических методов восстановить его

$$m_2 = m_4 - m_1 - m_3 \pmod{2}$$

посредством кода, обладающего корректирующими способностями, лишь для обнаружения, а не исправления ошибки.

Таблица 1

Таблица синдромов для локализации однократной ошибки

Синдром			Результат
$s_1$	$s_2$	$s_3$	
0	0	0	<i>Нет ошибки</i>
1	1	0	$[\bar{m}_1], \bar{m}_2, \bar{m}_3, \bar{m}_4, \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3$
1	0	1	$\bar{m}_1, [\bar{m}_2], \bar{m}_3, \bar{m}_4, \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3$
0	1	1	$\bar{m}_1, \bar{m}_2, [\bar{m}_3], \bar{m}_4, \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3$
1	1	1	$\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{m}_3, [\bar{m}_4], \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3$
1	0	0	$\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{m}_3, \bar{m}_4, [\bar{s}_1], \bar{s}_2, \bar{s}_3$
0	1	0	$\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{m}_3, \bar{m}_4, \bar{s}_1, [\bar{s}_2], \bar{s}_3$
0	0	1	$\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{m}_3, \bar{m}_4, \bar{s}_1, \bar{s}_2, [\bar{s}_3]$

### Оценка разработанного метода контроля и обеспечения целостности данных на основе совместного использования криптографических методов и кодов, контролирующих ошибки

Введем допущения:

– оценка разработанного метода будет выполняться по сравнению с наиболее популярным решением комплексной защиты целостности данных, в которых последовательно применяются сначала криптографические преобразования к данным для контроля их целостности (схемы применения хэш-функций, где от каждого подблока блока данных, подлежащего защите, вычисляется хэш-код), а затем применяются технологии резервного копирования данных для их восстановления в случае нарушения целостности;

– в соответствии с ГОСТ Р 34.11–2012 размер хэш-кода, вычисляемого от блока данных, подлежащего защите, составляет 256 или 512 бит, допустим, что размер хэш-кода в разработанном методе будет равен 512 битам.

Оценка разработанного метода выполняется по такому показателю качества, как коэффициент избыточности  $K_{\text{изб}}$ , характеризующий количество вводимой избыточности (контрольной информации), критерием качества будет  $K_{\text{изб}} \rightarrow \min$ . Коэффициент избыточности вычисляется в соответствии с формулой:

$$K_{871} = \frac{V_{871.4}}{V_{701.4}}, \quad (3)$$

где  $V_{\text{защ.д}}$  — объем данных, подлежащих защите,  $V_{\text{изб.д}}$  — объем избыточных данных, вводимых для контроля и/или обеспечения целостности.

Оценку разделим на две части: при контроле и при обеспечении целостности (восстановлении) данных:

1. При осуществлении контроля целостности данных:

– в существующих решениях количество вычисляемых хэш-кодов будет равняться количеству подблоков блока данных, подлежащего защите, следовательно, коэффициент избыточности в соответствии с (3) будет равен 1;

– в разработанном методе для линейной системы хэш-кодов, соответствующей линейному избыточному коду Хэмминга с различными параметрами, значения коэффициента избыточности представлены в табл. 2.

На рис. 6 представлен график со сравнительной оценкой количества вводимой избыточности (контрольной информации) при контроле целостности данных в разработанном методе и существующих решениях.

2. При обеспечении целостности (восстановлении) данных:

– в существующих способах коэффициент избыточности в соответствии с (3) будет равен 1, так как в соответ-

ствии с технологией резервного копирования избыточность равна 100% от общего объема защищаемых данных;

– в разработанном методе для кода с проверкой на четность для блока данных, состоящего из 3-х подблоков, коэффициент избыточности примет значение равное  $\approx 0,33$ .

Таблица 2

Таблица со значениями коэффициента избыточности  $K_{изб}$ 

Параметры ( $n,k$ )-кода Хемминга	Значения коэффициента избыточности $K_{изб}$
(7,4)	$\approx 0,43$
(15,11)	$\approx 0,27$
(31,26)	$\approx 0,16$
(63,57)	$\approx 0,1$
(127,120)	$\approx 0,06$

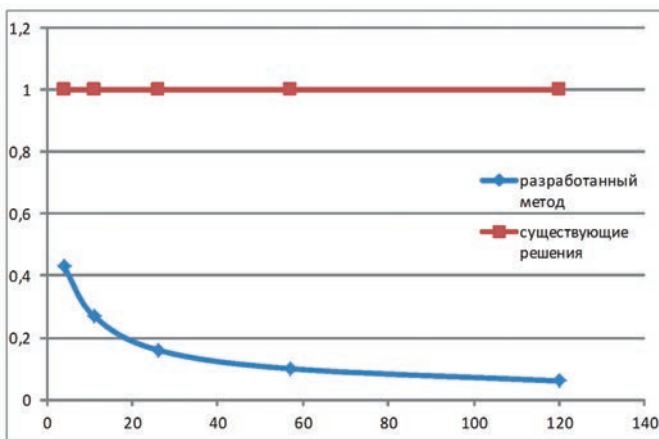


Рис. 6. График со сравнительной оценкой разработанного метода и существующих решений при контроле целостности данных

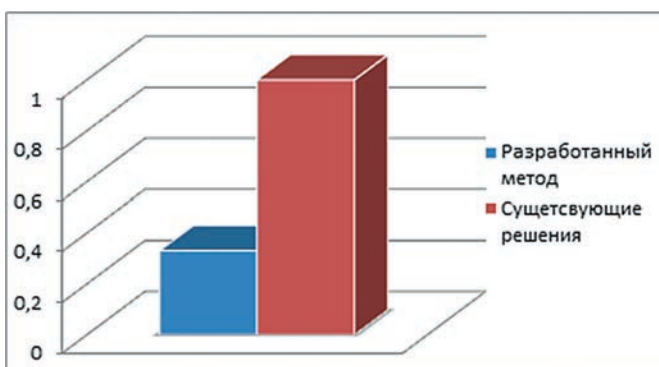


Рис. 7. Диаграмма со сравнительной оценкой разработанного метода и существующих решений при обеспечении целостности (восстановлении) данных

На рис. 7 представлена диаграмма со сравнительной оценкой количества вводимой избыточности (контрольной информации) при обеспечении целостности (восстановлении) данных в разработанном методе и существующих решениях.

### Заключение

Главным достоинством разработанного метода является одновременное осуществление контроля целостности данных для заданного уровня защищенности с минимальной избыточностью с возможностью локализации данных с нарушением целостности (задача внешнего кода), что является необходимым условием для выполнения процедуры восстановления, где используется внутренний код, которому достаточно обладать корректирующими способностями, необходимыми для обнаружения, а не исправления ошибки.

Полученные результаты дают научный и инженерный инструментарий для контроля и обеспечения целостности данных с возможностью проверки их достоверности после восстановления в случае нарушения их целостности и обеспечивают необходимые условия для создания перспективных и совершенствования существующих систем хранения данных.

### Литература

1. *Omondi A., Premkumar B.* Residue Number System: Theory and Implementation. London: Imperial College Press., 2007. 452 p.
2. *Кнут Д. Э.* Искусство программирования для ЭВМ. Т. 3: Сортировка и поиск: пер. с англ. М.: Мир, 1978. 824 с.
3. *Menezes A. J., Oorschot P., Vanstone S.* Handbook of Applied Cryptography. CRC Press, Inc., 1996. 816 p.
4. *Biham E., Dunkelman O.* A framework for iterative hash functions — HAIFA. // Cryptology ePrint Archive. 2007. 20 p. URL: <https://eprint.iacr.org/2007/278.pdf> (дата обращения 10.10.2018).
5. *Wang X., Yu H.* How to break MD5 and Other Hash Function // Advances in Cryptology — EUROCRYPT 2005. EUROCRYPT 2005. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg, Springer, 2005. Vol. 3494. Pp. 9–35.
6. *Bellare M.* New Proofs for NMAC and HMAC: Security without Collision-Resistance. // Advances in Cryptology — CRYPTO 2006. CRYPTO 2006. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006. Vol. 4117. Pp. 602–619.
7. *Уоррен Г.* Алгоритмические трюки для программистов: пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 288 с.
8. *Morelos-Zaragoza R. H.* The Art of Error Correcting Coding. 2nd edn. John Wiley & Sons, Ltd., 2006. 521 p.
9. *Шнайер Б.* Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си: пер. с англ. М.: Триумф, 2002. 456 с.



10. Левин В. Ю. О повышении криптостойкости однонаправленных хэш-функций // *Фундаментальная и прикладная математика* 2009. Т. 15. Вып. 5. С. 171–179.

11. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: пер. с англ. М.: Мир, 1986. 576 с.

12. Финько О. А., Савин С. В. Обеспечение целостности данных в автоматизированных системах на основе линейных систем хэш-кодов // *Научный журнал КубГАУ*. 2015. № 114(10). URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/60.pdf> (дата обращения: 01.10.2018).

13. Патент РФ 2669144. Способ и устройство ими-

тоустойчивой передачи информации по каналам связи / Самойленко Д. В., Финько О. А., Еремеев М. А., Диченко С. А. Заявл. 28.11.2017. Опубл. 08.10.2018. Бюл. № 28. 25 с.

14. Хэмминг Р. В. Теория кодирования и теория информации: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1983. 176 с.

15. Yang L.-L., Hanzo L. Coding Theory and Performance Of Redundant Residue Number System Codes // *Semantic Scholar*. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Coding-Theory-and-Performance-Of-Redundant-Residue-Yang-Hanzo/e1f3a5e67c24b5865990af3e8ba0a54bd6a86067?navId=citing-papers> (дата обращения: 01.10.2018).

---

## CONTROL AND SECURITY OF INFORMATION INTEGRITY IN DATA STORAGE SYSTEMS

**SERGEY A. DICHENKO**

Krasnodar, Russia, dichenko.sa@yandex.ru

### ABSTRACT

The constant increase in the amount of information processed in automated control systems, which simply does not physically fit in the internal long-term memory of its processing means, necessitates the use of data storage systems. One of the main requirements for existing data storage systems, regardless of the structure of their construction and principles of operation, is to ensure the security of the information stored in them. In turn, one of the measures to ensure the security of information in data storage systems under conditions of random errors and destructive actions of an attacker (unauthorized alteration of data (for example, through the operation of malicious code) or failure of a part of the carrier (for example, individual cells, sectors)) protection of their integrity. The task of protecting the integrity of data is difficult because of its complexity, as it includes not only the control of data integrity, but also its maintenance, which implies the restoration of data whose integrity has been compromised for various reasons. The most popular solution is integrated data integrity protection associated with the simultaneous solution

**KEYWORDS:** information security; control and ensure data integrity; cryptographic primitives; hash function; hash code; redundant codes.

of control and data integrity tasks, which is achieved by consistently applying first cryptographic transformation to data, and then data backup, which is known to lead to the introduction of high redundancy. The developed method of monitoring and ensuring the integrity of information in data storage systems allows reducing the input redundancy by aggregating existing solutions for a given level of information security. To control the integrity of the data in the presented method, a hash function was selected, which is necessary when storing data under attacker's conditions, and the data recovery procedure is performed using redundant modular codes, the use of which in combination with the hash function allows the construction of a unique scheme provide minimal redundancy.

### REFERENCES

1. Omondi A., Premkumar B. *Residue Number System: Theory and Implementation*. London: Imperial Collegt Press., 2007. 452 p.
2. Knuth D.E. *The Art of Computer Programming. Vol. 3: Sorting and Searching*. Addison Wesley Publ. Company, 1973. 829 p.



3. Menezes A.J., Oorschot P., Vanstone S. *Handbook of Applied Cryptography*. CRC Press, Inc., 1996. 816 p.
4. Biham E., Dunkelman O. A framework for iterative hash functions – HAIFA. *Cryptology ePrint Archive*. 2007. 20 p. URL: <https://eprint.iacr.org/2007/278.pdf> (date of access: 10.10.2018)
5. Wang X., Yu H. How to break MD5 and Other Hash Function. *Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2005. EUROCRYPT 2005. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2005. Vol. 3494. Pp. 9–35.
6. Bellare M. New Proofs for NMAC and HMAC: Security without Collision-Resistance. *Advances in Cryptology – CRYPTO 2006. CRYPTO 2006. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006. Vol. 4117. Pp 602–619.
7. Warren H.S. *Hacker's Delight*. Boston: Addison Wesley Publ. Company, 2002. 320 p.
8. Morelos-Zaragoza R.H. The Art of Error Correcting Coding. 2nd edn. John Wiley & Sons, Ltd., 2006. 521 p.
9. Schneier B. *Applied Cryptography*. John Wiley and Sons, Inc., 1996. 398 p.
10. Levin V. Yu. The increasing of hash functions security. *Fundamentalnaya i prikladnaya matematika*. 2009. Vol. 15. No. 5. Pp. 171–179. (In Russian)
11. Blahut R.E. *Error control codes*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1983. 432 p.
12. Finko O.A., Savin S.V. Ensuring data integrity in automated systems based on linear systems of hash codes. *Scientific Journal of KubSAU*. 2015. No. 114 (10). URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/60.pdf> (date of access: 01.10.2018). (In Russian)
13. Patent RF 2669144. Sposob i ustrojstvo imitoustojchivoj peredachi informatsii po kanalam svyazi [Method and device imitouresistant transmission of information via communication channels]. Samojlenko D. V., Fin'ko O. A., Ereemeev M. A., Dichenko S. A. Declared 28.11.2017. Published 08.10.2018. Bullitin. No. 28. 25 p.
14. Hamming R. *Coding and Information Theory*. Prentice-Hall, 1980. 112 p.
15. Yang L.-L., Hanzo L. Coding Theory and Performance Of Redundant Residue Number System Codes. *Semantic Scholar*. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Coding-Theory-and-Performance-Of-Redundant-Residue-Yang-Hanzo/e1f3a5e67c24b5865990af3e-8ba0a54bd6a86067?navId=citing-papers> (date of access: 01.10.2018)

**INFORMATION ABOUT AUTHORS:**

Dichenko S.A., PhD, Senior lecturer of the Krasnodar Higher Military School named after S.M.Shtemenko.

**For citation:** Dichenko S.A. Control and security of information integrity in data storage systems. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 49–57. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10224 (In Russian)





doi: 10.24411/2409-5419-2018-10225

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАПЫЛЕНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ МОНОСУЛЬФИДА САМАРИЯ

**НОВИЧКОВ**

**Вадим Михайлович<sup>1</sup>**

**МИШИН**

**Юрий Николаевич<sup>2</sup>**

**ФИЛИНОВ**

**Никита Ильич<sup>3</sup>**

**АННОТАЦИЯ**

Повышение надёжности конструкции и ресурса летательных аппаратов требует создания тензорезисторов с новыми качествами. Подобные тензорезисторы необходимы для измерения напряженно-деформационных состояний элементов конструкций при наземных и лётных испытаниях. В этом случае от тензорезисторов требуется стабильность параметров и хорошие метрологические характеристики с малым разбросом в партии. Это важно при их подключении к различным автоматическим регистрирующим устройствам без дополнительной сложной настройки, что позволит обеспечить тензометрическим средствам измерения высокую точность и стабильность. Также для обеспечения возможности изучения напряжённо-деформационных полей в малоразмерных конструкциях важно, чтобы тензорезисторы имели малый размер. Это полезно при отработке конструкций таких изделий, как, например, малогабаритные космические летательные аппараты. Этим требованиям удовлетворяют тензорезисторы из моносulfида самария, но без автоматизированной системы управления технологическим процессом изготовления партий таких тензорезисторов получается, как большой разброс их характеристик в партии, так и ещё больший разброс от партии к партии. Это сильно уменьшает положительный эффект от применения нового материала – моносulfида самария, который обладает высокой тензочувствительностью, теоретически доказанной радиационной стойкостью и предсказуемой температурной зависимостью. Для получения стабильного результата при производстве таких тензорезисторов целесообразно использовать специальную автоматизированную систему управления процессом напыления. Предлагаемая автоматизированная система управления технологическим процессом позволяет учитывать, поддерживать постоянными и плавно регулировать параметры установки вакуумного напыления, ранее недоступные при её функционировании. Для этого в обратный контур управления включены специальные регулировочные элементы, которые позволяют выбрать наиболее рациональные технологические режимы, и применяется специальный технологический контроль режима работы вакуумного насоса, что облегчает получение требуемых характеристик в партиях новых тензорезисторов из моносulfида самария.

**Сведения об авторах:**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, доцент кафедры 305 Московского авиационного института (национального исследовательского университета), г. Москва, Россия, v13217@ya.ru

<sup>2</sup>старший преподаватель кафедры 305 Московского авиационного института (национального исследовательского университета), г. Москва, Россия, geo375@rambler.ru

<sup>3</sup>аспирант кафедры 305 Московского авиационного института (национального исследовательского университета), г. Москва, Россия, nikitayo18@gmail.com

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** тензорезистор; моносulfид самария; вакуумное напыление; автоматизация технологического процесса; повышение качества; автоматизированная система управления.

**Для цитирования:** Новичков В.М., Мишин Ю.Н., Филинов Н.И. Автоматизированная система управления процессом напыления тензорезисторов на основе моносulfида самария // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 58-65. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10225

В настоящее время в машиностроении особое внимание уделяется повышению функциональной надёжности сложных технических систем [1, 2]. Также большое внимание уделяется методам синтеза надёжных отказоустойчивых систем [3], с помощью которых можно создавать надёжные автоматизированные системы. При этом в условиях роста требований к повышению надёжности конструкций и ресурса космических летательных аппаратов (ЛА), при использовании в элементах конструкции новых материалов и оригинальных силовых схем, актуальной является задача создания новых средств измерения напряжённо-деформационного состояния (НДС) с улучшенными характеристиками для экспериментальной отработки при статических и динамических термосиловых нагружениях [4]. В то же время жёсткие условия эксплуатации, априорно неопределённые по вектору и модулю силовые воздействия, особенно проявляющиеся в условиях космоса, при требованиях минимизации массы и уменьшения габаритов требуют детального изучения поведения конструкции ЛА при механических испытаниях [5–8].

Необходимость изучения НДС элементов конструкций космических ЛА связана с тем, что в процессе эксплуатации они могут подвергаться влиянию циклических температурных воздействий, вакуума и ионизирующего и радиационного излучения, что способно привести к изменению механических характеристик материалов, из которых они сделаны. В результате их НДС меняется, а это уменьшает их функциональную надёжность [1]. Это связано с тем, что большие перепады температуры между элементами конструкции автоматических космических ЛА и её неравномерное распределение способно привести к их разрушению. Для исключения такой ситуации элементы конструкций космических ЛА, как и других изделий авиакосмической промышленности, перед вводом в эксплуатацию испытываются на прочность.

Изучение НДС этих элементов проводится с помощью специальной измерительной аппаратуры, где в качестве датчиков используются тензорезисторы. Для измерения больших деформаций ( $\epsilon = 5...10\%$ ) часто применяют проволочные тензорезисторы, но такие деформации редко встречаются при штатной эксплуатации космических ЛА. Гораздо чаще встречаются небольшие деформации ( $\epsilon = 0,005...2\%$ ), для измерения которых применяются фольговые и плёночные тензорезисторы, причём для измерения деформаций  $\epsilon \leq 0,1\%$  удобно использовать полупроводниковые тензорезисторы. При этом напряжение питания измерительного резистивного моста ограничивается допустимой мощностью рассеивания в тензорезисторе и лежит в диапазоне 2...12 В. Это приводит к тому, что рабочее относительное сопротивление тензорезистора изменяется в малом диапазоне, что, как следствие, приводит к сравнительно небольшому напряжению на выходе

измерительного моста. Например, при деформации  $\epsilon = 1\%$  сигнал на выходе измерительного моста, составленного из проволочных тензорезисторов, будет не более 10...15 мВ. Занимая промежуточное положение между проводниками и диэлектриками, полупроводники при комнатной температуре (293К) имеют диапазон удельного сопротивления между  $10^{-4}$  и  $10^{10}$  Ом·см. В полупроводниковых тензорезисторах в качестве чувствительного элемента используют монокристаллический полупроводник толщиной 20...50 мкм, шириной до 0,5 мм и длиной 2...12 мм [9].

Такие полупроводниковые материалы, как германий и кремний, хорошо изучены и наиболее пригодны для изготовления тензорезисторов. Тем не менее, их также изготавливают и из других материалов [10]. В зависимости от свойств полупроводниковых материалов можно в широких пределах изменять механические и электрические характеристики тензорезисторов. Одни и те же геометрические характеристики тензорезисторов в зависимости от концентрации примесей в кристалле могут соответствовать начальному сопротивлению тензорезисторов от десятков Ом до десятков кОм. Важно заметить, что коэффициент тензочувствительности также зависит от вида и количества этих примесей и изменяется от минус 100 до +200 и более.

Высокий коэффициент тензочувствительности полупроводниковых тензорезисторов позволяет получать на выходе мостовой измерительной схемы сигнал порядка нескольких Вольт с мощностью в сотни мВт, что иногда позволяет исключить применение сложных и дорогих аналоговых усилителей. Это важно при изучении напряжённо-деформационных полей при прогнозировании ресурса элементов конструкций малого размера [11], когда для повышения достоверности важно увеличивать количество используемых тензорезисторов на единицу площади поверхности исследуемого элемента.

Основные особенности напыленных тензорезисторов состоят в следующем:

- исключительно малые толщины изолирующего слоя и чувствительного элемента (ЧЭ) с требованием очень малой площади поверхности для монтажа;
- за один рабочий цикл можно одновременно напылять с высокой экономичностью большое количество тензорезисторов (более 300) при условии, что они достаточно малы;
- техника и технология напыления позволяет наносить полные мостовые схемы, которые могут иметь сравнительно высокое омическое сопротивление;
- напыление необходимо проводить в вакууме (давление менее  $10^{-6}$  мм рт.ст.) или в среде инертного газа.

После проведения эксперимента по известным методикам [12] и обработки полученных данных по общепринятым правилам [13] было определено, что наилучшим

технологическим процессом получения тонкопленочных структур на основе моносulfида самария является их нанесение в вакууме взрывным методом [9]. Для оценки стабильности параметров получаемых таким образом тонких плёнок, по типовым методикам [14] проводилось изучение температурных режимов их функционирования в качестве тензочувствительного слоя.

Желаемое качество получения тонких плёнок из моносulfида самария [15] предъявляет ряд общих требований к вакуумному оборудованию для их нанесения на подложку. К этим требованиям относятся:

- предельный вакуум в рабочей камере не хуже  $10^{-6} \dots 10^{-7}$  мм рт.ст.;
- рабочий вакуум  $5 \cdot 10^{-6} \dots 3 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст., поддерживаемый в течение всего процесса нанесения тонких пленок;
- скорость откачки газа (воздуха) не менее 5...10 л/с на 1 л рабочего объёма;
- прогрев подложки до 400...500 °С с высокой точностью и стабильностью поддержания температуры не хуже  $\pm 5$  °С;
- безотказность работы в течение всего вакуумного цикла.

Выдерживание режимов нанесения тонких плёнок в этих диапазонах позволяет изготавливать из них тензорезисторы с желаемым качеством [16, 17].

