

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

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.

ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

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

Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте журнала www.hes.ru и библиотеке elibrary.ru.

Всем авторам, желающим разместить научную статью в журнале, необходимо оформить ее согласно требованиям и направить материалы на электронную почту: HT-ESResearch@yandex.ru. С требованиями можно ознакомиться на сайте: www.H-ES.ru.

Язык публикаций: русский, английский.
Периодичность выхода – 6 номеров в год.
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-60899 от 02.03.2015
Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Тираж 1000 экз. Цена 1000 руб.
Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается.

© ООО «ИД Медиа Паблшер», 2019

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

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

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

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

JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

All issues of the journal are in a free access on a site of the journal www.hes.ru and elibrary.ru.

All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: HT-ESResearch@yandex.ru. The requirements are available on the website: www.H-ES.ru.

Language of publications: Russian, English.
Periodicity – 6 issues per year.
Media Registration Certificate PI No. FS77-60899. Date of issue: March 2, 2015.
Distribution Territory: Russian Federation, foreign countries

Circulation of 1000 copies. Price of 1000 Rub.
Postgraduate students for publication of the manuscript will not be charged

© "Media Publisher", LLC 2019

Учредитель:

ООО «ИД Медиа Паблшер»

Издатель:

ДЫМКОВА С.С.

Главный редактор:

ЛЕГКОВ К.Е.

Редакционная коллегия:

БОБРОВСКИЙ В.И., д.т.н., доцент;

БОРИСОВ В.В., д.т.н., профессор,

Действительный член академии
военных наук РФ;

БУДКО П.А., д.т.н., профессор;

БУДНИКОВ С.А., д.т.н., доцент,

Действительный член Академии
информатизации образования;

ВЕРХОВА Г.В., д.т.н., профессор;

ГОНЧАРОВСКИЙ В.С., д.т.н., профессор,
заслуженный деятель науки
и техники РФ;

КОМАШИНСКИЙ В.И., д.т.н., профессор;

КИРПАНЕВ А.В., д.т.н., доцент;

КУРНОСОВ В.И., д.т.н., профессор,

академик Международной академии
информатизации, Действительный член
Российской академии естественных наук;

МОРОЗОВ А.В., д.т.н., профессор,

Действительный член Академии
военных наук РФ;

МОШАК Н.Н., д.т.н., доцент;

ПАВЛОВ А.Н., д.т.н., профессор;

ПРОРОК В.Я., д.т.н., профессор;

СЕМЕНОВ С.С., д.т.н., доцент;

СИНИЦЫН Е.А., д.т.н., профессор;

ШАТРАКОВ Ю.Г., д.т.н., профессор,
заслуженный деятель науки РФ.

Адрес 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.

Адрес типографии:

Россия, Москва, ул. Складочная, д. 3, кор. 6.

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.

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Новичков В.М., Бузова А.Ю.

Контроль параметров тяги двухвальных турбореактивных двигателей при их разнотяговости 4

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Воронин О.И., Павлов Ю.В.

Подходы к оптимизации свойств функции неопределённости сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией..... 14

Козлов С.В., Кубанков А.Н.

Процессные основы интеграции и комплексного развития информационных, управляющих, роботизированных, телекоммуникационных систем..... 23

Мокринский Д.В.

Математическая модель функционирования подсистемы частотно-фазовой синхронизации 32

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Авраменко В.С., Маликов А.В.

Методика диагностирования компьютерных инцидентов безопасности в автоматизированных системах специального назначения 44

Говоритель В.В.

Метод построения моделей информационно-аналитической деятельности субъектов жизненного цикла автоматизированных систем военного назначения... 53

Захаров Д.Н., Никулин В.С.

Анализ методов статистической оценки эксплуатационной надежности вычислительных комплексов 64

Красов А.В., Сахаров Д.В., Тасюк А.А.

Проектирование системы обнаружения вторжений для информационной сети с использованием больших данных 70



CONTENTS

AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

Novichkov V.M., Burova A.Yu. Control of thrust parameters of twin-shaft turbojet engines with their thrust asymmetry	4
---	---

RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

Voronin O.I., Pavlov Yu.V. Scientific approaches to optimization of properties of ambiguity function of complex signals with discrete frequency modulation	14
Kozlov S.V., Kubankov A.N. Process bases of integration and complex development of information, control, robotic, telecommunication systems.....	23
Mokrinski D.V. Mathematical model of a phase-frequency synchronization system	32

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

Avramenko V.S., Malikov A.V. Procedure of diagnosis security computer incidents in automated special purpose systems	44
Govoritel V.V. Method for constructing models of information and analytical activity of life cycle subjects of automated military systems	53
Zakharov D.N., Nikulin V.S. Analysis of methods of statistical evaluation of operational reliability of computational complexes.....	64
Krasov A.V., Saharov A.A., Tasyuk A.A. Design of intrusion detection system for information network using Big data	70

Founder:
"Media Publisher", LLC

Publisher:
DYMKOVA S.S.

Editor in chief:
LEGKOV K.E.

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;
MOROZOV A.V., PhD, Full Professor,
Actual Member of the Academy
of Military Sciences;
MOSHAK N.N., PhD, Docent;
PAVLOV A.N., PhD, Full Professor;
PROROK V.Y., PhD, Full Professor;
SEME NOV S.S., PhD, Docent;
SINICYN E.A., PhD, Full Professor;
SHATRAKOV Y.G., PhD, Full Professor;
Honored Worker of Science
of the Russian Federation.

Address of publisher:
111024, Russia, Moscow,
st. Aviamotornaya, 8, office 512-51

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

Address of printing house:
Russia, Moscow, st. Skladochnaya, 3, h. 6

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.



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-4-12

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЯГИ ДВУХВАЛЬНЫХ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИХ РАЗНОТЯГОВОСТИ

НОВИЧКОВ

Вадим Михайлович¹

БУРОВА

Аделя Юрьевна²

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены вопросы, связанные с решением задач коррекции разнотяговости турбореактивных двигателей силовой установки двухдвигательного самолёта программно-аппаратными средствами электронных блоков системы управления его силовой установкой в полёте. Череда участвовавших в последнее время аварий среднемагистральных и дальнемагистральных самолётов из-за асимметрии тяги их двигателей при взлёте или посадке актуализировала решение этих задач для усовершенствования алгоритмов программно-аппаратного обеспечения системы автоматического управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с турбореактивными двигателями. В качестве параметров тяги таких двигателей предлагается использовать частоты вращения роторов компрессоров низкого давления его двигателей и частоты вращения роторов компрессоров высокого давления тех же двигателей. Автоматический контроль этих параметров тяги по предлагаемому алгоритму их контроля позволяет уменьшать разнотяговость двухвальных турбореактивных двигателей силовой установки двухдвигательного самолёта путём уравнивания частот вращения роторов компрессоров низкого давления и уравнивания частот вращения роторов компрессоров высокого давления его двигателей. Предлагаемый алгоритм контроля таких параметров тяги двухвальных турбореактивных двигателей силовой установки двухдвигательного самолёта предусматривает возможность повышения их тяги по результатам сравнительной оценки соотношения частот вращения роторов компрессоров низкого давления и сравнительной оценки соотношения частот вращения роторов компрессоров высокого давления с учётом первых производных этих частот. Практическая реализация предлагаемого алгоритма в программно-аппаратном обеспечении системы автоматического управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с двухвальными турбореактивными двигателями обеспечит дополнительную возможность снижения асимметрии их тяги в полёте и соответствующего повышения безопасности полёта. Такое решение одной из задач коррекции разнотяговости этих двигателей на основе предлагаемого алгоритма контроля параметров их тяги можно считать дальнейшим развитием идеи снижения разнотяговости однотипных турбореактивных двигателей в условиях их серийного производства на заводе-изготовителе и эксплуатации на магистральных самолётах.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., доцент, доцент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), г. Москва, Россия, v13217@yandex.ru

²старший преподаватель Московского авиационного института (национального исследовательского университета), г. Москва, Россия, frambe@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двухдвигательный самолёт, силовая установка, турбореактивный двигатель, частота вращения ротора, электронная система управления.

Для цитирования: Новичков В.М., Бурова А.Ю. Контроль параметров тяги двухвальных турбореактивных двигателей при их разнотяговости // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 1. С. 4-12. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-4-12

Введение

Разнотяговость турбореактивных двигателей (ТРД) силовой установки двухдвигательного самолёта в полёте приводит, как минимум, к усложнению условий полёта и, следовательно, снижает безопасность полётов. Отмечается, что наличие разнотяговости наиболее опасно при взлёте, заходе на посадку и при посадке [1]. При этом учитываются внешние воздействия на самолёт, а к проектируемым силовым установкам самолётов предъявляются всё новые и новые требования. Большое внимание при разработке силовой установки уделяется не только конструкции и законам управления двигателями, но и алгоритмам их диагностики [2].

Автоматический контроль параметров тяги двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта в полёте с несимметричной тягой может и должен обеспечиваться аппаратными и программными средствами электронных блоков управления двигателями из состава электронной системы управления силовой установкой [3]. Такой контроль создает дополнительную возможность снижения разнотяговости её ТРД в полёте и соответствующего повышения безопасности полёта.

Зависимость силы тяги двухвального ТРД от частот вращения обоих роторов турбин его компрессоров низкого и высокого давления обуславливает использование этих частот как параметров тяги такого двигателя [2,4]. Вычисление первых производных частот вращения роторов турбин обоих его компрессоров и суммирование измеряемых значений этих частот с вычисляемыми значениями их первых производных обеспечивает алгоритмизацию контроля таких параметров тяги двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта в многомерной постановке задач коррекции их разнотяговости с помощью специальных поправок тех же параметров тяги по методу снижения разнотяговости однотипных ТРД в условиях их серийного производства на заводе-изготовителе и последующей эксплуатации на среднемагистральных или дальнемагистральных самолётах [5]. Этот метод предусматривает введение специальных поправок параметров тяги ТРД в систему автоматического управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с ТРД. Структурная схема этого метода приведена на рис. 1.

Через участвовавших в последнее время аварий среднемагистральных и дальнемагистральных самолётов из-за асимметрии тяги их двигателей при взлёте или посадке актуализировала разработку алгоритмов контроля параметров тяги двухвальных ТРД силовой установкой двухдвигательного самолёта для программно-аппаратного обеспечения системы автоматического управления такой установкой.

Целью исследования является алгоритмизация контроля параметров тяги исправно работающих двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта про-

граммными и аппаратными средствами электронной системы управления его силовой установкой. Материалами исследования стали компоненты программно-аппаратного обеспечения электронной системы управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с двухвальными ТРД. При исследовании этих материалов использовались методы программного моделирования и цифровой обработки сигналов [1].

1. Структура электронной системы управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с двухвальными ТРД

На рис. 2 приведена структурная схема электронной системы управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с двухвальными ТРД. На этой структурной схеме приняты следующие сокращения: ДТРД — двухвальные ТРД, ЭБУД — электронные блоки управления двигателями, БДЦС — блоки дифференцирования цифровых сигналов от датчиков частот вращения роторов турбин компрессоров этих двигателей, БИЦС — блоки интегрирования цифровых сигналов от датчиков и дифференциаторов частот вращения роторов турбин компрессоров, БСЦС — блоки сравнения цифровых сигналов, БКЦС — блоки контроля цифровых сигналов, БПТД — блоки повышения тяги двигателей, ДЧВР — датчики частот вращения роторов турбин компрессоров низкого и высокого давления двигателей, ДПРУ — датчики положения рычагов управления двигателями, ДППК — датчик положения предкрылков, ДПСТ — датчик положения стояночного тормоза самолёта, ДВСС — датчик воздушной скорости самолёта [3].

Разнотяговость двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта обусловлена величиной диапазона значений силы их тяги, замеренных на заводе-изготовителе при стендовых испытаниях этих двигателей в условиях их серийного производства. Поэтому, уровень разнотяговости двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта зависит от величины минимального диапазона значений силы тяги серийных ТРД и может быть минимизирован в полёте [6].

2. Алгоритм контроля параметров тяги двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта при их разнотяговости в полёте

Цифровые сигналы $0 \leq I_T \leq 1$ и $0 \leq I_S \leq 1$ с выходов датчика положения предкрылков и датчика положения стояночного тормоза самолёта, соответственно, поступают на входы блоков контроля цифровых сигналов. Блок сравнения цифровых сигналов с выхода датчика воздушной скорости самолёта и соответствующего цифрового сигнала оперативного запоминающего устройства электронной системы управления силовой установкой двухдвигатель-

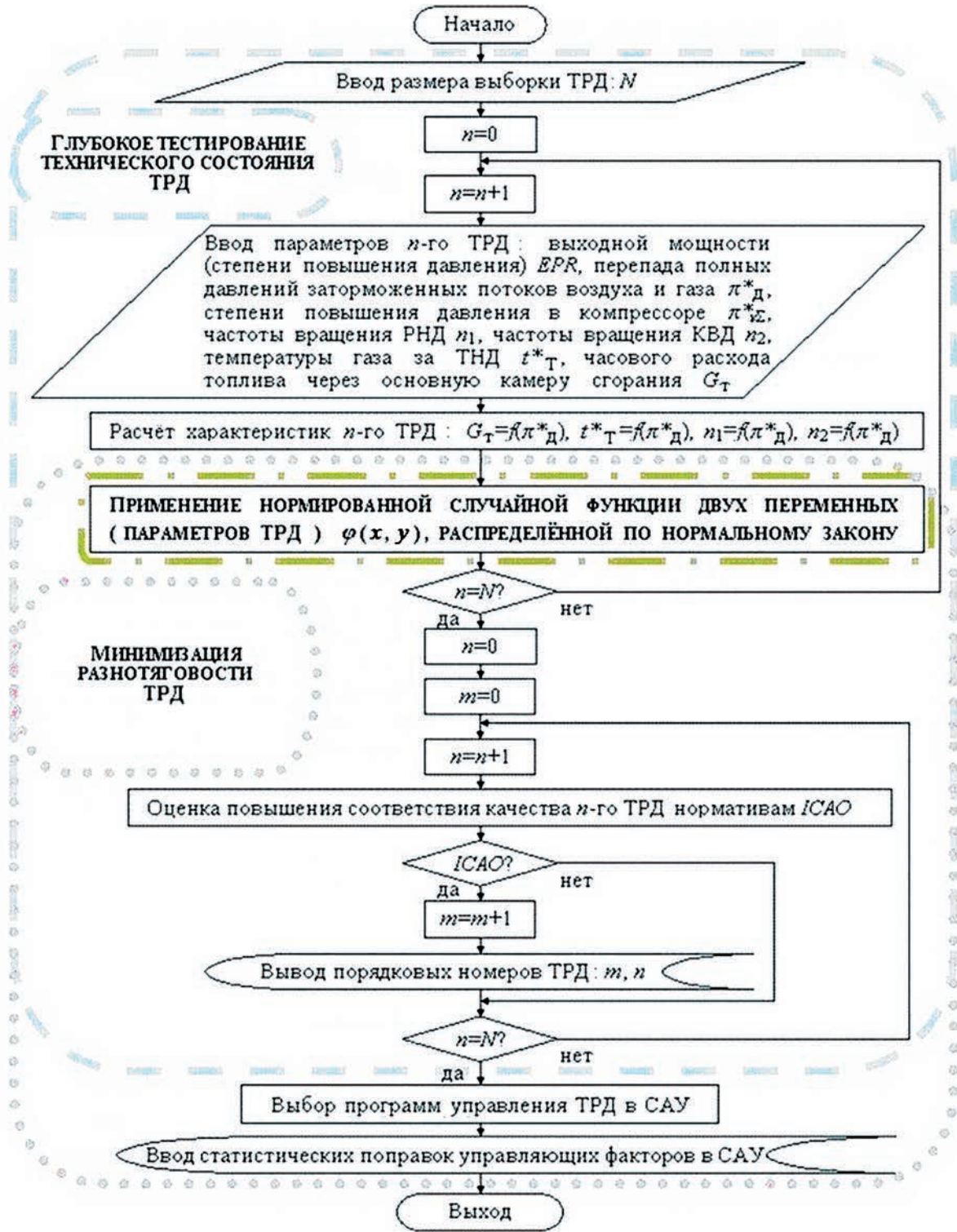


Рис. 1. Структурная схема метода снижения разнотяговости однотипных ТРД в условиях их серийного производства на заводе-изготовителе и последующей эксплуатации на среднемагистральных или дальнемагистральных самолётах

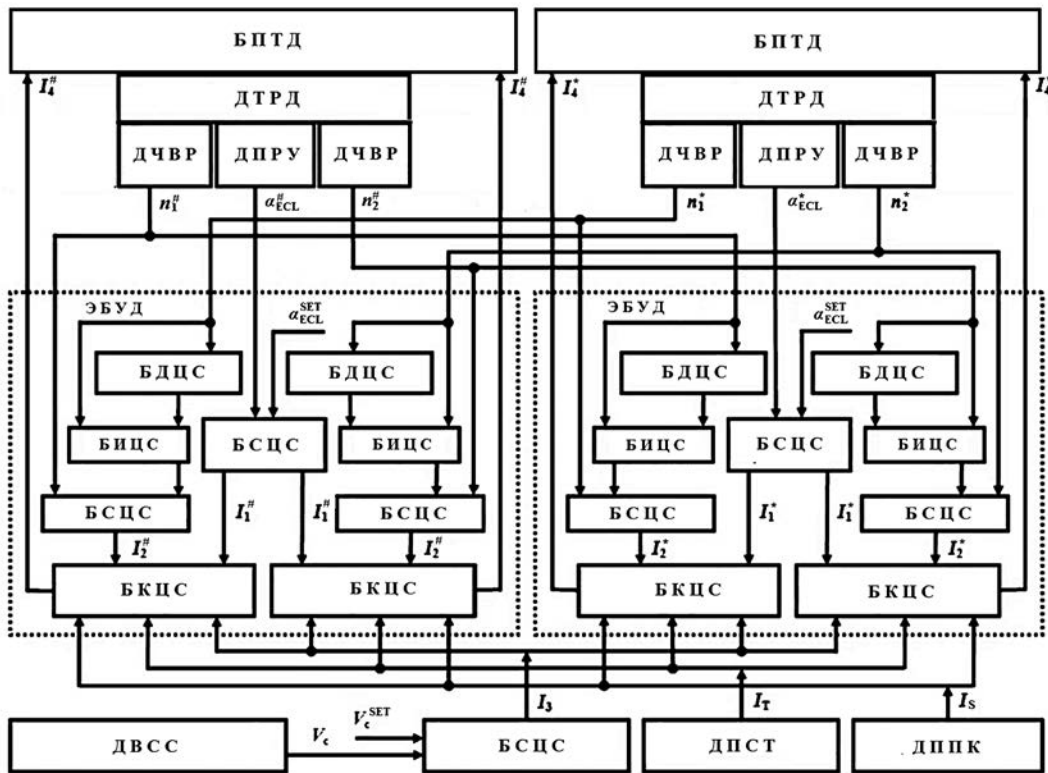


Рис. 2. Структурная схема электронной системы управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с двухвальными ТРД

ного самолёта выдаёт цифровой сигнал $0 \leq I_3 \leq 1$ на входы блоков контроля цифровых сигналов.

Блоки сравнения цифровых сигналов с выходов датчиков положения рычагов управления двигателями и соответствующего цифрового сигнала из оперативного запоминающего устройства электронной системы управления силовой установкой двухдвигательного самолёта выдаёт цифровые сигналы $0 \leq I_1^{\#} \leq 1$ и $0 \leq I_1^* \leq 1$ на входы блоков контроля цифровых сигналов. С выходов блоков дифференцирования цифровых сигналов на входы блоков интегрирования цифровых сигналов поступают временные отсчёты первых производных частот вращения роторов турбин компрессоров двигателей с учётом динамических свойств этих роторов. С выходов блоков интегрирования цифровых сигналов на входы блоков сравнения цифровых сигналов поступают суммарные отсчёты частот вращения роторов турбин компрессоров двигателей и первых производных тех же частот с учётом динамических свойств соответствующих роторов. Блоки сравнения цифровых сигналов с выходов блоков интегрирования цифровых сигналов и с выходов датчиков частот вращения роторов турбин компрессоров низкого и высокого давления формируют цифровые сигналы $0 \leq I_2^{\#} \leq 1$ и $0 \leq I_2^* \leq 1$, которые

поступают на входы блоков контроля цифровых сигналов. С выходов блоков контроля цифровых сигналов на входы блоков повышения тяги двигателей поступают цифровые сигналы управления тягой $0 \leq I_4^{\#} \leq 1$ и $0 \leq I_4^* \leq 1$.

Логическая схема предлагаемого алгоритма контроля параметров тяги двухвалных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта приведена на рис. 3. В соответствии со структурной схемой электронной системы управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с двухвальными ТРД, приведённой на рис. 2, на логической схеме предлагаемого алгоритма параметры одного ТРД $\alpha_{ECL}^{\#}$, $C_1^{\#}$, $C_2^{\#}$, $n_1^{\#}$ и $n_2^{\#}$ обозначены идентификаторами $a(1)$, $C(1,1)$, $C(1,2)$, $n(1,1)$ и $n(1,2)$, а те же параметры другого ТРД α_{ECL}^* , C_1^* , C_2^* , n_1^* и n_2^* — идентификаторами $a(2)$, $C(2,1)$, $C(2,2)$, $n(2,1)$ и $n(2,2)$, соответственно, и общие для обоих ТРД параметры α_{ECL}^{SET} , V_c , V_c^{SET} и условные номера ТРД и их роторов — идентификаторами A , V_c , V , J , K и L , соответственно.

Цифровые сигналы $I_1^{\#}$ и I_1^* обозначены идентификатором $I1$, цифровые сигналы $I_2^{\#}$ и I_2^* — идентификатором $I2$, цифровой сигнал I_3 — идентификатором $I3$, цифровые сигналы $I_4^{\#}$ и I_4^* — идентификатором $I4$, цифровой сигнал I_T — идентификатором I_T , цифровой сигнал I_S — идентификатором I_P .

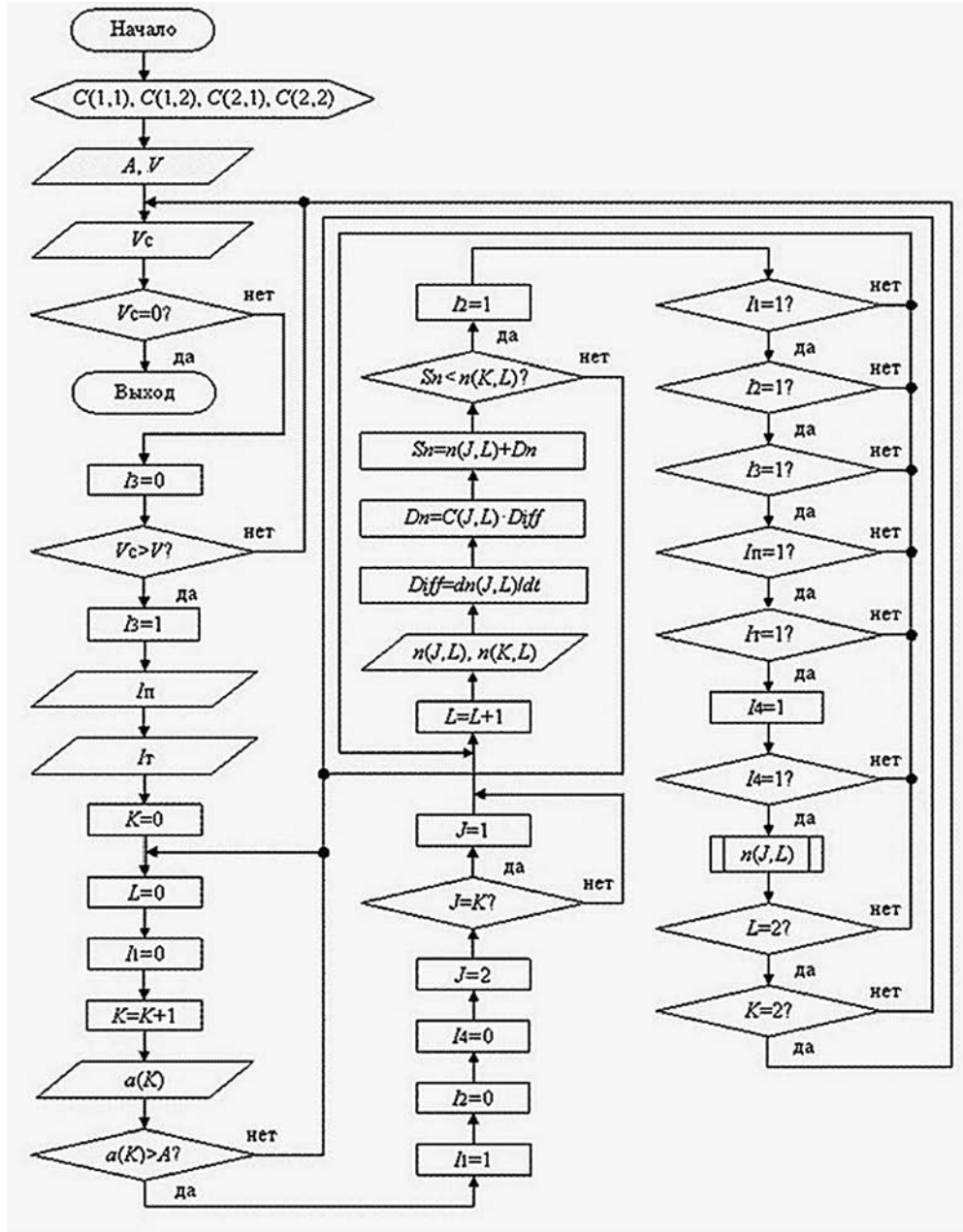


Рис. 3. Логическая схема предлагаемого алгоритма контроля параметров тяги двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта

3. Контролируемые значения параметров тяги двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта при их разнотяговости в полёте

Снижение разнотяговости двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта, у одного из которых частота вращения ротора турбины компрессора низкого давления n_1^* и частота вращения ротора турбины компрессора высокого давления n_2^* , а у другого частота вращения ротора турбины компрессора низкого давле-

ния n_1^* и частота вращения ротора турбины компрессора высокого давления n_2^* обеспечивается уравниванием частот вращения роторов компрессоров низкого давления и уравниванием частот вращения роторов компрессоров высокого давления обоих ТРД в соответствии со структурной схемой электронной системы управления силовой установкой двухдвигательного самолёта, приведенной на рис. 2. Изменения значений цифровых сигналов управления тягой каждого из двигателей в зависимости от соотношений частот вращения роторов турбин компрессоров

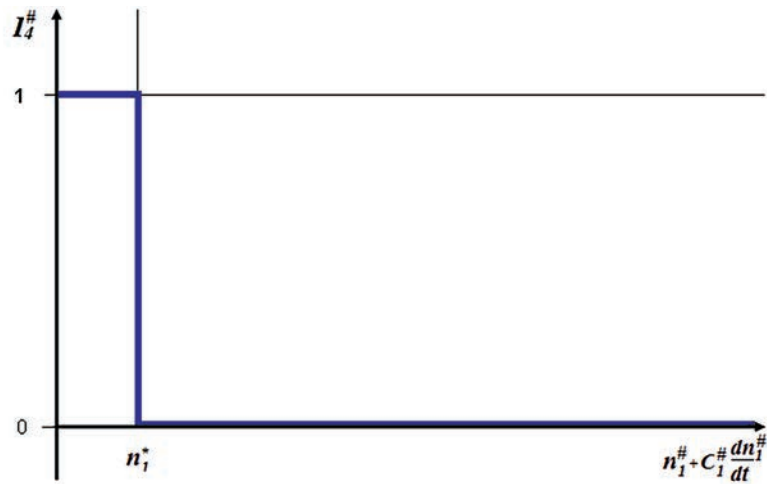


Рис. 4. Изменение значения цифрового сигнала управления тягой $I_4^{\#}$ в зависимости от соотношения контролируемых значений частот вращения роторов турбин компрессоров низкого давления обоих ТРД

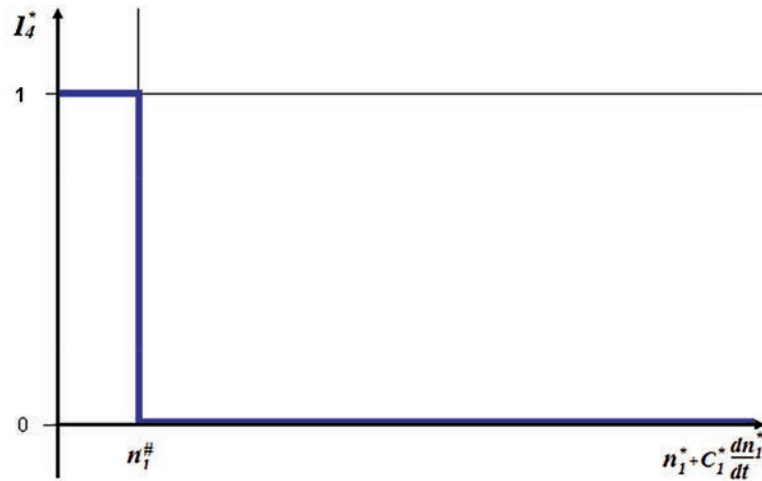


Рис. 5. Изменение значения цифрового сигнала управления тягой I_4^* в зависимости от соотношения контролируемых значений частот вращения роторов турбин компрессоров высокого давления обоих ТРД

низкого и высокого давления обоих двигателей отображены на рис. 4–7. Весовые коэффициенты $C_1^{\#}$, $C_2^{\#}$, C_1^* , C_2^* позволяют учесть динамические свойства роторов турбин компрессоров низкого и высокого давления обоих ТРД.