Установки для термовакуумного напыления содержат камеру напыления с подколпачным устройством, вакуумную систему с насосами предварительного и окончательного вакуума и электрическую часть (устройства и элементы автоматики, контрольно-измерительные приборы и необходимые блоки питания).



Рис. 1. Общий вид специально модернизированной установки УВН-74П2

Для отработки технологии изготовления опытных образцов тензорезисторов была использована специально модернизированная установка вакуумного напыления УВН-74П2 (рис. 1), которая предназначена для осаждения тонких плёнок в условиях серийного производства методом термического осаждения с применением резистивного нагрева. Её характеристики сведены в таблицу.

Таблица  
Технические характеристики установки УВН-74П2

Технические характеристики	Значения
Производительность	12 подложек/цикл
Предельный вакуум в рабочей камере	$5 \cdot 10^{-7}$ мм рт.ст.
Размеры рабочей камеры	$\varnothing 500 \times 600$ мм
Питание электрода ионной очистки: ток напряжение (постоянное)	0...165 мА 3 кВ $\pm 10\%$
Число позиций испарения	3
Размеры подложки	60 $\times$ 48 $\times$ 0,6 мм
Количество подложек с масками на карусели	12
Точность системы совмещения подложки с маской при температуре 20°С	50 мкм
Максимальная температура нагрева подложек	400°С
Точность поддержания температуры подложек в пределах 100...400°С	1,5%
Общий вес	2100 кг

Схема (рис. 2) взрывного испарения для получения пленок из моносulfида самария иллюстрирует метод микродозирования (дискретное или взрывное испарения) в вакууме. Порошок, представляющий собой исходное вещество, получаемое дроблением объемных образцов, помещается в дозатор 6. В процессе напыления под действием вибрации с частотой в несколько десятков Гц этот порошок постепенно (за 30...60 с) высыпается на испаритель 7. Испаритель, нагретый проходящим током (порядка 150А) до 2500...2700 °С, представляет собой танталовую (вольфрамную) лодочку. Каждая из частиц исходного вещества, дискретно и свободно падающих под действием вибрации на испаритель, практически мгновенно превращаются в пар. Этот пар осаждается на подложке 4, которая нагревается до температуры 300...600 °С. Подложка

4 вместе с маской 5 устанавливается на держатель 3 и нагревается вместе с ним резистивным или оптическим нагревателем 2. Напыление осуществляется в вакуумном колпаке 1 с давлением внутри него, равным  $10^{-4}$  Па (около  $7,5 \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст.).

Моносulfид самария (химическая формула: SmS) — это тугоплавкий (температура плавления  $2400^\circ\text{C}$ ) материал, трудность получения которого усугубляется тем, что существует еще два соединения самария с серой ( $\text{Sm}_2\text{S}_3$ ) и ( $\text{Sm}_3\text{S}_4$ ). Особенность моносulfида самария состоит в том, что при обычном термическом испарении на подложку как правило осаждается поликристаллическая пленка с избытком серы или с избытком самария: стехиометрический состав распыляемого материала получить довольно сложно.

Стехиометрический состав материала тонкой плёнки моносulfида самария получается только методом «взрывного испарения». Этот метод состоит в том, что порошок моносulfида самария медленно ссыпается на нагретый до температуры не менее  $2700^\circ\text{C}$  испаритель. Чтобы материал равномерно ссыпался, дозатор снабжён вибратором. При соприкосновении крупинки распыляемого материала с раскалённым испарителем, он мгновенно испаряется, происходит так называемый «взрыв». В результате на подложку осаждается материал с сохранённой стехиометрией.

В процессе отработки технологии изготовления тензорезисторов из моносulfида самария выявлено, что надёжный, «не шумящий» контакт плёнки моносulfида самария с контактным материалом достигается тогда, когда тот осаждается на неё без развакуумирования установки после её осаждения, ибо свободные атомы самария легко соединяются с атомами кислорода в воздухе: на воздухе плёнка самария легко окисляется. Это связано с тем, что кислород и сера являются соседями по группе в периодической таблице химических элементов (таблице Д. И. Менделеева).

Все эти особенности делают необходимой автоматизацию поддержания параметров технологического процесса напыления тонких пленок из моносulfида самария. Достижение этой цели обеспечивается путём применения специальной автоматизированной системы контроля параметров технологического процесса. Существующие методы построения автоматизированных систем управления (АСУ) [18] позволяют получить высокое качество тензорезисторов за счёт точного поддержания технологического процесса их изготовления. Без такой системы очень сложно, а подчас и почти невозможно количественно учесть и напрямую проконтролировать физические процессы и явления, происходящие при изготовлении тонких плёнок из моносulfида самария. Параметры этих процессов задаются и поддерживаются в требуемых пределах путём автоматизированного

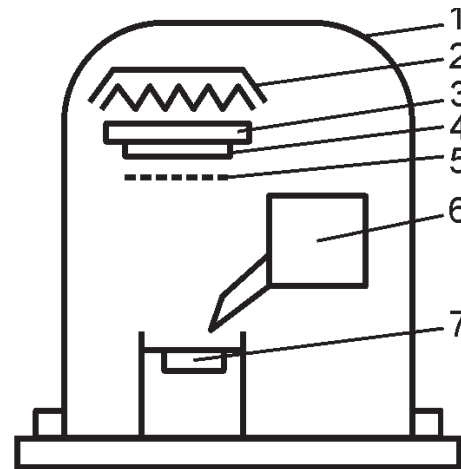


Рис. 2. Схема взрывного испарения:

1 — вакуумный колпак, 2,3 — держатель и нагреватель подложки, 4 — подложка, 5 — маска, 6 — дозатор, 7 — испаритель

контроля и при необходимости корректировки технологического режима работы установки вакуумного напыления. Контролируемыми факторами этого технологического процесса являются: давление в камере при осаждении материала, температура испарения материала, температура подложки в процессе осаждения, расстояние между испарителем и подложкой, температура подложки при термообработке, давление в камере при термообработке, продолжительность термообработки, температура подложки при напуске воздуха, длительность хранения очищенной подложки перед установкой в камеру, длительность прогрева испаряемого материала, длительность прогрева подложки и продолжительность хранения подложки с резистивной пленкой до защиты слоем диэлектрика.

Положительным моментом является то, что часть этих контролируемых факторов можно задать и не изменять при отработке и применении технологии на практике. Таким образом сокращается неопределённость при проведении работ по изготовлению тензорезисторов из моносulfида самария. АСУ процессом напыления обеспечивает поддержание этих параметров в требуемом диапазоне. Другую часть этих факторов можно с помощью этой системы контролировать и при необходимости целенаправленно изменять независимо друг от друга. Распределение контролируемых факторов на изменяемые и неизменяемые условно и может быть при необходимости изменено исходя из желаемых условий напыления. Также присутствует некоторая часть факторов, которые не поддаются прямому контролю и изменяются случайно. Тем не менее, за ними можно наблюдать по косвенным признакам, которые фиксируются с помощью АСУ процессом напыления тензорезисторов на основе моносulfида самария.

В этой АСУ помимо контроля непосредственно факторов технологического процесса изготовления тонких

плёнок из моносulfида самария, осуществляется двухуровневый контроль давления (вакуума) внутри вакуумного колпака (см. рис. 2). Суть двухуровневого контроля состоит в том, что в АСУ анализируются не только данные с датчика вакуума, но и параметры работы вакуумного насоса. Это позволяет обеспечить повышенную стабильность пониженного давления внутри вакуумного колпака, что повышает качество тензорезисторов, чувствительным слоем в котором является тонкая плёнка из моносulfида самария. Подобным же образом стабилизируется скорость вращения барабана (с частотой  $n = 20$  об/мин) с помощью привода, расположенного на передней стороне крышки камеры.

В зависимости от модификации электродвигателей, использованных в электроприводном насосе и в приводе барабана установки вакуумного напыления, их питание может осуществляться как постоянным током с напряжением 27 В, так и переменным 3-фазным током напряжением 220 В. Сила тока, потребляемого электродвигателем, может быть от нескольких ампер до нескольких сотен ампер. Номинальная частота вращения вала электродвигателей такого типа часто находится в пределах от 4000 до 11000 об/мин. Исходя из общих требований к вакуумному оборудованию должна обеспечиваться скорость откачки газа (воздуха) не менее 5...10 л/с на 1 л рабочего объёма вакуумного колпака до значения рабочего вакуума порядка  $7,5 \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст. Рабочий вакуум и скорость вращения барабана должны поддерживаться стабильными в течение всего времени процесса осаждения тонких плёнок. В этом случае наиболее перспективными можно считать трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя являются зависимости частоты вращения  $n$  ротора, тока  $I$  статора от полезной мощности  $P$  при номинальных значениях питающего напряжения  $U$  с частотой  $f$ . Эти характеристики строятся только для зоны практической устойчивой работы электродвигателя (от скольжения, равного нулю, до скольжения, превышающего номинальное на 10...20%). Частота вращения  $n$  с ростом отдаваемой мощности  $P$  изменяется мало, так же как и в механической характеристике. Ток  $I$  статора, возрастает с увеличением отдаваемой мощности, но при  $P = 0$  имеется некоторый ток холостого хода  $I_0$ .

Если снять нагрузку с такого электродвигателя, то коэффициент мощности уменьшается до значений 0,25...0,3. Поэтому нельзя допускать значительную недогрузку асинхронного двигателя и его работу на холостом ходу, что и обеспечивается с помощью АСУ.

Зависимость качества работы вакуумного насоса от тока, потребляемого его электродвигателем, удобно представить в виде графика, пример которого показан на рис. 3. Здесь номинальный ток, потребляемый электродвигателем, равен  $i_{ном}$ . При таком токе эффективность работы

насоса близка к максимальной. Насос считается исправным (работает качественно), если его характеристики соответствуют номинальным с отклонением не более, чем  $\Delta = |\pm 10|\%$  (см. пунктирные линии на рис. 3).

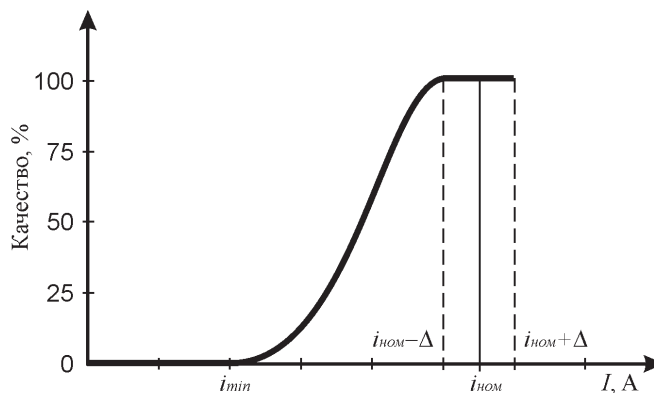


Рис. 2. Зависимость оценки качества работы электродвигателя от тока

Оценку качества работы (в %) насоса можно получить с учетом тока, потребляемого его электродвигателем. Если рабочий ток не более  $i_{ном}$ , то насос можно считать исправным (при силе тока  $i_{ном} - \Delta$  показатель качества ещё максимален) с увеличением тока выше  $i_{ном} + \Delta$  — электродвигатель потребляет больше требуемого и вращаемый им механизм можно оценить, как неисправный (показатель качества уменьшается; на графике не показано, так как этого режима следует не допускать, отремонтировав насос). Уменьшение качества работы насоса также можно ожидать при снижении тока ниже  $i_{ном} - \Delta$  до значения  $i_{мин}$ . В этом диапазоне рабочего тока необходимо провести ремонт насоса с целью недопущения отказа его работы во время формирования тонких плёнок. Слежение за током создаёт дополнительную уверенность в качестве технологического процесса при изготовлении тензорезисторов.

На основании детального рассмотрения принципа работы и устройства установки вакуумного напыления разработана технология создания тензорезисторов из моносulfида самария с электрическим сопротивлением от 200 Ом и более с коэффициентом тензочувствительности, лежащим в диапазоне от 15 до 90. Для этого были выявлены основные факторы технологического процесса, которые можно оставить неизменными и которые следует управляемо изменять. Влияние каждого из них на качество изготовления тензорезисторов предварительно оценивалось экспериментальным путем.

АСУ процессом напыления тензорезисторов на основе моносulfида самария нацелена на поддержание тех-

нологического процесса изготовления тензорезисторов из моносulfида самария так, чтобы это позволяло снижать разброс их рабочих характеристик, сокращая время и расходы на их производство.

### Литература

1. Грибов В. М., Кофанов Ю. Н., Стрельников В. П. Надёжность бортовых аэрокосмических систем управления. М.: Энергоатомиздат, 2015. 699 с.
2. Шубинский И. Б. Функциональная надёжность информационных систем. Методы анализа. Ульяновск: Печатный двор, 2012. 296 с.
3. Шубинский И. Б. Надёжные отказоустойчивые информационные системы. Методы синтеза. Ульяновск: Печатный двор, 2016. 544 с.
4. Новичков В. М., Мишин Ю. Н. Оценка эффективности и проведение технологического эксперимента при проектировании тензорезисторов на основе моносulfида самария // Материалы XX международной научно-технической конференции, Российской научной школы и Форума «Системные проблемы надёжности, качества, компьютерного моделирования, информационных и электронных технологий в инновационных проектах (Инноватика-2014)» (Сочи, 29 сентября — 8 октября 2014 г.). М.: Концерн «Моринформистема–Агат», 2014. С. 54–55.
5. Галеев А. Г., Захаров Ю. В., Макаров В. П., Родченко В. В. Проектирование испытательных стендов для экспериментальной отработки объектов ракетно-космической техники. М.: Изд-во МАИ, 2014. 328 с.
6. Мошнеев А. А., Ильясов М. Ф., Зверев А. В., Рыков Е. В., Алексеев С. В. Особенности конструкции телескопа Т-170М // Вестник «НПО имени С. А. Лавочкина». 2014. № 5. С. 53–60.
7. Аджян А. П., Аким Э. Л., Алифанов О. М. и др. Машиностроение: Энциклопедия. Т. IV-22: Ракетно-космическая техника / под ред. Легостаева В. П. В 2 кн. Кн. 1. М.: Машиностроение, 2012. 925 с.
8. Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований. В 3-х томах / под ред. В. В. Ефанов, К. М. Пичхадзе. М.: Изд-во МАИ, 2012. Т. 1. 526 с.: ил. ISBN978–5–7035–2300–1.
9. Каминский В. В., Володин Н. М., Соловьев С. М., Мишин Ю. Н., Шаренкова Н. В. Вакуумные технологии изготовления тонкопленочных тензорезисторов на основе sulfида самария для аэрокосмических аппаратов // Вестник ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина». 2013. № 2. С. 26–30.
10. Ильинская Л. С., Иванов В. М., Поднебеснов В. В. Высокотемпературные тензорезисторы на основе жароустойчивых окислов. М.: Энергия, 1973. 72 с.
11. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.
12. Блохин В. Г., Глудкин О. П., Гуров А. И., Ханин М. А. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов. М.: Радио и связь, 1997. 232 с.
13. Макаричев Ю. А., Иванников Ю. Н. Методы планирования эксперимента и обработки данных. Самара: Изд-во СамГТУ, 2016. 131 с.
14. Бодунов Н. М., Дружинин Г. В. Моделирование в задачах производства летательных аппаратов. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2015. 328 с.
15. Kaminskiy V. V., Stepanov N. N., Volodin N. M., Mishin Yu. N. Baroresistor effect and semiconductor thin film baroresistors based on samarium sulfide for spacecraft applications // Solar System Research. 2014. Vol. 48. No. 7. Pp. 561–567.
16. Патрушева Т. Н. Сенсорика. Современные технологии микро- и нанoeлектроники. М.: ИНФРА-М; Красноярск: Изд-во СФУ, 2014. 260 с.
17. Bronovets M. A., Volodin N. M., Mishin Yu. N. Measurement of Friction Forces and Wear in Open Space // Journal of Friction and Wear. 2012. Vol. 33. No. 4. Pp. 279–281.
18. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия-Телеком, 2009. 608 с.

## AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR MADE OF SAMARIUM MONOSULFIDE STRAIN GAGES DEPOSITION PROCESS CONTROL

**VADIM M. NOVICHKOV,**

Moscow, Russia, v13217@ya.ru

**YURY N. MISHIN**

Moscow, Russia, geo375@rambler.ru

**NIKITA I. FILINOV**

Moscow, Russia, nikitayo18@gmail.com

**KEYWORDS:** strain gage; samarium monosulfide; vacuum deposition; technological process automation; quality improvement; automated control system.

### ABSTRACT

Improving reliability of design and life of space aircrafts requires strain gauges creation with new qualities. Such strain gauges are necessary for measuring the stress-strain states of structural elements during ground and flight tests. In this case, the strain gauges require parameters' stability and fine metrological characteristics with a small spread in the batch. This is important when they are connected to a variety of automatic recording devices without additional complex settings, which will ensure high accuracy and stability of the strain gages. To ensure the possibility of stress-strain fields investigation in low-dimensional structures, it is important that the strain gages were of small size. This is useful for design improvement of such products as, for example, small-sized space aircraft. These requirements satisfy the strain gages that are made of samarium monosulfide, but an automated control system of technological process for the production of batches of such strain gauges is obtained as a large spread of their characteristics in a batch, and even greater spread from batch to batch. This greatly reduces the positive effect of the use of a new material – samarium monosulfide, which has a high strain sensitivity, theoretically proven radiation resistance and predictable temperature dependence. To obtain a stable result in the production of such strain gauges it is advisable to use a special automated control system of deposition process. The proposed automated process control system allows taking into account, keeping stable and smoothly adjusting the parameters of the vacuum deposition unit, which was previously unavailable during its operation. To provide this, feedback loop includes special adjustment elements that allows selecting the most rational technological modes, and there is a special technological control of the vacuum pump operation mode, which facilitates obtaining the required characteristics in batches of new samarium monosulfide strain gauges.

### REFERENCES

1. Gribov V.M., Kofanov Yu.N., Strel'nikov V.P. *Nadyozhnost' bortovykh aerokosmicheskikh sistem upravleniya* [Reliability of onboard aerospace control systems]. Moscow: Energoatomizdat, 2015. 699 p. (In Russian)
2. Shubinskij I.B. *Funkcional'naya nadyozhnost' informacionnykh sistem. Metody analiza* [Functional reliability of information systems. Methods of analysis]. Ul'yanovsk: Pечатnyj dvor, 2012. 296 p. (In Russian)
3. Shubinskij I.B. *Nadyozhnye otkazoustojchivye informacionnye sistemy. Metody sinteza* [Reliable fault-tolerant information systems. Synthesis methods]. Ul'yanovsk: Pечатnyj dvor, 2016. 544 p. (In Russian)
4. Novichkov V.M., Mishin Yu.N. Otsenka effektivnosti i provedenie tekhnologicheskogo eksperimenta pri proektirovanii tenzorezistorov na osnove monosul'fida samariya [Evaluation of the effectiveness and carrying out technological experiment in the design of strain gauges based on samarium monosulfide]. *Materialy XX mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Rossiyskoy nauchnoy shkoly i Foruma "Sistemnye problemy nadezhnosti, kachestva, komp'yuternogo modelirovaniya, informatsionnykh i elektronnykh tekhnologiy v innovatsionnykh proektakh" – Innovatika-2014* [Proceedings of the XIX international scientific and technical conference, Russian scientific school and Forum "System problems of reliability, quality, computer modeling, information and electronic technologies in innovative projects (Innovatika-2014)", Sochi, 29 September – 8 October 2014]. Moscow: Kontsern "Morinformistema-Agat", 2014. Pp. 54-55. (In Russian)
5. Galeev A.G., Zaharov Yu.V., Makarov V.P., Rodchenko V.V. *Proektirovanie ispytatel'nykh stendov dlya eksperimental'noj otrabotki ob'ektov raketno-kosmicheskoy tekhniki* [Design of test stands for experimental testing of objects of rocket and space technology].





- Moscow: Moscow Aviation Institute Publ., 2014. 328 p. (In Russian)
6. Moiseev A.A., Il'yasov M.F., Zverev A.V., Rykov E.V., Alekseev S.V. Special features of T-170M telescope's structure. *Vestnik «NPO im. S.A. Lavochkina*. 2014. No. 5. Pp. 53-60. (In Russian)
  7. Adzhyan A.P., Akim E.L., Alifanov O.M. et al. *Mashinostroenie: Entsiklopediya. T. IV-22: Raketno-kosmicheskaya tekhnika* [Mechanical Engineering: Encyclopedia. T. IV-22: Rocket and space technology]. Moscow: Mashinostroenie, 2012. 925 p. (In Russian)
  8. Efanova V.V., Pichkhadze K.M. (Eds.). *Proektirovanie avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov dlya fundamental'nykh nauchnykh issledovanij* [Design of automatic spacecraft for basic scientific research]. In 3 vol. Moscow: MAI Publ., 2012. Vol. 1. 526 p. (In Russian)
  9. Kaminskij V.V., Volodin N.M., Solov'ev S.M., Mishin Yu.N., Sharenkova N.V. Vacuum technologies for manufacturing thin-film samarium sulfide-based strain gauges for aerospace vehicles. *Vestnik "NPO im. S.A. Lavochkina"*. 2013. No. 2. Pp. 26-30. (In Russian)
  10. Il'inskaya L.S., Ivanov V.M., Podnebesnov V.V. *Vysokotemperaturnye tenzorezistory na osnove zharostojkikh okislov* [High-temperature strain gages based on heat-resistant oxides]. Moscow: Energiya, 1973. 72 p. (In Russian)
  11. Bolotin V.V. *Prognozirovaniye resursa mashin i konstrukcij* [Forecasting the life of machines and structures]. Moscow: Mashinostroenie, 1984. 312 p. (In Russian)
  12. Blohin V.G., Gludkin O.P., Gurov A.I., Hanin M.A. *Sovremennyy eksperiment: podgotovka, provedenie, analiz rezul'tatov*. [Modern experiment: preparation, implementation, analysis of results]. Moscow: Radio i svyaz', 1997. 232 p. (In Russian)
  13. Makarichev Yu.A., Ivannikov Yu.N. *Metody planirovaniya eksperimenta i obrabotki dannykh* [Methods of experiment planning and data processing]. Samara: Samara State Technical University (Samara Polytech) Publ., 2016. 131 p. (In Russian)
  14. Bodunov N.M., Druzhinin G.V. *Modelirovanie v zadachah proizvodstva letatel'nykh apparatov* [Modeling in problems of aircraft production]. Kazan': Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI Publ., 2015. 328 p. (In Russian)
  15. Kaminskiy V.V., Stepanov N.N., Volodin N.M., Mishin Yu.N. Baroresistor effect and semiconductor thin film baroresistors based on samarium sulfide for spacecraft applications. *Solar System Research*. 2014. Vol. 48. No 7. Pp. 561-567.
  16. Patrusheva T.N. *Sensorika. Sovremennye tekhnologii mikro- i nanoelektroniki* [Sensorics. Modern technologies of micro- and nanoelectronics]. Moscow: INFRA-M; Krasnoyarsk: SibFU Publ., 2014. 260 p. (In Russian)
  17. Bronovets M.A., Volodin N.M., Mishin Yu.N. Measurement of Friction Forces and Wear in Open Space. *Journal of Friction and Wear*. 2012. Vol. 33. No 4. Pp. 279-281.
  18. Denisenko V.V. *Komp'yuternoe upravlenie tekhnologicheskim processom, eksperimentom, oborudovaniem* [Computer control of technological process, experiment, equipment]. Moscow: Goryachaya liniya-Telecom, 2009. 608 p. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Novichkov V.M., PhD, Docent, Associate Professor at the Department 305, Moscow Aviation Institute (National Research University); Mishin Yu.N., Senior lecturer at the Department 305, Moscow Aviation Institute (National Research University); Filinov N.I., Postgraduate at the Department 305, Moscow Aviation Institute (National Research University).