Заключение

Предлагаемый алгоритм контроля параметров тяги двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта позволяет уменьшать их разнотяговость путём уравнивания частот вращения роторов турбин компрес-

соров низкого давления и уравнивания частот вращения роторов турбин компрессоров высокого давления его двигателей за счёт повышения их тяги в полёте [7]. Такой алгоритм предусматривает возможность повышения тяги двухвальных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта по результатам сравнительной оценки соотношения частот вращения роторов турбин компрессоров низкого давления и сравнительной оценки соотношения частот вращения роторов турбин компрессоров высокого давления с учётом первых производных этих частот [3].

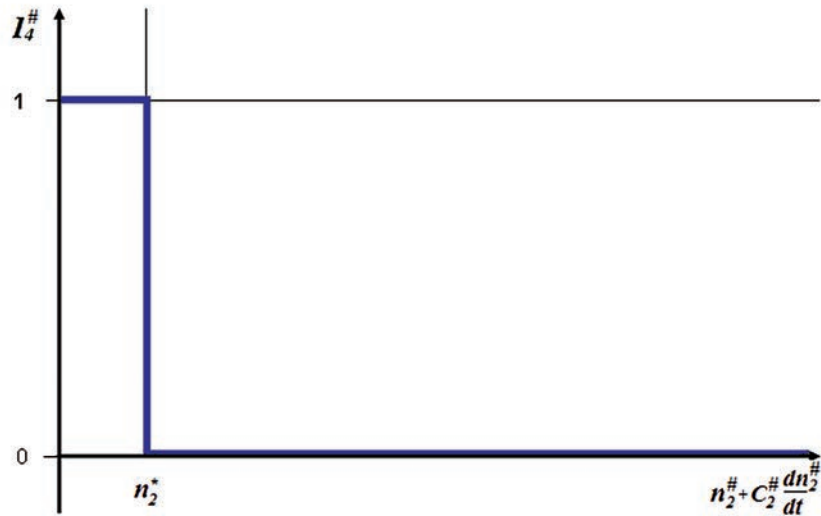


Рис. 6. Изменение значения цифрового сигнала управления тягой $I_4^{\#}$ в зависимости от соотношения контролируемых значений частот вращения роторов турбин компрессоров низкого давления обоих ТРД



Рис. 7. Изменение значения цифрового сигнала управления I_4^* в зависимости от соотношения контролируемых значений частот вращения роторов турбин компрессоров высокого давления обоих ТРД

Практическая реализация предлагаемого алгоритма в программно-аппаратном обеспечении системы автоматического управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с двухвальными ТРД обеспечит дополнительную возможность снижения асимметрии их тяги в полёте и соответствующего повышения безопасности полёта [8–10].

Разработку предлагаемого алгоритма контроля параметров тяги двухвалных ТРД силовой установки двухдвигательного самолёта можно считать дальнейшим развитием идеи снижения разнотяговости однотипных ТРД в условиях их серийного производства на заводе-изготовителе и последующей эксплуатации на среднемагистральных или дальнемагистральных самолётах.



тах, доложенной на научно-практических конференциях Российской Академии Естественных наук и изложенной в научных статьях в научно-технических журналах Российской Академии Естественных наук [3,7].

Литература

1. *Sielemann M., Pitchaikani A., Selvan N., Sammak M.* The Jet Propulsion Library: Modeling and simulation of aircraft engines // Proceedings of the 12th International Modelica Conference May 15–17. Prague, Czech Republic, 2017. Pp. 909–920.
2. *Gard S.* Aircraft Turbine Engine Control Research at NASA Glenn Research Center // Journal of Aerospace Engineering. 2013. Vol. 26. No. 2. Pp. 422–438.
3. *Новичков В.М., Бурова А.Ю.* Формализация принципов функционирования системы управления силовой установкой двухдвигательного самолёта с двухконтурными турбореактивными двигателями и минимизации их «разнотяговости» при взлёте и наборе высоты // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 12–1. С. 121–125.
4. *Nihad E. Daidzic,* Estimation of Performance Airspeeds for High-Bypass Turbofans Equipped Transport-Category Airplanes // Journal of Aviation Technology and Engineering. 2016. Vol. 5. No. 2. Pp. 27–50.
5. *Dvornitchenko V. V.* The «Pratt&Whitney-MSTUCA» Probability-Statistical Method of «Confidetical Intervals»

for Construction of Throttle Characteristics for Diagnostic of Turbo-jet, Turbo-fan Engines for Combat Fighters and for Airplanes of Civil Aviation // Research Paper on ICAO'S Safety of Flight Paris' Symposium on 17–20 October of 2006. Paris, 2006.

6. *Meng Ji, Ju Jiang, Wen Xue, Zhuo Xun Lin.* Research on Technology of Thrust Asymmetry Lateral Compensation for Large Aircraft // Advanced Materials Research. 2012. Vol. 383–390. Pp. 1256–1261.
7. *Новичков В.М., Бурова А.Ю.* Применение ТРДД на ЛА с минимизацией «разнотяговости» для повышения безопасности полётов // Фундаментальные исследования. 2015. № 11–7. С. 1343–1351.
8. *Скрипниченко С.Ю.* Основные направления повышения эффективности полёта гражданских самолётов // Тезисы докладов 2-й международной конференции «Авиация и космонавтика 2003» (Москва, 3–9 ноября 2003). М.: Изд-во МАИ, 2003. С. 74–75.
9. *Гузий А.Г., Капустин А.Г., Лушкин А.М., Фокин А.В.* Методология количественного оценивания риска для безопасности полётов в самолётном сегменте коммерческой авиации // Научный Вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 21. № 4. С. 33–42.
10. *Елисов Л.Н., Овченков Н.И.* Авиационная безопасность как объект математического моделирования // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20. № 3. С. 13–20.

CONTROL OF THRUST PARAMETERS OF TWIN-SHAFT TURBOJET ENGINES WITH THEIR THRUST ASYMMETRY

VADIM M. NOVICHKOV,
 Moscow, Russia, v13217@yandex.ru

ADELIYA Yu. BUROVA,
 Moscow, Russia, frambe@mail.ru

KEYWORDS: twin-engine aircraft; power plant; turbojet engine; rotor speed; electronic control system.

ABSTRACT

The questions connected with the solution of problems of correction of asymmetry of thrust of turbojet engines of power plant of the twin-engine plane by software and hardware of electronic blocks of control system of its power plant in flight are considered. A series of frequent recent aviation accidents of medium-haul and long-haul aircraft due to the asymmetry of the thrust of their engines during takeoff or landing actualized the solution of these problems to improve the

algorithms of software and hardware of the automatic control system of the power plant of a twin-engine aircraft with turbojet engines. As thrust parameters of such engines, it is proposed to use the rotor speed of low-pressure compressors of its engines and the rotor speed of high-pressure compressors of the same engines. Automatic control of these thrust parameters according to the proposed algorithm of their control allows to reduce the asymmetry of the thrust of

the two-shaft turbojet propulsion system of a twin-engine aircraft by equalizing the rotor speeds of low-pressure compressors and equalizing the rotor speeds of high-pressure compressors of its engines. The proposed algorithm of control of thrust-shaft turbojet engine power plant of twin-engine aircraft provides the opportunity to enhance their traction on the results of a comparative assessment of the relative rotor speeds low pressure compressors and comparative evaluation of the ratio of frequencies of rotation of the rotors of the high-pressure compressor with respect to the first derivatives of these frequencies. The practical implementation of the proposed algorithm in the software and hardware of the automatic control system of the power plant of a twin-engine aircraft with twin-shaft turbojet engines will provide an additional opportunity to reduce the asymmetry of their thrust in flight and the corresponding increase in flight safety. Such a solution to one of the problems of correcting the asymmetry of thrust of these engines on the basis of the proposed algorithm for controlling the parameters of their thrust can be considered a further development of the idea of reducing the asymmetry of thrust of the same type of turbojet engines in terms of their serial production at the factory and operation on mainline aircraft.

REFERENCES

1. Sielemann M., Pitchaikani A., Selvan N., Sammak M. The Jet Propulsion Library: Modeling and simulation of aircraft engines. *Proceedings of the 12th International Modelica Conference May 15-17. Prague, Czech Republic, 2017.* Pp.909-920.
2. Gard S. Aircraft Turbine Engine Control Research at NASA Glenn Research Center. *Journal of Aerospace Engineering.* 2013. Vol. 26. No. 2. Pp. 422-438.
3. Novichkov V.M., Burova A. Yu. Formalizatsiya principov funkcionirovaniya sistemy upravleniya silovoj ustanovkoj dvuhdvigatel'nogo samoleta s dvuhkonturnymi turboreaktivnymi dvigatelyami i minimizatsii ih «raznotyagovosti» pri vzlete i nabore vysoty [The formalization of the principles of operation of the control system power plant of twin-engine aircraft with turbofan engines and minimize the asymmetry of thrust at takeoff and climb]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii* [Modern science-intensive technologies]. 2018. No. 12-1. Pp. 121-125. (In Rus)
4. Nihad E. Daidzic. Estimation of Performance Airspeeds for High-Bypass Turbofans Equipped Transport-Category Airplanes. *Journal of Aviation Technology and Engineering.* 2016. Vol. 5. No. 2. Pp. 27-50.
5. Dvornitchenko V.V. The «Pratt&Whitney-MSTUCA» Probability-Statistical Method of "Confidetal Intervals" for Construction of Throttle Characteristics for Diagnostic of Turbo-jet, Turbo-fan Engines for Combat Fighters and for Airplanes of Civil Aviation. *Research Paper on ICAO'S Safety of Flight Paris' Symposium on 17-20 October of 2006.* Paris, 2006.
6. Meng Ji, Ju Jiang, Wen Xue, Zhuo Xun Lin. Research on Technology of Thrust Asymmetry Lateral Compensation for Large Aircraft. *Advanced Materials Research.* 2012. Vol. 383-390. Pp. 1256-1261.
7. Novichkov V.M., Burova A. Yu. The Use of Turbofan Engines on Aircraft with Minimizing "Thrust Asymmetry" to Enhance Flight Safety. *Fundamental research.* 2015. No. 11-7. Pp. 1343-1351.
8. Skripnichenko S. Yu. Osnovnye napravleniya povysheniya effektivnosti poleta grazhdanskikh samoletov [Main directions of improving the efficiency of civil aircraft flight]. *Tezisy dokladov. 2-y mezhdunarodnoy konferentsii "Aviatsiya i kosmonavtika 2003"* [Abstracts of reports. 2nd international conference "aviation and cosmonautics 2003", Moscow, 3-9 November 2003]. Moscow: MAI Publ., 2003. Pp. 74-75. (In Rus)
9. Guziy A.G., Kapustin A.G., Lushkin A.M., Fokin A.V. Metodologiya kolichestvennogo ocenivaniya riska dlya bezopasnosti poletov v samoletnom segmente kommercheskoj aviatsii [Methodology of quantitative risk assessment for flight safety in aircraft segment of commercial aviation]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of MSTU GA]. 2019. Vol. 21. No. 4. Pp. 33-42. (In Rus)
10. Elisov L.N., Ovchinnikov N.I. Aviacionnaya bezopasnost' kak ob`ekt matematicheskogo modelirovaniya [Aviation security as an object of mathematical modeling]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of MSTU GA]. 2017. Vol. 20. No. 3. Pp. 13-20. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Novichkov V.M., PhD, Docent, Assistant professor of the Moscow Aviation Institute (National Research University);
Burova A.Yu., Senior lecturer of the Moscow Aviation Institute (National Research University).



НАУКА И АСУ — 2020

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



В октябре 2020 года ООО «Институт инноваций и наукоемких технологий» (ООО «Институт «ИНТЕХ») совместно с партнерами проведет Всероссийскую научно-техническую конференцию, посвященную теоретическим и прикладным проблемам развития и совершенствования автоматизированных систем управления специального назначения «НАУКА И АСУ — 2020».

http://intech-spb.com/conferences/konferencia_asu_vka@mail.ru

По итогам конференции отобранные оргкомитетом доклады в виде статей будут опубликованы в журналах из Перечня ВАК, РИНЦ.

Участие в конференции и публикация материалов в сборнике тезисов БЕСПЛАТНО.

Полная информация о конференции, дата, место проведения, требования к материалам докладов будет выложена на сайте конференции <http://intech-spb.com/conferences/>.

Тематика конференции включает работу следующих шести секций:

Состояние и перспективы развития современных автоматизированных систем управления специального назначения.

Математическое, программное и информационно-лингвистическое обеспечение автоматизированных систем управления.

Безопасность в автоматизированных системах управления специального назначения.

Применение современных инфокоммуникационных технологий и средств при разработке, техническом обеспечении и эксплуатации автоматизированных систем управления специального назначения.

Состояние и перспективы развития систем, комплексов и средств радиосвязи специального назначения.

Проблемы развития автоматизированных систем управления технологическим процессом.

*ИНСТИТУТ «ИНТЕХ» ЯВЛЯЕТСЯ УЧРЕДИТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОННОГО СЕТЕВОГО ЖУРНАЛА «I-METHODS» И ОКАЗЫВАЕТ УСЛУГИ ПО ПОДГОТОВКЕ И РАЗМЕЩЕНИЮ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛАХ ПЕРЕЧНЯ ВАК И РИНЦ.
Контакты для авторов: intech-spb@yandex.ru*



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-14-22

ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ СВОЙСТВ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ С ДИСКРЕТНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

ВОРОНИН**Олег Игоревич¹****ПАВЛОВ****Юрий Вячеславович²****АННОТАЦИЯ**

Проведено комплексное исследование подходов к оптимизации свойств функции неопределённости сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией. Показано, что наилучшими являются сигналы, функции неопределённости которых имеют центральный пик минимальной ширины и минимально возможные боковые пики. Идеальная функция неопределённости имеет форму перевернутой канцелярской кнопки. Поиск сигналов с подобной функцией неопределённости представляет собой актуальную научную проблему. Показано, что хорошее приближение к такой «кнопочной идеализации» функции неопределённости достижимо в классе сложных сигналов с прямоугольной огибающей и дискретной частотной модуляцией, которые широко применяются в системах военного назначения. В результате анализа функции неопределённости произвольно выбранного сигнала с дискретной частотной модуляцией получены выводы: в общем случае поверхность функции неопределённости имеет достаточно высокие боковые лепестки, причём они распределены на частотно-временной плоскости неравномерно, что негативно влияет на процесс обнаружения полезного сигнала; в общем случае высокие сечения функции неопределённости данного сигнала не симметричны относительно координатных осей, что говорит о наличии корреляционной зависимости между погрешностями оценок частоты и запаздывания. В связи с этим сформулирована задача оптимизации по двум критериям: устранение коэффициента частотно-временной связи ошибок; минимизация уровней боковых лепестков функции неопределённости. Для решения поставленной задачи разработана методика, включающая два этапа, на первом из которых по методу профессора Глазова Бориса Ивановича проводится оптимизация по первому критерию, а на втором этапе – применительно к результатам первого этапа методом Джона Питера Костаса осуществляется оптимизация по второму критерию. В результате реализации данной методики впервые удалось получить сигналы, оптимальные по двум критериям.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., преподаватель Военной академии Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого, г. Балашиха, Московская обл., Россия, oleg-trento@mail.ru

²адъюнкт Военной академии Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого, г. Балашиха, Московская обл., Россия, pavlovuyura23@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сложный сигнал; дискретная частотная модуляция; функция неопределённости; псевдочетная последовательность, массив Костаса.

Для цитирования: Воронин О.И., Павлов Ю.В. Подходы к оптимизации свойств функции неопределённости сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 1. С. 14-22. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-14-22



Введение

Учёный Филипп Вудворд [6] обнаружил, что фундаментальные свойства радиолокационных сигналов выявляются путём анализа их двумерной (по запаздыванию и смещению частоты) нормированной корреляционной функции $\psi(\tau, \nu)$. Её модуль $|\psi(\tau, \nu)|$ называют [1, 2, 10] функцией неопределённости (ФН).

Объём тела под поверхностью ФН для всех видов сигналов постоянен и равен единице. Это свойство называется [2, 10] «принципом неопределённости» в радиолокации. Однако рельеф поверхности ФН для каждого вида сигналов будет различным. Поверхности ФН типовых сигналов представлены на рис. 1.

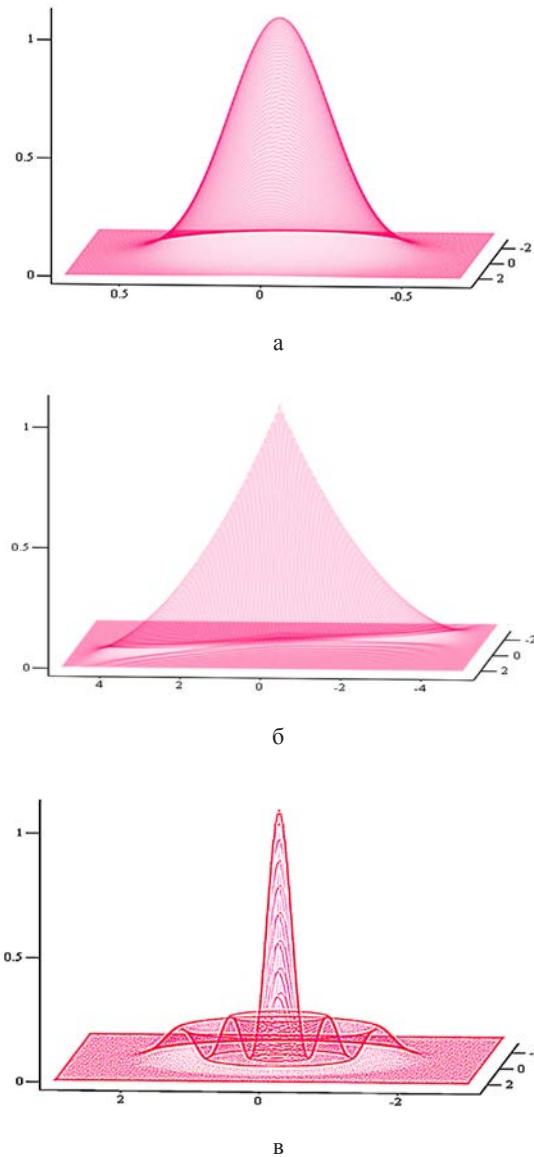


Рис. 1. ФН типовых сигналов:

а — сигнал с гауссовой огибающей; б — прямоугольного импульса; в — сигнал с эрмитовой огибающей первого порядка

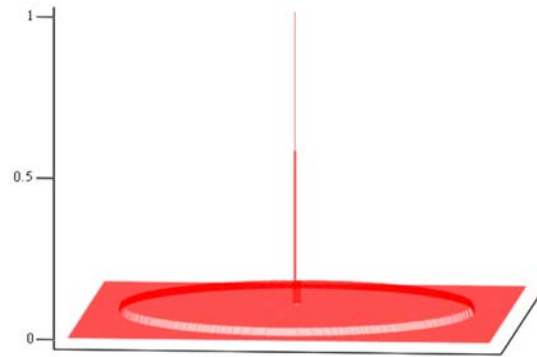


Рис. 2. Эскиз поверхности «кнопочной» ФН

Наилучшими считаются [2, 10] сигналы, ФН которых имеет центральный пик минимальной ширины и минимально возможные боковые пики. Поверхность так называемой [2, 10] «идеальной» ФН, представленная на рис. 2, имеет вид перевернутой канцелярской кнопки. Поиск сигналов с подобной ФН представляет собой актуальную научную проблему современной радиолокации.

Сравнительный визуальный анализ ФН: сигнала с гауссовой огибающей, прямоугольного импульса и сигнала с эрмитовой огибающей первого порядка, показывает, что поверхности ФН данных сигналов далеки от желательной формы.

Основная часть

Хорошее приближение поверхности ФН к представленной на рис. 2 «кнопочной» идеализации достижимо в классе сложных сигналов с прямоугольной огибающей и дискретной частотной модуляцией (ДЧМ), которые широко применяются в системах военного назначения, в том числе тех, что использовались при проведении операций в Сирии.

1. Математическое представление сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией

Комплексная огибающая $S(t)$ сложных сигналов с ДЧМ, [7, 8, 11] задается формулой (1).

$$S(t) = a_0 \sum_{i=1}^L [1(t - t_{i-1}) - 1(t - t_i)] \exp(j\Delta\omega N_i [t - t_{i-1}]), \quad (1)$$

где a_0 — амплитуда;
 $1(t)$ — функция включения;
 L — период числовой (натуральной) модулирующей последовательности $\{N_i\}$;
 $t_i = i\tau_0$ — i -й интервал времени;
 $\tau_0 = 2\pi/\Delta\omega$ — длительность одного символа ДЧМ сигнала;

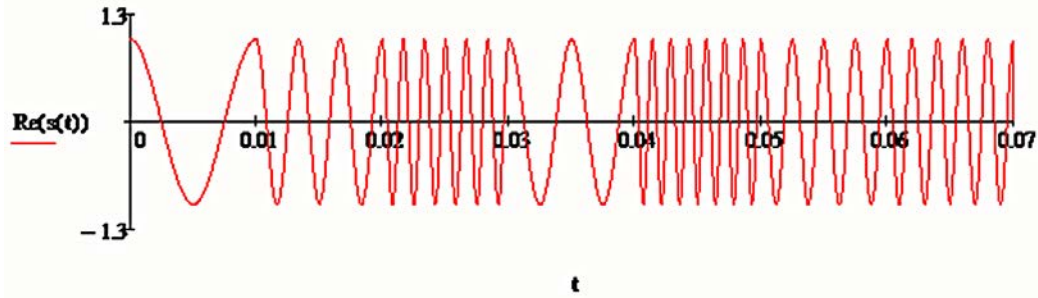


Рис. 3. Вид ДЧМ сигнала при $a_0=1$, $L=7$, $\tau_0=0,1$ и $\{N_i\}=\{1, 3, 6, 2, 7, 4, 5\}$

$\Delta\omega=2\pi\Delta f$ — наименьший дискрет циклической частоты;
 Δf — наименьший дискрет линейной частоты;
 $\{N_i\}$ — периодическая последовательность, образованная из чисел $1, 2, \dots, L$;
 $T=L\tau_0$ — длительность сигнала.

В качестве примера приведена комплексная огибающая ДЧМ сигнала с амплитудой $a_0=1$, периодом числовой последовательности $L=7$, длительностью символа $\tau_0=0,1$ и модулирующей частоту последовательностью $\{N_i\}=\{1, 3, 6, 2, 7, 4, 5\}$ с графической визуализацией на рис. 3.

2. Анализ подходов к оптимизации свойств функции неопределенности сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией

Известно [4, 5, 7, 8, 9, 11], что свойства ФН сигналов с ДЧМ существенным образом зависят от выбора модулирующей последовательности $\{N_i\}$. На рис. 4 визуализирована поверхность ФН сигнала с ДЧМ, образованного произвольно выбранной последовательностью $\{N_i\}=\{1, 3, 5, 4, 6, 2, 7\}$.

Анализ ФН сигнала с ДЧМ на основе произвольно выбранной числовой последовательности позволяет сделать следующие выводы:

- в общем случае поверхность ФН сигнала с ДЧМ имеет достаточно высокие боковые лепестки, причём они распределены на частотно-временной плоскости неравномерно, что, как известно [1, 9, 10], негативно влияет на процесс обнаружения полезного сигнала.

- в общем случае высокие сечения ФН данного сигнала не симметричны относительно координатных осей, что говорит о наличии корреляционной зависимости между погрешностями оценок частоты и запаздывания [1, 7, 8, 11].

В связи с этим сформулированы два критерия оптимизации, которые, исходя из ряда соображений [4, 5], упорядочены по степени важности:

- устранение коэффициента частотно-временной связи ошибок ρ (значения второй смешанной производной функции $\psi(\tau, \nu)$ при $\tau=\nu=0$).

- минимизация уровней боковых лепестков ФН. Следует отметить, что отечественный учёный Леонид

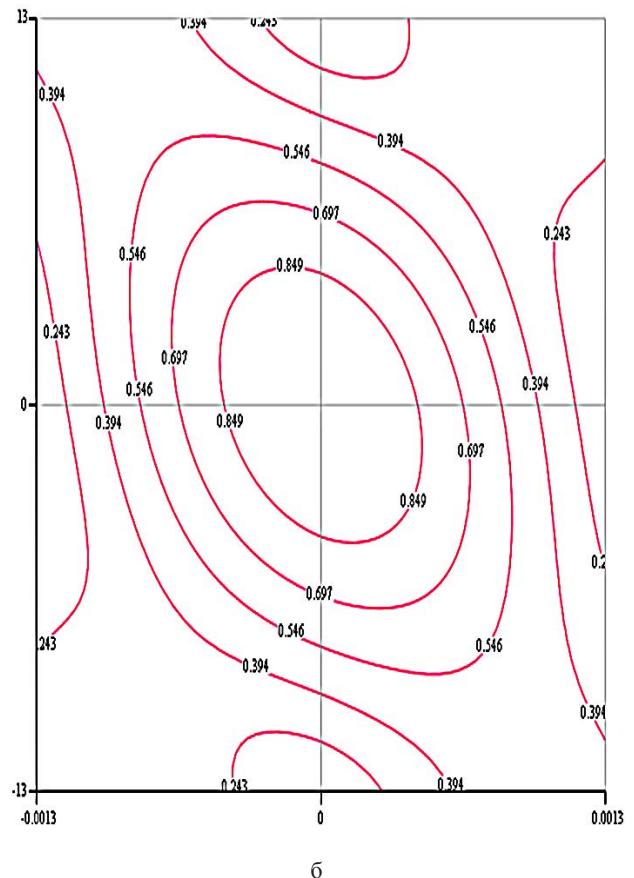
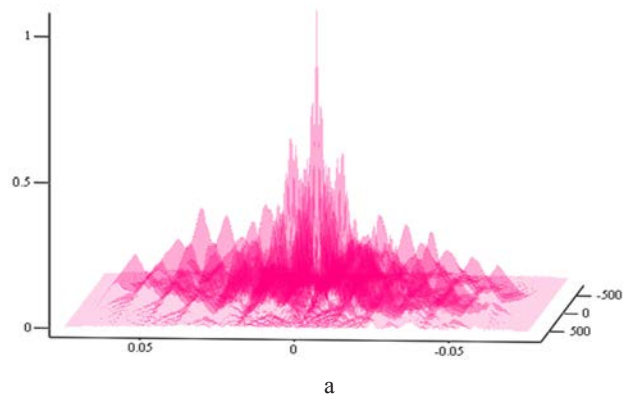


Рис. 4. ФН сложного сигнала с ДЧМ при $\{N_i\}=\{1, 3, 5, 4, 6, 2, 7\}$:
 а — вид поверхности ФН; б — аппликативные сечения ФН



Егорович Варакин впервые доказал [3], что существуют сигналы с ДЧМ, для которых уровни боковых лепестков ФН минимальны и не превышают уровня $1/L$.

Корреляционные свойства сигналов с ДЧМ главным образом зависят от выбора структуры модулирующих последовательностей $\{N_i\}$. Поэтому решение оптимизационной задачи по любому из указанных критериев сводится к поиску «нужных» последовательностей.

Оптимизация по первому критерию была проведена отечественным учёным Борисом Ивановичем Глазовым [7, 8, 11]. Найденные последовательности и соответствующие им сигналы были названы псевдочётными (ПЧ). В качестве примера на рис. 5 визуализирована ФН сигнала, образованного ПЧ последовательностью $\{N_i\}=\{1, 3, 7, 5, 6, 4, 2\}$.

Анализ ФН ПЧ сигнала показывает, что её высокие сечения имеют форму эллипсов, оси которых совпадают

с осями координат время-частота. Это является геометрическим признаком выполнения условия равенства нулю коэффициента ρ , определяющего линейную независимость малых ошибок измерений частоты и запаздывания в оптимальных приемниках. Однако в общем случае отдельные боковые пики ФН данного сигнала превышают минимально возможный уровень $1/L$. Это свидетельствует о необходимости дальнейшей оптимизации структур модулирующих последовательностей.

Минимизация уровней боковых лепестков ФН сигналов с ДЧМ была впервые проведена американским учёным Джоном Питером Костасом [9], а найденные последовательности называются [4, 5, 9] массивами Костаса. На рис. 6 визуализирована ФН сигнала с ДЧМ, образованного последовательностью Костаса $\{N_i\}=\{1, 3, 6, 2, 7, 4, 5\}$.

Анализ ФН сигнала Костаса показывает, что её боковые пики распределены на частотно-временной плоскости

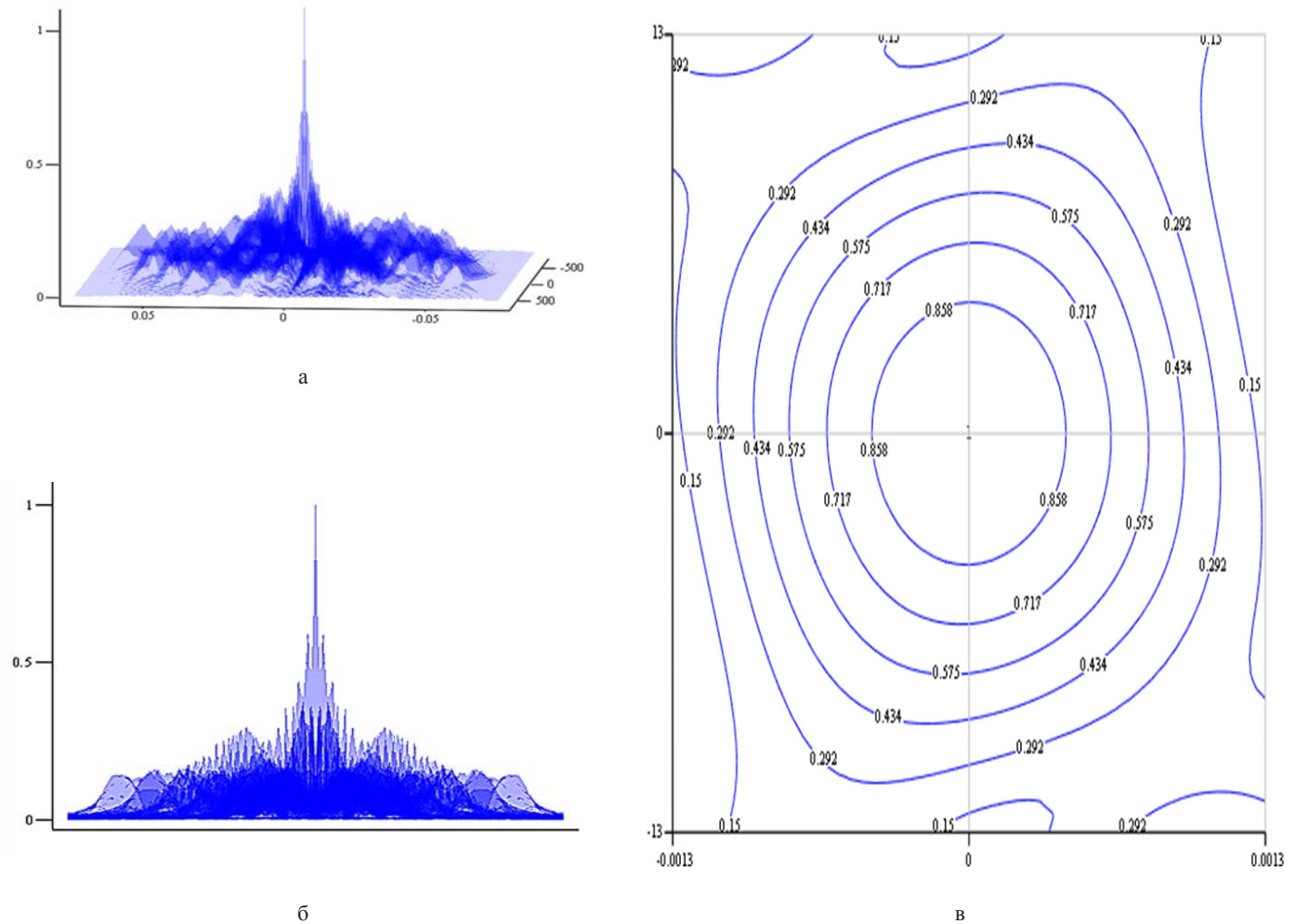


Рис. 5. ФН ПЧ сигнала при $\{N_i\}=\{1, 3, 7, 5, 6, 4, 2\}$:
а, б — поверхность ФН с различных ракурсов; в — аппликативные сечения ФН

сти равномерно и не превышают минимально возможный уровень $1/L$. Однако в общем случае высокие сечения ФН сигнала Костаса, в отличие от ПЧ сигнала, не симметричны относительно осей координат. Это говорит о линейной зависимости ошибок измерений частоты и запаздывания.

3. Двухкритериальная оптимизация свойств функции неопределенности сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией

В результате анализа рассмотренных подходов к оптимизации свойств ФН сигналов с ДЧМ возник вопрос: существуют ли такие последовательности, которые являлись бы одновременно псевдочётными и относились бы к массивам Костаса?

Для того чтобы узнать ответ на поставленный вопрос, была сформулирована задача оптимизации свойств ФН сигналов с ДЧМ по двум вышеуказанным критериям. Разработана и программно реализована методика её решения [4, 5].

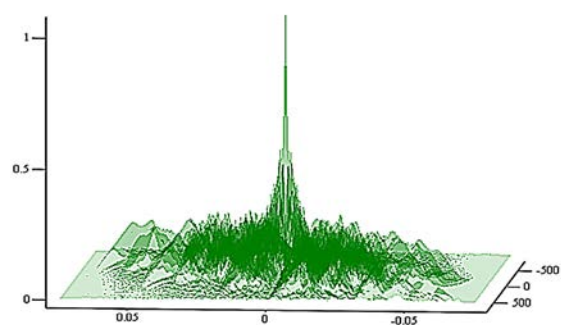
Она состоит из трех последовательно выполняемых этапов.

На первом этапе осуществляется выбор периода последовательности L и формирование последовательностей $\{N_i\}$ (всего их будет $L!$).

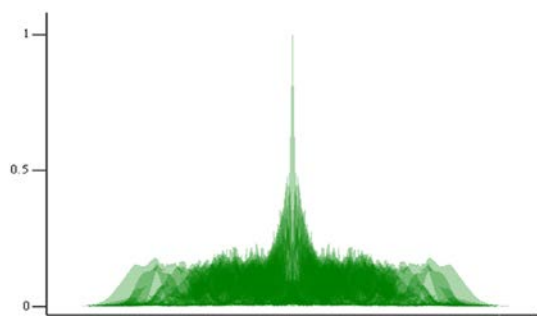
На втором этапе по методу Б.И. Глазова осуществляется циклическая проверка последовательностей на выполнение условия псевдочётности, выражаемого Диофантовым уравнением $\sum iN_i = 0,25L(L+1)^2$.

На третьем этапе осуществляется циклическая проверка всех найденных ПЧ последовательностей на их принадлежность к массивам Костаса методом анализа составленных для каждой из последовательностей $\{N_i\}$ треугольных матриц разностей $\Delta = \|\Delta\| = \|N_i - N_k\|$ (при $i, k = 1, 2, \dots, L$), которые не должны содержать одинаковых чисел ни в одной строке.

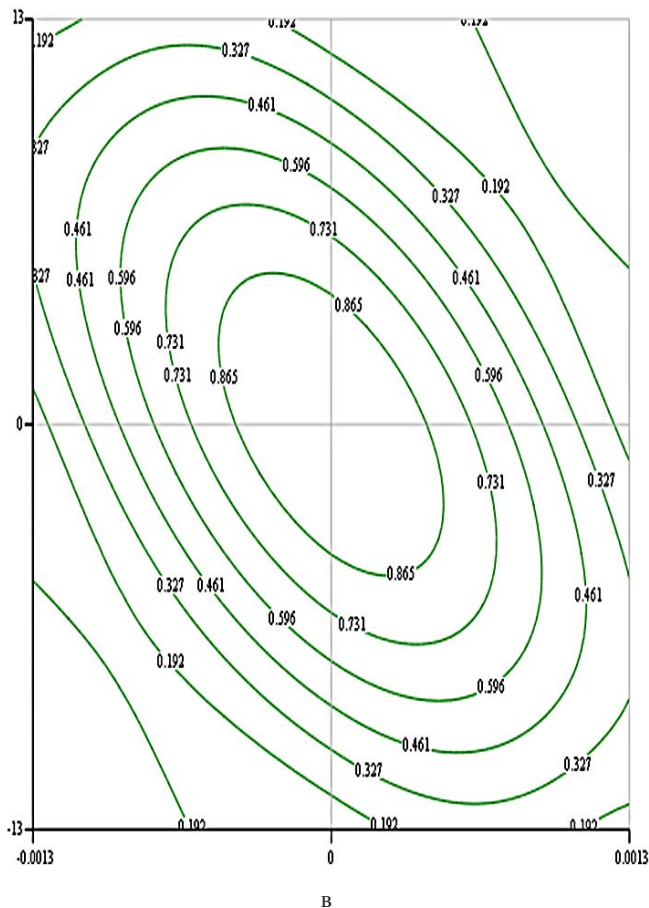
В результате реализации данной методики впервые удалось получить последовательности, оптимальные по двум критериям. В качестве примера на рис. 7 визуализи-



а



б



в

Рис. 6. ФН сигнала Костаса при $\{N_i\} = \{1, 3, 6, 2, 7, 4, 5\}$:
а, б — поверхность ФН с различных ракурсов; в — аппликативные сечения ФН

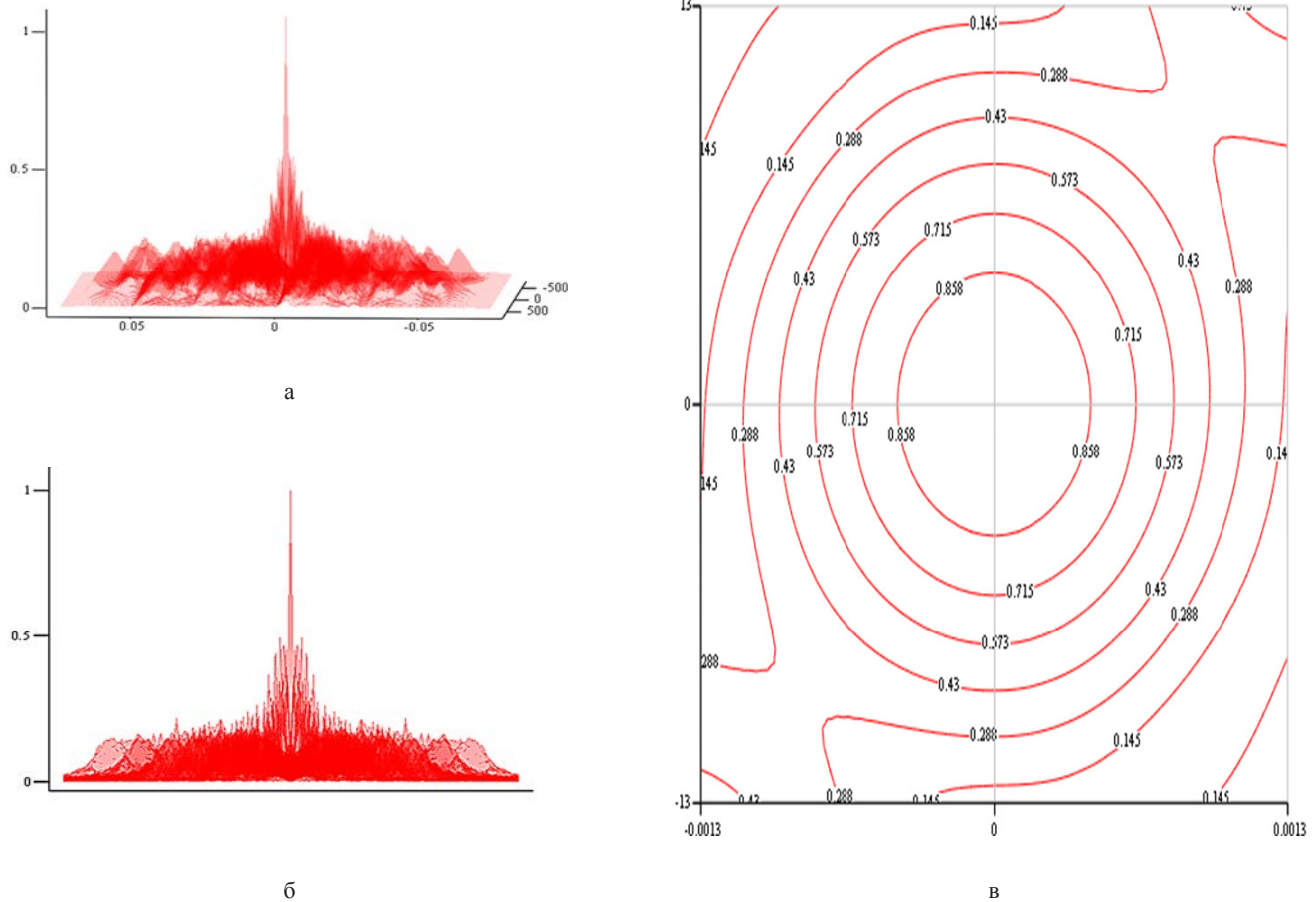


Рис. 7. ФН сложного сигнала с ДЧМ, оптимального по двум критериям, при $\{N_i\}=\{5, 3, 6, 2, 1, 7, 4\}$:
а, б — поверхность ФН с различных ракурсов; в — аппликативные сечения ФН

рована ФН сигнала с ДЧМ, оптимального по двум критериям, при $\{N_i\}=\{5, 3, 6, 2, 1, 7, 4\}$.

Вид поверхности ФН такого сигнала приближается к желательной кнопочной форме. Аппликативные сечения ФН обладают чётной симметрией относительно координатных осей, что позволяет говорить об отсутствии корреляции погрешностей оценок частоты и запаздывания. Боковые лепестки распределены на частотно-временной плоскости равномерно и не превышают теоретический предел $1/L$.

В процессе исследования впервые найдены все последовательности, оптимальные по двум критериям, для периодов $L=7-27$ и частично для $L=28-100$. Обобщенные количественные результаты представлены в таблице.

Все найденные решения являются эквивалентными в том смысле, что их нельзя улучшить ни по одному из критериев. Достоверность соответствия найденных последовательностей двум критериям одновременно проверена вручную. Следует отметить, что с ростом L вероятность случайного выбора последовательности, оптимальной по

двум критериям, из всех $L!$ возможных последовательностей резко уменьшается. Так, при $L=9$ она составляет приблизительно 0,0001, а при $L=11$ — уже 0,000001.

Кроме того с увеличением периода числовой последовательности L поверхность ФН сигналов, оптимальных по двум критериям, по форме всё больше приближается к кнопочной идеализации. Так, на рис. 8 представлена поверхность сигнала с ДЧМ, оптимального по двум критериям при $\{N_i\}=\{2, 7, 8, 5, 1, 9, 4, 3, 6\}$.

Заключение

Таким образом, в процессе комплексного исследования подходов к оптимизации свойств ФН сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией были получены сигналы, оптимальные по двум критериям: равенства нулю коэффициента частотно-временной связи ошибок; минимума уровней боковых лепестков ФН. Решение оптимизационной задачи представлено в форме сводной таблицы, содержащей количество оптимальных модулирующих последовательностей по двум критериям одновременно

Таблица

Число последовательностей, оптимальных по двум критериям, для различных периодов

Период L	$L!$ – общее число последовательностей	Оптимальные последовательности		
		ПЧ	Костаса	По двум критериям
7	$7!=5040$	184	200	16
8	$8!=40320$	936	444	60
9	$9!=362880$	6688	760	40
11	$11!=39916800$	>171000	4368	60
12	$12!=479001600$	>3490000	7852	56
13	$13!=6227020800$	>7000000	12828	344
15	$15!=1307674368000$	>15000000	19612	168
16	$16!=20922789888000$	>115000000	21104	136
17	$17!=355687428096000$		18276	152
19	$19!$		10240	72
20	$20!$		6464	16
21	$21!$		3536	8
23	$23!$		872	8
24	$24!$		200	0
25	$25!$		88	8
27	$27!$		204	0
...
57	$57!$	≥ 40	≥ 920	≥ 40

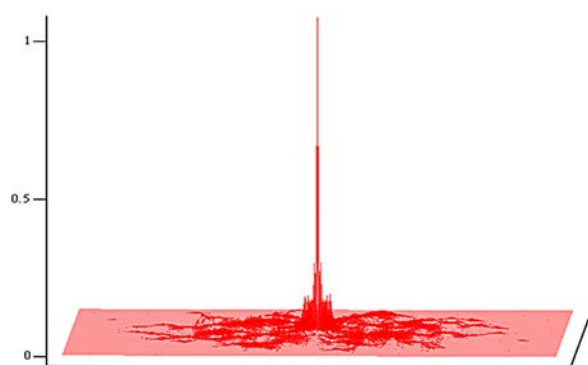


Рис. 8. ФН сигнала с ДЧМ, оптимального по двум критериям, при $\{N_i\}=\{2, 7, 8, 5, 1, 9, 4, 3, 6\}$

и в отдельности. Выполнение критериев оптимальности подтверждают графики поверхностей ФН и их аппликативных сечений. Дальнейшее продолжение исследования будет связано с поиском ДЧМ последовательностей, оптимальных по двум критериям, для периодов $L > 100$, а также с разработкой устройства генерации данных последовательностей.

Литература

1. Алексеев А.И., Шереметьев А.Г., Тузов Г.И., Глазов Б.И. Теория и применение псевдослучайных сигналов. М.: Наука, 1969. 397 с.
2. Вакман Д.Е. Сложные сигналы и принцип неопределенности в радиолокации. М.: Советское радио, 1965. 304 с.



3. *Варакин Л. Е.* Теория сложных сигналов. М.: Советское радио, 1970. 376 с.

4. *Воронин О. И., Волохов В. И., Шетлова Г. А.* Методика лексикографической оптимизации свойств функции неопределенности сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией // Т-сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 1. С. 62–66.

5. *Воронин О. И., Попов А. М.* Методика лексикографической оптимизации свойств функции неопределенности сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией // Двойные технологии. 2016. № 1. С. 46–50.

6. *Вудворд Ф. М.* Теория вероятностей и теория информации с применением в радиолокации: пер с англ. М.: Советское радио, 1955. 128 с.

7. *Глазов Б. И.* Спектры и корреляционные функции частотно-манипулированных шумоподобных сигналов // Радиотехника. 1970. Т. 25. № 9. С. 91–96.

8. *Глазов Б. И.* Числовые периодические последовательности для формирования шумоподобных сигналов с частотной модуляцией // Радиотехника. 1972. Т. 27. № 3. С. 9–14.

9. *Костас Дж. П.* Свойства сигналов с почти идеальной функцией неопределенности в координатах «дальность-доплеровская частота» // ТИИЭР. 1984. № 8. С. 60–64.

10. *Кук Ч., Бернфельд М.* Радиолокационные сигналы: пер. с англ. / под ред. В.С Кельзона. М.: Советское радио, 1971. 568 с.

11. *Тузов Г. И., Глазов Б. И.* Оптимальная фильтрация дискретных ЧМ сигналов // Радиотехника. 1973. Т. 28. № 1. С. 23–27.

SCIENTIFIC APPROACHES TO OPTIMIZATION OF PROPERTIES OF AMBIGUITY FUNCTION OF COMPLEX SIGNALS WITH DISCRETE FREQUENCY MODULATION

OLEG I. VORONIN

Balashikha, Russia, oleg-trento@mail.ru

YURY V. PAVLOV

Balashikha, Russia, pavlovyura23@mail.ru

KEYWORDS: complex signal; discrete frequency modulation; ambiguity function; pseudo-even sequence; Costas arrays.

ABSTRACT

The complex research of approaches to optimization of properties of ambiguity function of complex signals with discrete frequency modulation is conducted. It is shown that signals which ambiguity function the central peak of the minimum width and minimum possible side peaks has are the best. Ideal ambiguity function has the form of the inverted clerical button. Search of signals with similar ambiguity function represents a current scientific problem. It is shown that good approach to such "button idealization" of ambiguity function is achievable in a class of aggregate signals with the rectangular bending-around and discrete frequency modulation which are widely applied in military systems. As a result of the analysis of ambiguity function randomly of the selected signal with discrete frequency modulation outputs are received: generally the

surface of ambiguity function has rather high side lobes, and they are distributed on the time-and-frequency plane unevenly that has negative effect on process of detection of a desired signal; generally high sections of ambiguity function of this signal are not symmetric rather coordinate axes that speaks about existence of correlation dependence between errors of estimates of frequency and delay. In this regard the problem of optimization of two criteria is formulated: elimination of coefficient of time-and-frequency communication of errors; minimization of levels of side lobes of ambiguity function. The technique including two stages on first of which by a method of professor of Glazov Boris Ivanovich is developed for a solution of an objective optimization by the first criterion is performed, and at the second stage – in relation to results of the first stage John Peter

Costas's method carries out optimization by the second criterion. As a result of implementation of this technique for the first time it was succeeded to receive the signals optimum by two criteria.

REFERENCES

1. Alekseev A.I., Sheremetyev A.G., Tuzov G.I., Glazov B.I. *Teoriya i primeneniye psevdosluchainykh signalov* [Theory and application of pseudo-random signals]. Moscow: Nauka, 1969. 397 p. (In Rus)
2. Wakman D.E. *Slozhnye signaly i princip neopredelennosti v radiolokacii* [Complex signals and the principle of uncertainty in radar]. Moscow: Sovetskoe radio, 1965. 304 p. (In Rus)
3. Varakin L.E. *Teoriya slozhnykh signalov* [Theory of aggregate signals]. Moscow: Sovetskoe radio. 1970. 376 p. (In Rus)
4. Voronin O.I., Volokhov V.I., Shepilova G.A. Methods of lexicographical optimization of properties of ambiguity function of complex signals with discrete frequency modulation. *T-comm*. 2017. Vol. 11. No. 1. Pp. 62-66. (In Rus)
5. Voronin O.I., Popov A.M. Technique of lexicographic optimization of properties of function of uncertainty of difficult signals with discrete frequency modulation. *Dvoynye tehnologii* [Double technologies]. 2016. No. 1. Pp. 46-50. (In Rus)
6. Woodward P.M. *Probability and information theory, with appli-*

cations to radar. McGraw-Hill, New York; Pergamon Press, London, 1953. 128 p.

7. Glazov B.I. Ranges and correlation functions of the frequency manipulated noise-type signals. *Radiotekhnika* [Radio engineering]. 1970. Vol. 25. No. 9. Pp. 91-96. (In Rus)
8. Glazov B.I. The numerical periodic sequences for forming of frequency-shift noise-type signals. *Radiotekhnika* [Radio engineering]. 1972. Vol. 27. No. 3. Pp. 9-14. (In Rus)
9. Costas J.P. A Study of a Class of Detection Waveforms Having Nearly Ideal Range-Doppler Ambiguity Properties. *Proc. IEEE*. 1984. Vol. 72. No. 8. Pp. 996-1009.
10. Cook Ch. *Bernfeld M. Radar signals*. New York, London: Academic press, 1967. 531 p.
11. Tuzov G.I., Glazov B.I. Optimum filtering of a discrete FM of signals. *Radiotekhnika* [Radio engineering]. 1973. Vol. 28. No. 1. Pp. 23-27. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Voronin O.I., PhD, lecturer of The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great;
Pavlov Yu.V., postgraduate student of The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great.