---

**For citation:** : Novichkov V.M., Mishin Yu.N., Filinov N.I. Automated control system for made of samarium monosulfide strain gages deposition process control. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 58-65. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10225 (In Russian)



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10226

# ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

**САЕНКО****Игорь Борисович<sup>1</sup>****СТАРКОВ****Артем Михайлович<sup>2</sup>****АННОТАЦИЯ**

Обоснованы актуальность и объективная необходимость применения технологии виртуальных локальных вычислительных сетей (virtual local area network - VLAN), которая позволяет повысить безопасность и пропускную способность корпоративной информационной системы, используя существующее коммутационное оборудование. Разработан методический аппарат построения виртуальных локальных вычислительных сетей в корпоративных информационных системах, позволяющий находить оптимальный вариант организации VLAN, который удовлетворяет предъявляемым требованиям. Исследованы требования и критерии, предъявляемые к корпоративной информационной системе, ее технической основе – локальной вычислительной сети, а также к телекоммуникационной технологии – виртуальной локальной вычислительной сети. Исходя из современных требований, предложен вариант состоятельной и безизбыточной системы параметров, характеризующих качество предоставляемых информационных услуг в корпоративной информационной системе. Предполагается, что в состав данной системы обязательно должны входить параметры, учитывающие пропускную способность, качество предоставляемых информационных услуг, а также политику безопасности корпоративной информационной системы. Проанализированы имитационные средства построения локальных вычислительных сетей, а также подходы к решению оптимизационных задач с использованием эволюционных (генетических) алгоритмов, так как задача поиска оптимального варианта построения виртуальных локальных вычислительных сетей является NP-полной и относится к задачам, неразрешимым формальными методами в приемлемые сроки. Предметом исследования является роль и место виртуальных локальных вычислительных сетей в корпоративных информационных системах и потенциал их применения. Целью работы является разработка методического аппарата для формирования виртуальных локальных вычислительных сетей в корпоративных информационных системах. Практическая значимость: существенным практическим аспектом предложенного подхода является тот факт, что существующие эмпирические рекомендации по организации виртуальных локальных вычислительных сетей не позволяют в полном объеме обеспечить выполнение показателей функционирования локальной вычислительной сети при трансформации корпоративной структуры. При этом выбранный вариант организации виртуальных вычислительных сетей должен обеспечивать показатели качества функционирования корпоративной информационной системы не ниже требуемых.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** корпоративная информационная система; локальная вычислительная сеть; безопасность; разграничение доступа; виртуальные локальные вычислительные сети; имитационное моделирование.

**Сведения об авторах:**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, профессор Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, [ibsaen@mail.ru](mailto:ibsaen@mail.ru)

<sup>2</sup>адъюнкт Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, [kadet58v@mail.ru](mailto:kadet58v@mail.ru)

**Для цитирования:** Саенко И. Б., Старков А. М. Подход к моделированию виртуальных локальных вычислительных сетей в корпоративных информационных системах // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 66–77. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10226

Согласно ГОСТ Р 52653–2006 и ГОСТ Р В 51987–2002, корпоративная информационная система (КИС) представляет собой разновидность автоматизированной системы управления (АСУ), доступ к которой имеет ограниченный круг лиц, определенный ее владельцем или соглашением участников этой системы. Данной системе присуща высокая динамичность вычислительных сетей (ВС), вызванная изменениями состава и взаимного местоположения как отдельных работников, так и в целом подразделений предприятия, а также резкие перепады информационной нагрузки на отдельных направлениях [1,2]. Таким образом, непрерывно в системе производится поиск решения, позволяющего сбалансировать взаимозависимые свойства: пропускную способность и безопасность.

Одним из перспективных способов решения существующего противоречия является применение технологии «виртуальной локальной вычислительной сети» (virtual local area network — VLAN). Под VLAN понимается технология логического сегментирования физически единой локальной вычислительной сети (ЛВС) на множество широковещательных доменов и предоставления пользователям доступа к сетевым ресурсам в соответствии с их принадлежностью к определенным доменам [3,4]. Благодаря обеспечению доступа должностным лицам только в пре-

делах своего VLAN, исключая доступ в соседний VLAN, повышается безопасность ЛВС. Основу данной технологии составляют управляемые коммутаторы, которые обеспечивают разделение сетевого ресурса на основе неполнодоступной схемы связи портов.

Для оценки влияния технологии VLAN на пропускную способность сети разработана имитационная модель вычислительной сети КИС с использованием программного средства Riverbed Modeler (рис. 1).

В данной модели абонентам предоставляются следующие информационные услуги: интернет-трафика (HSI — High Speed Internet), IP — телефонии (VoIP), VoD — сервисы (VoD), видеоконференцсвязи и multicast-сервисов (широковещательное ТВ (BTV), музыкальные каналы и др.). Структурно модель представляет собой вычислительную сеть, состоящую из трех районов, объединенных между собой коммутаторами. В одном районе сосредоточены системы формирования услуг, которые распространяются по созданным на коммутаторах VLAN-каналам до абонентов в два других района. В каждом районе по 1000 пользователей, подключенных к тем или иным услугам. В модели сконфигурировано 5 VLAN каналов в соответствии с предоставляемыми абонентам информационными услугами. План организации VLAN представлен на рис. 2.

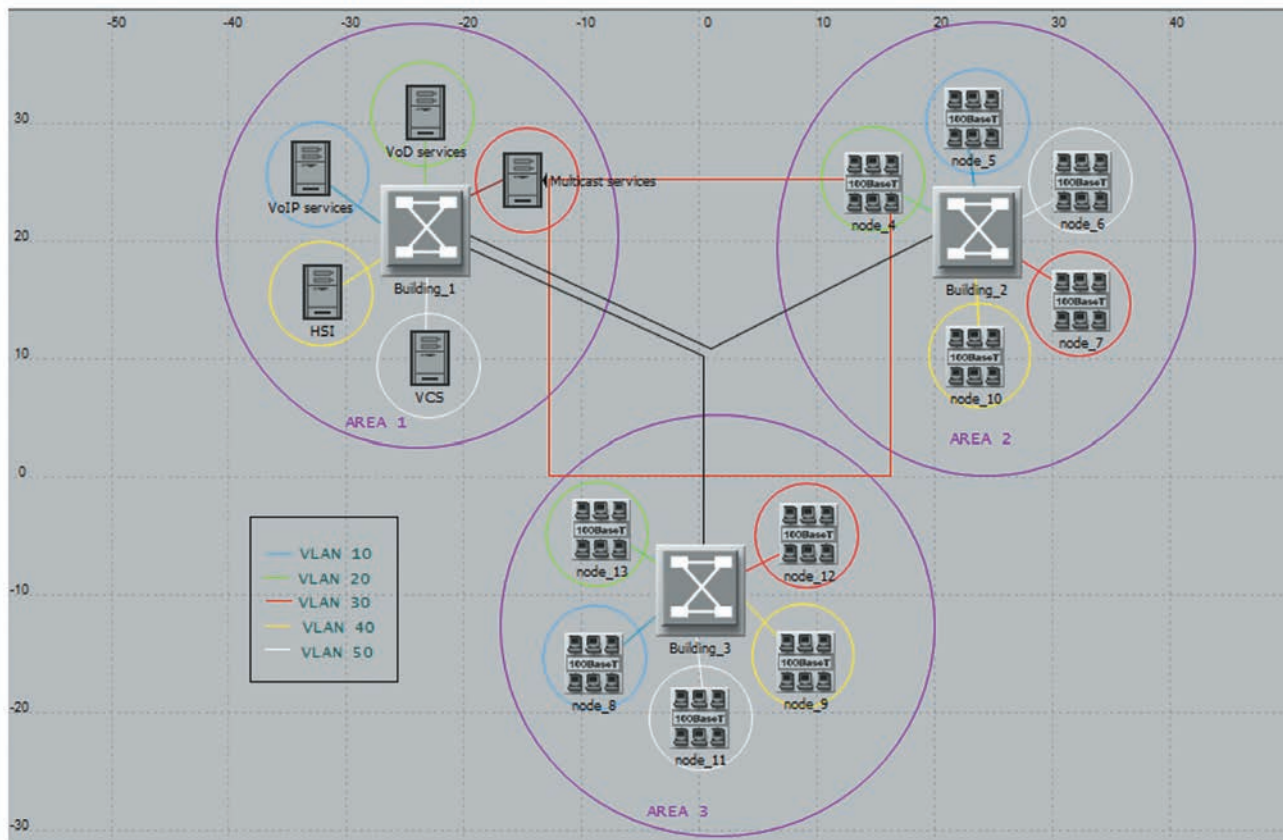


Рис. 1. Модель вычислительной сети КИС

Услуги	VoIP	VoD	Multicast-сервисы	HIS	Видеоконференцсвязь
№ VLAN	10	20	30	40	50

Рис. 2. План организации VLAN в модели вычислительной сети КИС

Имитация работы модели была проведена продолжительностью 60 секунд с использованием VLAN каналов, а затем без них. В результате проведенного моделирования время задержки пакетов с VLAN уменьшается на 20%, также загрузка коммутационного оборудования уменьшается до 25% (рис. 3). Таким образом, на основании проведенного моделирования установлено, что технология VLAN позволяет повысить эффективную пропускную способность

сети. Однако требуется разработка методического аппарата, позволяющего синтезировать оптимальный вариант организации VLAN, который обеспечивает выполнение предъявляемых показателей качества не ниже требуемых для корпоративных информационных систем.

Для решения задачи формирования оптимального варианта организации VLAN необходимо, в первую очередь, сформировать (синтезировать) топологическую структуру

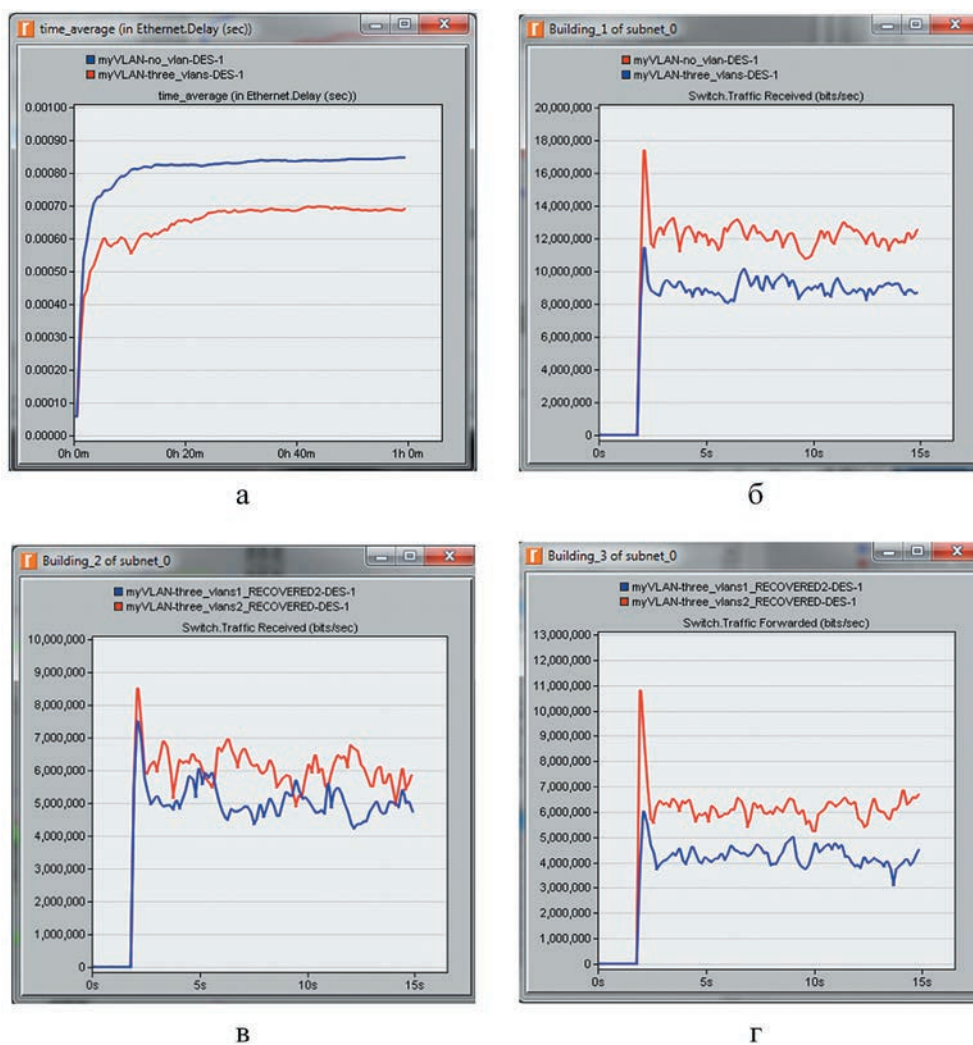


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования:

а – время задержки передачи пакетов с VLAN и без использования VLAN; б – количество бит/с переданных коммутатором 1 с VLAN и без VLAN; в – количество бит/с переданных коммутатором 2 с VLAN и без VLAN; г – количество бит/с переданных коммутатором 3 с VLAN и без VLAN

ЛВС КИС. В задачах синтеза структура ЛВС, как математический объект, представляется в виде взвешенного неориентированного графа [5, 6]:

$$G = \{A, B, C\}, \quad (1)$$

где  $A = \{a_1, \dots, a_i\}$ ,  $y = \overline{1, I}$  — множество вершин графа, соответствующие множеству сетевых устройств, которые являются источниками и (или) приемниками информации;  $B = \{b_{mn}\}$  — множество ребер графа между вершинами  $a_i$  и  $a_j$ , которые соединяют сетевые устройства;  $C = \{c_{ij}\}$  — пропускная способность ребер графа, которые соединяют сетевые устройства.

Интенсивность информационного обмена в КИС задается множеством информационных потоков —  $\Lambda = \{\lambda_{ij}\}$ . Множество  $\Lambda$  характеризует взаимосвязь абонентов в ЛВС с учетом передаваемой информации в единицу времени ( $\lambda_{ij}$  — информационный поток между  $i$ -м и  $j$ -м пользователями в ЛВС).

Для обеспечения доступа к информационным ресурсам задается матрица доступа между элементами сети —  $\mathbf{D} = \|d_{ij}\|$ , где при  $d_{ij} = 1$ , ( $i, j = 1, \dots, n$ ) обмен между компьютерами  $i$  и  $j$  разрешен, в противном случае — невозможен. Данная матрица строится на основании политики безопасности, установленной в КИС.

Поскольку технология построения сетей позволяет логически разбивать ЛВС на множество широкополосных доменов, то для правильной настройки VLAN требуется построить булеву матрицу разрешенных информационных потоков  $A[n, n]$ ,  $i, j = 1, n$ , где при  $a_{ij} = 1$  обмен между компьютерами  $i$  и  $j$  разрешен, в противном случае — невозможен.

Исходными данными для построения матрицы  $\mathbf{A}$  являются:  $\Lambda$  — множество интенсивности информационных потоков;  $\mathbf{D}$  — матрица доступа между абонентами ЛВС.

Для дальнейшего формирования модели VLAN требуется сформировать матрицу структуры построения VLAN согласно следующему алгоритму. Положим, что мы сформировали в компьютерной сети  $k$  виртуальных подсетей. Каждая из этих подсетей объединяет два и более компьютера.

Распределение компьютеров по подсетям с помощью матрицы  $S[n, k]$ . Если  $S_{ij} = 1$  ( $i, j = 1, \dots, k$ ), то компьютер  $i$  принадлежит подсети  $j$ . В противном случае подсеть  $j$  не охватывает компьютер  $i$ .

Легко заметить, что матрица  $\mathbf{A}$  играет роль матрицы «АРМ — VLAN», а матрица  $\mathbf{S}$  является матрицей «АРМ — АРМ». Между булевыми матрицами  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{S}$  существует следующая зависимость:

$$\mathbf{A} = \mathbf{S} \otimes \mathbf{S}^T, \quad (2)$$

где  $\mathbf{S}^T$  — транспонированная матрица  $\mathbf{S}$ , символ  $\otimes$  — обозначает булево матричное умножение, которое является формой матричного умножения, основанной на правилах булевой алгебры.

Булево матричное умножение позволяет получать элементы матрицы  $\mathbf{A}$  согласно следующему выражению:

$$a_{ij} = \bigvee_{j=1}^n (s_{ij} \wedge s_{ji}). \quad (3)$$

Данная задача является разновидностью задач булевой матричной факторизации (БМФ), которая сводится к нахождению булевых матриц  $\mathbf{W}$  и  $\mathbf{H}$ , связанных с заданной булевой матрицей  $\mathbf{A}$  уравнением:

$$\mathbf{A} = \mathbf{W} \otimes \mathbf{H}, \quad (4)$$

где  $\mathbf{A} = \mathbf{A} [n, m]$ ,  $\mathbf{W} = \mathbf{W} [n, k]$  и  $\mathbf{H} = \mathbf{H} [k, m]$ .

В ходе сравнения выражений (2) и (4) установлено, что выражение (2) является частным случаем выражения (4) при выполнении следующих двух условий. Первое — выполняется равенство  $m = n$ . Второе условие имеет следующую запись:

$$w_{ij} = h_{ji} \text{ для любых } i = 1, \dots, n \text{ и } j = 1, \dots, k. \quad (5)$$

Из того, что рассматриваемая задача является разновидностью задач БМФ, следует, что она является NP-полной и означает ее неразрешимость формальными методами в приемлемые сроки. Поэтому для решения такого класса задач требуется разработка эмпирических алгоритмов [7–10]. Существует достаточно большое количество разнообразных классификаций современных информационных технологий, учитывающих парадигмы рассматриваемой предметной области. Применительно к области управления ЛВС можно предложить классификацию, представленную на рис. 4.

Как показывает анализ существующих методов обработки знаний (экспертных систем, генетических алгоритмов, нечеткой логики, нейронных сетей), наиболее подходящим для решения данной оптимизационной задачи являются генетические алгоритмы [11–13].

Генетический алгоритм — это способ решения задач оптимизации, использующий для поиска оптимального решения принципы эволюционного развития. Основным механизмом эволюции обладает двумя наиболее характерными чертами. Во-первых, новые особи, появляющиеся в некоторой популяции, наследуют свойства своих родителей, причем в равных долях (механизм генетического скрещивания и наследования). Во-вторых, с некоторой вероятностью в течение своей жизни особи могут изменять

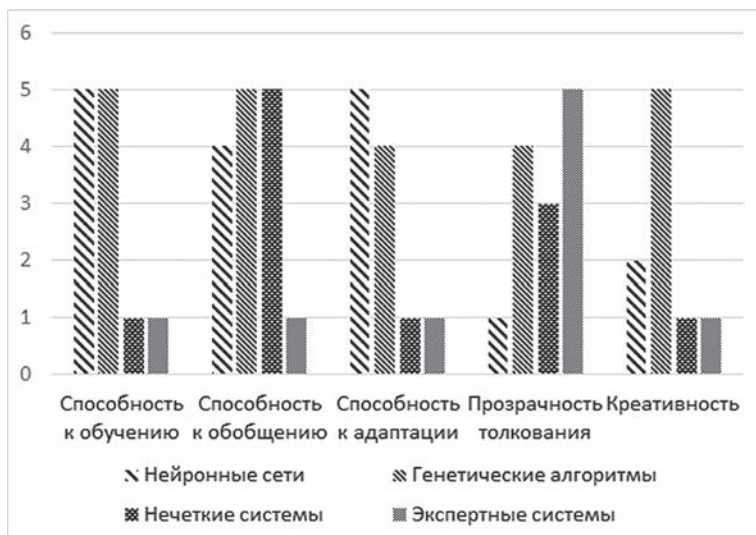


Рис. 4. Сравнение экспертных оценок интеллектуальных систем

свои свойства (гены), т.е. мутировать. Эти черты положены в основу генетических алгоритмов оптимизации (ГАО).

ГАО представляет собой метод параллельного поиска глобального экстремума, основанный на использовании в процессе поиска сразу нескольких закодированных соответствующим образом точек (вариантов решения), которые образуют развивающуюся по определенным случайным законам популяцию [8,10,12].

Главное отличие ГАО от традиционных методов поиска оптимального решения состоит в том, что на каждом своем шаге вычислений, данный алгоритм имеет не с одним, а с несколькими значениями вектора оптимизируемых параметров, которые образуют популяцию хромосом.

В основу построения метода решения задачи первоначальной конфигурации VLAN положим генетический алгоритм. Существуют различные взгляды на последовательность и содержание шагов генетического алгоритма [7,9,13].

Предлагается придерживаться следующих шагов.

1. Определение функции пригодности, которая показывает, почему одно из возможных решений задачи мы считаем лучше, чем другое решение.

2. Кодирование возможных решений задачи. Закодированное решение в терминологии генетического алгоритма называется особью. Обычно решения кодируются с помощью символьных или числовых строк. Отдельный символ этого кода называется геном. Совокупность генов в строке называется хромосомой.

3. Формирование исходного множества особей, или популяции. Как правило, этот процесс проходит случайным образом, однако количество особей в популяции  $N$  является постоянным. Оценка всех особей в популяции с помощью функции пригодности и сортировка их по убыванию ее значения.

4. Выбор пар особей, которые называются родителями, для формирования новых особей, называемых потомками, путем скрещивания. Хромосомы родителей разбиваются на фрагменты. Затем происходит обмен фрагментами родительских хромосом, чтобы сформировать хромосомы потомков. Новые особи оцениваются с помощью функции пригодности и добавляются в текущую популяцию.

5. Выбор особей для мутации их хромосом. Мутация и оценка этих особей.

6. Селекция популяции, которая заключается в оставлении в ней  $N$  особей, обладающих самыми высокими значениями функции пригодности. Остальные особи (самые «плохие») удаляются из популяции.

7. Если выполняются критерии завершения алгоритма, то в качестве решения оптимизационной задачи выбирается особь с максимальным значением функции пригодности. Иначе происходит возврат к шагу 3.

Для того чтобы использовать генетический алгоритм для решения данной задачи, необходимо определить функцию пригодности и порядок кодирования решений.