For citation: Voronin O.I., Pavlov Yu.V. Scientific approaches to optimization of properties of ambiguity function of complex signals with discrete frequency modulation. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 14-22. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-14-22 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-23-31

ПРОЦЕССНЫЕ ОСНОВЫ ИНТЕГРАЦИИ И КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ, УПРАВЛЯЮЩИХ, РОБОТИЗИРОВАННЫХ, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

КОЗЛОВ
Сергей Витальевич¹

КУБАНКОВ
Александр Николаевич²

АННОТАЦИЯ

Показано, что при создании интегрированных систем управления различного назначения широко применяются методы функциональной интеграции автономных систем и различного рода ресурсов. Создание роботизированных комплексов как объектов управления выводит проблему интеграции на качественно новый уровень. Функциональные методы вследствие обострения проблемы интероперабельности объединяемых автономных функциональных подсистем по мере расширения их перечня исчерпывают свои возможности. При этом возрастает сложность алгоритмов управления интегрированной системой в целом и ее элементами. Предлагается решение такой проблемы осуществлять на основе комплексного применения методов функционального и процессного подходов. При этом важным условием обоснования рациональных системотехнических решений по созданию интегрированной системы управления является представление полной группы процессов в жизненном цикле систем, в том числе организационных процессов, определяющих порядок и условия реализации функциональных задач системы управления, и организационно-ресурсных процессов, определяющих порядок взаимодействия по горизонтали подсистем в рамках структуры системы управления. С учетом ее типовой структуры, представляемой в виде взаимоувязанной совокупности органов, пунктов и средств управления, приводится классификация процессов в ее рамках с выделением таких групп процессов, как организационные, организационно-ресурсные и технико-технологические процессы, а также таких их видов, как основные и обеспечивающие процессы. Рассмотрены новые аспекты формирования организационных и организационно-ресурсных процессов, связанные с включением в состав интегрированных систем управления подсистем управления роботизированными комплексами. Представлены предложения по поэтапной комплексной интеграции автономных систем управления на функциональной и процессной основе.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., руководитель отделения, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук Россия, г. Москва, Россия, skozlov@ipiran.ru

²д.в.н., заведующий кафедрой Московского технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, a.n.kubankov@mtuci.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интегрированная система управления; функциональный и процессный подходы; полная группа процессов; жизненный цикл; высокотехнологичная, информационная, управляющая, роботизированная, телекоммуникационная система.

Для цитирования: Козлов С.В., Кубанков А.Н. Процессные основы интеграции и комплексного развития информационных, управляющих, роботизированных, телекоммуникационных систем // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 1. С. 23-31. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-23-31

В настоящее время мировое сообщество глубоко погружено в проблематику четвертой промышленной революции [1] и цифровой экономики, в которой все большую роль играют информационные технологии. Такие понятия, как «цифровая экономика» и «информационные технологии» часто употребляются в одном контексте. Влияние информационных технологий практически на все сферы человеческой деятельности приобретает системный характер. Процесс глобальной «цифровизации» становится необратимым. Такие технологии, как анализ больших данных, искусственный интеллект, облачные вычисления, аддитивные технологии, технологии управления робототехническими средствами, фотоника, сенсорика и другие, которые еще несколько лет назад упоминались только в постановочном научно-исследовательском аспекте, сегодня становятся на рельсы практической реализации.

В последние 2–3 года в России приняты важные решения по переходу нашей страны к стратегии инновационного развития на основе использования новых технологий. Ядром этой стратегии является существенно более широкое, чем это было ранее, практическое применение средств и методов информатики, а также современных и перспективных информационно-коммуникационных технологий [2–5]. В условиях нового технологического уклада мировой экономики на качественно новом уровне представляется такое направление развития систем управления, как создание интегрированных многофункциональных систем с возможностью поэтапного расширения их функциональных возможностей по мере появления новых технологий. При этом создание цифровых платформ на основе комплексного применения инфокоммуникационных, когнитивных и других перспективных технологий представляет собой сложную задачу на стыке целого ряда процессов организационного, системотехнического и технологического характера. В перечне функциональных систем, претендующих на комплексное применение в составе интегрированных систем, в настоящее время рассматриваются роботизированные системы и комплексы. При этом актуальным и в перспективе востребованным становится обеспечение автономного функционирования интегрированных систем управления с элементами искусственного интеллекта при взаимодействии с роботизированными подсистемами в их составе.

Концептуальные подходы к созданию интегрированных систем управления предлагается разрабатывать руководствуясь основными положениями системного подхода с учетом ограничений по его применению, связанных с неполной определенностью в отношении направлений их развития, полноты обеспечения необходимыми ресурсами и в части других обстоятельств [6]. На основе современных методов менеджмента, среди которых применение процессных методов в рамках системного подхода открывает

новые возможности по рациональной интеграции как унаследованных, так и вновь создаваемых информационных, управляющих и телекоммуникационных систем различного назначения и принадлежности, появляется возможность комплексного применения различных методов [7]. Важно отметить, что применение процессных методов рассматривается не в качестве альтернативы, а в комплексе с методами функционального подхода.

Анализ опыта создания и обеспечения функционирования крупных автоматизированных информационных систем различной принадлежности свидетельствует о том что технические возможности систем управления закладываются на ранних стадиях их жизненного цикла в ходе проведения фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований, что определяет важность ранних этапов их жизненного цикла. В этой связи поиск рационального варианта комплексного применения функциональных (отвечают на вопрос, что надо сделать?) и процессных (отвечают на вопрос, как надо сделать?) методов современного менеджмента представляет собой актуальную и практически важную задачу всех субъектов государственного заказа перспективных интегрированных систем управления.

В последние 8–10 лет интенсивное развитие получают роботизированные системы и комплексы. По мере расширения сферы их применения появляется новая проблема, связанная с переходом от автономных роботизированных систем и комплексов к их интеграции в составе многофункциональных систем управления. Применение традиционных методов функциональной интеграции при создании крупномасштабных интегрированных систем исчерпало свои возможности, поскольку обострилась проблема межфункциональной совместимости в составе интегрированной системы с учетом расширения перечня объединяемых разнородных подсистем. В этой связи представленные в [8–10] основные положения по расширению сферы применения методов процессного подхода применительно к типовой системе управления как взаимоувязанной совокупности органов, пунктов и средств управления могут быть использованы при обосновании принципов интеграции роботизированных систем и комплексов в составе многофункциональной системы управления.

Необходимо отметить, что по мере возрастания сложности интегрированных систем управления увеличивается объем задач по координации взаимодействия их функциональных подсистем как по вертикали органов управления (функциональная структура системы управления), так и по горизонтали на уровне межфункционального взаимодействия подсистем (процессная структура). Процессный подход в рамках современного менеджмента, включая его научно-методический и категорийный аппарат, широко применяется в отношении бизнес-процессов, относящихся-



ся преимущественно к производственной сфере, имеющих практически однородный характер и отражающих взаимодействие элементов организационной структуры предприятия [7]. Вместе с тем потенциальные возможности процессного подхода позволяют на качественно новом уровне проводить анализ наряду с бизнес-процессами широкого перечня и других видов процессов.

В рамках представленной в [8, 10, 11] полной группы процессов в составе сквозного процесса на протяжении жизненного цикла системы управления выделяют:

- организационные (бизнес) процессы, отражающие взаимодействие органов управления, должностных лиц и специалистов между собой без учета применения средств управления;
- организационно-технические процессы, отражающие взаимодействие органов управления между собой с учетом применения средств управления;
- технико-технологические процессы, отражающие взаимодействие на уровне средств управления.

В развитии роботизированных систем по мере расширения их масштабов важная роль отводится разработкам систем управления ими. При этом в качестве основных вариантов применения роботизированных систем в настоящее время рассматриваются [12–16]:

- автономные роботизированные системы и комплексы, выполняющие ограниченный перечень задач по заранее разработанным алгоритмам их выполнения и программам их реализации;
- роботизированные системы и комплексы с автономными системами управления ими, встраиваемые в состав других крупных систем управления в целях комплексного их применения совместно с другими частично автоматизированными и неавтоматизированными объектами управления

Важно отметить, что в любом варианте применения роботизированных систем и комплексов потребуются минимизировать длительность цикла управления разнородной группой объектов управления (частично автоматизированных и роботизированных). При использовании методов функциональной интеграции для обеспечения совместимости разнородных подсистем обычно прибегают к использованию различных интерфейсов, которые увеличивая сложность, а иногда и громоздкость системотехнических решений, приводят к увеличению длительности цикла управления. В этой связи представляется целесообразным обеспечить комплексное применение методов функционального и процессного подходов к созданию высокотехнологичных интегрированных систем управления.

Создание интегрированных систем управления на основе информационных, управляющих, роботизированных, телекоммуникационных систем по причине различных темпов их развития носит поэтапный характер.

Представляя основные направления интеграции систем в составе интегрированной системы управления, необходимо отметить, что в условиях жесткой централизации управления традиционно на основе функционального подхода обеспечивается вертикальная интеграция функциональных подсистем, при этом в рамках иерархической структуры основная ответственность возлагается на верхние звенья управления. В настоящее время получают развитие методы интеграции на уровне бизнес-процессов. При этом она реализуется по горизонтали, пересекая весь перечень объединяемых в составе интегрированной системы функциональных подсистем.

С учетом расширения перечня рассматриваемых процессов, как показано в [8], и их представления в виде полной группы процессов в жизненном цикле интегрированной системы управления с применением роботизированных систем целесообразно выделить следующие процессы:

- организационные, отражающие взаимодействие органов управления, включая системообразующие компоненты искусственного интеллекта в составе роботизированных подсистем;
- организационно-ресурсные, отражающие взаимодействие органов управления с использованием информационных, когнитивных, технических и других ресурсов;
- технико-технологические, отражающие взаимодействие средств управления в составе частично автоматизированных и роботизированных подсистем.

К организационным процессам в жизненном цикле интегрированной системы управления необходимо отнести:

- регламентированный руководящими и нормативными документами порядок взаимодействия на уровне как органов управления, так и на уровне их отдельных должностных лиц между собой в составе территориально распределенной системы управления и в составе локальных групп управленческого персонала;
- порядок и алгоритмы взаимодействия органов управления неавтоматизированными объектами управления, с одной стороны, и органов управления роботизированными объектами управления, создаваемых на основе применения искусственного интеллекта, с другой стороны;
- алгоритмы взаимодействия органов управления, создаваемых на основе применения искусственного интеллекта.

К организационно-ресурсным процессам в жизненном цикле интегрированной системы управления необходимо отнести процессы, отражающие взаимодействие субъектов управления (органов управления, должностных лиц) с использованием информационных, когнитивных, технических и др. ресурсов. При этом важная роль отводится своевременному обеспечению организационных

процессов необходимыми ресурсами как по их номенклатуре, так и по их объему.

Технико-технологические процессы в интегрированной системе управления отражают взаимодействие на уровне средств управления, обеспечивающее рациональное использование необходимых ресурсов для реализации организационных процессов.

Необходимо отметить, что указанные процессы, составляя их полную группу, находятся в многонаправленной взаимосвязи, что обуславливает сложность при выявлении первичной основы, определяющей порядок их совершенствования в составе полной группы процессов.

Так, например, традиционно организационные процессы в жизненном цикле интегрированной системы управления, определяемые ее предназначением и задачами по его реализации, должны формировать требования к остальным процессам в рамках их полной группы (организационно-ресурсным и технико-технологическим процессам). В то же время возможный уровень реализации последних может не в полной мере соответствовать таким требованиям, что станет сдерживающим фактором по реализации организационных процессов.

Учитывая высокую степень неопределенности условий автономного применения роботизированных систем и комплексов, особенно при отсутствии возможности оперативной корректировки управляющих воздействий в зависимости от складывающейся ситуации в зоне их применения необходимо на процессном уровне по каждому виду процессов заблаговременно предусматривать комплексы мер и системотехнических решений по их координации и синхронизации в рамках интегрированной системы управления. Для этого в составе полной группы процессов необходимо обеспечить:

- на уровне организационных процессов — регламент их реализации в условиях автономного применения роботизированной подсистемы;
- на уровне организационно-ресурсных процессов — порядок предоставления доступа роботизированной подсистемы к актуальным ресурсам интегрированной системы управления (информационным, когнитивным) с учетом их интенсивного старения в динамике текущей обстановки;
- на уровне технико-технологических ресурсов — возможность автономного функционирования и порядок восстановления взаимодействия средств управления роботизированной подсистемы с другими элементами интегрированной системы управления.

Концептуальные подходы к созданию интегрированных систем управления предлагается разрабатывать на основе современных методов менеджмента, среди которых применение процессных методов в рамках системного подхода открывает новые возможности по рациональной

интеграции как унаследованных, так и вновь создаваемых информационных, управляющих, телекоммуникационных систем различного назначения и принадлежности.

Поскольку в каждый период времени в эксплуатации одновременно находятся системы управления нескольких поколений разработки, то переход к интегрированным системам должен осуществляться поэтапно. Учитывая ключевую роль рациональной организации процессов в жизненном цикле системы управления, необходимо отметить, что они являются связующим звеном от ее целевого предназначения, исходя из стратегии ее создания, к ее структуре. Такой принцип подчинения структуры процессам, а процессов стратегии был сформулирован Г. Остерлохом, являющимся специалистом в области аналитики системных решений [17]. Практическая реализация такого принципа открывает новые возможности по расширению разнообразия интегрированной системы, что в соответствии с законом необходимого разнообразия У.Р. Эшби [18] придает свойство инвариантности интегрированной системы управления к условиям ее функционирования.

На рис. 1–5 представлены последовательно этапы интеграции автономных систем управления на процессной основе, начиная с интеграции на уровне организационных процессов (см. рис. 1, 2), на уровне организационных и организационно-ресурсных процессов (см. рис. 3) и на уровне полной группы процессов (см. рис. 4). В конечном счете, на основе интеграции по трем группам процессов может быть создана интегрированная система на основе автономных систем (см. рис. 5) с реализацией интегрированных процессов в рамках их полной группы.

На первом этапе интеграции систем управления, исходя из целей, поставленных при их интеграции, должна осуществляться интеграция на уровне организационных процессов, отражающих взаимодействие органов управления. Это может быть реализовано на основе формирова-



Рис. 1. Общая схема процесса интеграции автономных систем управления



Рис. 2. Общая схема процесса интеграции автономных систем управления (этап 1)

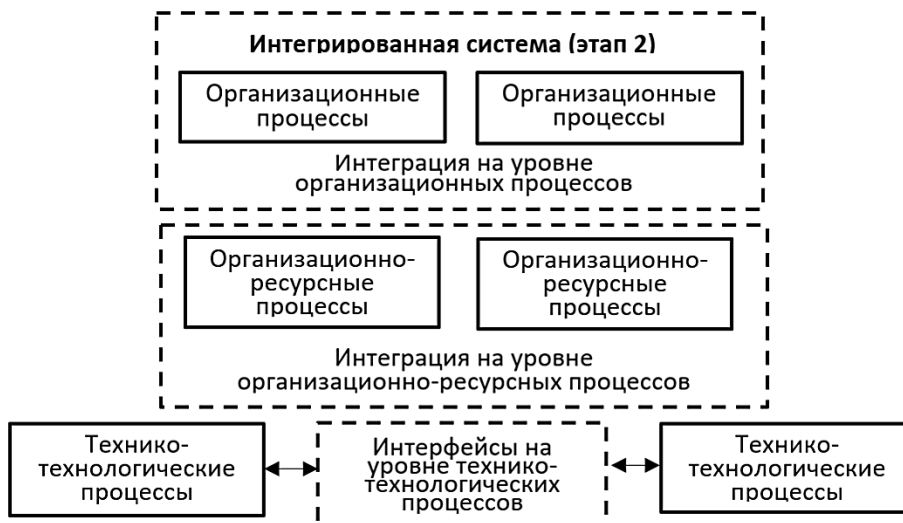


Рис. 3. Общая схема процесса интеграции автономных систем управления (этап 2)

ния единого процесса их взаимодействия с использованием общего регламента и определения единых требований к временным параметрам организационного процесса.

При этом на уровне организационно-ресурсных процессов потребуется создать интерфейсы, обеспечивающие возможность рационального использования информационных, когнитивных, технических и других ресурсов, необходимых для реализации организационных процессов.

На следующем этапе развития интегрированных систем, создаваемых на основе применения унаследованных автономных систем управления, после формирования единых организационных и организационно-ресурсных процессов с учетом консервативного характера техни-

ческой основы объединяемых систем управления необходимо обеспечить совместимость на уровне технико-технологических процессов, как показано на рис. 3.

В дальнейшем должна обеспечиваться полная интероперабельность подсистем, основные подходы к обеспечению которой представлены в [19], только с учетом их распространения на уровень полной группы процессов в жизненном цикле интегрированной системы управления (см. рис. 4). При создании интегрированной системы управления на основе системотехнических и технологических решений, соответствующих одному поколению систем, на ранних этапах ее разработки необходимо провести разработку единых процессов на уровне всех элементов их



Рис. 4. Общая схема процесса интеграции автономных систем управления (этап 3)

полной группы. При этом, учитывая принцип последовательной разработки интегрированной системы управления с учетом основных положений системной инженерии [20], начиная от анализа ее целей и задач, формирования необходимой полной группы процессов по их реализации и последующего обоснования структуры интегрированной системы управления, можно перейти к полной группе интегрированных процессов как показано на рис. 5.



Рис. 5. Общая схема процесса интеграции автономных систем управления (этап 4)

Таким образом, в основу создания перспективных интегрированных систем управления необходимо положить принцип подчинения:

- процессов в их жизненном цикле системы управления — поставленной цели и задачам по ее созданию;
- структуры системы управления — процессам.

Процессную основу интеграции информационных, управляющих, роботизированных, телекоммуникационных систем должна составить взаимоувязанная совокупность организационных, организационно-ресурсных и технико-технологических процессов, составляющих полную группу процессов в жизненном цикле системы управления.

Применение роботизированных систем управления в составе интегрированных систем требует на качественно новой основе рассматривать организационные и организационно-ресурсные процессы с выделением при этом различных вариантов построения системы управления роботизированными объектами (автономная система управления с адаптацией к конкретной ситуации их применения и с координацией на уровне организационных и организационно-ресурсных процессов, либо как неотъемлемая система в составе интегрированной системы управления).

Статья подготовлена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18–29–03061.

Литература

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция: пер с англ. М.: Эксмо, 2016. 208 с.
2. Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. №642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» // Официальные сетевые ресурсы Президента России. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449/page/1> (дата обращения 17.07.2019).
3. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» // Официальные сетевые ресурсы Президента России. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения 17.07.2019).
4. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» // Гарант. 2017. URL: <https://base.garant.ru/71734878/> (дата обращения 17.07.2019).
5. Зацаринный А. А., Киселев Э. В., Козлов С. В., Колин К. К. Информационное пространство цифровой экономики России. Концептуальные основы и проблемы формирования. М.: Изд-во ФИЦ ИУ РАН; НИПКЦ Восход-А, 2018. С. 236.



6. *Пригожин А.И.* Методы развития организаций. М.: МЦФЭР, 2003. 864 с.

7. *Репин В.В., Елиферов В.Г.* Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.

8. *Козлов С.В., Кубанков А.Н.* Об эволюции методов процессного подхода к развитию автоматизированных информационно-управляющих систем // *Качество. Инновации. Образование.* 2018. № 5 (156). С. 103–110.

9. *Zatsarinnyi A.A., Shabanov A.P.* Model of a prospective digital platform to consolidate the resources of economic activity in the digital economy // *Proceedings of XIII International Symposium «Intelligent Systems 2018»* (Saint Petersburg, Russia, October 22–24, 2018). Elsevier, 2019. Pp. 552–557.

10. *Kozlov S. V., Kubankov A. N.* Ways of integrating information, controlling and telecommunication systems — Based on ground and on board — On a process basis // *Proceedings of Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications* (Moscow, Russia, 14–15 March 2018). IEEE, 2018. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8350605> (дата обращения 17.07.2019).

11. *Kozlov S. V., Kubankov A. N.* Scientific and methodical aspects of synchronization of functional processes in the life cycle of integrated control systems // *Proceedings of 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2019* (Yaroslavl; Russia, 1–3 July 2019). IEEE, 2019. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8813991> (дата обращения 17.07.2019).

12. *Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю.* Синтез системы управления группой роботов методом сетевого оператора // *Современные проблемы науки и образования.* 2014. № 4. С. 198.

13. *Дивеев А.И.* Численные методы решения задачи синтеза управления. М.: Изд-во РУДН, 2019. 189 с.

14. *Diveev A. I., Sofronova E. A., Shmalko E. Yu.* A Solution of Synthesized Optimal Control Problem for Interaction of Robots by Evolutionary Computations // *Proceedings of 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Xi'an, China, 19–21 June 2019.* IEEE, 2019. Pp. 756–761.

15. *Diveev A. I.* A Numerical Method for Network Operator for Synthesis of a Control System with Uncertain Initial Values // *Journal of Computer and Systems Sciences International.* 2012. Vol. 51. No. 2. Pp. 228–243.

16. *Kozlov S. V., Kubankov A. N., Shabanov A. P.* Innovations in Control Systems of Actions of Robotic Objects in the Field of Emergency Response // *Proceedings of International Conference «2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)»*, Saint-Petersburg, Russia, 3–7 June 2019. IEEE, 2019. Pp. 1–7.

17. *Григорьев Л. Ю.* Процессное управление в России: быть или не быть? URL: <https://www.executive.ru/management/practices/340394-protsessnoe-upravlenie-v-rossii-byt-ili-ne-byt> (дата обращения 17.07.2019).

18. *Разумовский О.С.* Оптимология. Ч. 1. Обще-научные и философско-методологические основы. Новосибирск: ИДНИ, 1999. 285 с.

19. *Олейников А.Я., Рубан К.А.* Модели и стандарты обеспечения интероперабельности // *Информатизация образования и науки.* 2009. № 3. С. 24–34.

20. *Косяков А., Свит У.Н., Сеймур С. Дж., Бимер С.М.* Системная инженерия. Принципы и практика: пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2017. 624 с.



PROCESS BASES OF INTEGRATION AND COMPLEX DEVELOPMENT OF INFORMATION, CONTROL, ROBOTIC, TELECOMMUNICATION SYSTEMS

SERGEY V. KOZLOV,

Moscow, Russia, skozlov@ipiran.ru

ALEXANDER N. KUBANKOV,

Moscow, Russia, a.n.kubankov@mtuci.ru

KEYWORDS: integrated management system; functional and process approaches; complete group of processes; life cycle; high-tech, information, control, robotic, telecommunication system.

ABSTRACT

It is shown that the methods of functional integration of Autonomous systems and various types of resources are widely used in the creation of integrated control systems for various purposes. The creation of robotic complexes as control objects brings the problem of integration to a qualitatively new level. Functional methods due to the aggravation of the problem of interoperability of the combined Autonomous functional subsystems, as their list expands, exhaust their capabilities. This increases the complexity of algorithms for managing the integrated system as a whole and its elements. It is proposed to solve this problem on the basis of a comprehensive application methods of functional and process approaches. An important condition of rational justification of solutions to system integrators to create an integrated system of management is the performance of the complete group of processes in the life cycle of systems, including organizational processes, defining the order and conditions of realization of functional objectives of the control system, and organizational resource processes, defining the order of interaction between horizontal subsystems within the structure of the control system. Taking into account its typical structure, which is presented in the form of an interconnected set of bodies, points and controls, the classification of processes within it is given with the allocation of such groups of processes as organizational, organizational-resource and technical-technological processes, as well as their types as the main and supporting processes. New aspects of the formation of organizational and organizational-resource processes associated with the inclusion of integrated control systems of control subsystems of robotic complexes are considered. The paper presents proposals for step-by-step integrated integration of Autonomous control systems on a functional and process basis.

REFERENCES

- Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Business, 2017. 192 p.
- Ukaz Prezidenta RF ot 1 dekabrya 2016 g. N642 "O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii" [Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation No. 642

of 01.12.2016]. *Official Internet Resources of the President of Russia*. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449/page/1> (date of access 17.07.2019). (In Rus)

3. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 09.05.2017 № 203 "O Strategii razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii na 2017-2030 gody" [Strategy for the development of the information society in the Russian Federation on 2017-2030]. *Official Internet Resources of the President of Russia*. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (date of access 17.07.2019). (In Rus)

4. Programma "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii" [Program "Digital economy of the Russian Federation"]. *Garant*. 2017. URL: <https://base.garant.ru/71734878/> (date of access 17.07.2019). (In Rus)

5. Zatsarinny A.A., Kiselev E.V., Kozlov S.V., Kolin K.K. *Informatsionnoe prostranstvo tsifrovoy ekonomiki Rossii. Kontseptual'nye osnovy i problemy formirovaniya* [Information space of the digital economy of Russia. Conceptual foundations and problems of formation]. Moscow: FRC CSC RAS. Publ.; NIPKTS Voskhod-A. 2018. 236 p. (In Rus)

6. Prigozhin A.I. *Metody razvitiya organizatsiy* [Methods of development of organizations]. Moscow: MCFER, 2003. 864 p. (In Russian)

7. Repin V.V., Eliferov V.G. *Protsessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovanie biznes-protsessov* [Process approach to management. Business process modeling]. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber, 2013. 544 p. (In Rus)

8. Kozlov S.V., Kubankov A.N. On the evolution of methods of the process approach to the development of automated information-control systems. *Quality. Innovations. Education*. 2018. No. 5 (156). Pp. 103-110. (In Rus)

9. Zatsarinny A.A., Shabanov A.P. Model of a prospective digital platform to consolidate the resources of economic activity in the digital economy. *Proceedings of XIII International Symposium "Intelligent Systems 2018", Saint Petersburg, Russia, October 22-24, 2018*. Elsevier, 2019. Pp. 552-557.

10. Kozlov S.V., Kubankov A.N. Ways of integrating information, controlling and telecommunication systems – Based on ground and on board – On a process basis. *Proceedings of Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications,*



Moscow, Russia, 14-15 March 2018. IEEE, 2018. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8350605> (date of access 17.07.2019).

11. Kozlov S.V., Kubankov A.N. Scientific and methodical aspects of synchronization of functional processes in the life cycle of integrated control systems. *Proceedings of 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHRO-INFO 2019, Yaroslavl; Russia, 1-3 July 2019*. IEEE, 2019. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8813991> (date of access 17.07.2019).

12. Diveev A.I., Shmalko E. Yu. Control system synthesis for robotic team by network operator. *Modern problems of science and education*. 2014. No. 4. P. 198. (In Rus)

13. Diveev A.I. *Chislennyye metody resheniya zadachi sinteza upravleniya* [Numerical methods for solving the problem of control synthesis]. Moscow: RUDN University Publ., 2019.– 189 p. (In Rus)

14. Diveev A.I., Sofronova E.A., Shmalko E. Yu. A Solution of Synthesized Optimal Control Problem for Interaction of Robots by Evolutionary Computations. *Proceedings of 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Xi'an, China, 19-21 June 2019*. IEEE, 2019. Pp. 756-761.

15. Diveev A.I. A Numerical Method for Network Operator for Synthesis of a Control System with Uncertain Initial Values. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2012. Vol. 51. No. 2. Pp. 228-243.

16. Kozlov S.V., Kubankov A.N., Shabanov A.P. Innovations in Control Systems of Actions of Robotic Objects in the Field of Emergen-

cy Response. *Proceedings of International Conference "2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)", Saint-Petersburg, Russia, 3-7 June 2019*. IEEE, 2019. Pp. 1-7.

17. Grigoriev L. Yu. Protsessnoe upravlenie v Rossii: byt' ili ne byt'? [Process management in Russia: to be or not to be?]. URL: <https://www.executive.ru/management/practices/340394-protsessnoe-upravlenie-v-rossii-byt-ili-ne-byt> (date of access 17.07.2019). (In Rus)

18. Razumovsky O.S. *Optimologiya. Ch.1. Obshchenauchnye i filosofsko-metodologicheskie osnovy* [Optimology. Pt. 1. General scientific and philosophical and methodological foundations]. Novosibirsk: IDNI, 1999. 285 p. (In Rus)

19. Oleynikov A. Ya., Ruban K.A. Models and standards maintenance of interoperability. *Informatizatsiya obrazovaniya i nauki* [Informatization of education and science]. 2009. No. 3. Pp. 24-34. (In Rus)

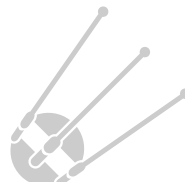
20. Kossiakoff A., Sweet W.N., Seymour S., Biemer S.M. *Systems Engineering: Principles and Practice*. 2nd edition. Wiley-Interscience, 2011. 560 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Kozlov S. V., PhD, Head of Department, leading researcher of the Federal research center "Computer science and control" of the Russian academy of sciences;

Kubankov A. N., PhD, Head of the Department of the Moscow technical University of communications and Informatics.

For citation: Kozlov S.V., Kubankov A.N. Process bases of integration and complex development of information, control, robotic, telecommunication systems. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 23-31. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-23-31 (In Rus)





doi:

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ЧАСТОТНО-ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

**МОКРИНСКИЙ
Дмитрий Викторович**

АННОТАЦИЯ

Предлагается математическая модель функционирования подсистемы частотно-фазовой синхронизации, на основе контура цифровой фазовой автоподстройки частоты и адаптивного эквалайзера, реализующую полосу захвата и удержания достаточную для удовлетворения заданным требованиям по помехоустойчивости в условиях воздействия сильных ионосферных возмущений. Используя общий вид передаточной функции для замкнутого контура синхронизации в z -области, были введены типовые звенья схемы фазовой автоподстройки частоты, а также, дополнительный элемент, в виде адаптивного фильтра - эквалайзера. При этом математической моделью для адаптивного эквалайзера послужил линейный сумматор с фиксированными во времени весовыми коэффициентами. На основе аналитического анализа передаточных функции описываемой системы, путем оценки их устойчивости через отображения импульсных характеристик в установившемся режиме, при реакции на типовые возмущения, в виде: мгновенного скачка фазы, мгновенного скачка частоты и линейного ухода частоты, обосновывается выбор порядка контура цифровой фазовой автоподстройки частоты и предлагается модель, реализующая требуемую полосу захвата и удержания, без задействования системы поиска частоты и перестройки генератора управляемого напряжения. Основу подхода составляет перестройка пропорционального коэффициента усиления петлевого фильтра, в зависимости от значения мгновенного ухода частоты в канале связи, и как следствие, функционирование подсистемы частотно-фазовой синхронизации с установившейся фазовой ошибкой не превышающей допустимого значения. Путем регулирования максимального остаточного фазового смещения на выходе подсистемы, предлагается реализация эффективного режима работы перспективного модуля повышения помехоустойчивости радиоприемного комплекса, функционирующего в декаметровом диапазоне распространения радиоволн и построенного по технологии программно-конфигурируемого радио, с фиксированным вкладом в общую вероятность битовой ошибки остаточным фазовым смещением подсистемы частотно-фазовой синхронизации. Описаны допущения и ограничения модели, основными из которых являются: невозможность учета стохастической динамики системы; инвариантность к типу модуляции передаваемого сигнала и невозможность учета специфики используемого протокола информационного обмена и, как следствие, структуры информационного пакета.

Сведения об авторе:

адъютант филиала Военной академии
ракетных войск стратегического назначения,
г. Серпухов, Россия, DmitriMokrinski1991@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: синхронизация; фазовая автоподстройка частоты; адаптивный эквалайзер; передаточная функция; петлевой фильтр; уход частоты.

Для цитирования: Мокринский Д.В. Математическая модель функционирования подсистемы частотно-фазовой синхронизации // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 1. С. 32-43. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-32-43

Введение

Известно, что декаметровый канал (ДКМВ) характеризуется целым комплексом негативных эффектов, существенно осложняющих качественное детектирование принимаемого сигнала. В частности, канал связи характеризуется наличием аддитивной помехи (математически описывается аддитивным белым гаусовским шумом [1]) и мультипликативной помехи (характеризующей непостоянство комплексного коэффициента передачи канала связи) [2–3]. Еще одним фактором, вносящим критический вклад в качество приема, является наличие динамически изменяющегося во времени ухода частоты [4]. Уход частоты может быть связан с движением передатчика и приемника относительно друг друга, а также с равномерным подниманием или опусканием отражающей области ионосферы (под действием восходящих и нисходящих потоков воздуха) в течении ограниченного интервала времени. Во втором случае будет иметь место классический эффект Доплера, т.е. изменение частоты принимаемого сигнала. По оценке П. Грина и М.П. Долуханова [5] значения максимального ухода частоты (частоты замираний) декаметровой (ДКМВ) линии связи во время ионосферных возмущений может достигать 100 Гц. Сама по себе задача компенсации ухода частоты в канале связи не является неразрешимой, основные подходы описаны в классических трудах теории фазовой синхронизации [4,6,7], на современном этапе для цифровых систем связи предлагаются адаптированные классические методы, основанные на реализации цифрового (программно-реализованного) контура фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Тем не менее, задача компенсации ухода частоты в условиях наличия замираний в канале связи, является не столь изученной. В частности, в отечественной литературе, типовым подходом является построение систем стабилизации частоты для ДКМВ канала связи, на основе ФАПЧ. Важной особенностью таких систем является узкая полоса захвата и удержания частоты (30–40 Гц). Для возможности функционирования приемного устройства при более значительных уходах частоты реализуется схема поиска частоты, основанная на перестройке опорного генератора контура ФАПЧ [8]. В случае, если поиск частоты и соответствующая перестройка опорного генератора происходят во время приема информационного пакета, это приведет к возникновению неустранимых ошибок приема, что существенно скажется на помехоустойчивости в целом. Таким образом, переход от схем поиска частоты к схемам, с расширенной полосой захвата и удержания частоты, позволит повысить помехоустойчивость доведения информации в условиях сильных ионосферных возмущений. Актуальной является задача разработки математической модели функционирования системы частотно-фазовой синхронизации, реализующую полосу захвата и удержания достаточную для

удовлетворения заданным требованиям по помехоустойчивости в условиях воздействия сильных ионосферных возмущений.

Математическая модель

Формальная постановка задачи

Исходные данные:

1. Протокол ДКМВ связи HDL: заданные форматы пакетов вида (1):

$$Fr = \{fr_i\}, i = \overline{1, n_{Fr}}, \quad (1)$$

2. Подсистема адаптивной фильтрации с параметрами (2):

$$F_a (F_{a_type}, F_{a_n}, F_{a_m}), \quad (2)$$

где F_{a_type} — тип алгоритма адаптивной фильтрации;
 F_{a_n}, F_{a_m} — определяют порядок адаптивного эквалайзера (АЭ) (количество прямых и обратных ветвей);

3. Подсистема частотно-фазовой синхронизации с параметрами (3):

$$F_{PLL} = \{K_d, F_{PLL_Filt}, F_{PLL_NCO}\}, \quad (3)$$

где K_d — коэффициент усиления фазового детектора;
 F_{PLL_Filt} — определяет параметры петлевого фильтра (4):

$$F_{PLL_Filt} = \{F_{PLL_Filt_order}, G_1, G_2\}, \quad (4)$$

где $F_{PLL_Filt_order}$ — порядок ПФ;
 G_1 — пропорциональный коэффициент усиления ПФ;
 G_2 — интегральный коэффициент усиления ПФ;
 F_{PLL_NCO} — определяет параметры генератора управляемого напряжением (ГУН)(5):

$$F_{PLL_NCO} = \{K_{NCO}\}, \quad (5)$$

где K_{NCO} — коэффициент усиления ГУН;

4. Заданный тип модуляции (манипуляции) сигналов: F_m ;

5. Заданный тип канала связи (6):

$$F_C = \{F_{C_AWGN}, F_{C_Fad}, F_{C_D}\}, \quad (6)$$

где F_{C_AWGN} — параметры аддитивной помехи значения отношения сигнал-шум на входе демодулятора);

F_{C_Fad} — параметры мультипликативной помехи, определяемые (7):

$$F_{C_Fad} = \{F_{C_Fad_type}, I, W_{ci}, T_{ic}\} i = \overline{1, I}, \quad (7)$$

где $F_{C_Fad_type}$ — тип замираний;

I — количество задержанных лучей;
 W_{ci} — мощность задержанного луча относительно основного;
 T_{ci} — задержка луча относительно основного;
 $F_{C,D}$ — параметры доплеровского ухода частоты, определяемые (8)

$$F_{C,D} = \{\Omega T, \Omega^2 T\}, \quad (8)$$

где ΩT — величина скачка частоты;
 $\Omega^2 T$ — величина скорости ухода частоты;

6. Заданные характеристики приемного устройства: частота дискретизации принимаемого сигнала f_D .

Необходимо научно обосновать выбор конфигурации параметров подсистемы частотно-фазовой синхронизации F_{PLL} , обеспечивающей повышение помехоустойчивости связи, с заданным F_r, F_a, F_m, F_c, f_d .

Показателем помехоустойчивости, как интенсивности проявления данного свойства, примем вероятность битовой ошибки в установившемся режиме на выходе демодулятора радиоприемного цифрового устройства E_b .

Таким образом необходимо обосновать (9):

$$F_{PLL} : E_b(F_{PLL}) < E_b(Stand), \quad (9)$$

где $E_b(stand)$ — вероятность битовой ошибки в установившемся режиме для системы частотно-фазовой синхронизации функционирующей со схемой поиска частоты. При: $F_r = \text{const}, F_a = \text{const}, F_m = \text{const}, F_c = \text{const}, f_d = \text{const}$.

Использование z -преобразования для анализа контуров синхронизации

Основными математическими подходами для описания систем частотно-фазовой синхронизации являются: анализ систем во временной области (решение дифференциальных и интегральных уравнений); анализ систем в s -области (на основе преобразований Лапласа); анализ систем в z -области (для дискретных систем) [9].

Учитывая специфику исследуемой системы, а именно практическое приложение для цифровых систем связи, и ее высокий порядок, для исследования используется математический аппарат z -преобразований.

Z -преобразование дискретной последовательности $h(n)$, обозначенное как $H(z)$ определяется (10):

$$H(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)z^{-n}, \quad (10)$$

где переменная z -комплексная.

Передаточная функция (ПФ) системы в общем виде определяется (11) [10]:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \left[\sum_{k=0}^N b(k)z^{-k} \right] / \left[1 - \sum_{k=0}^N a(k)z^{-k} \right], \quad (11)$$

Линеаризованная модель контура ЦФАПЧ, в приближении малых фазовых углов, изображена на (рис. 1), где $\phi(z)$ и $\psi(z)$ — z -образы $\phi(n)$ и $\psi(n)$ (входных отсчетов и отсчетов с выхода ГУН), описывается передаточной функцией (ПФ) (12) [9]:

$$H_A(z) = \frac{\phi(z)}{\psi(z)} = \frac{\sqrt{2PK_d}N(z)F(z)}{1 + \sqrt{2PK_d}N(z)F(z)}, \quad (12)$$

где F_{PLL_NCO} — полностью определяется $N(z)$ — ПФ ГУН;
 F_{PLL_Filt} — полностью определяется $F(z)$ — ПФ петлевого фильтра;

K_d — коэффициент усиления фазового детектора;
 $2P$ — квадрат амплитуды принимаемого сигнала.

В совокупности, вышеописанные параметры определяют конфигурацию подсистемы частотно-фазовой синхронизации F_{PLL} .

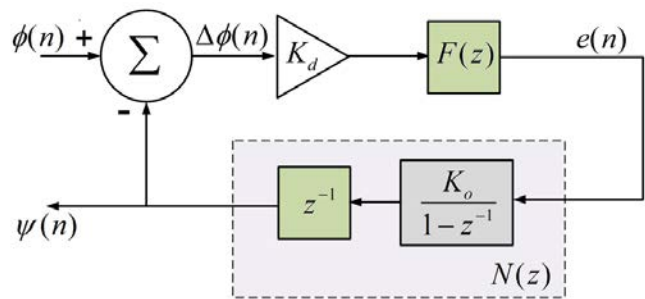


Рис. 1. Линеаризованная модель цифрового контура ФАПЧ

Согласно рис. 2, ГУН работает в дискретном времени.



Рис. 2. Принцип функционирования цифрового ГУН

Существенным отличием от аналогового ГУН является переход от непрерывного времени к дискретному, что влечет за собой замену интегрирования в выражении — суммированием. Запишем выражения для текущего значения фазы ГУН (13):

$$\psi(n) = K_{NCO} \sum_{m=0}^{n-1} e(m), \quad (13)$$

Выражению (13) соответствует разностное уравнение (14):

$$\psi(n) = K_{NCO} \times e(n-1) + \psi(n-1), \quad (14)$$

Полученное разностное уравнение (14) соответствует передаточной характеристике цифрового ГУН

$$N(z) = \frac{K_{NCO}z^{-1}}{1-z^{-1}} = \frac{K_{NCO}}{z-1}, \quad (15)$$

На рис. 3 изображена структурная схема петлевого фильтра второго порядка, его ПФ $F(z)$ имеет вид:

$$F(z) = G_1 + \frac{G_2}{1-z^{-1}}, \quad (16)$$

где G_1 — пропорциональный коэффициент усиления петлевого фильтра;
 G_2 — интегральный коэффициент усиления петлевого фильтра.

Очевидно, для получения ПФ петлевого фильтра первого порядка (17) приравняем интегральный коэффициент к нулю ($G_2=0$), тогда из (16):

$$F(z) = G_1, \quad (17)$$

Также, как и для аналоговых систем синхронизации ПФ ошибки фазы определяется выражением (18):

$$H_e(z) = 1 - H_c(z), \quad (18)$$

Из (12), с учетом (15–18), получаем ПФ по ошибке для контура второго порядка:

$$H_e(z) = \frac{(z-1)^2}{(z-1)^2 + \sqrt{2PK_d}K_{NCO}(G_1(z-1) + G_2z)}, \quad (19)$$

Введем обозначение:

$$K_1 = \sqrt{2PK_d}K_{NCO}, \quad (20)$$

Перепишем (20) в соответствии с (19):

$$H_e(z) = \frac{(z-1)^2}{(z-1)^2 + K_1(G_1(z-1) + G_2z)}, \quad (21)$$

Для получения $H_e(z)$ для контура ФАПЧ первого порядка примем интегральный коэффициент усиления петлевого фильтра равным нулю $G_2 = 0$, тогда из (21):

$$H_e = \frac{z-1}{z-1 + K_1G_1}, \quad (22)$$

Реакция ПФ контуров первого (22) и второго (21) порядка на типовые возмущения известна и описана [7, 11, 12] краткий анализ приведен в таблице.

Из табл. следует, что контуры второго порядка имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с контурами первого порядка. Наиболее значимые это: отсутствие ограничения на величину полосы захвата и удержания, а также наличие второго порядка астатизма, и как следствие возможность компенсации более высокочастотных возмущений. Между тем существенным недостатком типовых систем ФАПЧ является отсутствие механизма выравнивания амплитудно-частотной характеристики канала связи при воздействии замираний в канале связи. Типовым решением, в таком случае, является использование в схеме синхронизации адаптивного фильтра (эквалайзера) (рис. 4).

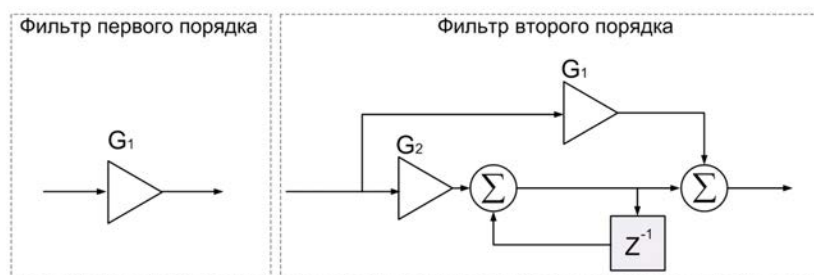


Рис. 3. Структурная схема петлевого фильтра первого и второго порядков

Реакция ПФ контуров ФАПЧ первого и второго порядков на типовые возмущения

	Область захвата и область удержания	Значение фазовой ошибки в установившемся режиме, при воздействии типовых возмущений		
		Фазовый сдвиг	Частотный сдвиг	Линейный уход частоты
ФАПЧ первого порядка	Ограничена	Нулевая ошибка	Постоянная ошибка	Линейный рост ошибок
ФАПЧ второго порядка	Не ограничена	Нулевая ошибка	Нулевая ошибка	Постоянная ошибка

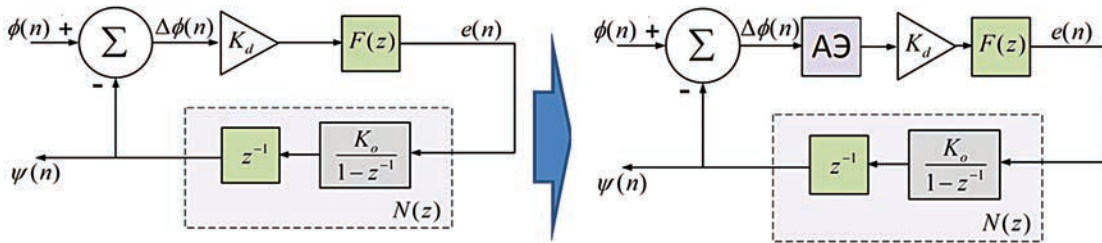


Рис. 4. Переход к схеме с адаптивным эквалайзером

Исследование контура синхронизации, с адаптивным эквалайзером в цепи обратной связи

АЭ представляет собой линейный фильтр с изменяемыми коэффициентами. В общем случае выходной сигнал фильтра определяется соотношением (23) [13–14]:

$$y(k_i) = h^H x, \quad (23)$$

где $h=h(k_i)$ — вестовые коэффициенты фильтра; $x=x(k_i)$ — комплексные отсчеты сигнала на входе приемника; «H» — эрмитово сопряжение.

Упрощенная структурная схема АЭ, представлена на рис. 5а. Для нахождения ПФ АЭ, представим его в виде линейного сумматора (рис. 5б) [15], в таком случае выражение для выходного сигнала:

$$y_k = \sum_{n=0}^L a_n x_{k-n} + \sum_{n=1}^L b_n y_{k-n}, \quad (24)$$

Запишем z-преобразование выражения (24):

$$Y(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^L a_n x_{k-n} z^{-k} + \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^L b_n y_{k-n} z^{-k}, \quad (25)$$

$$Y(z) = \left(\sum_{n=0}^L a_n z^{-n} \right) \left(\sum_{k=-\infty}^{\infty} x_m z^{-m} \right) + \left(\sum_{n=1}^L b_n z^{-n} \right) \left(\sum_{k=-\infty}^{\infty} y_m z^{-m} \right) = A(z)X(z) + Y(z)B(z), \quad (26)$$

Из (25,26) ПФ АЭ для рекуррентного алгоритма запишется в виде (27–28):

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{A(z)}{(1-B(z))}, \quad (27)$$

$$H(z) = \frac{1 + \omega_0 z^{-1}}{1 - \omega_1 z^{-1}} = \frac{z + \omega_0}{z - \omega_1}, \quad (28)$$

Учитывая, что АЭ выполняет функцию обратной идентификации системы (рис. 6), в процессе адаптации АЭ стремится преобразовать $x(n)$ для обеспечения наилучшего приближения по заданному критерию выходного сигнала $y(n)$ к входному сигналу неизвестной системы $d(n-D)$ [14,16].

$$y(n) = d'(n-D), \quad (29)$$

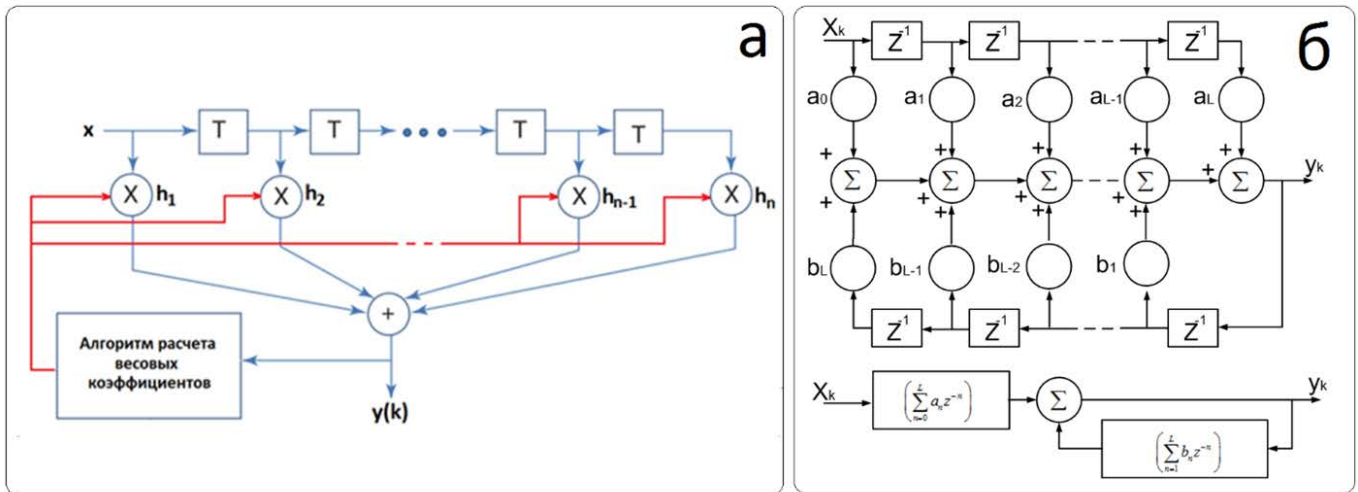


Рис. 5. Упрощенная структурная схема адаптивного эквалайзера:
а — в общем виде; б — в виде линейного сумматора

Тогда по теореме о задержке из (29), получим выражение (30):

$$Y(z) = D(z)z^{-D}, \quad (30)$$

В таком случае ПФ АЭ неизвестной системы перед обучением имеет вид (31):

$$V(z) = \frac{X(z)}{D(z)} H(z), \quad (31)$$

ПФ АЭ и неизвестной системы в установившемся режиме:

$$V(z) = \frac{D(z) X(z)}{X(z) D(z)} H(z) = U_0 H(z); \quad U_0 \cong 1, \quad (32)$$

Выражение (32) верно, с учетом допущения:

Допущение 1: По завершении процесса адаптации АЭ полностью идентифицирует неизвестную систему и компенсирует искажения АЧХ канала связи (рис. 6).

Запишем ПФ типовых возмущений в канале связи [9]:
ПФ скачка фазы:

$$H_{e1} = \left(\frac{\Delta\theta z}{z-1} \right), \quad (33)$$

ПФ скачка частоты:

$$H_{e2} = \frac{\Omega T z}{(z-1)^2}, \quad (34)$$

ПФ линейного ухода частоты:

$$H_{e3} = \frac{\Omega T^2 z(z+1)}{2(z-1)^3}, \quad (35)$$

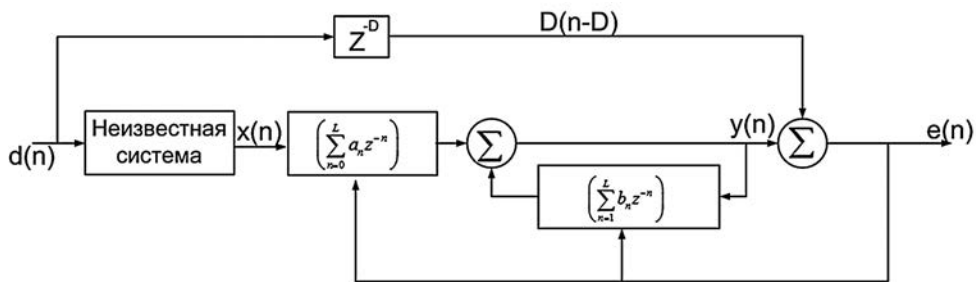


Рис. 6. Схема адаптивного рекурсивного фильтра

Выражения (21,22), с учетом (28) будут иметь вид:

$$H_{ea1} = \frac{z-1}{z-1+K_1\left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1}\right)G_1}, \quad (36)$$

$$H_{ea2} = \frac{(z-1)^2}{(z-1)^2+K_1\left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1}\right)(G_1(z-1)+G_2z)}, \quad (37)$$

Тогда ПФ ошибки контура ФАПЧ первого порядка (36), с включенным АЭ, при воздействии типовых возмущений (33–35) будут иметь вид:

$$H_{w11} = H_{e1}H_{ea1}, \quad (38)$$

$$H_{w12} = H_{e2}H_{ea1}, \quad (39)$$

$$H_{w13} = H_{e3}H_{ea1}, \quad (40)$$

Аналогично, для контура второго порядка из (37) с учетом (33–35):

$$H_{w21} = H_{e1}H_{ea2}, \quad (41)$$

$$H_{w22} = H_{e2}H_{ea2}, \quad (42)$$

$$H_{w23} = H_{e3}H_{ea2}, \quad (43)$$

Импульсные характеристики ПФ (38–40) и начальные условия их расчета, приведены на рис. 7 [17–18]:

Из анализа импульсных характеристик (рис. 7): при введении в контур синхронизации АЭ — сохраняются качественные характеристики типового ФАПЧ первого порядка (табл.). Наблюдается астатизм первого порядка, изменения претерпевает лишь динамика переходного процесса [19–20].

Импульсные характеристики ПФ (41–43) и начальные условия их расчета, приведены на (рис. 8):

Анализ (рис. 8) показывает: в общем случае контур второго порядка с АЭ, при воздействии типовых возмущений, не устойчив. Вариация начальных параметров дает устойчивые решения только при аномально низких значениях интегрального коэффициента усиления петлевого фильтра $G_2 < 0,01$, что приводит к невозможности физической реализации подобной системы [10,21].

На основании анализа ПФ (38–43), обоснованным является выбор первого порядка петлевого фильтра ФАПЧ для реализации в качестве элемента подсистемы частотно-фазовой синхронизации на базе АЭ.