В известных работах по применению генетических алгоритмов для решения задачи БМФ функция пригодности строилась только на основании евклидова расстояния между заданной булевой матрицей и булевого произведения матриц. При полном совпадении этих матриц функция пригодности принимала максимальное значение. Однако в нашем случае евклидово расстояние между заданной булевой матрицей  $A$  и булевым произведением матриц  $S \otimes S^T$  не является достаточным. По одному этому критерию могут быть получены тривиальные решения, а они являются плохими. Необходимо дополнительно учитывать требование того, чтобы в матрице  $S$  количество столбцов  $k$  ( $k$  — количество виртуальных подсетей при решении задачи

2) было минимальным. Формально этот критерий может быть представлен следующим образом:

$$\begin{cases} k \rightarrow \min, \\ k = 1, \dots, M; M = \left| \left\{ a_{ij} \mid a_{ij} = 1, i > j \right\} \right|, \\ \mathbf{S}[n, k] \otimes \mathbf{S}[n, k]^T = \mathbf{A}[n, n]; \mathbf{A} = \|a_{ij}\|. \end{cases} \quad (6)$$

Однако для обеспечения функционирования ЛВС в рамках установленных руководящими документами требований, необходимо создать соответствующую систему управления ЛВС [6]. Управление VLAN должно осуществляться в реальном масштабе времени, т. е. на основе имеющихся данных о сети необходимо принять решение о том, в какое время, и какое управляющее воздействие необходимо реализовать с целью максимизации эффективности. Решение не реализовывать никаких управлений на определенном промежутке времени является одним из допустимых вариантов. Учитывая то, что ЛВС является динамической системой со сменными критериями качества, данная постановка задачи имеет следующую запись:

$$\Phi(r_{out}(t), r_{in}(t), y(t), T) \xrightarrow{u(t)} \max, \quad (7)$$

где  $r_{out}(t) \in R_{out}$ ,  $r_{in}(t) \in R_{in}$ ,  $u(t) \in U$  — внешние, внутренние возмущающие и управляющие воздействия, действующие на сеть в момент времени  $t$ ,  $y(t) \in Y$  — реакция сети.

Анализ различных источников информации по проблемам исследования подходов к синтезу структуры АСУ показал, что данные системы включают следующие уровни: организационного управления, оперативно-технического управления, технологического управления [14–16].

На уровне организационного управления (ОУ) обеспечивается реализация целевых задач функционирования системы КИС путем планирования (разработки и коррекции документов по построению) и управления построением системы.

На уровне оперативно-технического управления (ОТУ) осуществляется контроль состояния и изменение структуры вычислительных сетей, управление качеством предоставления услуг связи во взаимодействии с подсистемами организационного и технологического управления.

На уровне технологического управления (ТУ) осуществляется контроль и изменение технического состояния сетевых элементов вычислительной сети (ВС).

Несмотря на определенные каждому уровню целевые задачи, в настоящее время в системах управления все чаще происходит слияние и интеграция функциональных задач различных уровней между собой [14,17,18]. Это, в свою очередь, затрудняет рассмотрение инновационных решений в рамках одного уровня.

Однако в соответствии со своей областью применения технология VLAN относится к уровню ТУ ЛВС КИС.

Главная цель технологического управления VLAN заключается в обеспечении передачи максимального количества сообщений с заданным качеством. При этом, процесс управления является информационным, представляющим совокупность различного характера процедур и операций по сбору, обработке, преобразованию информации в интересах формирования управляющего воздействия на управляемые объекты и их доведения до исполнителя с контролем качества исполнения.

В общем случае цикл ТУ VLAN включает в себя следующие этапы: сбор данных, анализ состояния сети, выработка решений, реализация решений (рис. 5).

На этапе сбора данных синтезируется структура ЛВС путем опроса текущего состояния элементов сети и каналов связи между ними.

На этапе анализа состояния сети определяются характеристики ЛВС и ее элементов (пропускная способность сети, время передачи сообщений, нагрузка на сеть, качество предоставляемых услуг и др.).

На этапе выработки решений определяется соответствие полученных на предыдущих этапах параметров сети требованиям, предъявляемым к информационному обмену в ЛВС КИС. На основании данного сравнения



Рис. 5. Цикл технологического управления VLAN

вырабатывается решение (управляющее воздействие) по формированию (изменению) структуры ЛВС и ее элементов, порядку использования, а также способам функционирования и восстановления.

На этапе реализации решений производится формирование структуры VLAN и ее элементов в соответствии с принятым решением.

Для ЛВС, как объекту управления, присущи следующие особенности: сложность, большая размерность и территориальная распределенность, динамичность структуры, ограниченность ресурсов для их построения, а также предъявляемые жесткие требования к процессу управления ЛВС.

Учитывая (6) и (7), задача по поиску оптимального варианта организации подсетей VLAN в КИС —  $X$  имеет следующую запись:

$$\begin{cases} V(X) \geq V_{treb} \\ K_{yst} \Rightarrow \max \end{cases} \quad (8)$$

где  $X = \{x_k\}, k=1..K$  — множество подсетей VLAN,  $V = \{v_n\}, n=1..N$  — множество выходных характеристик ЛВС КИС,  $K_{yst}$  — установленный критерий оптимизации (минимальное количество виртуальных сетей), при условии выполнения следующих требований:

$$TP_q = \{P_\lambda^{Tp}, Q_\lambda^{Tp}, K_d^{Tp}\}, q = \overline{1, Q}, \quad (9)$$

где  $P_\lambda^{Tp}$  — подмножество требований к значениям вероятностей обмена заданными потоками сообщений в установленные сроки и с требуемым качеством  $Q_\lambda^{Tp}$ ,  $K_d^{Tp}$  — подмножество требований к значениям коэффициента доступности ДЛ к ресурсам ЛВС.

Учитывая трудноформализуемость задач TV VLAN, случайность изменения состояний объекта управления при внутренних и внешних воздействиях и необходимость непрерывного функционирования системы управления требуется создание соответствующего модели и инструментария к ней [5, 19–22].

Таким образом, модель функционирования TV VLAN должна обеспечить решение следующих задач:

формализовать процесс циркуляции в ней информации;

осуществить параметрическое представление и согласование математической модели ВЛВС, имитационной модели ЛВС и системы технологического управления;

предоставить инструмент выработки решения по организации ЛВС КИС в режиме времени близкому к реальному, также рекомендации по формированию и изменению настроек коммутационного оборудования.

В связи с многократным использованием данных при их одноразовом вводе, а также обеспечения на выработки решения по организации ВЛВС, в режиме времени близкому к реальному, предлагается использовать базу данных.

Модель технологического управления VLAN КИС представлена на рис. 6.

На начальном этапе функционирования модели технологического управления VLAN КИС требуется произвести формализацию исходных данных. Решение данной задачи производится в следующих блоках: «формализация структуры ЛВС», «формализация требований к функционированию ЛВС», «формализация виртуальных подсетей».

Следующим этапом является организация циклического выполнения следующих действий: сбора данных о состоянии сети, ее оценка, выработка оптимального ре-



Рис. 6. Модель технологического управления ВЛВС КИС



шения и принятие оператором соответствующего сложившейся обстановке варианта построения ЛВБС.

Алгоритм функционирования модели технологического управления ЛВБС представлен на рис. 7.

Блок 1. Формирует исходные данные — формализуя топологическую структуру сети используя граф вида  $G = \{A, B, C\}$  и производит построение множества информационных потоков между узлами графа —  $\Lambda = \{\lambda_{ij}\}$ , задает матрицу доступа между —  $D = \|d_{ij}\|, d_{ij} \in [0,1]$  основываясь на политике безопасности ЛВБС.

Блок 2. Формирование множества требований к ЛВБС —

$$TP_q = \{P_\lambda^{Tp}, Q_\lambda^{Tp}, K_d^{Tp}\}, q = \overline{1, Q}.$$

Блок 3. Построение множества подсетей VLAN —  $X = \{x_k\}, k = \overline{1..K}$ .

Блок 4. Полученные исходные данные от блоков 1–3 сохраняются в соответствующих полях и таблицах БД.

Блок 5. Производится сбор данных о состоянии сети и формирование множества выходных характеристик ЛВБС —  $V = \{v_n\}, n = \overline{1..N}$ , а также о каждом узле графа  $a_p$ , который имеет идентификационный номер (IP-адрес), описывается в момент времени  $t$  следующей совокупностью параметров: типом устройства  $u = \overline{1,2}$ , где 1 — АРМ (сервер), 2 — коммутационное устройство (коммутатор, маршрутизатор), принадлежностью к VLAN —  $x_k$ , временем задержки при передаче сообщения —  $t_{\text{зад}}$ , наличием связей —  $e_k$ .

Блок 6. Запись в БД множества выходных характеристик ЛВБС —  $V = \{v_n\}, n = \overline{1..N}$ , полученных в блоке 5.

Блок 7. Проверка наличия отклонений текущего состояния сети, полученного в ходе работы блоков 1–5, и предыдущего состояния сети, полученного из БД. Данный блок анализирует следующие характеристики сети: пропускную способность сети  $C$ , среднее время передачи сообщений  $T_{\text{перс}}$  по маршрутам при заданной нагрузке  $\Lambda$ , качество предоставляемых услуг  $Q$ , доступность абонентам  $D$  информационных услуг, связность графа сети —  $E_{\text{гр}}$ .

В случае отсутствия расхождений между двумя состояниями, то генерируется оптимальный вариант — не реализовывать никаких управлений на данном промежутке времени, которое является одним из допустимых вариантов — блок 8.

Если расхождение между состояниями обнаружено, то выполняется блок 9, в котором вырабатывается управляющее воздействие  $\Phi(t)$ , позволяющее максимально повысить эффективность сети на интервале времени  $T$ :  $\Phi(r_{\text{out}}(t), r_{\text{in}}(t), y(t), T) \xrightarrow{u(t)} \max$  и обеспечить оптимальный вариант организации подсетей VLAN в ЛВБС —  $X$ , выполняющий следующие условия  $\begin{cases} V(X) \geq V_{\text{треб}} \\ K_{\text{yst}} \Rightarrow \max \end{cases}$ .

Блок 10. Вывод на АРМ администратора (оператора) ЛВБС полученного оптимального варианта организации подсетей VLAN.

Блок 11. Проверка выбора оператором предложенного решения, а также отдачи соответствующих административных указаний.

В случае отсутствия решения оператора, повторный запрос. При наличии решения оператора — переход к следующему блоку.

Блок 12. Проверка принятого решения оператора на наличие команды об окончании работы модели.

В случае положительной проверки — завершение работы модели.

При отрицательной проверки запись принятого оператором решения в БД — блок 13, реализация данного решения — блок 14 и переход к блоку 1.

Для апробации полученных результатов, а также проверки различных вариантов построения структуры VLAN целесообразно продолжить использование программного средства имитационного моделирования Riverbed Modeler [23]. Данная программная система предоставляет широкие возможности моделирования вычислительной сети, представленной в графическом виде, что является одним из основных преимуществ, так как пользователь имеет возможность видеть, как всю сеть в целом, так и при необходимости отдельные ее участки. Также можно учитывать размеры модели сети, создавая проекты на шаблоне глобального масштаба, районного, кампусного или размером офиса, учитывая расстояния между узлами. При необходимости имеется возможность использовать схему здания, где размещается или планируется разместить вычислительную сеть, получая готовый план-проект, который можно изменять только в рамках ограниченной среды размещения сети [23,24].

Еще одним преимуществом данного продукта является, что Riverbed Modeler Academic Edition является бесплатной утилитой, предназначенной в образовательных целях для студентов учебных заведений.

Также данный программный продукт позволяет строить модель функционирования ЛВБС без привязки к конкретному производителю коммутационного оборудования, и в нем реализована функция VLAN [25].

## Литература

1. Степанова И. В., Мохаммед Омар А. А. Использование перспективных технологий для развития распределенных корпоративных сетей связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 6. С. 10–15.
2. Гудов А. М., Семенихина М. В. Имитационное моделирование процессов передачи трафика в вычислительных сетях // Управление большими системами. 2010. № 31. С. 130–161.

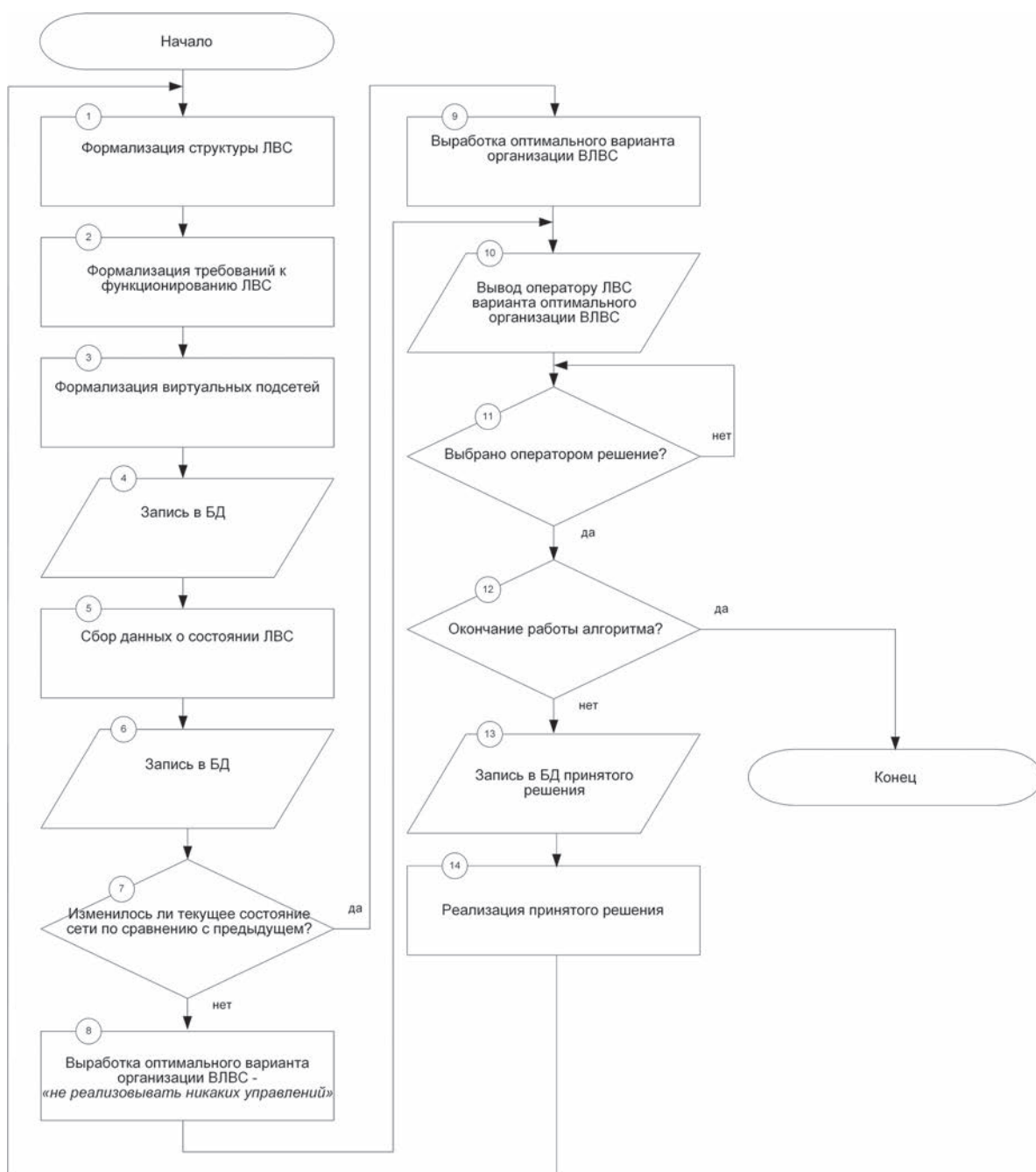


Рис. 7. Алгоритм функционирования модели технологического управления VLAN

3. Ермаков А. Е. Основы конфигурирования корпоративных сетей Cisco. М.: УМЦ ЖДТ, 2013. 247 с.

4. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. 333 с.

5. Котенко И. В. Теория и практика построения автоматизированных систем информационной и вычислительной поддержки процессов планирования связи на основе но-

вых информационных технологий. СПб.: Изд-во ВАС, 1998. 403 с.

6. Фомин Л. А., Будко П. А. Эффективность и качество инфокоммуникационных систем. Методы оптимизации: Монография. М.: Физико-математическая литература, 2008. 296 с.

7. Саенко И. Б., Котенко И. В. Применение средств генетической оптимизации и визуального анализа для фор-

мирования схем доступа в ВЛВС // Информационные технологии и вычислительные системы. 2015. № 1. С. 33–46.

8. *Saenko I., Kotenko I.* Design of Virtual Local Area Network Scheme based on Genetic Optimization and Visual Analysis // Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications (JoWUA). 2014. Vol. 5. No. 4. Pp. 86–102.

9. *Miettinen P.* Dynamic Boolean Matrix Factorizations // Proceedings of the 2012 IEEE 12th International Conference on Data Mining, ACM, New York, 2012. Pp. 519–528.

10. *Батищев Д. И.* Генетические алгоритмы решения экстремальных задач. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1995. 69 с.

11. *Терехов В. И.* Применение гибридных систем вычислительного интеллекта для выбора рационального варианта управленческого решения // Военная мысль. 2009. № 3. С. 30–34.

12. *De Jong K. A.* Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems. The University of Michigan, 1975. 271 p.

13. *Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М.* Генетические алгоритмы. 2-е изд. М.: ФИЗМАЛИТ, 2006. 320 с.

14. *Арсланов Х. А., Баширцев А. С., Лихачев А. М.* Автоматизированная система управления связью в Вооруженных Силах Российской Федерации и приоритетные направления ее развития. // Связь в вооруженных силах Российской Федерации — 2016. С. 17–20. URL: <https://army.informost.ru/2016/pdf/1-5.pdf> (дата обращения: 16.10.2018).

15. *Арсланов Х. А., Абрамович А. В., Лихачев А. М.* Концептуальные основы развития объединенной автоматизированной цифровой системы связи Вооруженных Сил Российской Федерации // Связь в вооруженных силах Российской Федерации — 2014. С. 18–24. URL: <https://army.informost.ru/2014/pdf/1-04.pdf> (дата обращения: 16.10.2018).

16. *Арсланов Х. А., Лихачев А. М.* Актуальные научно-практические проблемы развития ОАЦСС ВС РФ // Связь в вооруженных силах Российской Федерации — 2015. С. 29–36. URL: <https://army.informost.ru/2015/pdf/1-14.pdf> (дата обращения: 16.10.2018).

17. *Филимонов А. Ю.* Построение мультисервисных сетей Ethernet. СПб: БХВ-Петербург, 2007. 592 с.

18. *Бушуев С. Н., Осадчий А. С., Фролов В. М.* Теоретические основы создания информационно-технических систем. СПб: Изд-во ВАС, 1998. 404 с.

19. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2007. 960 с.

20. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания: пер с англ. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

21. *Клейнрок Л.* Вычислительные системы с очередями: пер с англ. М.: Мир, 1979. 600 с.

22. *Боев В. Д., Белоус Д. В.* Проектирование и моделирование систем. СПб.: ВАС, 2012. 416 с.

23. *Дорофеев А. С., Головин В. Н.* Имитационное моделирование самоорганизующейся сети в Riverbed modeler academic edition // Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. «Образование и наука в современных реалиях» (Чебоксары, 17 дек. 2017 г.). Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. С. 185–188.

24. *Ушаков Ю. А., Коннов А. Л., Полежаев П. Н., Шухман А. Е.* Имитационная модель самоорганизующейся виртуальной частной сети // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 13 (188). С. 216–221.

25. *Тарасов В. Н., Бахарева Н. Ф., Малахов С. В., Ушаков Ю. А.* Проектирование и моделирование сетей связи в системе Riverbed Modeler. Самара: Изд-во ПГУТИ, 2016. 260 с.



## THE APPROACH TO MODELING VIRTUAL LOCAL AREA NETWORKS IN THE CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

**IGOR B. SAENKO**

St. Petersburg, Russia, ibsaen@mail.ru

**ARTEM M. STARKOV**

St. Petersburg, Russia, kadet58v@mail.ru

**KEYWORDS:** corporate information system; local computing network; security; access control; virtual local area networks; simulation modeling.

### ABSTRACT

The relevance and objective necessity of applying the technology of virtual local area networks, which allows us to increase the security and throughput of a corporate information system using existing switching equipment, are substantiated. The methods for creating virtual local computer networks in corporate information systems has been developed, which makes it possible to find the optimal variant of virtual local area networks organization that meets the requirements. The requirements and criteria for the corporate information system, its technical basis – the local computer network, as well as the telecommunication technology – the virtual local computer network are investigated. Based on modern requirements, a variant of a well-off and non-redundant system of parameters characterizing the quality of information services provided in a corporate information system has been proposed. It is assumed that this system must include parameters that take into account bandwidth, the quality of information services provided, as well as the security policy of the corporate information system. Analyzed simulation tools for creating local computer networks, as well as approaches to solving optimization problems using evolutionary (genetic) algorithms, since the task of finding the optimal variant for constructing virtual local computer networks is NP-complete and refers to problems that are unsolvable by formal methods in a reasonable time.

The subject of the research is the role and place of virtual local computer networks in corporate information systems and the potential of their application.

The aim of the work is developing the methods for creating the virtual local computer networks in corporate information systems.

Practical significance: the essential practical aspect of the proposed approach is the fact that the existing empirical recommendations on the organization of virtual local computer networks do not allow us to make full implementation of the LAN operating indicators during the transformation of the corporate structure. In this case, the chosen variant of the organization of virtual computer networks should provide indicators of the quality of corporate information system operating not lower than the required ones.

### REFERENCES

1. Stepanova I.V., Mokhamed Omar A.A. The use of promising technologies for the development of distributed corporate communication networks. *T-Comm*. 2017. Vol. 11. No. 6. Pp. 10-15. (In Russian)
2. Gydov A.M., Semenikhina M.B. Traffic transfer processes simulation in computing networks. *Large-Scale Systems Control*. 2010. No. 31. Pp. 130-161. (In Russian)
3. Ermakov A.E. *Osnovy konfigurirovaniya korporativnyh setej Cisco* [The basics of configuring corporate networks Cisco]. Moscow: Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte Publ., 2013. 247 p. (In Russian)
4. Makarov I.M., Lokhin V.M., Manko S.V., Romanov M.P. *Iskusstvennyj intellekt i intellektual'nye sistemy upravleniya* [Artificial intelligence and intelligent control systems]. Moscow: Science, 2006. 333 p. (In Russian)
5. Kotenko I.V. *Teoriya i praktika postroeniya avtomatizirovannyh sistem informacionnoj i vychislitel'noj podderzhki processov planirovaniya svyazi na osnove novyh informacionnyh tehnologij* [Theory and practice of building automated systems of information and computer support of communication planning processes on the basis of new information technologies]. St. Petersburg: Voennaya Akademiya Svyazi Publ., 1998. 403 p. (In Russian)
6. Fomin L.A., Bydko P.A. *Effektivnost' i kachestvo infokommunikacionnyh sistem. Metody optimizacii* [Efficiency and quality of ICT systems. Optimization methods]. Moscow: Fiziko-matematicheskaya literatura, 2008. 296 p. (In Russian)
7. Saenko I.B., Kotenko I.V. Using genetic optimization and visual analysis tools for access schema design in virtual local area networks. *Informacionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [Journal of Information Technologies and Computing Systems]. 2015. No. 1. Pp. 33-46. (In Russian)
8. Saenko I., Kotenko I. Design of Virtual Local Area Network Scheme based on Genetic Optimization and Visual Analysis. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications (JoWUA)*. 2014. Vol. 5. No. 4. Pp. 86-102.
9. Miettinen P. Dynamic Boolean Matrix Factorizations. *Proceedings*

of the 2012 IEEE 12th International Conference on Data Mining, ACM. New York, 2012. Pp. 519-528.