Перепишем уравнение (39) в виде (44):

$$H_{w12} = H_{e2}H_{ea1} = \left(\frac{\Omega T z}{(z-1)^2}\right) \left(\frac{z-1}{z-1+K_1\left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1}\right)G_1}\right) \quad (44)$$

Введем обозначение:

$$K = K_1 G_1 = \sqrt{2P} K_d K_{NCO} G_1, \quad (45)$$

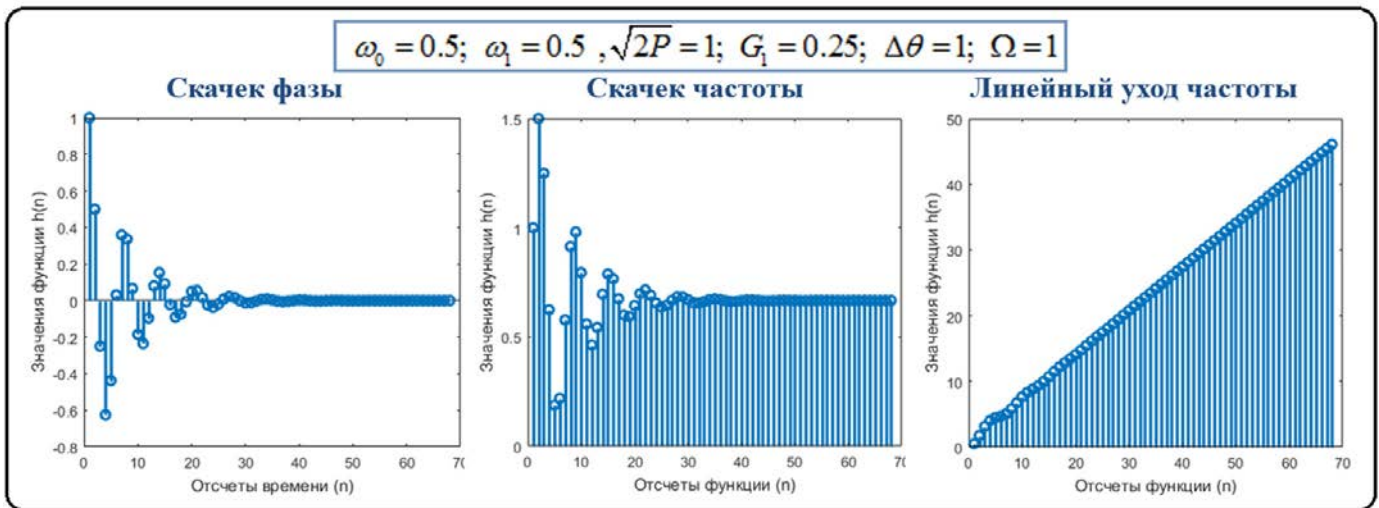


Рис. 7. Импульсные характеристики контура первого порядка

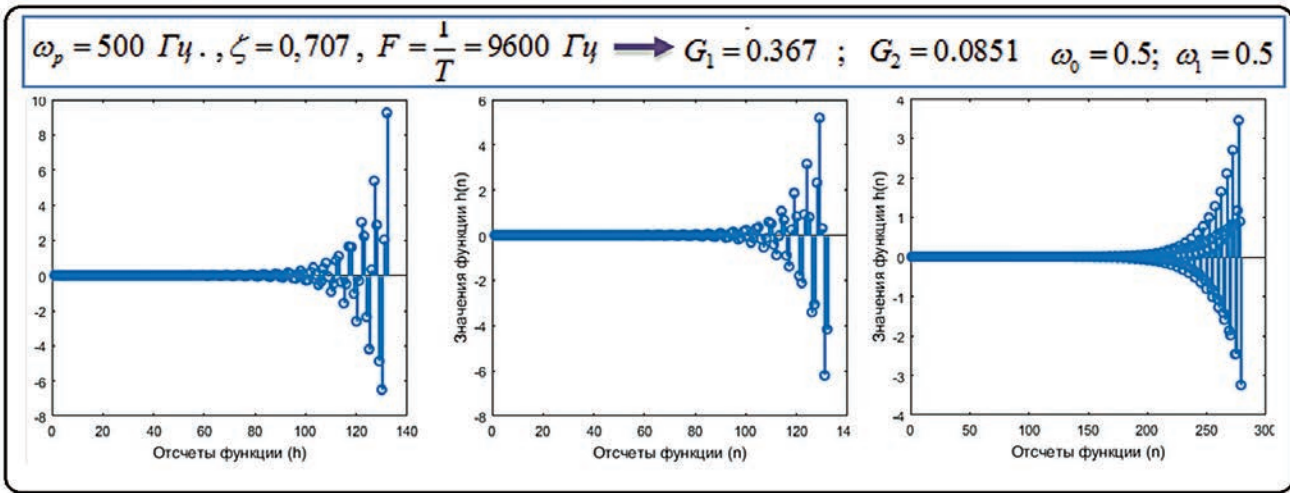


Рис. 8. Импульсные характеристики контура второго порядка

При этом параметр K из выражения (45) — называется общим усилением контура [7,9].

Рассмотрим поведение системы с фиксированным частотным сдвигом [22] при вариации общего усиления контура. Реакция системы для скачков частоты величиной 1 и 10 Гц приведены на рис. 9.

Из рис. 9 видно, что для каждого конкретного значения частотного сдвига существуют квазиоптимальные значения общего усиления контура ФАПЧ которое минимизирует фазовую ошибку $\Delta\varphi$ на выходе системы. Исходя из этого предлагается минимизация фазовой ошибки путем регулирования общего усиление контура. Типовым решением [9], в таком случае, является использование пропорционального коэффициента усиления G_1 , в качестве параметра регулирования.

Пусть в канале связи возможен скачек с частоты Ω_1 на частоты $\Omega_2 \dots \Omega_N$, учитывая, что для каждого мгновен-

ного значения частоты Ω_N существует квазиоптимальное значение G_{1N} , система уравнений примет вид (46):

$$\begin{cases} H_{e1} = \left(\frac{\Omega_1 T z}{(z-1)^2} \right) \left(\frac{z-1}{z-1 + K_1 \left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1} \right) G_{11}} \right) \Delta\varphi \rightarrow 0 \\ H_{e2} = \left(\frac{\Omega_2 T z}{(z-1)^2} \right) \left(\frac{z-1}{z-1 + K_1 \left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1} \right) G_{12}} \right) \Delta\varphi \rightarrow 0 \\ \dots \\ H_{eN} = \left(\frac{\Omega_N T z}{(z-1)^2} \right) \left(\frac{z-1}{z-1 + K_1 \left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1} \right) G_{1N}} \right) \Delta\varphi \rightarrow 0 \end{cases}, \quad (46)$$

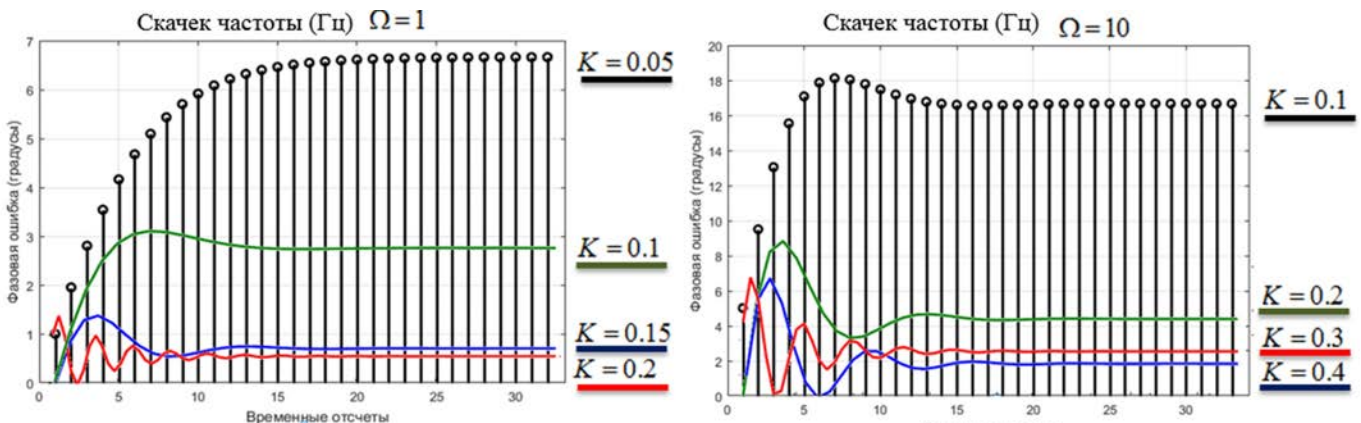


Рис. 9. Реакция системы на скачек частоты при различных значениях общего усиления контура

Пусть в канале связи происходит линейный уход частоты от 0 до f_{N_max} . Разделим весь диапазон ухода частоты на N дискретных интервалов. В каждом интервале (47):

$$f_{(m-1)\max} \leq f_m < f_{m\max}; \quad 0 \leq m \leq N, \quad (47)$$

система функционирует с G_{1m} , выбранным таким образом, что суммарная фазовая ошибка выбранного интервала $\Delta\varphi$ не превосходит требуемого значения $\Delta\varphi < \Delta\varphi_{\max}$. В таком случае, система уравнений, примет вид (48):

Регулируя пропорциональный коэффициент петлевого фильтра можно добиться того, чтобы ошибка фазы

в установившемся режиме не превышала требуемого значения. В итоге мы получаем систему, которая на выходе имеет, в общем случае, ненулевую фазовую ошибку. Влияние остаточной фазовой ошибки на конечную вероятность битовой ошибки E_b для различных типов модуляции хорошо изучено и описано в [1,2,23].

Таким образом обосновывается формальная постановка задачи исследования (9), а именно уменьшение E_b за счет перерегулирования общего усиления контура синхронизации G_1 (в зависимости от значения мгновенного ухода частоты в канале связи) для удовлетворения заданным требованиям по помехоустойчивости в условиях воздействия сильных ионосферных возмущений.

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq f_1 < f_{1\max} \rightarrow H_{e1} = \left(\frac{\Omega_1 Tz}{(z-1)^2} \right) \left(\frac{z-1}{z-1 + K_1 \left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1} \right) G_{11}} \right) \Delta\varphi < \Delta\varphi_{\max} \\ f_{1\max} \leq f_2 < f_{2\max} \rightarrow H_{e2} = \left(\frac{\Omega_2 Tz}{(z-1)^2} \right) \left(\frac{z-1}{z-1 + K_1 \left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1} \right) G_{12}} \right) \Delta\varphi < \Delta\varphi_{\max} \\ \dots \\ f_{(N-1)\max} \leq f_N < f_{N\max} \rightarrow H_{eN} = \left(\frac{\Omega_N Tz}{(z-1)^2} \right) \left(\frac{z-1}{z-1 + K_1 \left(\frac{z+\omega_0}{z-\omega_1} \right) G_{1N}} \right) \Delta\varphi < \Delta\varphi_{\max} \end{array} \right. , \quad (48)$$

Заключение

Предложенная математическая модель имеет следующие основные особенности: наличие в схеме синхронизации АЭ, позволяет бороться с мультипликативными помехами; возможность перестройки пропорционального коэффициента петлевого фильтра, позволяет осуществлять мягкую адаптацию системы к уходу частоты в канале связи, без перестройки ГУН и задействования схемы поиска частоты.

Модель имеет следующие допущения и ограничения:

Допущение 1. По завершении процесса адаптации АЭ полностью идентифицирует неизвестную систему и компенсирует искажения АЧХ канала связи.

В следствие допущения 1 — не учитываются параметры мультипликативной помехи в канале связи: F_{C_Fad} .

Ограничение 1. Математическая модель не учитывает стохастическую динамику системы (F_{C_AWGN} собственные фазовые шумы).

Ограничение 2. Математическая модель не учитывает типа модуляции принимаемого сигнала: F_m .

Ограничение 3. Математическая модель не учитывает количественные характеристики АЭ: F_a .

Ограничение 4. Математическая модель не учитывает специфику используемого протокола: Fr .

Научная новизна заключается в том, что математически описана система частотно-фазовой синхронизации на базе ФАПЧ и АЭ, при этом, благодаря перестройке пропорционального коэффициента петлевого фильтра, решена проблема узости полосы захвата и удержания контура, а также, нарастания фазовой ошибки при линейном уходе частоты в канале связи.

При этом, для ухода от указанных ограничений и допущений, а также в целях перехода от качественного анализа функционирования системы к количественной оценке необходим переход от математической модели к имитацион-



ной, и далее, к полунатурному и натурному моделированию. Также необходима разработка методик и алгоритмов перестройки пропорционального коэффициента усиления петлевого фильтра.

Литература

1. *Прокис Дж.* Цифровая связь: пер с англ. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.
2. *Феер К.* Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. М.: Радио и связь, 2000. 520 с.
3. *Ахмадеев Р. Р., Вилков С. В., Ляхов А. В., Пашиинцев В. П.* Влияние ионосферы на обнаружение сигналов в низкочастотных системах спутниковой связи // Материалы LXIX международной научно-практической конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (Москва, 07 декабря 2014 г.). Москва, 2014. С. 235–238.
4. *Gardner F.M.* Phaselock Techniques. 2nd Edition. New York: John Wiley and Sons, 1979. 189 p.
5. *Долуханов М. П.* Флуктуационные процессы при распространении радиоволн. М.: Связь, 1971. 187 с.
6. *Shayan Y.R., Le-Ngoc T.* All Digital Phase-locked loop: concepts, design and application // IEE Proceedings F — Radar and Signal Processing. 1989. Vol. 136. No. 1. Pp. 25–36.
7. *Шахгильдян В. В., Ляховский А. А.* Фазовая автоподстройка частоты. М.: Связь, 1966. 336 с.
8. *Пашиинцев В. П.* Принципы построения трактов радиоприёмников систем военной связи. М.: МОПФ, 1998. 259 с.
9. *Stephens R.* Phase-Locked Loops for Wireless Communications. Digital, Analog, and Optical Implementations. 2nd Edition. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002. 434 p.
10. *Лайонс Р.* Цифровая обработка сигналов: пер с англ. 2-е издание. М.: Бином, 2006. 652 с.
11. *Шахтарин Б. И.* Синхронизация в радиосвязи и навигации. М.: Гелиос АРВ, 2007. 256 с.
12. *Kudrewicz J., Wasowicz S.* Equations of Phase-locked loops. London: Word Scientific Publishing Co. Pte.Ltd., 2007. 235 p.
13. *Джиган В. И.* Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М.: Техносфера, 2013. 528 с.
14. *Солонина А. И.* Цифровая обработка сигналов в зеркале Matlab. СПб.: БВХ-Петербург, 2018. 560 с.
15. *Уидроу Б., Стирнз С.* Адаптивная обработка сигналов: пер с англ. М.: Радио и связь, 1989. 436 с.
16. *Мокринский Д. В., Лебедев Д. А.* Оценка и границы применимости адаптивных LMS и RMS эквалайзеров для протокола типа MIL-STD-188–110A // Материалы XVII Российской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в системах связи и управления» (Калуга, 04 июня 2018 г.). Калуга, 2018. С. 34–38.
17. *Щербачков В. С., Рунпель А. А., Глушец В. А.* Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде Matlab и Simulink. Омск: СибАДИ, 2003. 160 с.
18. *Giordano A.A., Levesque A.H.* Modeling of Digital Communication System Using Simulink. New Jersey: Hoboken, 2015. 404 p.
19. *Мокринский Д. В.* Особенности переходных процессов ЦФАПЧ с динамической перестройкой коэффициентов пропорционально-интегрирующего фильтра // Информатика, вычислительная техника и управление. 2018. № 9. С. 122–126.
20. *Purkayastha B.B., Sarma K.K.* Digital Phase Locked Loop based Signal and Symbol Recovery System for Wireless Channel. New York: Heidelberg 2015. 254 p.
21. *Цимбал В. А., Мокринский Д. В., Парфентьев А. А.* Оценка эффективности работы систем частотно-фазовой синхронизации в условиях многолучевого распространения сигнала // Материалы 21-й международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPA-2019)» (Москва, 16 мая 2019 г.). Москва, 2019. С. 327–331.
22. *Шиманов С. Н., Мокринский Д. В., Бекренев С. А.* Исследование системы частотно-фазовой синхронизации на базе адаптивного RLS эквалайзера и программно-реализованного контура ФАПЧ при наличии стационарного частотного сдвига в канале связи // Материалы международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий (REDS-2019)» (Москва, 12 апреля 2019 г.). Москва, 2019. С. 206–210.
23. *Артеменко А. А., Мальцев А. А., Рубцов А. Е.* Влияние неточности оценивания фазы несущей на вероятность битовых ошибок в М-КАМ системах передачи данных // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2007. № 2. С. 81–87.

MATHEMATICAL MODEL OF A PHASE-FREQUENCY SYNCHRONIZATION SYSTEM

DMITRI V. MOKRINSKI,

Serpuhov, Russia, DmitriMokrinski1991@mail.ru

KEYWORDS: synchronization; phase locked loop; adaptive equalizer; Transmission function; loop filter, frequency care.

ABSTRACT

A mathematical model is proposed for the functioning of the phase-frequency synchronization system, based on the digital phase-locked loop and an adaptive equalizer, which implements a capture and hold band sufficient to satisfy the given requirements for noise immunity under the influence of strong ionospheric disturbances. Using the general form of the transfer function for a closed synchronization loop in the z-domain, typical links of the phase-locked loop were introduced, as well as an additional element in the form of an adaptive filter - equalizer. The mathematical model for the adaptive equalizer was a linear adder with time-fixed weighting coefficients. Based on the analytical analysis of the transfer functions of the described system, by assessing their stability through the display of impulse response in the steady state, when responding to typical disturbances, in the form of an instantaneous phase step, instantaneous frequency step and frequency ramp, the choice of the order of the digital phase-locked loop and a model is proposed that implements the required capture and retention band without involving the frequency search system and tuning the controlled voltage generator. The basis of the approach is the adjustment of the proportional gain of the loop filter, depending on the value of the instantaneous frequency step in the communication channel, and as a result, the functioning of the frequency-phase synchronization subsystem with a steady-state phase error not exceeding the permissible value. Phase shift at the output of the subsystem, it is proposed to implement an effective operating mode of a promising module for increasing the noise immunity of the modem complex, operating in the decimeter wavelength range of the radio waves and constructed using software-configured radio technology, with a fixed contribution to the total probability of bit error by the residual phase shift of the subsystem frequency phase synchronization. The assumptions and limitations of the model are described, the main of which are: the impossibility of taking into account the stochastic dynamics of the system; invariance to the type of modulation of the transmitted signal and the inability to take into account the specifics of the used information exchange protocol and, as a consequence, the structure of the information package.

REFERENCES

1. Proakis J.G. *Digital Communications*. 3rd Edition McGraw-Hill, 1995. 928 p.
2. Feher K. *Wireless Digital Communications: Modulat: Modulation and Spread Spectrum Applications*. NY, Prentice Hall PTR, 1995. 544 p.
3. Akhmadeev R.R., Vilkov S.V., Lyakhov A.V., Pashintsev V.P. Vlijanie ionosfery na obnaruzhenie signalov v nizkochastotnyh sistemah sputnikovoj svjazi [The influence of the ionosphere on the detection of signals in low-frequency satellite communications systems]. *Materialy LXIX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Radioelektronnye ustrojstva i sistemy dlja infokommunikacionnyh tehnologij"* [Proceedings of the LXIX international scientific-practical conference "Radio-electronic devices and systems for infocommunication technologies" (Moscow, on December 7, 2014)]. Moscow, 2014. Pp. 235-238. (In Rus)
4. Gardner F.M. *Phaselock Techniques*. 2nd Edition. New York: John Wiley and Sons, 1979, 189 p.
5. Dolukhanov M.P. *Fluktacionnye processy pri rasprostranении radiovoln* [Fluctuation processes in the propagation of radio waves]. Moscow: Svjaz, 1971. 187 p. (In Rus)
6. Shayan Y.R., Le-Ngoc T. All Digital Phase-locked loop: concepts, design and application. *IEE Proceedings F – Radar and Signal Processing*. 1989. Vol. 136. No. 1. Pp. 25-36.
7. Shahgildyan V.V., Lyakhovsky A.A. *Fazovaja avtopodstrojka chasoty* [Phase locked loop]. Moscow: Svjaz, 1966. 336 p. (In Rus)
8. Pashintsev V.P. *Principy postroenija traktov radioprijomnikov sistem voennoj svjazi* [The principles of constructing radio paths of military communications systems]. Moscow: MO RF, 1998. 259 p. (In Rus)
9. Stephens R. *Phase-Locked Loops for Wireless Communications. Digital, Analog, and Optical Implementations*. 2nd edition. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002. 443 p.
10. Lyons R.G. *Understanding Digital Signal Processing*. New Jersey: Prentice HALL Professional Technical Reference, 2004. 684 p.
11. Shakhtarin B.I. *Sinhronizacija v radiosvjazi i navigacii* [Synchronization in radio communications and navigation]. Moscow: Gelios ARV, 2007. 256 p. (In Rus)



12. Kudrewicz J., Wasowicz S. *Equations of Phase-locked loops*. London: Word Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007. 235 p.
13. Dzhigan V.I. *Adaptivnaja fil'tracija signalov: teorija i algoritmy* [Adaptive signal filtering: theory and algorithms]. Moscow: Tehnosfera, 2013. 528 p. (In Rus)
14. Solonina A.I. *Cifrovaja obrabotka signalov v zerkale Matlab* [Digital signal processing in the Matlab mirror]. St-Petersburg: BVH-Petersburg [BVH-Petersburg], 2018. 560 p. (In Russian)
15. Widrow B., Stearns S. *Adaptive signal processing*. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 492 p.
16. Mokrinski D.V., Lebedev D.A. Ocenka i granicy primenimosti adaptivnyh LMS i RMS jekvalajzerov dlja protokola tipa MIL-STD-188-110A [Evaluation and applicability limits of adaptive LMS and RMS equalizers for a protocol of the MIL-STD-188-110A type]. *Materialy XVII Rossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii "Novye informacionnye tehnologii v sistemah svjazi i upravlenija"* [Proceeding of the XVII Russian Scientific and Technical Conference "New Information Technologies in Communication and Control Systems", Kaluga, June 04, 2018]. Kaluga, 2018. Pp. 34-38. (In Rus)
17. Scherbakov V.S., Ruppel A.A., Glushets V.A. *Osnovy modelirovanija sistem avtomaticheskogo regulirovanija i jelektrotehnickeskikh sistem v srede Matlab i Simulink* [Fundamentals of modeling automatic control systems and electrical systems in the environment of Matlab and Simulink]. Omsk: SibADI, 2003. 160 p. (In Rus)
18. Giordano A.A., Levesque A.H. *Modeling of Digital Communication System Using Simulink*. New Jersey: Hoboken, 2015. 404 p. (In Rus)
19. Mokrinsky D.V. Peculiarities of transient processes of a DPLL with dynamic tuning of coefficients of a proportionally integrating filter // *Informatika, vychislitel'naja tehnika i upravlenie* [Informatics, computer engineering and control]. 2018. No. 9. Pp. 122-126. (In Rus)
20. Purkayastha B.B., Sarma K.K. *Digital Phase Locked Loop based Signal and Symbol Recovery System for Wireless Channel*. New York: Heidelberg 2015. 254 p.
21. Tsimbal V.A., Mokrinsky D.V., Parfentiev A.A. Ocenka jeffektivnosti raboty sistem chastotno-fazovoj sinhronizacii v uslovijah mnogoluchevogo rasprostraneniya signala [Performance evaluation of frequency-phase synchronization systems in the conditions of multipath signal propagation]. *Materialy 21-oj mezhdunarodnoj konferencii "Cifrovaja obrabotka signalov i ee primenenie (DSPA-2019)"* [Proceedings of the 21st international conference "Digital signal processing and its application (DSPA-2019)", Moscow, on May 16, 2019] Moscow, 2019. Pp. 327-331. (In Rus)
22. Shimanov S.N., Mokrinsky D.V., Bekrenev S.A. Issledovanie sistemy chastotno-fazovoj sinhronizacii na baze adaptivnogo RLS jekvalajzera i programmno-realizovannogo kontura FAPCh pri nalichii stacionarnogo chastotnogo sdviga v kanale svjazi [The study of the frequency-phase synchronization system based on the adaptive RLS equalizer and the software-implemented PLL circuit in the presence of a stationary frequency shift in the communication channel]. *Materialy mezhdunarodnoj konferencii "Radiojelektronnye ustrojstva i sistemy dlja infokommunikacionnyh tehnologij (REDS-2019)"* [Proceedings of the international conference "Radio-electronic devices and systems for infocommunication technologies (REDS-2019)", Moscow, on April 12 2019] Moscow, 2019. Pp. 206-210. (In Rus)
23. Artemenko A.A., Maltsev A.A., Rubtsov A.E. Effect of the carrier-phase estimation error on the bit-error rate in M-QAM data transmission systems. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2007. No. 2. Pp.81-87. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Mokrinski D.V, Postgraduate student of the Serpukhov branch of the military academy of missile forces of strategic purpose.

For citation: Mokrinski D.V. Mathematical model of a phase-frequency synchronization system. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 32-43. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-32-43 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-44-52

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНЦИДЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

АВРАМЕНКО

Владимир Семенович¹

МАЛИКОВ

Альберт Валерьянович²

АННОТАЦИЯ

Обоснована актуальность задачи оперативного и достоверного диагностирования нарушений безопасности информации в автоматизированных системах специального назначения. Сформулированы основные понятия в области диагностирования компьютерных инцидентов безопасности. Приведена постановка задачи диагностирования компьютерных инцидентов безопасности, как задачи идентификации значений характеристик нарушений безопасности на основе процедур обработки диагностических признаков. Рассмотрены подходы к извлечению диагностических признаков, из общего массива событий, формируемых в ходе функционирования автоматизированной системы в период подготовки и реализации нарушений безопасности, к их предварительной обработке и непосредственно анализу на предмет определения значений характеристик нарушения безопасности. Предметом исследования являются закономерности, модели и методики диагностирования компьютерных инцидентов безопасности в автоматизированных системах. Основной целью исследования является разработка методики диагностирования компьютерных инцидентов безопасности, обеспечивающей выполнение современных требований по оперативности и достоверности анализа нарушений безопасности информации, предназначенной, в том числе, и для расследования компьютерного инцидента. Представлена модель диагностирования компьютерных инцидентов безопасности с применением искусственных нейронных сетей и на её основе разработана методика диагностирования компьютерных инцидентов безопасности. Используется способность обученных искусственных нейронных сетей, в частности персептрона, к решению задачи классификации. Определение значения характеристики нарушения безопасности выполняется в многослойном персептроне. В связи с тем, что множество диагностических признаков достаточно велико в масштабе автоматизированной системы специального назначения, то для снижения размерности признакового пространства предложено применить разновидность искусственной нейронной сети – автоэнкодер. Объединив две вышеуказанные архитектуры в одну, получаем диагностическую искусственную нейронную сеть. Наличие скрытых зависимостей в диагностических признаках позволяет применять искусственные нейронные сети в задачах определения таких неявных характеристик нарушения безопасности как цель, результат и др. Предложенная методика применима при решении задач оперативного диагностирования компьютерных инцидентов безопасности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компьютерный инцидент безопасности; нарушение безопасности информации; характеристика нарушения безопасности; искусственные нейронные сети; диагностирование; диагностические признаки.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., доцент, профессор Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, vsavr@yandex.ru

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

Для цитирования: Авраменко В.С., Маликов А.В. Методика диагностирования компьютерных инцидентов безопасности в автоматизированных системах специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 1. С. 44-52. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-44-52

Введение

В настоящее время средства защиты информации в основном ориентированы на выполнение функции автоматического обнаружения компьютерных инцидентов безопасности и, в большинстве случаев, формируют недостаточное количество информации для проведения оперативного расследования с целью выработки оптимального решения на реагирование. При этом процесс расследования компьютерного инцидента безопасности представляет собой трудоемкий процесс, связанный с большим количеством операций, на выполнение которых требуется значительные временные затраты.