10. Batishev D.I. *Geneticheskie algoritmy resheniya jekstremal'nykh zadach'* [Genetic algorithms for solving extreme problems]. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet Publ., 1995. 63 p. (In Russian)
11. Terekhov V.I. The use of hybrid systems of computational intelligence to select a rational version of the management decision. *Voenaya mysl'* [Military thought]. 2009. No. 3. Pp. 30-34. (In Russian)
12. De Jong K.A. *Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems*. The University of Michigan, 1975. 271 p.
13. Gladkov L.A., Kyreychik V.V. *Geneticheskie algoritmy* [Genetic algorithms]. Moscow: FIZMATLIT, 2006. 320 p. (In Russian)
14. Arslanov K.A., Bashkirchev A.S., Likhachev A.M. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya svyaz'yu v Vooruzhennyh Silah Rossijskoj Federacii i prioritetye napravleniya ee razvitiya [Automated communication management system in the Armed Forces of the Russian Federation and priority areas of its development]. *Svyaz' v vooruzhennyh silah Rossijskoj Federacii – 2016* [Communication in the armed forces of the Russian Federation – 2016]. Pp. 17-20. URL: <https://army.informost.ru/2016/pdf/1-5.pdf> (дата обращения: 16.10.2018). (In Russian)
15. Arslanov K.A., Abramovich A.V., Likhachev A.M. Konceptual'nye osnovy razvitiya ob'edinennoj avtomatizirovannoj cifrovoj sistemy svyazi Vooruzhennyh Sil Rossijskoj Federacii [Conceptual basis for the development of the United automated digital communications system of the Armed Forces of the Russian Federation]. *Svyaz' v vooruzhennyh silah Rossijskoj Federacii – 2014* [Communication in the armed forces of the Russian Federation – 2014]. Pp. 18-24. URL: <https://army.informost.ru/2014/pdf/1-04.pdf> (дата обращения: 16.10.2018). (In Russian)
16. Arslanov K.A., Likhachev A.M. Aktual'nye nauchno-prakticheskie problemy razvitiya OACSS VS RF [Actual scientific-practical problems of development, OACSS armed forces]. *Svyaz' v vooruzhennyh silah Rossijskoj Federacii – 2015* [Communication in the armed forces of the Russian Federation – 2015]. Pp. 29-36. URL: <https://army.informost.ru/2015/pdf/1-14.pdf> (дата обращения: 16.10.2018). (In Russian)
17. Filimonov A.U. *Postroenie mul'tiservisnyh setej Ethernet* [Building multi-service Ethernet networks]. St. Petersburg: BKhV-Petersburg, 2007. 592 p. (In Russian)
18. Byshyev S.N., Osadchiy A.S., Frolov V.M. *Teoreticheskie osnovy sozdaniya informacionno-tehnicheskikh sistem* [Theoretical bases of creation of information-technical systems]. St. Petersburg: Voenaya Akademiya Svyazi Publ., 1998. 404 p. (In Russian)
19. Oliner V.G., Oliner N.A. *Komp'yuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer networks. Principles, technologies, protocols]. SPb.: Piter, 2007. 960 p. (In Russian)
20. Kleinrock L. *Queueing Systems. Volume I: Theory*. New York: Wiley Interscience, 1976. 417 p.
21. Kleinrock L. *Queueing Systems. Volume II: Computer Applications*. New York: Wiley Interscience, 1976. 576 p.
22. Boerv V.D., Belous D.V. *Proektirovanie i modelirovanie sistem* [Design and modeling of systems]. St. Petersburg: Voenaya Akademiya Svyazi Publ., 2012. 416 p. (In Russian)
23. Dorofeev A.S., Golovin V.N. Imitacionnoe modelirovanie samoorganizuyushejsya seti v Riverbed modeler academic edition [Simulation modeling of self-organizing network in the Riverbed modeler academic edition]. *Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Obrazovanie i nauka v sovremennykh realiyah"* [Materials III Mezhdunar. scientific and practical conference "Science and Education in Modern Realities", Cheboksary, 17 December 2017] Cheboksary: CNS "Interactive plus", 2017. Pp. 185-188. (In Russian)
24. Yshakov U.A., Konnov A.L., Polejaev P.N., Shuman A.E. Simulation model of self-organizing virtual private network. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2015. No. 13 (188). Pp. 216-221. (In Russian)
25. Tarasov V. N., Bakhareva N. F., Malakhov S. V., Ushakov Yu. A. *Proektirovanie i modelirovanie setej svyazi v sisteme Riverbed Modeler* [Design and modeling of communication networks in Riverbed Modeler system. Laboratory workshop]. Samara: Povolzhskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij i informatiki Publ., 2016. 260 p. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Saenko I.B., PhD, Full Professor, Professor of the Military academy of telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Bydyonny;  
Starkov A.M., Postgraduate student of the Military academy of telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Bydyonny.



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10227

## ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

**СКОРНЯКОВА**

**Елизавета Алексеевна**<sup>1</sup>

**СУЛАБЕРИДЗЕ**

**Владимир Шалвович**<sup>2</sup>

### АННОТАЦИЯ

Проанализирован функционал наиболее популярных организационно-производственных систем, используемых для автоматизации процесса производственного планирования, таких как Customer Synchronized Resources Planning, Enterprise Resources Planning, Management Execution System, Advanced Planning & Scheduling. Обоснована необходимость создания специальных автоматизированных систем, основанных на принципах бережливого производства, с целью эффективного использования ресурсов и максимальной ориентации на потребителя. Проведен анализ цикла планирования высокопроизводительного предприятия. Составлена контекстная диаграмма процесса планирования по методологии функционального моделирования, с последующей ее декомпозицией. Выявлены следующие этапы цикла планирования, нуждающиеся в улучшении: сбор данных для создания плана, создание плана и его опций, оценка планов ответственными специалистами. Для каждого из этапов приведены основные проблемы и риски, с которыми сталкивается специалист по производственному планированию и которые требуют обязательного решения. Приведены алгоритмы осуществления каждого из этапов, которые заложены в основу разработанной автоматизированной системы планирования. Описаны следующие критерии построения эффективного плана: соответствие общему календарю, соответствие максимальным значениям производственных мощностей, соответствие принципам бережливого производства, полное удовлетворение заказа (разница плана и заказа равна 0). Обеспечено повышение эффективности процесса производственного планирования за счет использования автоматизированной системы. Основные результаты получены в рамках исследований в течение нескольких циклов планирования, с использованием различных вводных данных и несколькими специалистами и выражены в: полном соблюдении сроков сбора информации для построения производственного плана благодаря автоматически рассылаемым уведомлениям, сокращении времени создания плана производства с 30 минут до 1 минуты, полном исключении ошибок в производственном плане и сокращении времени оценки опций в среднем на 80%.

### Сведения об авторах:

<sup>1</sup>преподаватель Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия, elizavetasesina@mail.ru

<sup>2</sup>д.т.н., с.н.с., профессор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия, sula\_vlad@mail.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированная система; производственное планирование; бережливое производство; оценка рисков; автоматизация процесса.

---

**Для цитирования:** Скорнякова Е. А, Сулаберидзе В. Ш. Проблемы автоматизации процесса производственного планирования // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 78-85. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10227

Автоматизация процесса производственного планирования стала нормой для промышленных предприятий ввиду постоянной конкуренции и, как следствие, изменения системы управления. Главным вектором разработок в этой области является создание систем, ориентированных на клиента и учитывающих принципы бережливого производства [1–3].

Несмотря на большое количество разработанных методик в области производственного планирования их внедрение в производственный процесс и применение на практике вызывает серьезные трудности. Особенно эта проблема актуальна для высокопроизводительных предприятий, номенклатура производимой продукции которых насчитывает десятки, а иногда и сотни вариаций. Такие предприятия максимально чувствительны к воздействию, как внешних, так и внутренних факторов. В условиях производства больших объемов вариативной продукции особенно остро встает вопрос оптимизации производственных планов с целью максимально эффективного использования ресурсов предприятия. Задача оптимизации процесса производственного планирования сама по себе является сложной и требует обязательного вовлечения ру-

ководства и квалифицированных специалистов практически всех подразделений предприятия.

В настоящее время современные методологии производственного планирования реализованы различными классами информационных систем. Наибольшую известность получили MRP и ERP [4] системы, а также более современные системы CSRP, MES и APS. В зависимости от целей планирования и функций, которые должны быть автоматизированы, руководство выбирает к внедрению одну или несколько систем. На рис. 1 представлен цикл производственного планирования с разбивкой на функции в соответствии с принятой терминологией приведенных выше систем и обозначен функциональный охват каждой из этих систем.

Как видно из рис. 1, каждая из вышеупомянутых информационных систем охватывает оперативное планирование. Эта область планирования является одной из наиболее сложных ввиду ряда факторов, таких как специфика производимой продукции и технологических процессов, а также является одной из наиболее изученных [5–9].

Значительное число разработок связано с внедрением автоматизированных устройств в производственный

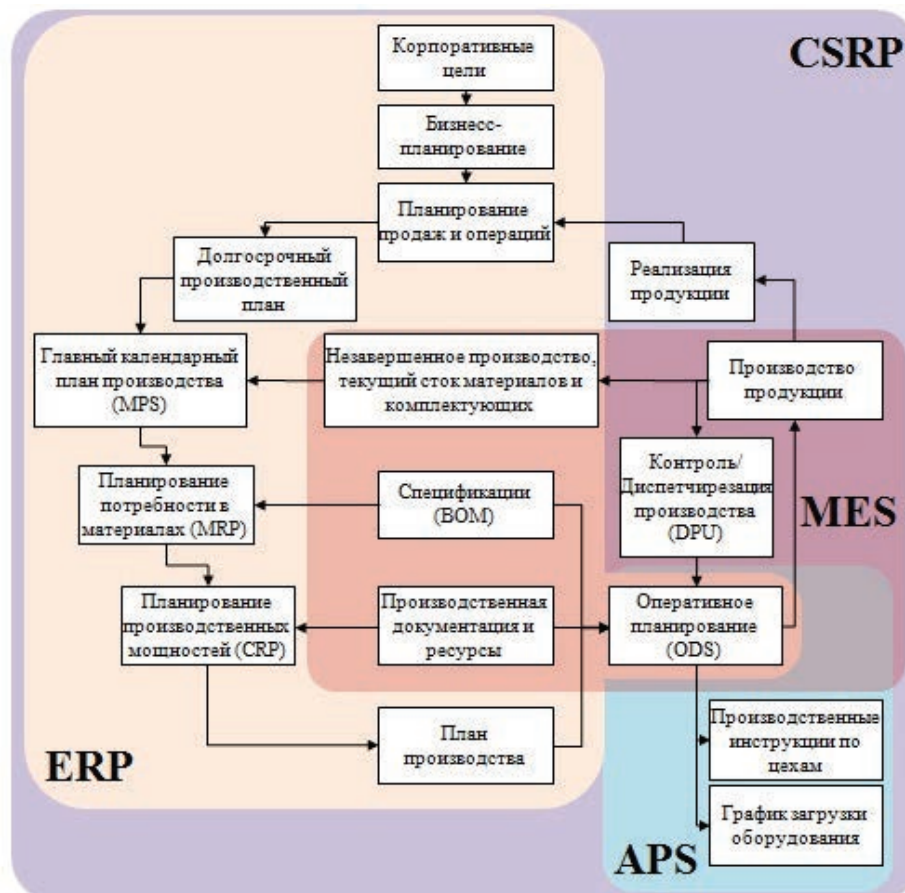


Рис. 1. Информационные системы производственного планирования

процесс [10, 11], используемых в рамках MES систем. Примерами таких устройств являются системы, подключенные напрямую к рабочему инструменту сотрудника и позволяющие получать данные о технологических показателях процесса в режиме реального времени (параметры затяжки резьбовых соединений, количество паяных или сварочных точек, непрерывность нанесения материала на поверхность и т.д.). На основании получаемой информации для критических соединений и процессов осуществляется сбор информации на периодической основе, который используется для построения контрольных карт Шухарта и дальнейшего анализа отклонений и причин их возникновения с целью полного устранения.

Вся информация о дефектах и «узких местах» производства, попадая в общую базу данных, дает сотрудникам предприятия возможность использовать ее, как вводные данные для других процессов. В частности такая информация является основой CRP, ERP и MES [12, 13] систем.

Особый интерес для проводимых исследований представляют организационно- производственные системы, наиболее приближенные по функционалу к системам класса ERP, но использующие в своем арсенале уникальные принципы и правила построения производственных планов. Актуальность развития таких систем обусловлена необходимостью снижения рисков в условиях нестабильного рынка, а также подтверждается рядом принятых Правительством РФ директив.

Учитывая сложность прогнозирования спроса на продукцию, компаниям необходимо оперативно реагировать на любые изменения как внешней, так и внутренней среды. Для этих целей руководство компании должно оце-

нивать все риски при принятии управленческих решений, оперирую при этом максимально полными данными.

Разработка производственной стратегии, учитывающей прогнозируемый спрос, мощности оборудования и поставщиков, а также возможности использования человеческих ресурсов является главной задачей процесса планирования производства и создаваемой автоматизированной системы.

Существует ряд проблем, которые усложняют процесс автоматизации:

- разнородность предоставляемых данных (отсутствие стандартных форматов);
- отсутствие единых баз данных с необходимой информацией;
- недостоверность и неполнота данных о максимальной производительности процессов и оборудования;
- необходимость вовлечения руководителей и специалистов разных уровней для оценки создаваемых планов;
- вариативность визуализации данных (в зависимости от требований руководителей).

Все перечисленные проблемы усложняются необходимостью прогнозирования ряда вводных данных, так как горизонт планирования при создании стратегии производства может составлять от нескольких месяцев до нескольких лет.

Для лучшего понимания процесса планирования высокопроизводительного предприятия, удобнее описать процесс привычным для соответствующих специалистов образом с использованием методологии IDEF0 (рис. 2) и последующей декомпозицией контекстной диаграммы (рис. 3).

Производственное планирование осуществляется в несколько этапов, которые нуждаются в автоматизации

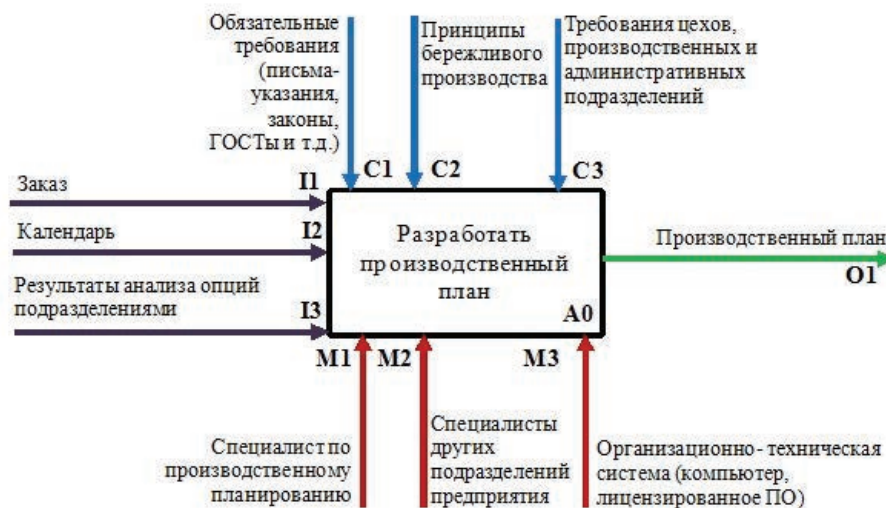


Рис. 2. Контекстная диаграмма процесса производственного планирования



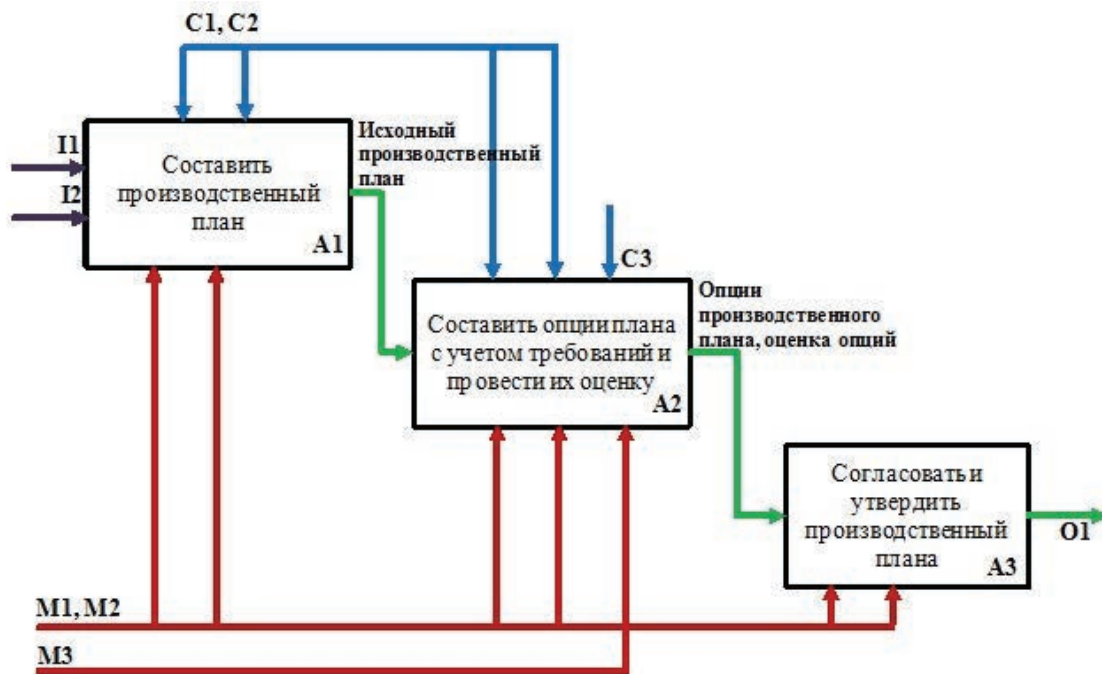


Рис. 3. Декомпозиция контекстной диаграммы (A0)

с целью устранения возможных рисков [14] и сокращения времени на рассматриваемый процесс:

- сбор данных для создания плана;
- создание плана и его опций;
- оценка планов ответственными специалистами.

Для создания производственного плана должно быть использовано большое количество вводных данных. Чаще всего вся информация подразделений и цехов предприятия хранится в бумажном виде, на электронных носителях или в общей информационной сети организации в различных папках. На поиск, сбор, обработку и согласование всех данных специалисту отдела производственного планирования необходимо затратить от одного дня до нескольких недель. В рассматриваемом цикле планирования на все перечисленные процессы отводится не более дня, что говорит о необходимости оптимизации данных процессов.

К основным показателями эффективности сбора информации являются:

- время внесения данных;
- изменение данных после первичного внесения.

Алгоритм сбора и обработки данных в автоматизированной системе представлен на рис. 4.

В случае с формированием самого производственного плана, основной проблемой являются значительные риски, связанные с ручным его созданием. Без специальных автоматизированных систем планы чаще всего создаются в стандартных программах Microsoft Office, в частности в Excel. В зависимости от горизонта плани-

рования и сложности вводных данных, на создания плана затрачивается от 30 минут до нескольких часов, в случае если необходимо создать несколько планов, то может потребоваться несколько дней. Также отдельно стоит отметить очень низкую скорость работы стандартных программа с большими массивами данных. При этом правила и принципы «бережливого производства», лежащие в основе построения плана, ответственный специалист держит буквально «в уме».

После завершения плана и его опций, необходимо провести всестороннюю оценку. Главной проблемой этого подпроцесса является разноформатность оценок и сроки проведения анализа планов различными подразделениями. Автоматизация этого этапа планирования в первую очередь призвана к сокращению сроков оценивания планов и как следствие к принятию более скорого управленческого решения. Алгоритм создания опций производственного плана и их оценки представлен на рис. 5.

Критерии построения плана:

- соответствие общему календарю;
- соответствие максимальным значениям производственных мощностей;
- соответствие принципам бережливого автоматизированного производства ;
- полное удовлетворение заказа (разница плана и заказа равна 0).

Оценка плана осуществляется по средствам простой визуализации — присвоением оценки заданного

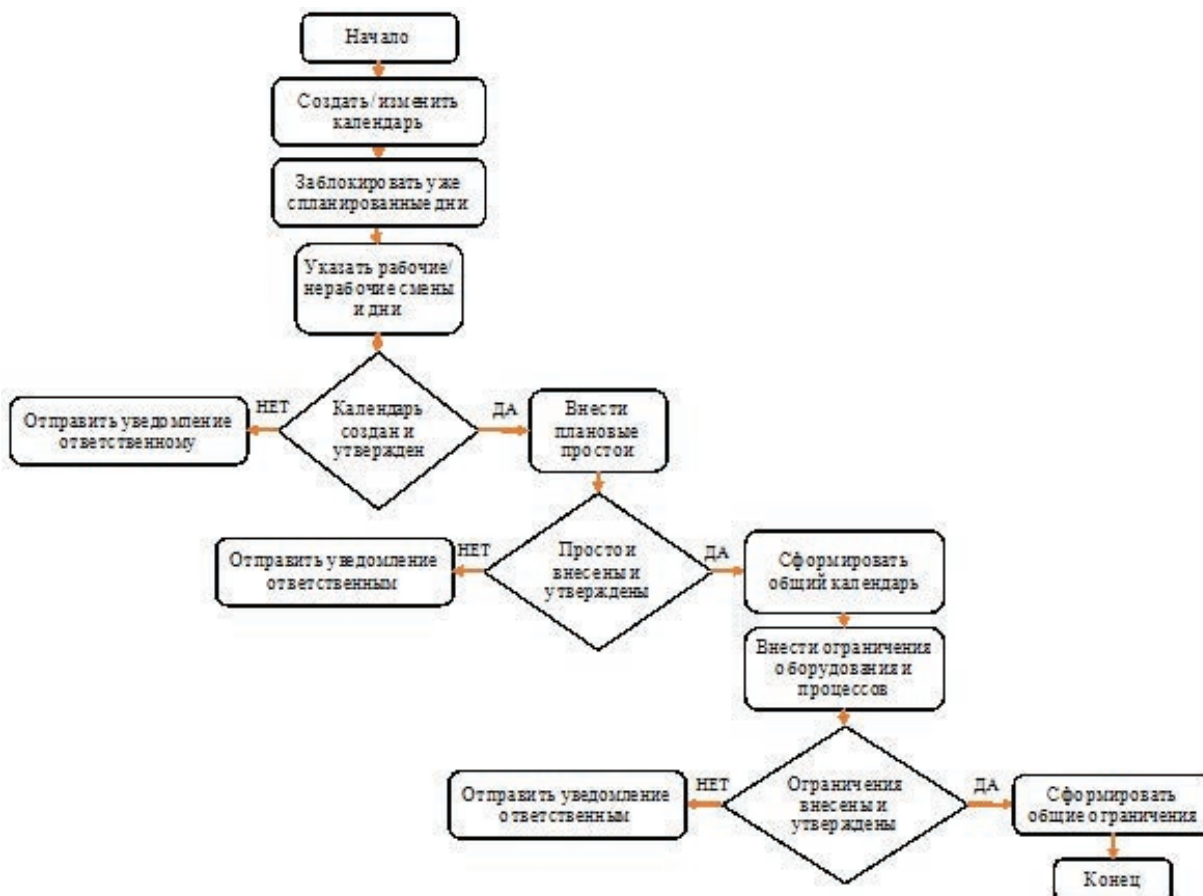


Рис. 4. Алгоритм сбора и обработки исходных данных

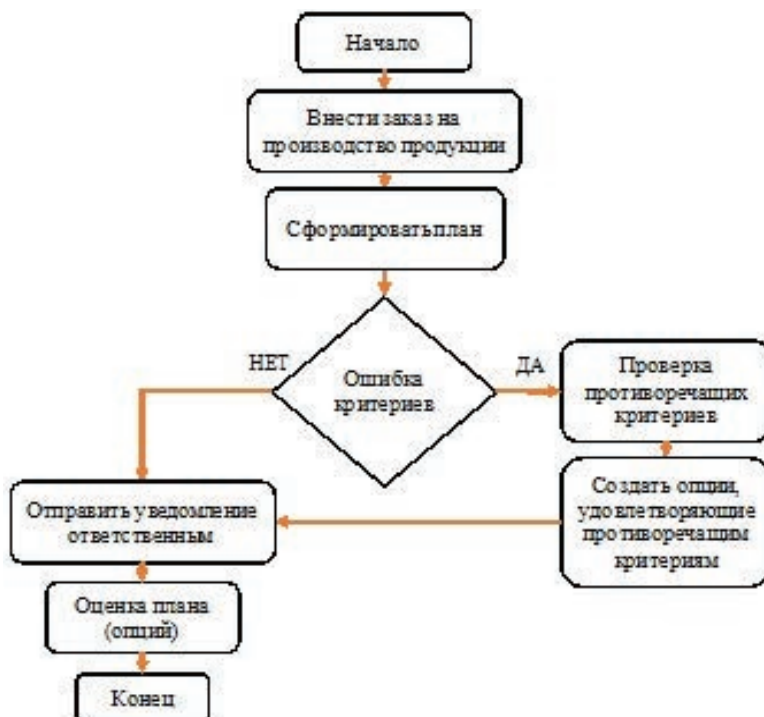


Рис. 5. Алгоритм создания и оценки плана



формата и комментария ответственными специалистами и руководителями.

Сокращение сроков оценивания достигается за счет автоматических адресных уведомлений рассылаемых системой.

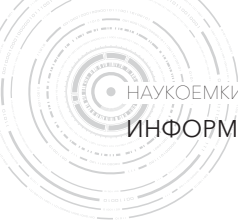
Эффективность разработанной системы [15] и используемых в ее основе алгоритмов подтверждается результатами использования разработанного программного продукта в условиях реального процесса производственного планирования высокопроизводительного предприятия.

В результате проведенных исследований использования разработанной системы и анализа полученных данных были достигнуты следующие результаты:

- соблюдение сроков сбора информации для построения производственного плана благодаря автоматически рассылаемым уведомлениям,
- сокращение времени создания плана производства с 30 минут до 1 минуты;
- полное исключение ошибок в производственном плане;
- сокращение времени оценки плана в среднем на 80%.

### Литература

1. *Varshapetian A., Semenova E.* Aspects of integration management methods // *International Journal for Quality Research*. 2015. No. 9(3). Pp. 481–494.
2. *Grodzenskiy S. Y., Emanakov I. V., Ovchinnikov S. A.* The concept of lean manufacturing and its application in the enterprise // *Information Innovative Technologies*. 2017. No. 1. Pp. 227–229.
3. *Khanchanapong T., Prajogo D., Sohal A. S., Cooper B. K., Yeung A. C. L., Cheng T. C. E.* The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance // *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 153. Pp. 191–203.
4. *Гаврилов Д. А.* Управление производством на базе стандартов MRP II. СПб.: Питер, 2005. 416 с.
5. *Ошурков В. А., Макашова В. Н.* Оперативное планирование производства в MES-системах с использованием методов и алгоритмов искусственного интеллекта // Доклады X Юбилейной международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (Москва, 20–22 ноября 2015 г.). 2015. № 2. С. 133–139.
6. *Ковалев А. С., Кушников В. А.* Разработка информационной системы для автоматизации процессов технической подготовки производства на машиностроительном предприятии // Сборник материалов XXXIV Международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий» (Новосибирск, 19 января–17 февраля 2017 г.) / Под общей ред. С. С. Чернова. Новосибирск, 2017. С. 113–119.
7. *Носов А. Н., Бугров А. Н.* Современные средства и технологии обеспечения анализа и планирования производств // *Системный анализ в науке и образовании*. 2013. № 2. С. 118–132.
8. *Евгеньев Г. Б., Крюков С. С., Кузьмин Б. В., Стисес А. Г.* Интегрированная система автоматизации проектирования технологических процессов и оперативного управления производством // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2015. № 3 (660). С. 49–60.
9. *Ларин С. Н., Тимирзянов В. В.* Исследование процессов оперативно-календарного планирования в условиях многономенклатурных производств // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета)*. 2012. № 5–2 (36). С. 320–325.
10. *Pötters P., Schmitt R., Leyendecker B.* Effectivity of quality methods used on the shop floor of a serial production—how important is Poka Yoke? // *Total Quality Management and Business Excellence*. 2018. No. 29(9–10). Pp. 1200–1212.
11. *Wiech M., Böllhoff J., Metternich J.* Development of an Optical Object Detection Solution for Defect Prevention in a Learning Factory // *Procedia Manufacturing*. 2017. No. 9. Pp. 190–197.
12. *Moeuf A., Pellerin R., Lamouri S.* The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0 // *International journal of production research*. 2018. Vol. 56. Issue 3. Pp. 1118–1136.
13. *Huang M., Zhou Q., Bai A.* Research on smart manufacturing execution system (Smart-MES) for modern numerical control shop floor: functional components and its implementation strategies // *Proceedings of the 2017 6th International Conference on Measurement, Instrumentation and Automation (ICMIA 2017)*. Series: *Advances in Intelligent Systems Research, Zhuhai, China, 29–30 June 2017*. Atlantis Press, 2017. Vol. 154. Pp. 452–462. doi:10.2991/icmia-17.2017.82
14. *Сесина Е. А.* Модель движения рисков при оперативном обмене информацией в процессе производственного планирования // Сборник трудов IX Общероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения» (Санкт-Петербург, 16–18 ноября 2016 г.). СПб., 2017. Т. 2. С. 154–155.
15. *Скорнякова Е. А.* Модель системы оперативно-го реагирования при производственном планировании // *Качество и жизнь*. 2018. № 2. С. 39–41.



## PROBLEMS OF PRODUCTION PLANNING PROCESS AUTOMATION

**VLADIMIR S. SULABERIDZE,**

St. Petersburg, Russia, sula\_vlad@mail.ru

**ELIZAVETA A. SKORNIKOVA,**

St. Petersburg, Russia, elizavetasesina@mail.ru

**KEYWORDS:** automated system; production planning; lean manufacturing; risk assessment; process automation.

### ABSTRACT

Functions of most well-known managerial-production systems used for production planning process automation such as Customer Synchronized Resources Planning, Enterprise Resources Planning, Management Execution System, Advanced Planning & Scheduling were analyzed. Necessity of creation of special automated systems based on lean manufacturing principles for efficient recourse usage and maximum customer orientation was proved. Analysis of high-productivity plant production planning cycle was done. Context diagram of production planning process based on functional modeling methodology was made. Following stages of planning cycle needed to be improved: gathering of data for plan creation, plan and its options creation, plans assessment by responsible specialists. Main problems and risks of planning process that need to be eliminated on each stage are listed. Algorithms for each stage implementation in developed automated system are reflected. Following criteria of effective plan creation are described: matching with common calendar, matching with maximum production capacity restrictions, following of lean manufacturing principles, full compliance of customer order (difference between plan and order is zero). Usage of automated system in production planning process of high-productivity plant provide efficiency increase of its process, expressed in: full compliance of data gathering lead times achieved by automated distribution of notifications, decrease of time for production plan creation from 30 minutes to 1 minute, total elimination of mistakes in production plan and decrease of time for options assessment in average for 80%. Presented numbers were achieved as a result of research with usage of different input data and by several production planning specialists.

### REFERENCES

1. Varshapetian A., Semenova E. Aspects of integration management methods. *International Journal for Quality Research*. 2015. No. 9(3). Pp. 481-494.
2. Grodzenskiy S.Y., Emanakov I.V., Ovchinnikov S.A. The concept of lean manufacturing and its application in the enterprise. *Information Innovative Technologies*. 2017. No. 1. Pp. 227-229.

3. Khanchanapong T., Prajogo D., Sohal A.S., Cooper B.K., Yeung A.C.L., Cheng T.C.E. the unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance. *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 153. Pp. 191-203.
4. Gavrilov D.A. *Upravlenie proizvodstvom na baze standartov MRP*. Production management based on MRP II standards. St. Petersburg: Piter, 2005. 416 p. (In Russian)
5. Oshkurov V.A., Makashova V.N. Operativnoe planirovanie proizvodstva v MES-sistemah s ispolzovaniem metodov I algoritmov iskusstvennogo intellekta [Operational production planning in MES-systems with usage of methods and algorithms of artificial intelligence]. *Doklady H Yubilejnoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie"* [Reports of the X Anniversary international scientific and practical conference "Modern Information Technologies and IT Education", Moscow, 20-22 November 2015]. 2015. No. 2. Pp. 133-139. (In Russian)
6. Kovalev A.S., Kushnikov V.A. Razrabotka informatsionnoy sistemi dlia avtomatizatsii protsesov tehnikeskoy podgotovki proizvodstva na mashinostroitel'nom predpriyatii [Development of informational system for automation of technical production support processes in machine-building enterprise]. *Sbornik materialov HHXIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Perspektivy razvitiya informacionnyh tehnologij"* [Proceedings of the XIV International scientific and practical conference "Prospects of information technologies development", Novosibirsk, 17 January – 19 February, 2017]. Novosibirsk, 2017. Pp. 113-119. (In Russian)
7. Nosov A., Bugrov A. Modern tools and technology of providing analysis and production planning. *Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii* [System analysis in science and education]. 2013. No. 2. Pp. 118-132.
8. Evgeniev G., Kryukov S., Kuz'min B., Stises A. An integrated process automation and operations management system. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*. 2015. No. 3 (660). Pp. 49-60. (In Russian)

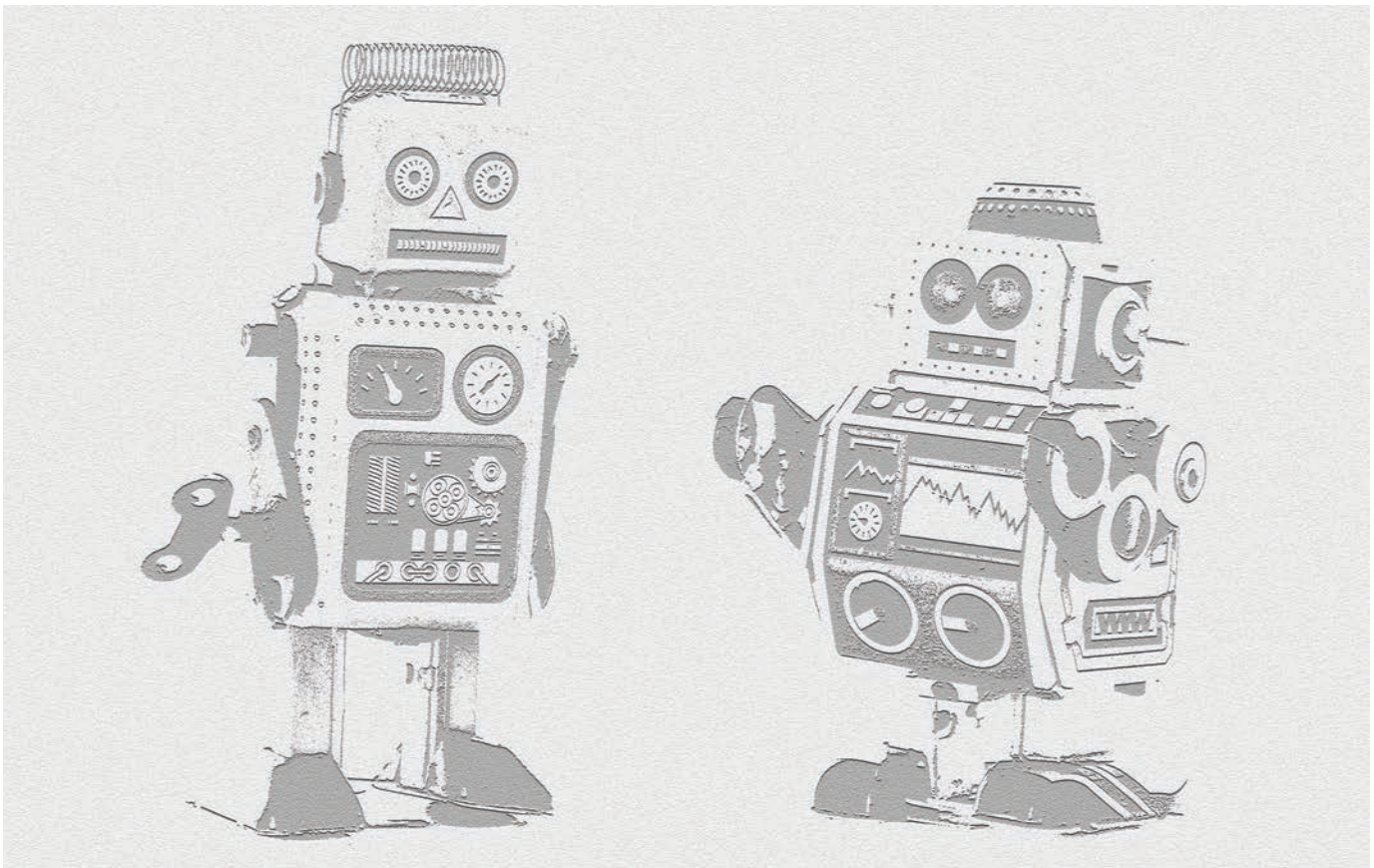
9. Larin S., Timirzyanov V. Study of processes production scheduling in multiproduct manufactures. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva (natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta)* [Vestnik of Samara state aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University)]. 2012. No. 5-2 (36). Pp. 320-325. (In Russian)
10. Pötters P., Schmitt R., Leyendecker B. Effectivity of quality methods used on the shop floor of a serial production-how important is Poka Yoke? *Total Quality Management and Business Excellence*. 2018. No. 29(9-10). Pp. 1200-1212.
11. Wiech M., Böllhoff J., Metternich J. Development of an Optical Object Detection Solution for Defect Prevention in a Learning Factory. *Procedia Manufacturing*. 2017. No. 9. Pp. 190-197.
12. Moeuf A., Pellerin R., Lamouri S. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International journal of production research*. 2018. Vol. 56. Issue 3. Pp. 1118-1136.
13. Huang M., Zhou Q., Bai A. Research on smart manufacturing execution system (Smart-MES) for modern numerical control shop floor: functional components and its implementation strategies. *Proceedings of the 2017 6th International Conference on Measurement, In-*

- strumentation and Automation (ICMIA 2017)*. Series: *Advances in Intelligent Systems Research, Zhuhai, China, 29-30 June 2017*. Atlantis Press, 2017. Vol. 154. Pp. 452-462. doi:10.2991/icmia-17.2017.82
14. Sesina E.A. Model' dvizheniya riskov pri operativnom obmene informaciej v processe proizvodstvennogo planirovaniya [Model of risks movement during on-line data interchange in production planning process]. *Sbornik trudov IX Obscherossijskoj nauchno- prakticheskoy konferencii "Innovacionnye tehnologii i tehnicieskie sredstva special'nogo naznacheniya"* [Proceedings of the IX all-Russian scientific and practical conference "Innovative technologies and technical means of special purpose", St. Petersburg, 16-18 November 2016]. Saint- Petersburg, 2017. Pp. 154-155. (In Russian)
15. Skorniakova E.A. Model of quick response system for production planning. *Kachestvo i zhizn'* [Quality and life]. 2018. No. 2 (18). Pp. 39-41. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Sulaberidze V.S., PhD, Senior Research Officer, Professor of Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation;  
Skorniakova E.A., lecturer of Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

**For citation:** Sulaberidze V. S., Skorniakova E. A. Problems of production planning process automation. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 78-85. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10227 (In Russian)





doi: 10.24411/2409-5419-2018-10228

# МНОГОУРОВНЕВАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

**ТУЕВ**

**Василий Иванович<sup>1</sup>**

**ДМИТРИЕВ**

**Вячеслав Михайлович<sup>2</sup>**

**ГАНДЖА**

**Тарас Викторович<sup>3</sup>**

**СОЛДАТКИН**

**Василий Сергеевич<sup>4</sup>**

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup>д.т.н., доцент, директор научно-исследовательского института светодиодных технологий Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, tvj\_retem@main.tusur.ru

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, dmitriewm@gmail.com

<sup>3</sup>д.т.н., профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, gandgatv@gmail.com

<sup>4</sup>к.т.н., доцент кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, soldatkinvs@main.tusur.ru

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрен технологический процесс производства современных светодиодных ламп на основе светодиодных излучающих элементов. Выделены его основные этапы и технологические операции. Определены три уровня управления технологическими процессами: операционный, тактический и стратегический. Целью исследования является построение компьютерной модели тактического уровня управления технологическими процессами. Сформулированы задачи исследования технологических процессов, для автоматизации которых могут быть применены компьютерные модели. Основное внимание уделено задаче прототипирования алгоритмов управления технологическими процессами производства светодиодных ламп, так как в настоящее время отсутствуют программно-инструментальные средства автоматизации их решения. На основе построения его функциональной модели в виде диаграммы формата IDEF-0 предложена интерпретация этой методологии в формат метода многоуровневых компонентных цепей, программной реализацией которого является среда многоуровневого компьютерного моделирования. Она позволяет формировать многоуровневые компьютерные модели производственных модулей, реализующих тактический уровень управления технологическими процессами, на взаимосвязанных объектном, логическом и визуальном слоях. На её объектном слое располагаются компьютерные модели управляемого технологического оборудования. Логический слой содержит алгоритм функционирования контроллера, сформированный в формате графического языка управления механизмами X-Robot. На визуальном слое находятся средства визуализации результатов моделирования и органы интерактивного управления значениями параметров модели и ходом выполнения вычислительного эксперимента. Сформирована многоуровневая компьютерная модель обобщенного производственного модуля, составляющего тактический уровень управления технологическим процессом, а также определены структура и вектор решения физико-химического блока, представляющего собой обобщенную модель объектного уровня многоуровневой компьютерной модели. Рассмотрены вопросы и представлены инструментальные средства объединения многоуровневых моделей производственных модулей в производственный конвейер. Сформирована компьютерная модель производственного модуля «Припайка источника питания», которая является моделью объектного уровня многоуровневой модели, и представлен сценарий функционирования его контроллера, формируемый на логическом уровне многоуровневой модели.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** светодиод; роботизированное производство; многослойная компьютерная модель; производственный модуль; производственный контейнер.

**Для цитирования:** Туев В.И., Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Солдаткин В.С. Многоуровневая компьютерная модель технологического процесса производства светодиодных ламп // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 86-98. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10228

## Введение

Компьютерное моделирование в последнее время находит широкое применение для большого круга задач исследования и проектирования. Компьютерные модели формируются либо в виде систем алгебро-дифференциальных уравнений, либо в виде алгоритмов имитационного моделирования, в которых каждый компонент срабатывает отдельно, передавая результаты работы следующим компонентам. Наилучший эффект достигается при объединении этих видов моделирования в единой компьютерной модели с возможностями своевременной визуализации полученных результатов анализа модели и интерактивного управления значениями её параметров.

С помощью такой компьютерной модели открываются возможности анализа протекания роботизированных технологических процессов. За счет этого автоматизации подлежит решение следующих актуальных задач:

1) синтез алгоритмов управления, на основе которых функционирует управляющее устройство, реализованное на базе универсального контроллера;

2) модельного проектирования, направленного на минимизацию и оптимизацию технологического процесса производства в структурном, параметрическом и технико-экономическом аспектах.

Задачи модельного проектирования технологических процессов в настоящее время успешно решаются такими системами, как GPSS [1], AnyLogic [2], ANSYS [3]. Однако в них отсутствуют средства прототипирования сценариев функционирования управляющих контроллеров.

В рамках данной статьи рассматриваются вопросы формирования многоуровневых компьютерных моделей для автоматизации синтеза алгоритмов управления технологическими процессами производства светодиодных filamentных ламп [4, 5] как на тактическом, так и на стратегическом уровнях управления.

## Системный анализ и формализованное представление технологического процесса производства светодиодных ламп

Одной из перспективных тенденций развития полупроводниковой светотехники является светодиодная лампа на основе светодиодных излучающих элементов (LED filament bulb). По форме такая лампа представляет традиционную лампу накаливания, но вместо нити накала используются светодиодные излучающие элементы, а в цоколе размещено устройство питания. Световая отдача таких ламп достигает на промышленных образцах 190 лм/Вт [6].

Светодиодная лампа состоит из стеклянной колбы, внутри которой расположена опорная конструкция со светодиодным излучающим элементом и цоколя, в котором расположено устройство управления (рис. 1).

Светодиодная лампа на основе светодиодных излучающих элементов имеет схожую с лампой накаливания технологию изготовления, однако имеет меньшую температуру нагрева [7–9], что положительно сказывается на экономии электроэнергии и их безопасности использования.

Перечень технологических операций технологического процесса изготовления светодиодных ламп на основе светодиодных излучающих элементов [10]:

- изготовление ножек (механизм штамповки ножек);
- монтаж светодиодных излучающих элементов (механизм монтажа ножек);
- заварка (механизм заварки, откачки и наполнения ламп);
- маркировка;
- откачка (механизм заварки, откачки и наполнения ламп);
- промывка (механизм заварки, откачки и наполнения ламп);
- припайка источника питания (механизм припайки источника питания);
- цоколевание (механизм цоколевания ламп);
- обжиг;
- контроль и испытания;
- упаковка (механизм упаковки ламп).

Из технологического процесса производства светодиодных устройств для построения компьютерных моделей роботизированных производственных участков [11] были выделены следующие процессы:

- штамповка ножек;
- монтаж ножек;
- заварка, откачка, наполнение ламп;
- припайка источника питания (ИП);
- цоколевание ламп.