Под компьютерным инцидентом безопасности (КИБ) рассматривается компьютерный инцидент, происхождение которого связано с нарушением безопасности информации. В свою очередь, под нарушением безопасности информации понимается событие, заключающееся в появлении или реализации угрозы безопасности информации [1]. Необходимость введения определения КИБ вызвана конкретизацией определения компьютерного инцидента, данного в Федеральном законе от 26 июля 2017 г. N187-ФЗ "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации", где компьютерный инцидент определяется как «факт нарушения и (или) прекращения функционирования объекта критической информационной инфраструктуры, сети электросвязи, используемой для организации взаимодействия таких объектов, и (или) нарушения безопасности обрабатываемой таким объектом информации, в том числе произошедший в результате компьютерной атаки». При этом предложенное определение КИБ соответствует термину инцидент информационной безопасности, который определен в ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001–2006 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования», применительно к объектам критической информационной инфраструктуры, к которым относятся автоматизированные системы специального назначения.

Расследование КИБ предполагает выполнение следующих основных этапов, представленных на рис. 1. Оно

начинается с фиксации факта нарушения после получения сигнала об обнаружении КИБ. Затем непосредственно осуществляется анализ (диагностирование) выявленного нарушения, составление отчета о причинах и последствиях, а также выработка мер по недопущению КИБ в дальнейшем. При этом диагностирование составляет основное содержание расследования. Диагностирование КИБ представляет собой процесс сбора и анализа данных о нарушениях безопасности информации с целью идентификации существенных для принятия решения на реагирование значений характеристик нарушений безопасности [1].

Характеристики нарушения безопасности (ХНБ) условно делятся на первичные и вторичные (косвенные). Для определения значений первичных характеристик не требуется проведения анализа. К их числу относятся, например, сетевые адреса источника и объекта атаки, идентификаторы пользователей, время и др. Вторичные, напротив, определяются путем проведения анализа диагностических признаков. Диагностические признаки — события, зафиксированные в автоматизированной системе и имеющие отношение к КИБ. В результате анализа формируется вектор значений ХНБ и, как следствие, КИБ.

Проводятся исследования по определению значений отдельных ХНБ [2–4], однако для повышения эффективности процесса диагностирования КИБ перспективным путем является комплексный подход к диагностированию, позволяющий сократить в первую очередь время его проведения. Это подчеркивает, что задача диагностирования, заключающаяся в оперативной идентификации значений ХНБ с целью повышения обоснованности принимаемого решения на реагирование является актуальной для современных автоматизированных систем специального назначения.

Основой для разработки методики диагностирования КИБ является модель, предложенная в [5]. При этом данную модель целесообразно детализировать в части касающейся обработки событий из различных источников и реализации возможности определения значений ХНБ в параллельном режиме путем использования комплекса ИНС.



Рис. 1. Основные этапы расследования компьютерного инцидента безопасности в АС СН

**Модель комплексного диагностирования
 потока компьютерных инцидентов**

Введем ряд обозначений.

HN — множество ХНБ. $HN = \{hn_k\}, k = \overline{1, N_x}$, где N_x — количество ХНБ, используемых для принятия решения на реагирование.

X — множество всех событий, произошедших в автоматизированной системе. $X = \{x_i\}, i = \overline{1, n}$, где n — общее количество зарегистрированных событий во всех имеющихся источниках диагностических признаков рассматриваемой автоматизированной системы.

t_0 — время обнаружения КИБ.

Δt — интервал времени, в течение которого события, зарегистрированные в источниках диагностических признаков подлежат сбору с целью последующего анализа (рис. 2, а). Размер временного интервала зависит от вида КИБ, например, при обнаружении эксплойта временной интервал будет больше, чем в случае DoS-атаки.

X' — множество диагностических признаков. $X' = \{x_j\}, j = \overline{1, m}$, где m — количество диагностических признаков, выявленных в течение установленного временного интервала Δt (рис. 2, б).

Автоматизированная система, в которой в момент времени t_0 зафиксирован КИБ, задана совокупностью $S = \langle X, X', t_0, \Delta t, HN \rangle$. Состав средств, генерирующих диагностические признаки в ходе функционирования системы S не изменяется.

Задача диагностирования КИБ формализуется следующим образом. Необходимо найти значения характе-

ристик $hn_k, k = \overline{1, N_x}$, зафиксированного КИБ в момент времени t_0 минимизировав значения функции времени диагностирования F_t при условии, что значение показателя достоверности диагностирования D_d будет не ниже требуемого D_{tr} :

$$F_t(X', \Delta t, HN) \rightarrow \min_{(X', \Delta t, HN) \in S} | D_d(X', \Delta t, HN) \geq D_{tr},$$

где $F_t(X', \Delta t, HN) = \sum_{i=1}^l t_i(X', \Delta t, HN)$ — функция времени

диагностирования, t_i — время, затрачиваемое на i -й этап диагностирования, l — количество этапов в процедуре диагностирования.

Одним из способов определения значений характеристик hn_k является применение искусственных нейронных сетей (ИНС). Ввиду способности обученных ИНС к решению задач классификации и распознаванию образов представляется целесообразным применять их при нахождении отображения $F: X' \rightarrow HN$ из множества диагностических признаков в множество значений ХНБ. При этом для каждой характеристики предлагается своя отдельная диагностическая ИНС, осуществляющая отображение $X' \rightarrow hn_k$.

В качестве частных показателей эффективности системы диагностирования могут быть использованы показатели точности Pt и полноты Rc , вычисляемые при определении значения ХНБ и позволяющие оценить результат работы ИНС [6]:

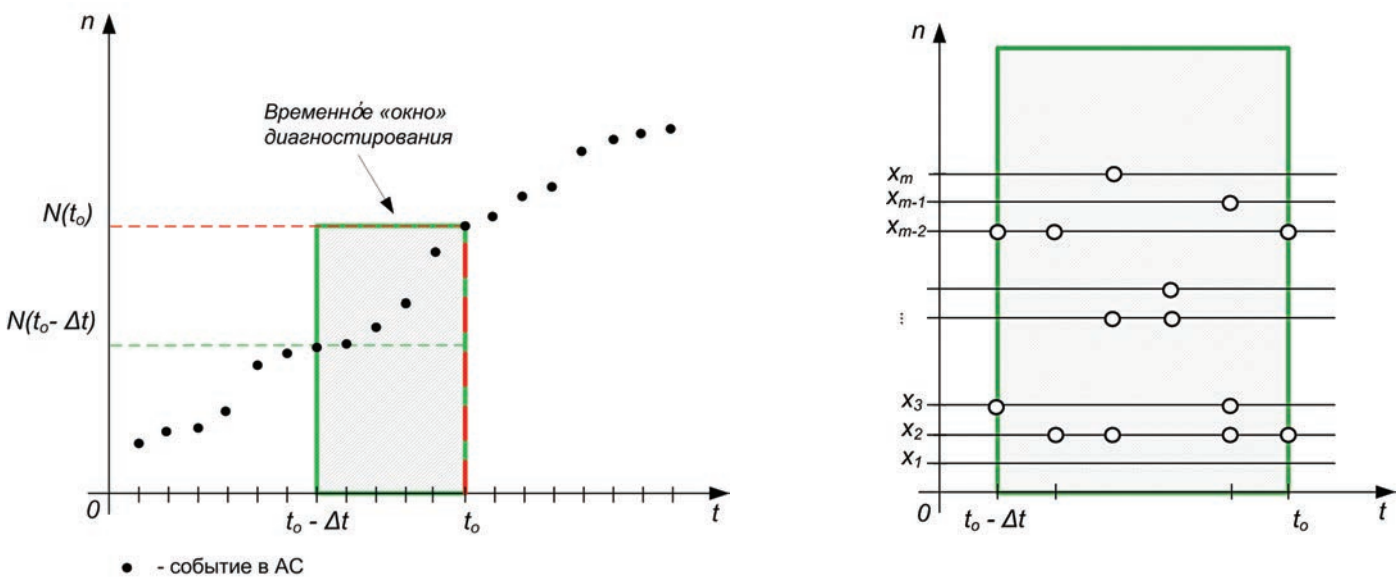


Рис. 2. Формирование временного «окна» диагностирования:
 а — выбор временного интервала; б — сбор диагностических признаков во временном интервале

$$Pr = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (1)$$

$$Rc = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (2)$$

где TP — количество записей, классифицируемых как истинное значение характеристики, в то время как оно истинное, FP — количество записей, классифицируемых как истинное значение характеристики, в то время как оно фактически ложное, FN — количество записей, классифицируемых как ложное значение, в то время как оно истинное.

Ключевым элементом модели диагностирования, отвечающим за решение задачи классификации, является многослойный перцептрон. На вход ИНС подаются элементы множества X' . Поскольку число диагностических признаков $|X'|$ в масштабе типовой автоматизированной системы специального назначения достаточно велико и может составлять от единиц до десятков тысяч, то целесообразно снизить размерность признакового пространства для минимизации времени обучения ИНС. Для решения данной задачи используем метод главных компонент, позволяющий исключить дублирующиеся признаки. Для снижения размерности признакового пространства применяется автоэнкодер, позволяющий представить входной набор признаков меньшим числом нейронов. Объединив две вышеуказанные архитектуры ИНС в одну последовательную цепочку, получаем диагностическую ИНС.

Для снижения временных затрат на диагностирование предлагается применять полученную диагностическую ИНС для нахождения значения характеристик hn_k в режиме параллельной обработки диагностических признаков X' . Модель комплексного диагностирования КИБ представлена на рис. 3.

Основные этапы методики диагностирования КИБ в автоматизированных системах специального назначения

Для вышеуказанной модели диагностирования КИБ с использованием диагностических ИНС предлагается методика диагностирования КИБ в автоматизированных системах специального назначения. Процесс диагностирования включает следующие основные этапы:

1. Настройка и проверка системы диагностирования.
2. Функционирование системы диагностирования.
3. Выработка предложений по реагированию по результатам диагностирования.

На каждом из данных этапов решается самостоятельная задача. Для этого применяется определенная последовательность действий.

На этапе настройки системы диагностирования осуществляется настройка сенсоров диагностических признаков, формирование и обучение диагностической ИНС (рис. 4).

Во время обучения искусственной нейронной сети осуществляется решение задачи оптимизации весовых коэффициентов связей нейронов таким образом, чтобы

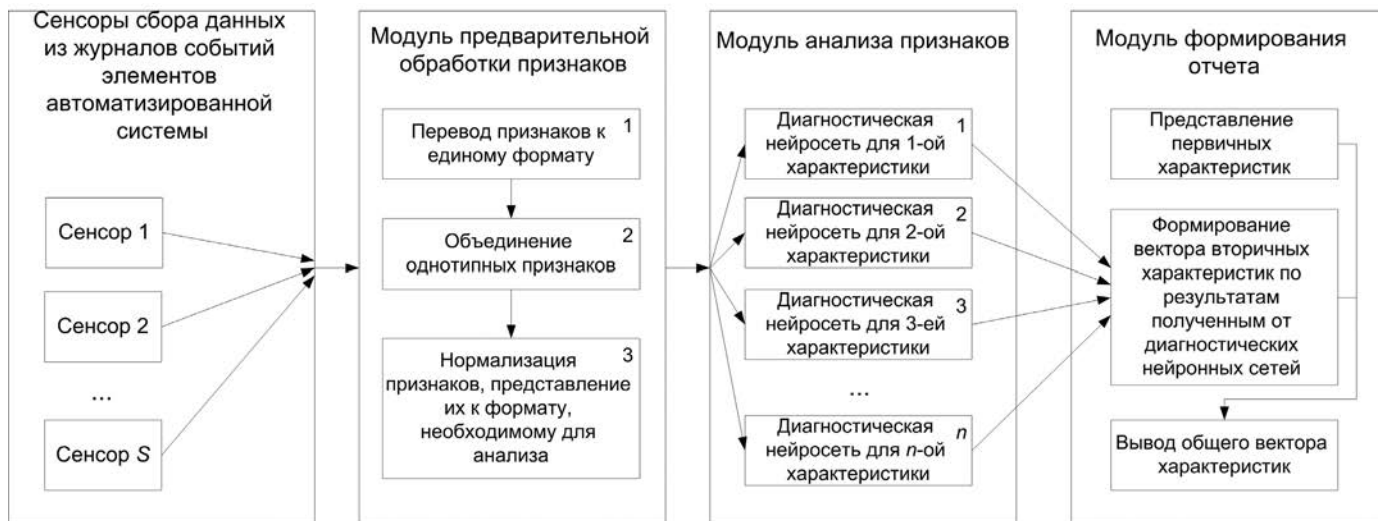


Рис. 3. Модель комплексного диагностирования КИБ с применением искусственных нейронных сетей



Рис. 4. Последовательность действий на этапе настройки системы диагностирования КИБ

для заданных входных наборов диагностических признаков выходное значение сети соответствовало требуемому [7–9]. Выходные значения сети представляют собой значения ХНБ. Входной набор данных представляет из себя множество диагностических признаков, полученных как из журналов событий элементов автоматизированной системы специального назначения, так и из дополнительных источников, например, данные автоматизированной системы контроля учета доступа в помещение.

Обучение осуществляется на основе имеющихся пар (X, Y) , где X — множество диагностических признаков, поступающих на вход искусственной нейронной сети, Y — выходное значение ИНС (известное значение ХНБ). Формирование и ведение базы данных, содержащей пары (X, Y) , осуществляется экспертом. В дальнейшем, в ходе функционирования автоматизированной системы, осуществляется пополнение данной базы данных для адаптации ИНС и защиты её от возможного негативного последствия переобучения. Для проверки корректности обучения ИНС применяется следующий приём. Имеющееся множество пар (X, Y) разделяют на два подмножества в следую-

щей пропорции — 70% и 30% [10]. Первое множество пар используется в качестве обучающей выборки, а второе — тестовой. Обучение диагностической ИНС осуществляется на подмножестве обучающих пар (X, Y) . На тестовой выборке осуществляется проверка корректности работы обученной диагностической ИНС. В случае расхождения значений для пары (X, Y) из тестового множества она используется для обучения. Количество правильно и ошибочно классифицированных тестовых примеров используется для расчета частных показателей эффективности (1) и (2) для проверки корректности обучения, и, в случае выполнения заданных требований, диагностическая ИНС переводится в режим функционирования (рис. 5).

На этапе функционирования системы диагностирования после получения сигнала о компьютерном инциденте безопасности и первичной диагностической информации от средств детектирования (таких как антивирус, система обнаружения атак, межсетевой экран и др.) происходит обработка информации, поступающей от сенсоров и преобразование ее в диагностические признаки. В зависимости от характера произошедшего компьютерного инцидента



Рис. 5. Схема этапа функционирования системы диагностирования КИБ

безопасности, а также заданных требований по оперативности и достоверности диагностирования, предусмотрено изменение временного интервала сбора диагностических признаков и количества ХНБ.

Информация из журналов источников событий элементов автоматизированной системы собирается сенсорами и подвергается предварительной обработке, в ходе которой переводится к единому формату представления и группируется с учетом однотипных данных (рис. 6). Из всех событий, фиксируемых в ходе функционирования автоматизированной системы, осуществляется отбор информативных событий, которые могут содержать признаки нарушения безопасности. Остальные события не рассматриваются. Результатом сбора и предварительной обработки информации будет являться вектор диагностических признаков из журналов событий, полученных в выбранном временном интервале. Вектор диагностических признаков подается на вход диагностических ИНС, после чего сохраняется в базе данных для последующего использования экспертом при переобучении диагностических ИНС.

Выполнение процедуры автоматизированного диагностирования осуществляется на основе ИНС. Для

каждой ХНБ предполагается отдельная комбинированная ИНС, количество нейронов выходного слоя которой определяется числом возможных значений ХНБ. Диагностические ИНС получают одновременно входной вектор диагностических признаков и работают в параллельном режиме.

Задача определения значения характеристики (классификации) решается следующим образом. С входного слоя перцептрона набор информативных диагностических признаков поступает на скрытый слой. В каждом нейроне скрытого слоя происходит вычисление значения функции активации, аргументом которой является сумма произведений входного набора диагностических признаков на веса нейронных связей, вычисленных на этапе обучения. Далее вычисленные значения поступают на выходной слой. В нейронах выходного слоя также вычисляются значения функции активации. Её аргументом выступает сумма произведений, вычисленных на предыдущем шаге выходных значений скрытого слоя и весов нейронных связей скрытого и выходного слоя. В итоге для искусственной нейронной сети с двумя выходными нейронами (в случае бинарной характеристики нарушения безопасности) фор-

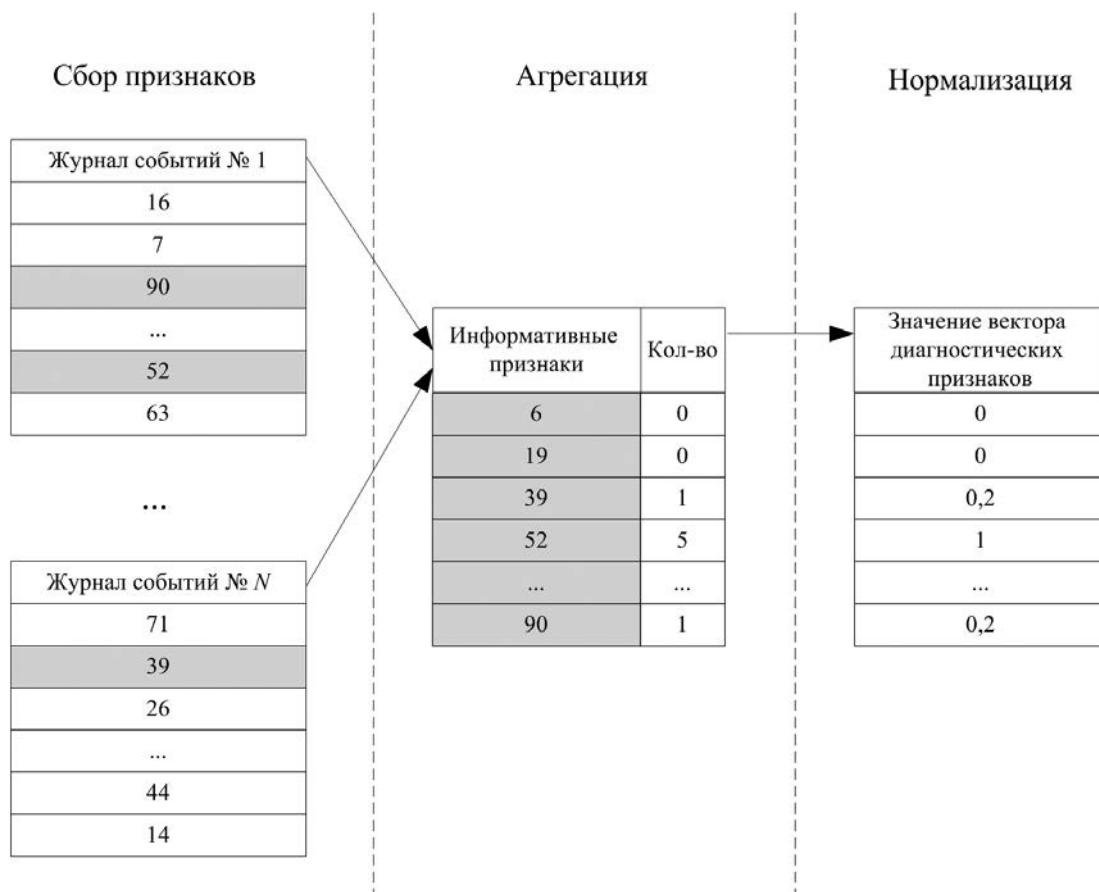


Рис. 6. Формирование вектора диагностических признаков

мируется пара значений, в качестве отклика на входной набор диагностических признаков.

По результатам работы совокупности диагностических ИНС формируется набор значений ХНБ. Первичные и вторичные ХНБ составляют содержание отчета о результатах диагностирования КИБ. Следующим этапом является использование этой информации для выбора варианта реагирования исходя из имеющихся возможностей.

Заключение

В связи с тем, что время функционирования обученной ИНС достаточно мало, то подход к диагностированию КИБ, основанный на применении ИНС, позволит в автоматическом режиме в близком к реальному масштабу времени идентифицировать значения ХНБ. Предложенная в статье методика содержит пошаговое описание последовательности действий, необходимых для получения значений ХНБ. Применение методики позволит существенно повысить оперативность и достоверность выбора варианта реагирования на зафиксированный КИБ в автоматизированной системе специального назначения по сравнению с применяемыми в автоматизированных системах подходами. Направлением дальнейшего исследования является изучение способности ИНС находить скрытые зависимости в обрабатываемых данных, что позволяет выявлять распределенные деструктивные воздействия, маскирующиеся под легитимные операции.

Литература

1. Авраменко В. С., Пантюхин О. И., Маликов А. В. Автоматизация диагностирования нарушений безопасности в АССН // Труды XVII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности» (Санкт-Петербург, 1–4 апреля 2014 г.). Санкт-Петербург, 2014. С. 123–126.
2. Авраменко В. С. Способы идентификации нарушителя безопасности информации в автоматизированных системах на основе информационного почерка // Сборник

трудов II межвузовской конференции «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях» (Санкт-Петербург, 09 февраля, 2017 г.). Санкт-Петербург, 2017. С. 36–40.

3. Котенко И. В., Саенко И. Б., Паращук И. Б., Чечулин А. А. Ключевые архитектурные решения по построению интеллектуальной системы аналитической обработки цифрового сетевого контента в интересах защиты от нежелательной информации // Сборник трудов XVI-й Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика «РИ-2018» Санкт-Петербург, 24–26 октября 2018 г.) Санкт-Петербург, 2018. С. 151–152.

4. Ломако А. Г., Овчаров В. А., Петренко С. А. Методика расследования инцидентов безопасности на основе профилей поведения сетевых объектов // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Дистанционные образовательные технологии» (Ялта, 18–22 сентября 2017 г.). Ялта, 2018. С. 381–386.

5. Авраменко В. С., Маликов А. В. Нейросетевая модель диагностирования компьютерных инцидентов в инфокоммуникационных системах специального назначения // Сборник трудов IV межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях» (Санкт-Петербург, 09 февраля, 2017 г.). СПб.: 2019. Т. 1. С. 41–45.

6. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016. 787 p.

7. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польского И. Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.

8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Изд. 2-е: пер. с англ. Н. Н. Куссуль. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.

9. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. Изд. 2-е. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 382 с.

10. Николенко С., Кадурун А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб.: Питер, 2018. 480 с.



PROCEDURE OF DIAGNOSIS SECURITY COMPUTER INCIDENTS IN AUTOMATED SPECIAL PURPOSE SYSTEMS

VLADIMIR S. AVRAMENKO,

St-Peterburg, Russia, vsavr@yandex.ru

ALBERT V. MALIKOV,

St-Peterburg, Russia, mkv.vas@yandex.ru

KEYWORDS: security computer incident; violation of information security; security breach characteristic; artificial neural networks; diagnosis; diagnostic signs.

ABSTRACT

Substantiated the urgency of the task of rapid and reliable diagnosis of violations of information security in automated systems for special purposes. The basic concepts in the field of diagnosing security computer incidents are formulated. The problem of diagnosing security computer incidents is formulated as a problem of identifying the values of the characteristics of security violations based on the procedures for processing diagnostic signs. The approaches to the extraction of diagnostic signs from the general array of events formed during the functioning of the automated system during the preparation and implementation of security violations, to their pre-processing and analysis directly to determine the values of the characteristics of security violations. The subject of the research is regularities, models and technique of diagnosing security computer incidents in automated systems. The main purpose of the study is to develop a technique for diagnosing security computer incidents, ensuring compliance with modern requirements for the efficiency and reliability of the analysis of security violations of information intended, including, and for the investigation of a computer incident. A model for diagnosing security computer incidents with the use of artificial neural networks is presented and a technique for diagnosing computer security incidents is developed on its basis. The ability of trained artificial neural networks, in particular the perceptron, to solve the classification tasks is used. Determination of the value of the characteristics of the security breach is performed in a multilayer perceptron. Due to the fact that the set of diagnostic features is large enough on the scale of an automated system for special purposes, it is proposed to use a kind of artificial neural network - autoencoder to reduce the dimension of the feature space. Combining the above two architectures into one, we obtain a diagnostic artificial neural network. The presence of hidden dependencies in the diagnostic features allows the use of artificial neural networks in the tasks of determining such implicit characteristics of a security breach as the goal, result, etc. The proposed method is applicable in solving the problems of rapid diagnosis of security computer incidents.

REFERENCES

1. Avramenko V.S., Pantyukhin O.I., Malikov A.V. Avtomatizaciya diagnostirovaniya narushenij bezopasnosti v ASSN [Automating the Diagnostics of Security Violations in the ATSN]. *Trudy XVII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Aktual'nye problemy zaschity i bezopasnosti»* [Proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference "Actual problems of protection and safety", St. Petersburg, April 1-4, 2014]. St. Petersburg, 2014. Pp.123-126. (In Rus)
2. Avramenko V.S. Sposoby identifikacii narushitelja bezopasnosti informacii v avtomatizirovannyh sistemah na osnove informacionnogo pocherka [Methods of identifying the violator of information security in automated systems based on information handwriting]. *Sbornik trudov II mezhvuzovskoj konferencii "Problemy tehničeskogo obespečeniya vojsk v sovremennyh uslovijah"* [Proceedings of the II Interuniversity Conference "Problems of technical support of troops in modern conditions", St. Petersburg, February 09, 2017]. St. Petersburg, 2017. Pp. 36-40. (In Rus)
3. Kotenko I.V., Saenko I.B., Parashchuk I.B., Chechulin A.A. Klyučevye arhitekturnye resheniya po postroeniyu intellektual'noj sistemy analitičeskoj obrabotki cifrovogo setevogo kontenta v interesah zaschity ot neželatel'noj informacii [Key architectural solutions for the construction of an intelligent system of analytical processing of digital network content in the interests of protection from unwanted information] *Sbornik trudov XVI-j Sankt-Peterburgskoj meždunarodnoj konferencii "Regional'naya informatika "RI-2018"* [Proceedings of the XVI St. Petersburg international conference "Regional Informatics "RI-2018", St. Petersburg, October 24-26, 2017]. St. Petersburg, 2018. Pp. 151-152. (In Rus)
4. Lomako A.G., Ovcharov V.A., Petrenko S.A. Metodika rassledovaniya incidentov bezopasnosti na osnove profilej povedeniya setevyh ob'ektov [Methods of investigation of security incidents on the basis of profiles of behavior of network objects]. *Sbornik trudov III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Distancionnye obrazovatel'nye tehnologii"* [Proc. of the III all-Russian scientific

practical conference "Distance educational technologies" Yalta, September 18-22, 2017]. Yalta, 2018. 456 p. Pp. 381-386. (In Rus)

5. Avramenko V.S., Malikov A.V. Nejrosetevaya model' diagnostirovaniya komp'yuternyh incidentov v infokommunikacionnyh sistemah special'nogo naznacheniya [Neural network model of diagnosing computer incidents in special-purpose infocommunication systems]. *Sbornik trudov IV mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Problemy tehniceskogo obespecheniya vojsk v sovremennyh usloviyah"* [Proceedings of the IV interuniversity scientific-practical conference "Problems of technical support of troops in modern conditions" St. Petersburg, February 09, 2017]. St. Petersburg, 2019. Vol. 1. Pp. 41-45. (In Rus)

6. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016. 787 p.