Рис. 1. Конструкция светодиодной лампы

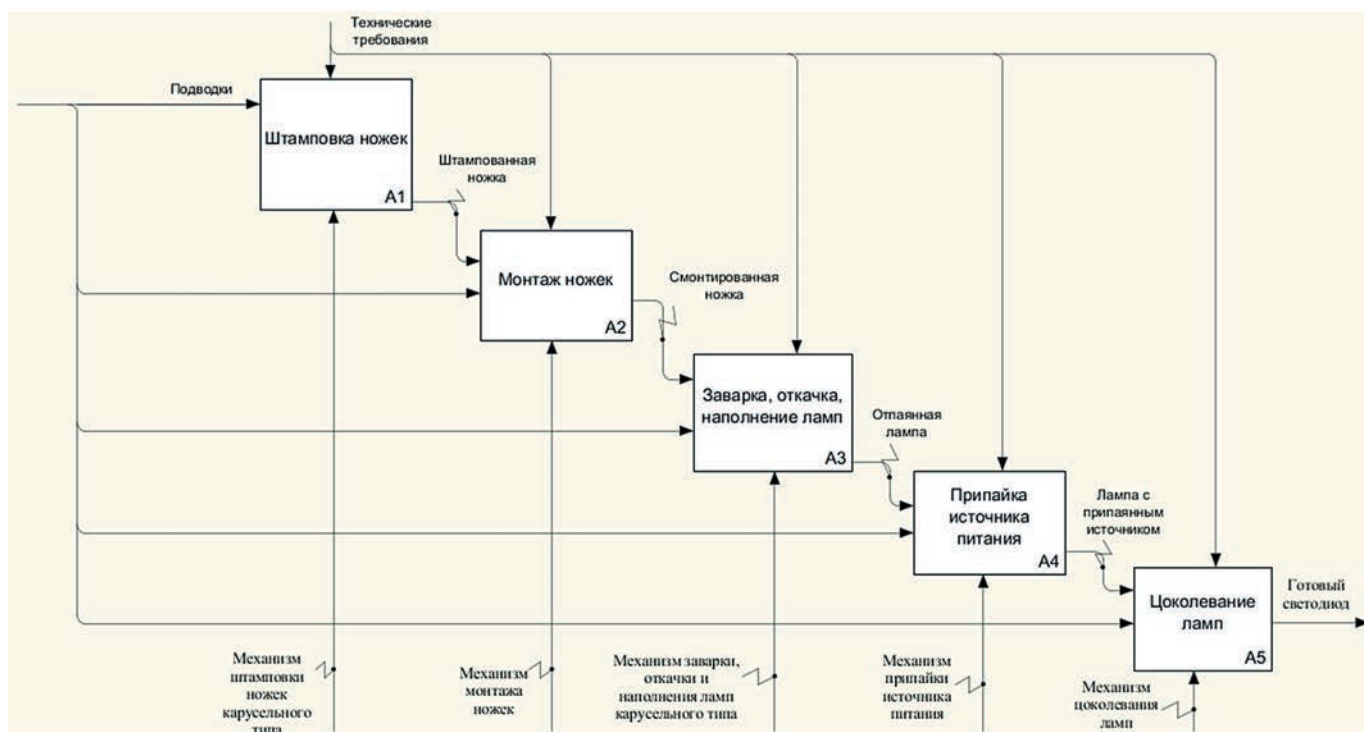


Рис. 2. Диаграмма первого уровня

Данные операции составляют диаграмму IDEF-0 первого уровня иерархии рассматриваемого технологического процесса (рис. 2).

Установленный порядок следования процессов на диаграмме (определение последовательности выполнения процессов). После связывания между собой процессов создается граничная стрелка выхода «Готовый светодиод».

Каждый из представленных на диаграмме процессов, в свою очередь, может быть детализирован. Диаграмма второго уровня, детализация первого процесса «Штамповка ножек» показана на рис. 3.

На данной диаграмме описан процесс «Штамповка ножек», который показывает загрузку тарелок, штенгелей, штабиков, токовых вводов в бункера, которое производится вручную.

В рамках прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по теме: «Разработка прототипов передовых технологических решений роботизированного интеллектуального производства электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств» разрабатывается экспериментальный стенд для отработки основных технологических операций производства светодиодных ламп (штамповка ножек; монтаж ножек; заварка, откачка и наполнение ламп; припайка источника питания; цоколевание ламп) и вспомогательных технологических операций (контроль параметров ламп; тренировка ламп; упаковка ламп и др.)

В состав экспериментального стенда для отработки технологических операций производства светодиодных ламп входят наборы основных и вспомогательных технологических операций:

Для основных технологических операций:

- механизм штамповки ножек;
- механизм монтажа ножек;
- механизм заварки, откачки и наполнения ламп;
- механизм припайки источника питания;
- механизм цоколевания ламп.

Для вспомогательных технологических операций:

- установка контроля параметров ламп;
- установка тренировки ламп;
- механизм упаковки ламп и др.

Имитационная модель роботизированного технологического процесса изготовления светодиодного излучающего элемента и светодиодных ламп должна обеспечивать возможность исследования характеристик технологических процессов изготовления светодиодного излучающего элемента и светодиодных ламп.

Согласно диаграммам методологии IDEF-0 моделирование технологических процессов в рамках среды многоуровневого компьютерного моделирования может проводиться на трех уровнях рассмотрения производственного оборудования:

- на операционном — уровне выполнения элементарных технологических операций либо физико-химических



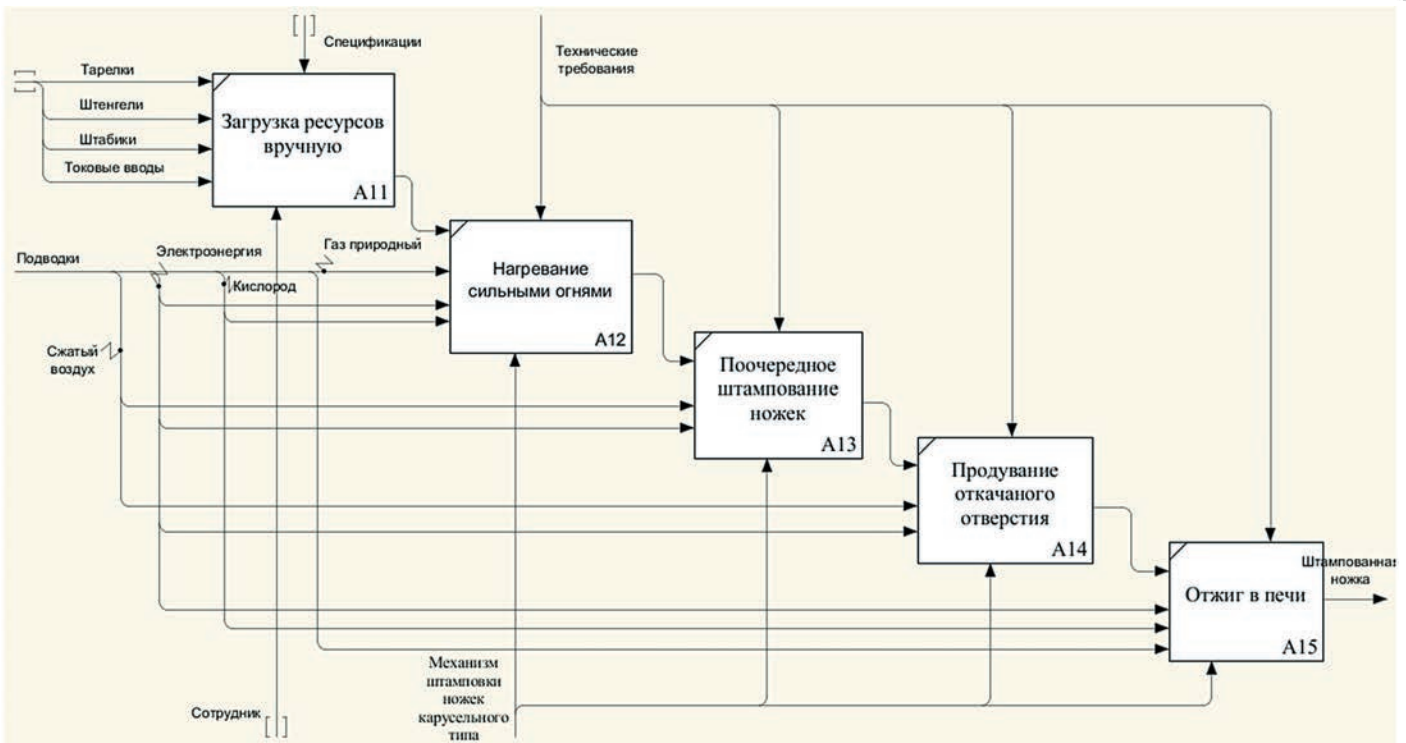


Рис. 3. Диаграмма второго уровня «Штамповка ножек»

эффектов, проводимых или наблюдающихся внутри одного технологического модуля;

- на тактическом — уровне выполнения всех операций и их сопряжения между собой в рамках одного технологического модуля;

- на стратегическом — уровне технологического конвейера, который связывает два или более технологических модуля между собой потоками продукции, энергии и информации.

Для целей анализа временных и материальных ресурсов на выполнение технологических операций, а также формирования и отладки сценариев управления роботизированными технологическими участками имитационная модель формируется в рамках структуры многослойной компьютерной модели [12]. При практической реализации каждому её уровню соответствует слой входного графического редактора:

- объектный слой, на котором формируется технологического оборудования с различной степенью детализации, которая зависит от вида решаемой задачи и уровня рассмотрения производственного оборудования;

- логический слой, где формируется алгоритм решения задачи, в имитационную модель которого входит функциональная модель устройства управления. В зависимости от уровня рассмотрения технологического оборудования он может содержать либо сценарий функционирования управляющего контроллера, представленный в формате графического языка X-Robot [13];

- визуальный слой, содержащий средства отображения результатов вычислительных экспериментов и органы интерактивного управления значениями параметров исследуемых моделей технологического оборудования и функциональных моделей устройств управления.

Программой реализации расширения МКЦ является среда многоуровневого компьютерного моделирования химико-технологических процессов, которая в настоящее время находит применение для анализа дискретных и дискретно-непрерывных технологических процессов. К их классу относятся производственные процессы производства светодиодных ламп.

### Интерпретация методологии IDEF-0 в формат многоуровневой компьютерной модели

В обобщенном виде каждый производственный участок, выполняющий конкретную технологическую операцию, согласно методологии IDEF-0 [14] представляется в виде «черного ящика» (рис. 4), в который помимо входа, подсоединяемого слева от компонента, и выхода, находящегося справа от него, подключены управление — сверху, а также инструменты реализации — снизу от компонента.

В представленной обобщенной модели производственного участка (рис. 4) подлежащая обработке заготовка, материалы и энергия могут подаваться как со склада или некоторого источника, так и с предыдущего производственного участка. Выполнение процесса преобразования заго-



Рис. 4. Обобщенная модель производственного участка в нотациях IDEF0»

товки в продукцию осуществляется роботизированным технологическим оборудованием. Управление протекающим в нем процессе осуществляется сценарием функционирования устройства управления, учитывающим задающие воздействия, поступающие от оператора. Он взаимодействует с пультом управления, на котором осуществляется визуализация значений наблюдаемых переменных технологического оборудования производственного участка, а также содержатся органы интерактивного управления. Продукция производственного участка передается на следующий участок или на склад, если рассматриваемый производственный участок является последним в линейке.

На основе обобщенной модели производственного участка (рис. 5) сформирована его многоуровневая компьютерная модель. На ее трех взаимосвязанных уровнях располагаются:

На объектном уровне многоуровневой модели производственного модуля располагается модель технологического оборудования, описывающая динамику процесса преобразования заготовки, а также учитывающая используемые материальные и энергетические ресурсы. Модель технологического оборудования, представленная физико-химическим блоком (ФХБ), описывающим преобразование мультифизических энергетических и многоком-

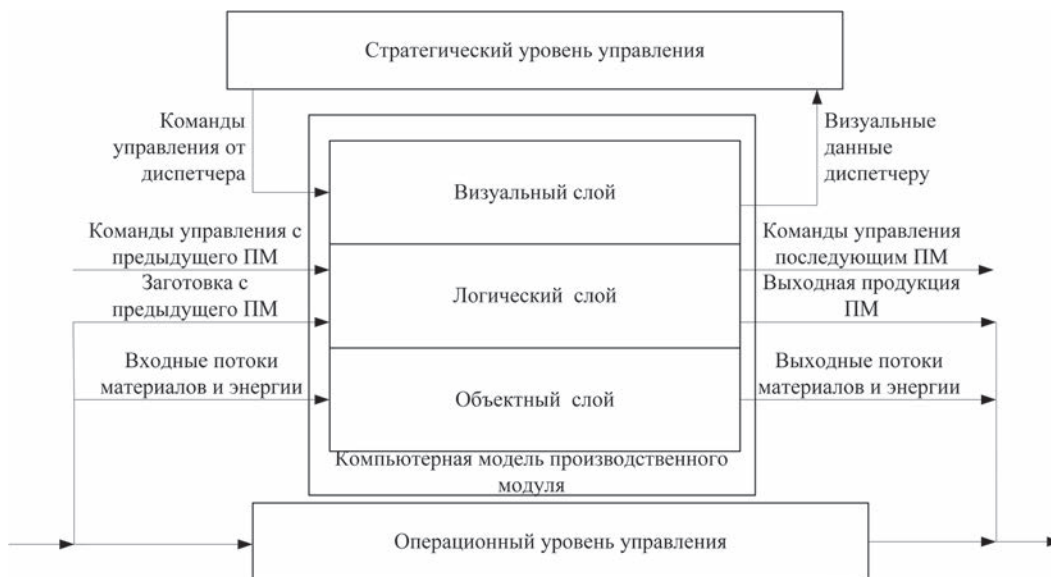


Рис. 5. Многоуровневая модель производственного модуля

понентных вещественных потоков. Вектор решения ФХБ (рис. 6) в зависимости от вида технологического оборудования, в общем случае может включать в себя:

- вектор скоростей передвижения  $V$  и вращения  $\omega$  подвижных частей технологического оборудования, а также вектор действующих сил  $F$  и моментов  $M$ ;
- вектор давлений  $P$  и вещественных расходов  $G$ , температур  $T$  и тепловых потоков  $Q$  вещественных потоков, находящихся в жидком или газообразном состоянии, а также вектора концентраций содержащихся в них веществ  $C$ ;
- вектор температур  $T_T$  и тепловых потоков  $Q_T$  твердых тел, заготовок и различных органов технологического оборудования;
- вектор напряжений  $U$  и токов  $I$  электрических и электромеханических блоков технологического оборудования.

Для представления воздействий на ФХБ к нему могут быть подключены:

- источники скорости и силы, а также источники скорости вращения и моментов сил;
- насосы, являющиеся источниками давления;
- нагреватели (вентиляторы), являющиеся источниками теплового потока;
- источники многокомпонентных вещественных потоков;
- источники напряжения и источники освещения.

Логический уровень включает в себя модель алгоритма управления технологическим оборудованием, формируемый в графическом формате языка управления механизмами X-Robot [13]. Его задачами является прием и обработка значений наблюдаемых переменных модели технологического оборудования, а также выработка на их основе команд управления с учетом задающих воздействий. Команды управления передаются моделям исполнителей, которые осуществляют их преобразование в значения параметров модели технологического оборудования. В графическом сценарии X-Robot [15] каждый исполнитель характеризуется своим уникальным номером и ему ставятся в соответствие 8 команд  $E_x$  —  $E_x0..E_x7$ . Значения выбранных переменных модели и результатов

выполнения определенных шагов сценария являются данными для визуализации и передаются с логического уровня многоуровневой модели на её визуальный уровень.

На визуальном уровне многоуровневой модели производственного модуля располагаются компоненты визуализации характеристик технологического оборудования [16], а также средства интерактивного управления, с которыми взаимодействует пользователь во время работы модели.

Программно-алгоритмической реализацией метода многоуровневого компьютерного моделирования, в формате которого сформирована многоуровневая компьютерная модель производственного модуля (рис. 5), является среда многоуровневого компьютерного моделирования MAPC [17], которая поддерживает технологию создания активных компонентов.

### Объединение технологических модулей в производственный конвейер

Каждый отдельный технологический модуль (рис. 5) выполняет одну операцию технологического процесса под управлением контроллера, функционирующего на основе языка X-Robot. Технологические модули, выполняющие поэтапные операции процесса, объединяются в производственный конвейер, управляемый автоматизированной системой управления. Связь между технологическими модулями в виде переноса заготовок и материалов осуществляют роботизированные комплексы, функционирующие под управлением контроллера X-Robot. Процесс изготовления изделий является дискретно-событийным. Его устройство управления может быть представлено сетью Петри, каждая позиция которой представляет собой отдельный технологический модуль, выполняющих определенную операцию технологического процесса. Для построения компьютерной модели конвейера (рис. 7) и управления протекающими в нем процессами также может быть применена многоуровневая компьютерная модель, на уровнях которой представлены:

- на *объектном уровне* располагается модель производственного конвейера, в которой модель каждого конкретного производственного модуля представляет собой

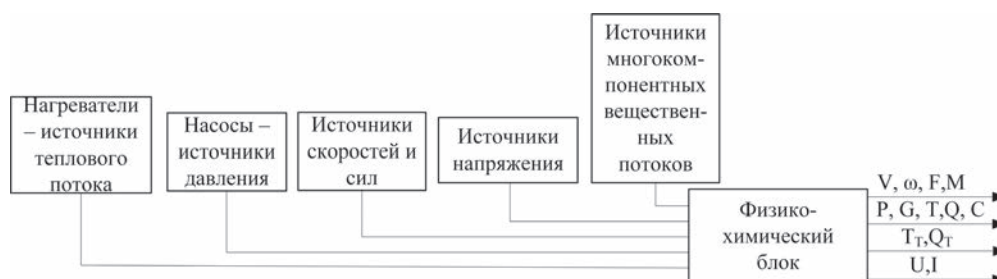


Рис. 6. Обобщенная схема физико-химического блока



Рис. 7. Обобщенная схема физико-химического блока

динамическую задержку заготовки на время, необходимое для выполнения определенной технологической операции;

– *логический уровень* содержит модель алгоритма управления производственным контейнером, представленную в формате сетей Петри [18] и отображающую передвижение заготовок между модулями производственного конвейера;

– *визуальный уровень* отображает загрузку производственных модулей конвейера, а также время, которое каждый из них затрачивает на обработку той или иной заготовки.

Для включения многоуровневой компьютерной модели производственного участка (рис. 5) в многоуровневую модель производственного конвейера она преобразуется к виду активного составного компонента, который в отличие от активного компонента, представляет собой *активный макрокомпонент*. Он является моделью, состоящей из компонентов и представленной в виде компонента на объектном и логическом уровне многоуровневой компьютерной модели производственного конвейера. Он обладает отдельным окном для визуализации результатов и управления параметрами макрокомпонента.

Для формирования активных макрокомпонентов используется компонент «Многоуровневый интерфейс», который имеет свои отображения на объектном (рис. 8, а) и логическом (рис. 8, б) уровнях создаваемого многоуровневого активного макрокомпонента. С помощью узлов  $n_{in1}, n_{in2}, \dots, n_{in\_Nin}, n_{out1}, n_{out2}, \dots, n_{out\_Nout}$  устанавливаются входные и выходные связи формируемого макрокомпонента с другими компонентами объектного уровня, а с помощью узлов  $m_{in1}, m_{in2}, \dots, m_{in\_Nin}, n_{out1}, n_{out2}, \dots, n_{out\_Nout}$  устанавливаются связи с другими компонентами логического уровня многоуровневой модели, в которой используется данный макрокомпонент.

**Многоуровневая компьютерная модель и сценарий функционирования управляющего контроллера роботизированного производственного модуля припайки источника питания**

Роботизированный модуль припайки источника питания предназначен для использования в составе роботизированной линии производства светодиодных филаментных ламп и осуществляет следующие технологические операции (рис. 9):

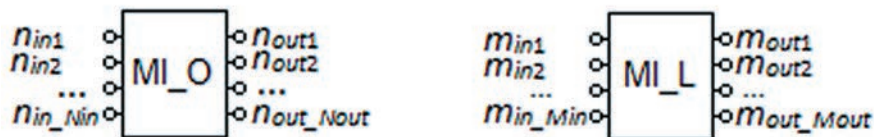


Рис. 8. Обобщенная схема физико-химического блока  
а) изображение на объектном уровне б) изображение на логическом уровне

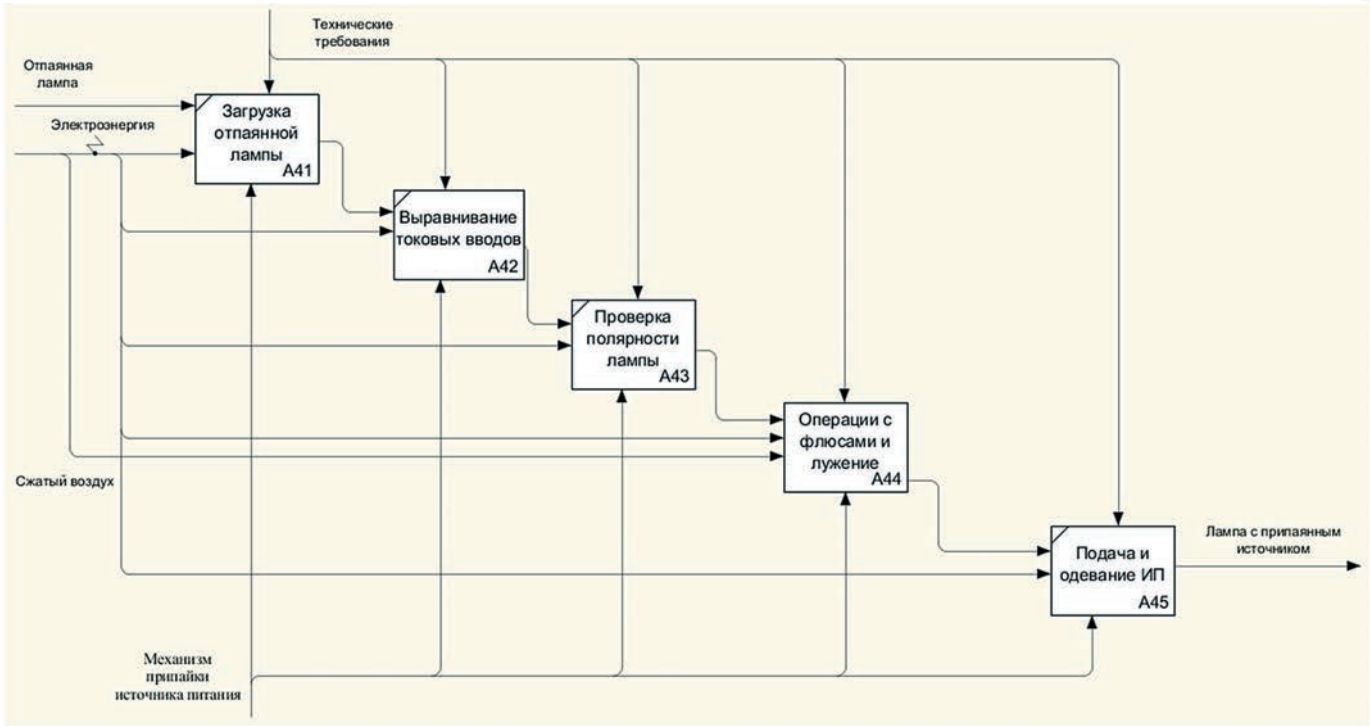


Рис. 9. Диаграмма второго уровня «Припайка источника питания»

- загрузка отпаянной лампы;
- выравнивание токовых выводов;
- проверка полярности токовых выводов;
- операция с флюсами: лужение токовых выводов;
- подача и одевание источника питания;
- припайка источника питания.

В состав формируемого роботизированного модуля входят следующие узлы (рис. 10):

– *робот-манипулятор*, предназначенный для захвата печатных узлов источников питания, их переноса к месту нахождения отпаянной лампы, позиционирования относительно электрических выводов лампы отпаянной с последующим их продеванием в монтажные отверстия, осаживания печатных узлов источников питания на посадочное место в лампе, припайка выводов лампы и удаление их излишков;

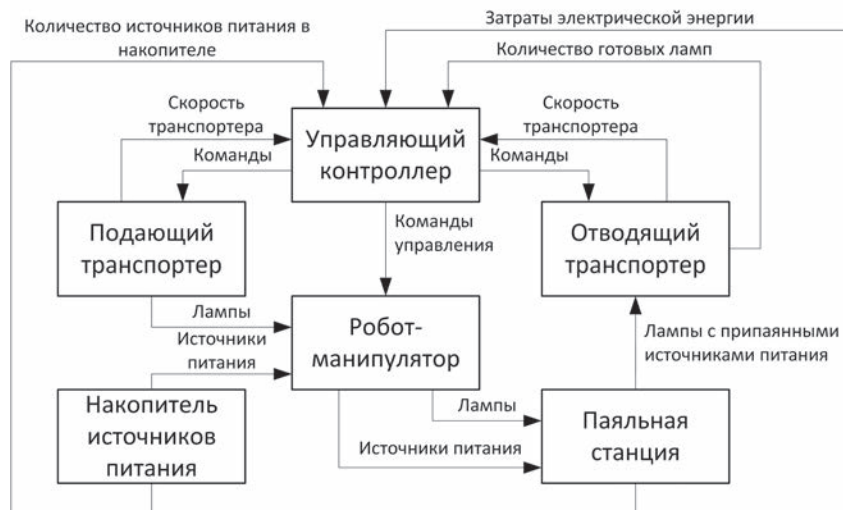


Рис. 10. Структурно-функциональная схема производственного модуля «Припайка источника питания»

– *управляющий контроллер*, осуществляющий целенаправленное управление движениями робота-манипулятора по заложенному сценарию с обратной связью через датчики и систему технического зрения, а также управления скоростью движения транспортера, осуществляющего подачу ламп отпаянных роботу-манипулятору;

– *система технического зрения*, предназначенная для фиксации и анализа видеоизображения поведения робота-манипулятора, позиционирования источников питания относительно электрических выводов ламп отпаянных, получения ряда числовых параметров и характеристик робота-манипулятора, осуществляющего надевание и припайку источника питания, и их передачу управляющему контроллеру;

– *подающий транспортер*, производящий подачу роботу-манипулятору ламп отпаянных в установленном порядке в темпе работы робота-манипулятора. Его скорость должна варьироваться и управляться командами управляющего контроллера, подаваемыми приводом, приводящими в движение подающий транспортер;

– *накопитель печатных плат источников питания*, предназначенный для хранения печатных узлов источников питания. Накопитель должен быть спроектирован таким образом, чтобы робот-манипулятор имел возможность брать из него по одному печатному узлу источника питания в установленном порядке с определенной ориентацией. Управляющий контроллер совместно с системой технического зрения должны осуществлять слежение за количеством оставшихся печатных узлов источников питания и при необходимости подавать сигнал оператору;

– *паяльная установка*, предназначенная для нанесения припоя на отверстие источника питания, в который были продеты электроды лампы отпаянной.

При построении многоуровневой компьютерной модели производственного модуля «Припайка источника питания» на ее объектном уровне должны быть представлены компоненты: «Накопитель источников питания», «Подающий транспортер», «Робот-манипулятор», «Паяльная установка» и «Отводящий транспортер». Между этими компонентами должны быть организованы связи, приведенные на структурно-функциональной схеме стрелками с надписями. По ним между соответствующими компонентами должны передаваться значения обозначенных на связях переменных.

Входными данными для сценария, на основе которого осуществляет свое функционирование управляющий контроллер, являются:

- скорость подающего транспортера (ячеек с лампами в единицу времени);
- скорость отводящего транспортера (ячеек с лампами в единицу времени);
- количество источников питания в накопителе;

– затраты электрической энергии паяльной станции, осуществляющей припайку источников питания к лампе отпаянной;

– количество готовых ламп, которые робот-манипулятор перенес от паяльной станции на отводящий транспортер;

– текущее состояние робота-манипулятора.

Командами, которые должен подавать управляющий контроллер подающему и отводящему транспортерам, являются:

- установка текущей скорости транспортера;
- увеличение/уменьшение скорости транспортера на заданное количество ячеек с лампами в единицу времени.

Командами, подаваемыми управляющим контроллером роботу-манипулятору, являются:

- взять лампу с подающего транспортера;
- осуществить выравнивание токовых выводов у лампы отпаянной;
- взять один источник питания из накопителя;
- позиционировать источник питания согласно полярности токовых выводов лампы;
- надеть источник питания на лампу отпаянную;
- осуществить лужение токовых выводов лампы и их припайку к источнику питания;
- проверить лампу с источником питания на работоспособность;
- положить готовку лампы на отводящий транспортер.

Помимо этого контроллер должен периодически считывать текущее значение количества источников питания, оставшихся в накопителе, затраты электрической энергии на осуществление припайки источника питания, а также количество готовых ламп, переданных роботом-манипулятором отводящему транспортеру.

По отношению к сценарию, на основе которого функционирует управляющий контроллер, исполнителями будут подающий транспортер, отводящий транспортер, робот-манипулятор и паяльная станция. При формировании сценария им назначены следующие номера: подающий транспортер — \$1A, отводящий транспортер — \$1B, робот-манипулятор — \$1C, паяльная станция — \$1D, накопитель источников питания — \$1E, информационное табло — \$1F. На основе диаграммы второго уровня «припайка источника питания» (см. рис. 9) сформирован сценарий функционирования управляющего контроллера (рис. 11).

Подающий (\$1A) и отводящий (\$1B) транспортеры получают от управляющего контроллера одну команду Ex0 — передвинуть транспортер на одну позицию лампы.

От управляющего контроллера робот-манипулятор (\$1C) получает следующие управляющие команды:

- Ex0 — взять лампу отпаянную с подающего транспортера
- Ex1 — взять источник питания из накопителя;

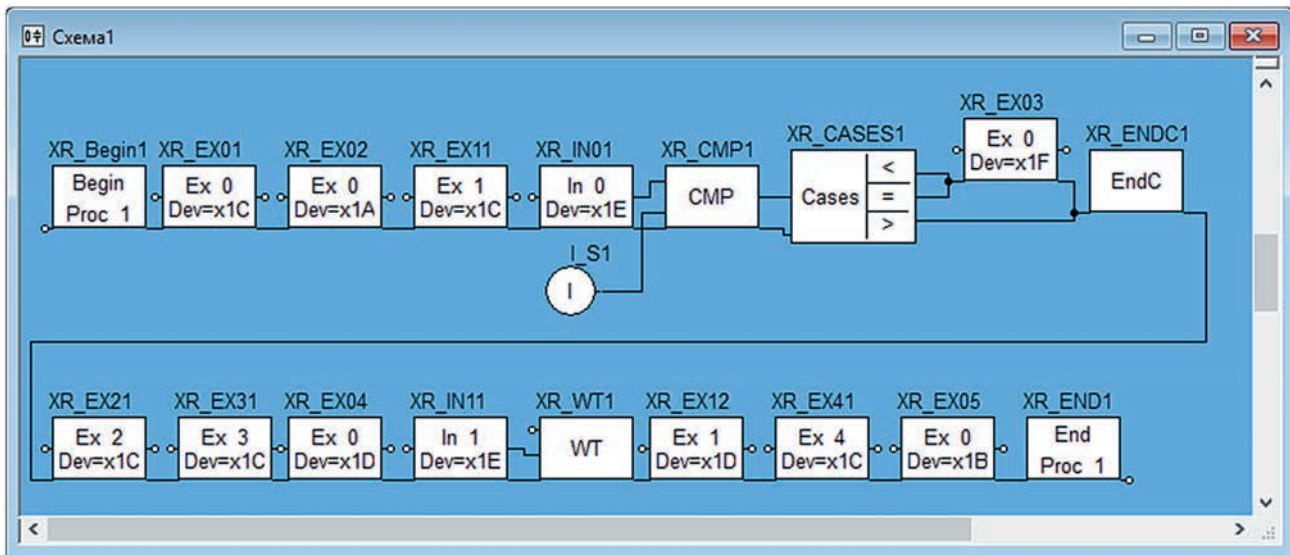


Рис. 11. Сценарий функционирования управляющего контроллера производственного модуля «Припайка источника питания»

- Ex2 — осуществить выравнивание токовых выводов лампы отпаянной и продевание в них источника питания;
- Ex3 — подвод лампы с надетым источником питания к паяльной станции;
- Ex4 — перенос лампы с припаянным источником питания отводящему транспортеру.

Паяльная станция (\$1D) получает от управляющего контроллера и выполняет следующие команды:

- Ex0 — подать напряжение на паяльное жало;
- Ex1 — убрать напряжение с паяльного жала.

С помощью команды In0 накопителя источников питания (\$1E) осуществляется считывание количества оставшихся источников питания в накопителе. В случае, когда их количество становится равным 0, осуществляется вывод сообщения командой Ex0 на информационное табло (\$1F). Проверка на равенство нулю осуществляется компонентом XR\_CMP1, после которого указывается секция ветвления XR\_CASES1.

### Заключение

В данной работе на основе рассмотрения технологического процесса производства светодиодных ламп и метода многоуровневого компьютерного моделирования, основанного на методе компонентных цепей, сформирована многоуровневая компьютерная модель обобщенного производственного модуля. Она предназначена для автоматизированного решения задач анализа и функционального проектирования технологического оборудования производственного участка, а также для формирования и отладки сценариев функционирования управляющих контрол-

леров. Помимо этого рассмотрен вопрос объединения производственных участков в состав производственных конвейеров, обеспечивающий автоматизированное соединение участков.

В качестве примера многоуровневой компьютерной модели рассмотрена модель роботизированного производственного модуля припайки источников питания, для которой в нотациях графического языка управления механизмами X-Robot сформирован сценарий управления.

Аналогичным образом в среде многоуровневого компьютерного моделирования может быть сформирована многоуровневая компьютерная модель различных производственных участков, на основе которой сформирован сценарий управления.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках проекта RFMEFI57717X9266*

### Литература

1. Бражник А.Н. Имитационное моделирование: возможности GPSS WORLD. СПб.: Реноме, 2006. 439 с.
2. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2006. 400 с.
3. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. М.: ДМК Пресс, 2009. 248 с.
4. Абрашкина М., Доброзраков И.Е., Кошин И., Рожкова Т. Филамент светодиодный на смену вольфрамовой спирали // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 4. С. 6–10.
5. Huang L., Shih Y., Shi F. Cooling strategy for LED filament bulb utilizing thermal radiation cooling and open slots enhancing thermal convection // Proceedings of the 16th

*InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, Orlando, FL, USA, 30 May-2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 1030–1033. doi: 10.1109/ITHERM.2017.7992601

6. Солдаткин В. С., Афонин К. Н., Каменкова В. С., Ганская Е. В., Туев В. И. Определение температурной зависимости электрических и световых параметров светодиодных элементов в лампе общего назначения // Доклады ТУСУРа. 2017. Т. 20. № 3. С. 148–151.

7. Liu J., Xu C., Zheng H., Liu S. Numerical Analysis and Optimization of Thermal Performance of LED Filament Light Bulb // IEEE67th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Orlando, FL, USA, 30 May-2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 2243–2248.

8. Zhong H., Xu C., Liu J., Chu J., Liu S., Zeng X., Sun R. A novel cooling method for LED filament bulb using ionic wind // Proceedings of the 16th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, United States, 30 May 2017–2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 998–1003. doi:10.1109/itherm.2017.7992597

9. Feng W., Feng B., Zhao F., Shieh B., Lee R. Simulation and Optimization on Thermal Performance of LED Filament Light Bulb // 12th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA), Shenzhen, China, 2–4 Nov. 2015. IEEE, 2015. Pp. 88–92.

10. Молчанов А. Г., Авдеева В. Н., Безгина Ю. А. Светодиодная лампа для облучения тепличных растений // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 134. С. 263–272.

11. Денисов В. П., Мельников Ю. Ф. Технология и оборудование производства электрических источников света. М.: Электроатомиздат, 1983. 384 с.

12. Дмитриев В. М., Ганджа Т. В. Принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем для управления сложными технологическими объектами // Информатика и системы управления. 2013. № 2 (36). С. 24–36.

13. Мальцев Ю. И. Язык управления механизмами X-Robot // Материалы Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 30–31 октября 2013 г.). Томск, 2013. № 2. С. 114–118.

14. Александров Д. В., Костров А. В. Методы и модели информационного менеджмента. М.: Финансы и статистика, 2007. 336 с.

15. Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Букреев А. С. Моделирование сценариев управления динамическими объектами на основе графического языка X-Robot // Доклады ТУСУРа. 2018. Т. 21. № 2. С. 75–82.

16. Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Ганджа В. В., Мальцев Ю. И. СВИП — система виртуальных инструментов и приборов. Томск: В-Спектр, 2014. 216 с.

17. Дмитриев В. М., Шутенков А. В., Зайченко Т. Н., Ганджа Т. В. MAPC — среда моделирования технических устройств и систем. Томск: В-Спектр, 2011. 278 с.

18. Григорьева Т. Е. Дискретно-событийное моделирование в СМ MAPC для курса «Системы массового обслуживания» // Доклады ТУСУРа. 2014. № 1 (31). С. 152–155.





## MULTILEVEL COMPUTER MODEL OF TECHNOLOGICAL PROCESS PRODUCTION OF LED LAMPS

**VASILIIY I. TUEV,**

Tomsk, Russia, tvi\_retem@main.tusur.ru

**VYACHESLAV M. DMITRIEV,**

Tomsk, Russia, dmitriewvm@gmail.com

**TARAS V. GANDZHA,**

Tomsk, Russia, gandgatv@gmail.com

**VASILIIY S. SOLDATKIN,**

Tomsk, Russia, soldatkinvs@main.tusur.ru

**KEYWORDS:** led; robotic production; multilayer computer model; production module; manufacturing container.

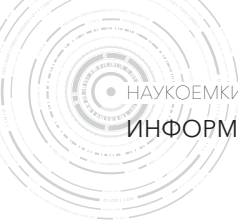
### ABSTRACT

The technological process of production of modern LED lamps based on LED emitting elements is considered. Its main stages and technological operations are highlighted. Three levels of process control are defined: operational, tactical and strategic. The aim of the study is to build a computer modes of the tactical level of technological process control. The tasks of research of technological processes are formulated, for the automation of which computer model can be applied. The main attention is paid to the problem of prototyping the process control algorithms for the production of LED lamps, as currently there are no software tools or automating their solution. Based on the construction of its functional model in the form of an IDEF-0 diagram, the interpretation of this methodology into the format of the method of multi-layers component circuit, the software implementation of which has a multi-layer computer simulation environment, is proposed. It allows you to create multi-layers computer models of production modules that implement the tactical level of control of technological processes on the interconnected object, logical and visual layers. At its object layer computer models of a controlled technological equipment. The logic level contains the algorithms of the functioning of the controller, formed in the format of the graphical language control of mechanisms. At the visual level, there are tools for visualization of the simulation result and the interactive control bodies of the values of the model parameters and the course of the computational experiment. A multi-level computer model of a generalized production module, which constitutes the tactical level of control of technological processes, is formed, and the structure and solution vector of the physical-chemical unit, which is a generalized model level of the multi-layer computer model, are determined. The question is considered and the instrumental means of uniting multi-layers models of production modules into a

production conveyor are presented. A computer model of the production module "Soldering of the power supply", which is a model of the object layer of a multilayer model, is formed, and a scenario of the functioning of its controller, formed at the logic layer of a multilayer model, is presented.

### REFERENCES

1. Brajnik A.M. *Imitazionnoe modelirovanie: vozmozhnosti GPPS WORLD*. [Simulation modeling: the possibilities of GPSS WORLD] St. Petersburg: Renome, 2006. 439 p. (In Russian)
2. Karpov Yu.G. *Imitatsionnoye modelirovaniye sistem. Vvedeniye v modelirovaniye s AnyLogic 5* [Simulation modeling systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5]. St. Petersburg: BKhV-St. Petersburg, 2006. 400 p. (In Russian)
3. Basov K.A. *Ansys dlja konstruktorov* [ANSYS for designers]. Moscow: DMK Press, 2009. 248 p. (In Russian)
4. Abrashkina M., Dobroznakov I.E., Koshin I., Rojkova T. Filament svetodiodnyj na snemu vol'framovoy spirali [LED filament for tungstened spiral change]. *Poluprovodnikovaja svetotehnika* [Solid-State Lighting]. 2015. No. 4. Pp. 6-10 (In Russian)
5. Huang L., Shih Y., Shi F. Cooling strategy for LED filament bulb utilizing thermal radiation cooling and open slots enhancing thermal convection. *Proceedings of the 16th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, Orlando, FL, USA, 30 May-2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 1030-1033. doi: 10.1109/ITHERM.2017.7992601
6. Soldatkin V.S., Afonin K.N., Kamenkova V.S., Ganskaya E.V., Tuev V.I. Determination of the temperature dependence of the electrical and light parameters of LED elements in a general-purpose lamp. *Proceedings of TUSUR*. 2017. Vol. 20. No. 3. Pp. 148-151. (In Russian)



7. Liu J., Xu C., Zheng H., Liu S. Numerical Analysis and Optimization of Thermal Performance of LED Filament Light Bulb. *IEEE67th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Orlando, FL, USA, 30 May-2 June 2017*. IEEE, 2017. Pp. 2243-2248.
8. Zheng H., Xu C., Liu J., Chu J., Liu S., Zeng X., Sun R. A novel cooling method for LED filament bulb using ionic wind // *Proceedings of the 16th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, United States, 30 May 2017-2 June 2017*. IEEE, 2017. Pp. 998-1003. doi:10.1109/itherm.2017.7992597
9. Feng W., Feng B., Zhao F., Shieh B., Lee R. Simulation and Optimization on Thermal Performance of LED Filament Light Bulb // *12th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA), Shenzhen, China, 2-4 Nov. 2015*. IEEE, 2015. Pp. 88-92.
10. Molchanov A. G., Avdeeva V. N., Bezgina Yu. A. LED lamp for irradiating greenhouse plants]. *Scientific Journal of KubSAU*. 2017. No. 134. Pp. 263-272.
11. Denisov V. P., Mel'nikov YU. F. *Tekhnologiya i oborudovaniye proizvodstva elektricheskikh istochnikov sveta* [Technology and equipment for the production of electric light sources]. Moscow: Elektroatomizdat, 1983. 384 p. (In Russian)
12. Dmitriev V. M., Gandzha T. V. Printsip formirovaniya mnogourovnevnykh komp'yuternykh modeley SCADA-sistem dlya upravleniya slozhnyimi tekhnologicheskimi ob'yektami [The principle of formation of multi-level computer models of SCADA-systems for managing complex technological objects]. *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and control systems]. 2013. No. 2 (36). Pp. 24-36. (In Russian)
13. Mal'tsev Yu. I. Yazyk upravleniya mekhanizmami X-Robot [The language of control mechanisms X-Robot]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Elektronnyye sredstva i sistemy upravleniya"*. [Proceedings of International scientific and practical conference "Electric tools and control systems", Tomsk, 30-31 October 2013]. 2013. No. 2. Pp. 114-118. (In Russian)
14. Aleksandrov D. V., Kostrov A. V. *Metody i modeli informatsionnogo menedzhmenta* [Methods and models of information management]. Moscow: Finansy i statistika, 2007. 336 p. (In Russian)
15. Dmitriev V. M., Gandzha T. V., Bukreev A. S. Simulation of scripts for managing dynamic objects based on the X-Robot graphical language. *Proceedings of TUSUR*. 2018. Vol. 21. No. 2. Pp. 75-82. (In Russian)
16. Dmitriev V. M., Gandzha T. V., Gandzha V. V., Maltsev Yu. I. *SVIP – sistema virtual'nykh instrumentov i priborov* [SVIP – a system of virtual instruments and devices]. Tomsk: V-Spektr, 2014. 216 p. (In Russian)
17. Dmitriev V. M., Shutenkov A. V., Zaichenko T. N., Gandzha T. V. *MARS – sreda modelirovaniya tekhnicheskikh ustroystv i sistem* [MARS – environment for modeling technical devices and systems]. Tomsk: V-Spektr, 2011. 278 p. (In Russian)
18. Grigorieva T. E. Discrete-event modeling in SM MARS for the course "Systems of mass service". *Proceedings of TUSUR*. 2014. No. 1(31). Pp. 152-155. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Tuev V. I., PhD, Docent, Director of the LED Technology Research Institute of Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics;  
Dmitriev V. M., PhD, Full Professor, Professor at the Department of Department of Computer Systems in Management and Design of Tomsk State University of Control Systems and Radio electronics;  
Gandzha T. V., PhD, professor at the Department of Department of Computer Systems in Management and Design of Tomsk State University of Control Systems and Radio electronics;  
Soldatkin V. S., PhD, assistant professor at Department of Radioelectronic Technologies and Environmental Monitoring of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.

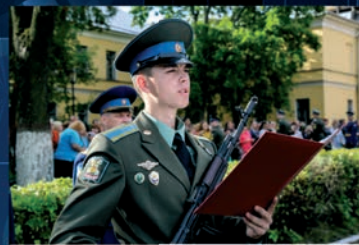
---

**For citation:** Tuev V. I., Dmitriev V. M., Gandzha T. V., Soldatkin V. S. Multilevel computer model of technological process production of led lamps. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 86-98. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10228 (In Russian)

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



ОБУЧЕНИЕ В  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ



ВЫСОКИЙ СОЦИАЛЬНЫЙ  
СТАТУС



ОГРОМНЫЙ ВЫБОР  
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ



ВЫСОКООПЛАЧИВАЕМАЯ  
РАБОТА



ПОВЫШЕННАЯ  
СТИПЕНДИЯ



ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ПИТАНИЕМ И  
ФОРМЕННОЙ  
ОДЕЖДОЙ



ПРОЖИВАНИЕ В  
ОБЩЕЖИТИИ



ПРЕСТИЖНЫЕ  
ПРОФЕССИИ  
БУДУЩЕГО



ГАРАНТИРОВАННОЕ  
ТРУДОУСТРОЙСТВО



ВОСТРЕБОВАННОСТЬ В  
ВООРУЖЕННЫХ  
СИЛАХ РФ



РОМАНТИКА  
ВОЕННОЙ СЛУЖБЫ



БЕСКОНЕЧНЫЕ  
ВОЗМОЖНОСТИ  
КАРЬЕРНОГО РОСТА И  
СОЦИАЛЬНЫЙ ЛИФТ

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ

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

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

Факс: (812) 237-12-49.

Сайт: [www.mil.ru](http://www.mil.ru), [www.academy-mozhayskogo.ru](http://www.academy-mozhayskogo.ru)

Адрес электронной почты: [srb.vka@yandex.ru](mailto:srb.vka@yandex.ru).

# ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

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-ESResearch@yandex.ru.

1. **Статья подготавливается** в редакторе MS Word. Шаблон статьи можно скачать на сайте журнала [www.h-es.ru](http://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 набираются 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 желательны 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](http://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](http://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.**