7. Osovsky S. *Neural networks for information processing*. Moscow: Finance and Statistics, 2002. 344 p. (In Rus)

8. Khaikin S. *Neural networks: full course*. 2nd ed. Moscow: Williams, 2006. 1104 p.

9. Kruglov V.V., Borisov V.V. *Iskusstvennye nejronnye seti. Teoriya i praktika* [Artificial neural networks. Theory and practice]. 2nd ed. Moscow: Hotline – Telecom, 2002. 382 p. (In Rus)

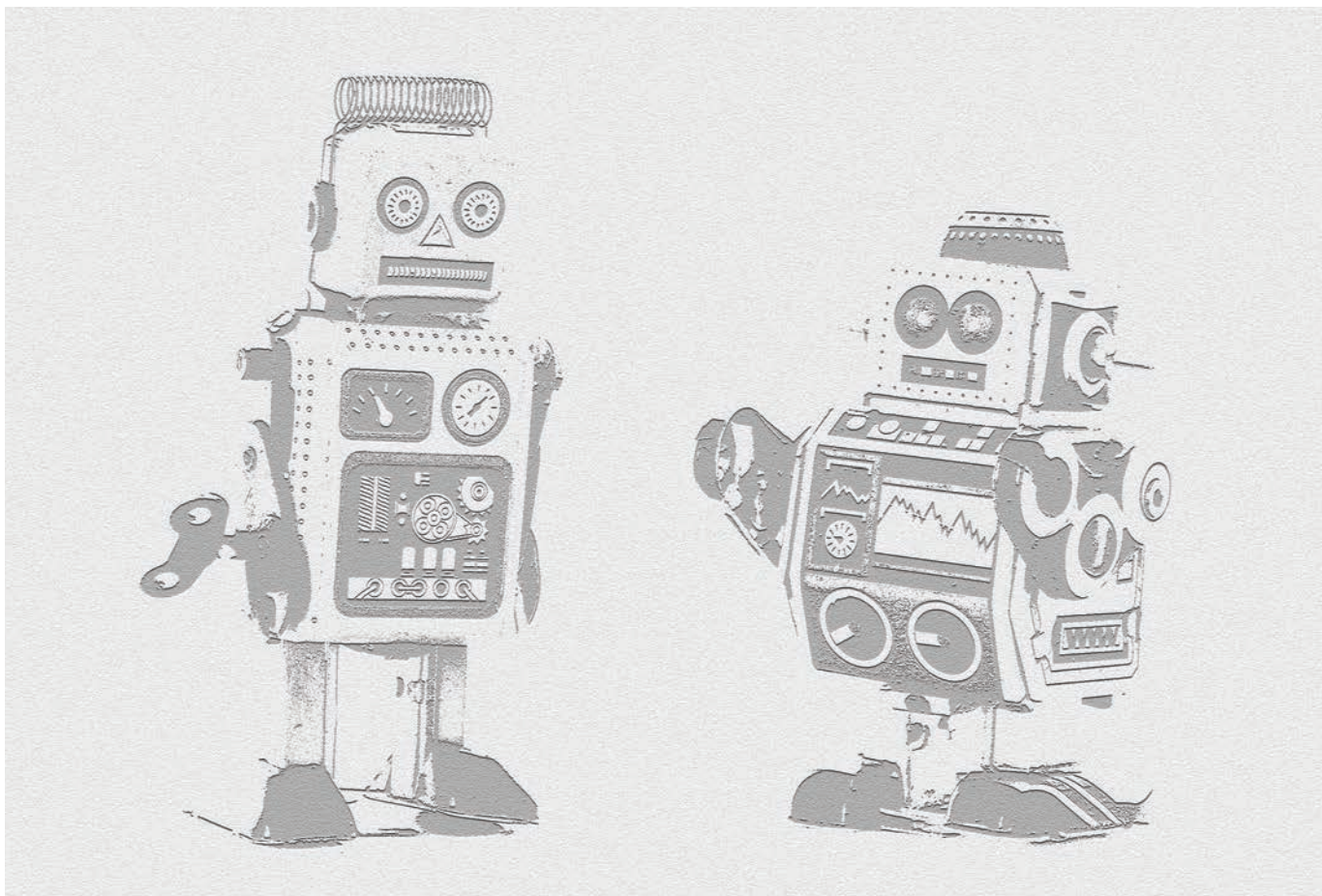
10. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangelskaya E. *Glubokoe obuchenie. Pogruzhenie v mir nejronnyh setej* [Deep learning. Immersion in the world of neural networks]. St. Petersburg: Piter, 2018. 480 p. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Avramenko V.S., PhD, Docent, Professor of the Military academy of telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Bydyonny;

Malikov A.V., Postgraduate student of the Military academy of telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Bydyonny.

For citation: Avramenko V.S., Malikov A.V. Procedure of diagnosis security computer incidents in automated special purpose systems. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 44-52. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-44-52 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-53-63

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СУБЪЕКТОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ГОВОРИТЕЛЬ

Владимир Владимирович

АННОТАЦИЯ

Метод построения моделей процессов информационно-аналитической деятельности субъектов жизненного цикла автоматизированных систем военного назначения позволяет сократить количество итераций по информационному обследованию объектов автоматизации в части описания, классификации, построения и оптимизации моделей процессов характеризующих информационно-аналитическую деятельность субъектов жизненного цикла автоматизированных систем военного назначения с целью последующей автоматизации процессов документационного обеспечения выработки решений по управлению качеством данных систем. Предложен подход к построению опорного варианта алгоритма реализации процессов информационно-аналитической деятельности формирования документов различного вида, а также способ расчёта сроков реализации данных процессов с помощью метода критического пути, где максимальное значение продолжительности операций процедур процесса определяет общую продолжительность всего процесса информационно-аналитической деятельности формирования определённых видов документов. Формирование перечня операций в составе разнотипных процедур соответствующего процесса осуществляется с учётом ресурсных возможностей субъектов жизненного цикла автоматизированных систем военного назначения в части количества должностных лиц, участвующих в формировании конкретного вида документа, при этом в качестве задействованных ресурсов рассматриваются должностные лица, обладающие достаточными компетенциями и наличием соответствующих средств автоматизации своей деятельности. В качестве примера представлен результат оптимизации модели процесса информационно-аналитической деятельности формирования организационно-распорядительных документов в виде алгоритма его реализации, апробированного при создании и эксплуатации системы электронного документооборота предприятий оборонно-промышленного комплекса, где организационно-распорядительные документы являются регулятором существующей системы управления качеством автоматизированных систем военного назначения на всех стадиях и этапах её жизненного цикла.

Сведения об авторе:

к.т.н., докторант Военной академии
воздушно-космической обороны имени
Маршала Советского союза Г.К. Жукова,
г. Тверь, Россия, govoritel@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматизированная система военного назначения; средства автоматизации; качество; характеристики; жизненный цикл; электронный документооборот.

Для цитирования: *Говоритель В.В.* Метод построения моделей информационно-аналитической деятельности субъектов жизненного цикла автоматизированных систем военного назначения // Научное издание «Технологии в космических исследованиях Земли». 2020. Т. 12. № 1. С. 53–63. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-53-63

Введение

Обилие противоречивой информации о характеристиках качества АСВН, а также состоянии планируемых и проводимых организационно-технических мероприятий, влияющих на их изменение, представляет существенную проблему для адекватной оценки ситуации и своевременной выработки решений по управлению качеством АСВН (РУК)¹ в процессе их функционирования и развития.

Проблемой является технологическая непроработанность процессов формирования документов на основе применения современных информационных технологий и методов автоматизации информационно-аналитической деятельности (ИАД) субъектов жизненного цикл (ЖЦ) АСВН [1]. Это особенно актуально в настоящее время, когда несмотря на достаточно высокую оснащённость субъектов ЖЦ АСВН современными информационно-коммуникационными технологиями, их взаимодействие при выработке управленческих решений осуществляется в ручном режиме посредством бумажного документооборота.

¹Решение по управлению качеством АСВН (РУК) — задокументированная информация обосновывающая целесообразность перехода к очередной стадии и (или) этапу ЖЦ АСВН, а также отражающая состояние и порядок проведения организационно-технических мероприятий влияющих на изменение характеристик качества АСВН и её компонентов.

Анализ данной проблемы и нормативных документов, регламентирующих ЖЦ АСВН позволяет представить ИАД субъектов ЖЦ АСВН в виде совокупности процессов формирования организационно-распорядительных, информационно-справочных и конструкторских документов являющихся основополагающими в выработке РУК [2–4], для последующей автоматизации которых требуется построение и оптимизация моделей процессов ИАД субъектов ЖЦ АСВН [5].

1. Сущность метода

Предлагаемый метод определяет порядок построения и оптимизацию моделей процессов ИАД субъектов ЖЦ АСВН по видам формируемых документов для их последующей автоматизации. Сущность метода заключается в последовательном выполнении пронумерованных этапов, представленных на рис. 1.

На первом этапе данного метода осуществляется анализ нормативных документов, регламентирующих требования к АСВН и деятельность субъектов её ЖЦ применительно к стадиям и этапам ЖЦ АСВН, в рамках которого рассматриваются:

- нормативные документы, регламентирующие процедуры работы с документами, номенклатуру дел



Рис. 1. Схема метода построения моделей процессов ИАД субъектов ЖЦ АСВН



и функциональные обязанности должностных лиц, требования и нормы по защите информации, правам доступа к ней, порядок контроля достоверности информации, её целостности, хранением информации;

- стандарты предприятий, регламентирующие работу с организационными и административными документами, ведением архивов, ответственность должностных лиц и структурных подразделений;

- формы документов (регистрационные и контрольные карточки, журналы регистрации, приказы, распоряжения, бланки, письма и другие);

- отчётные формы (сводки, отчёты об исполнении, объем документооборота и другие);

- справочные документы, содержащие унифицированные массивы данных, их атрибуты и реквизиты, источники информации, способы её поступления, порядок использования;

- другие материалы (топология сети, концепция развития ИТ, результаты других обследований и заключений), предоставленные специалистами объектов обследования.

В основу второго этапа данного метода положена «Методика сбора и систематизации информации о процессах ИАД формирования документов», первый этап реализации которой осуществляется путём разработки и заполнение анкеты для сбора информации о процессах ИАД субъектов ЖЦ АСВН по видам документов, обеспечивающих выработку РУК. Анкета разрабатывается (корректируется) группой экспертов-аналитиков на основе информации, полученной в результате анализа нормативных

документов, регламентирующих деятельность субъектов её ЖЦ. Апробированная при внедрении системы электронного документооборота форма анкеты [6–7], обеспечивающая сбор информации о процессах ИАД должностных лиц АО «НИИИТ»² представлена в таблице.

В качестве основных способов сбора информации предлагается использовать параллельные методы анкетирования, путём рассылки электронных версий анкет. По результатам обработки анкет формируются справочники документов, процессов (подпроцессов) и должностных лиц субъектов ЖЦ АСВН, участвующих в выработке решений, влияющих на качество АСВН применительно к стадиям и этапам её ЖЦ. Кроме того, осуществляется сбор и систематизация шаблонов и форм документов выводимых на печать. В целом, справочники представляют собой структурированное описание предметной области и применяются в дальнейшем на этапах проектирования и разработки средств автоматизации процессов ИАД, как основной источник информации, поэтому свод данных целесообразно производить в электронной таблице средствами MS Excel, это позволит оперативно вносить соответствующие корректировки, осуществлять сортировку и фильтрацию данных.

В зависимости от количества документов, их анализ и классификация может осуществляется экспертным методом, путём последовательного перебора и систематиза-

²АО «Научно-исследовательский институт информационных технологий» на протяжении нескольких десятилетий успешно выполняет функции головного исполнителя работ на всех стадиях ЖЦ разрабатываемых и изготавливаемых им АСВН.

Таблица

Пример анкеты для сбора информации о процессах ИАД субъектов ЖЦ АСВН по видам документов, обеспечивающих выработку РУК

Вид документа	Откуда поступает (разрабатывает)	Куда передаётся (разрабатывает)	Кто согласовывает (нормативный срок, часы)	Кто утверждает (нормативный срок, часы)	Применяемые средства
ЭТАПЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АСВН					
Этап (ОКР) — Разработка эскизного проекта					
<i>План совместных работ на выполнение ОКР (СЧ ОКР)</i>	Заказчик	Разработчик	Заказчик (1)	Разработчик (0,5)	MS Project
...					
Этап (ОКР) — Утверждение конструкторской документации для организации промышленного (серийного) производства изделий					
<i>Акт о завершении корректировки КД и доработки опытного образца изделия ...</i>	<i>Разработчик</i>	–	–	<i>Заказчик Разработчик (0,5)</i>	<i>MS Word</i>
...					

ции документов по их видам и этапам ЖЦ АСВН в единой электронной таблице, но так как количество документов и разнородность процессов их формирования могут быть довольно значительными, то классификацию процессов по видам документов целесообразно осуществлять методом кластерного анализа (кластеризация): агломеративный — классификация реализуется произвольным количеством кластеров; дивизионной — классификация может происходить на заданное исследователем количество кластеров. В результате кластеризации, оказавшиеся в одной группе виды документов, должны быть сходными (однородными) между собой по порядку реализации основных видов процедур процессов ИАД³ формирования данных видов документов, таких как: рассмотрения, согласования, утверждения и прочих процедур. Требования к видам документов и состав участвующих в их формировании субъектов ЖЦ АСВН регламентируются нормативно-правовыми актами, системой государственных стандартов и общих технических требований в части разработки, производства и эксплуатации АСВН.

На заключительном этапе данной методики осуществляется дополнительное интервьюирование должностных лиц субъектов ЖЦ АСВН с целью устранения избыточности и несоответствий всех процедур процессов ИАД формирования определённых видов документов путём реализации алгоритма выполнения операций конкретных процедур должностными лицами, участвующими в разработке РУК на соответствующих стадиях ЖЦ АСВН. Для этого пользуются ранее рассмотренными нормативными документами, регламентирующими требования к АСВН и деятельность субъектов её ЖЦ, это позволяет снять терминологическую и процедурную неопределённость.

Выполнение данного этапа целесообразно осуществлять путём последовательного сведения имеющихся данных, средствами MS Excel в единую таблицу и привязки каждого процесса ИАД к соответствующему виду документа. Использование системы фильтрации MS Excel обеспечит сортировку (группировку) и подсчёт количества видов документов по советующим процессам, анализ которых позволит обеспечить унификацию однотипных алгоритмов реализации процессов ИАД формирования соответствующих видов документов, объединённых в группы (классы). При этом поля таблицы, не требующие изменения должны быть защищены (заблокированы) на предмет внесения в них изменений (корректировок), что в последствии позволит облегчить сведение информации в общую таблицу и её анализ. В случае выявления неразрешимых противоречий, например, при желании интервьюируемого

должностного лица изменить установленный нормативным документом порядок формирования документа, то возможно повторение проведение отдельных этапов, как правило, в форме личных интервью с привлечением профильных специалистов и экспертов в локальных предметных областях (документооборот, менеджмент качества, защита информации и другие).

На третьем этапе рассматриваемого метода осуществляется описание процессов ИАД формирования соответствующих видов документов, классифицированных на предыдущем этапе данного метода, в рамках которого уточняется последовательность движения документа и определяется порядок реализации операций в составе процедур формирования документа соответствующего вида.

Для описания моделей процессов ИАД формирования соответствующих видов документов можно применять способы текстового, табличного и графического описания процессов деятельности. Графическое описание процессов деятельности, считается наиболее приемлемым способом, т.к. облегчает восприятие и логический анализ процессов с одновременным построением модели процесса в соответствующих нотациях⁴, а также обеспечивает визуализацию алгоритма реализации процесса ИАД формирования определённого вида документа. Графическое описание процессов может быть представлено в схематической форме, например, с использованием средств MS Visio. Простота и наглядность этих схем позволяет работать с ними даже специалистам, не имеющим навыков системного анализа. Кроме того, применение графического описания процессов ИАД формирования соответствующих видов документов позволяет обеспечить их детальный анализ на предмет оптимальной организации выполняемых операций в составе процедур моделируемого процесса и выявления узких мест.

Построение моделей процессов данного уровня рекомендуется осуществлять в нотациях EPC или BPMN с применением специализированных инструментальных средств, работа с которыми требует определённых знаний и навыков взаимодействия со средствами графического интерфейса пользователя специальных программных продуктов [8, 9].

В рамках четвёртого этапа рассматриваемого метода выполняется построение опорного варианта алгоритма реализации процесса ИАД формирования вида документа в следующей последовательности (рис. 2):

1. Формирование перечня операций в составе разнотипных процедур соответствующего ИАД с учётом ресурсных возможностей субъектов ЖЦ АСВН в части количества

³Под реализацией процедуры процесса ИАД понимается процесс в рамках которого были выполнены все операции и требования к временным характеристикам реализации процесса.

⁴Нотация — способ моделирования предметной области в рамках той или иной методологии. Нотация включает в себя множество условных обозначений в виде символов, используемых для представления понятий и их взаимоотношений, составляющее алфавит нотации, а также правила их применения.

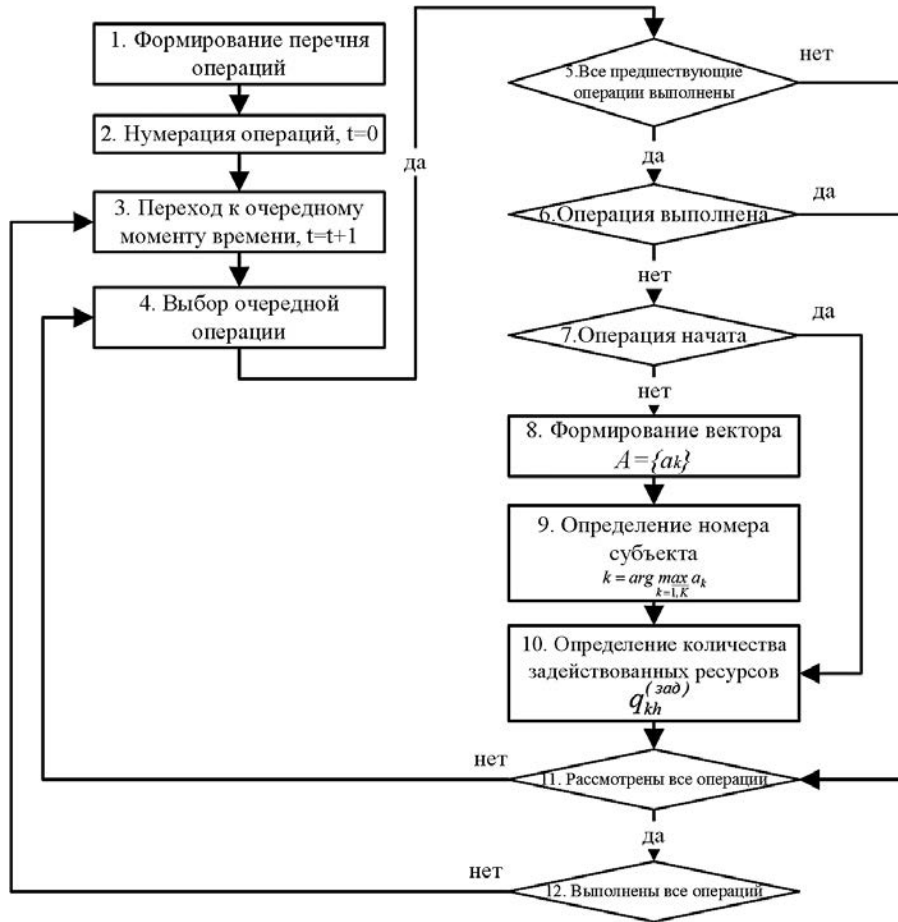


Рис. 2. Схема построения опорного варианта алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа

должностных лиц, участвующих в формировании конкретного вида документа. Ограничения на ресурсы субъектов ЖЦ АСВН, которые можно задействовать в формировании соответствующего вида документа, определяются функцией наличия (доступности) должностных лиц обладающими достаточными знаниями о состоянии и порядке проведения необходимых мероприятий влияющих на изменение характеристик качества АСВН и наличия соответствующих средств автоматизации деятельности данных должностных лиц. Если q — значение наличия определённого ресурса, то ограничение на его распределение по операциям процедуры рассматриваемого процесса имеет вид:

$$\sum_{\lambda=1}^m x_{\lambda} = q,$$

где x_{λ} — количество ресурса при реализации λ операции; m — количество операций.

2. Присвоение каждой операции номеров таким образом, чтобы соблюдалась логическая последовательность их реализации, при этом никакая операция не должна предшествовать операции с меньшим номером.

3. Осуществляется переход к очередному моменту времени (к первому моменту времени для первого цикла выполнения методики).

4. Осуществляется последовательный выбор операции в порядке возрастания номеров.

5. Если выполнены не все операции, предшествующие выбранной, то осуществляется переход к п. 11.

6. Если операция выполнена, то осуществляется переход к п. 11.

7. Если в предыдущий момент времени операция выполнялась (то есть на выполнение операции назначен k -й субъект ЖЦ АСВН), то осуществляется переход к п. 10.

8. Для выбранной работы формируется вектор $A = \{a_k\}$, элементами которого являются значения, рассчитываемые по формуле:

$$a_k = \min_{h=1, \bar{H}} \left(\frac{q_{kh}^{(\text{своб})}}{u_h^{(\text{max})}} \right),$$

где $q_{kh}^{(\text{своб})}$ — количество свободных ресурсов h -го вида k -го субъекта ЖЦ АСВН; $u_h^{(\text{max})}$ — максимальная интенсив-

ность использования в рамках выбранной операции ресурсов h -го вида (если $u_h^{(\max)}$, то значение a_k принимаем равным ∞).

Если для данного момента времени k -й субъект ЖЦ АСВН выполняет другие операции, то значение $q_{kh}^{(\text{своб})}$ определяется с учётом необходимости непрерывного выполнения данных операций.

9. На выполнение операции назначается k -й субъект ЖЦ АСВН, которому соответствует наибольшее значение a_k , то есть значение k определяется по формуле:

$$k = \arg \max_{k=1, K} a_k$$

Если все значения вектора A равны 0, то на операцию не назначается ни один субъект. Если наибольшему значению a_k соответствует несколько субъектов, то выбирается k -й субъект ЖЦ АСВН с наименьшим порядковым номером.

10. На реализацию операции назначаются ресурсы k -го субъекта ЖЦ АСВН, количество которых рассчитывается следующим образом:

$$q_{kh}^{(\text{задейств})} = \begin{cases} u_h^{(\max)}, & \text{если } q_h^{(\text{треб})} > u_h^{(\max)} \text{ и } q_{kh}^{(\text{своб})} \geq u_h^{(\max)}, \\ q_{kh}^{(\text{своб})}, & \text{если } q_h^{(\text{треб})} > u_h^{(\max)} \text{ и } q_{kh}^{(\text{своб})} < u_h^{(\max)}, \\ q_h^{(\text{треб})}, & \text{если } q_h^{(\text{треб})} \leq u_h^{(\max)} \text{ и } q_{kh}^{(\text{своб})} \geq q_h^{(\text{треб})}, \\ q_{kh}^{(\text{своб})}, & \text{если } q_h^{(\text{треб})} \leq u_h^{(\max)} \text{ и } q_{kh}^{(\text{своб})} < q_h^{(\text{треб})}, \end{cases}$$

где $q_{kh}^{(\text{задейств})}$ — количество задействованных ресурсов k -го субъекта ЖЦ АСВН h -го вида;

$u_h^{(\max)}$ — максимальная интенсивность потребления выбранной операцией ресурсов h -го вида;

$q_h^{(\text{треб})}$ — требуемое количество ресурсов по h -му виду, необходимое для завершения выбранной операции;

$q_{kh}^{(\text{своб})}$ — количество свободных ресурсов субъекта h -го вида k -го субъекта ЖЦ АСВН.

11. Если рассмотрены не все операции, то осуществляется переход к п. 4.

12. Если выполнены не все операции, то осуществляется переход к п. 3.

Любой алгоритм реализации процесса ИАД формирования документа можно рассмотреть, как сетевую модель, в которой выделяют от одного (самый простейший случай) до конечного множества полных путей реализации данного алгоритма. Если просуммировать продолжительности операций, лежащих на каждом выявленном пути, получатся продолжительности путей, при этом максимальное значение из этих величин определит общую продолжительность всего процесса. Таким образом, опре-

деление общей продолжительности комплекса работ сводится к выявлению критического пути⁵.

Стоит отметить, что существует множество разновидностей резерва времени, наиболее важными из которых являются полный резерв, при котором количество времени задерживаемое выполняемой операцией никак не сказывается на общую продолжительность алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа.

Массив информации, содержащий продолжительность выполнения операций и процедур процесса ИАД формирования соответствующих видов документов называется регламентом формирования документа соответствующего вида. При формировании регламента методом критического пути продолжительность операций выступают в качестве исходных данных, а расчётными величинами являются ранние и поздние сроки выполнения (т.е. начала и окончания) операций. В совокупности с полным резервом времени, эти параметры относятся к основной группе временных характеристик процесса ИАД формирования документа. Выбор единиц измерения временных характеристик зависит от вида документа и объёма информации, содержащейся в его реквизитной и содержательной части, как правило это минуты и часы, но могут быть дни, недели и даже месяцы.

Объём информации можно измерять средствами любого текстового редактора (автоматически) с одновременной фиксацией количества слов и знаков и рассчитать по формуле:

$$V_{bk}^d = v_b^s + v_b^r,$$

где V_{bk}^d — объём информации в документе b -го вида формируемого в рамках k -й процедуры; v_b^s — количество слов (или знаков) в содержательной части документа b -го вида; v_b^r — количество слов (или знаков) в реквизитной части документа.

Таким образом, продолжительность операции процесса ИАД формирования документа характеризуется количеством времени необходимым для выполнения конкретной операции. При этом подразумевается, что операция выполняется непрерывно от срока начала до срока окончания с одинаковой интенсивностью (т.е. неизменным составом исполнителей). Отход от этого допущения приводит к значительному усложнению, требующему специфических методов расчёта.

В рамках пятого этапа рассматриваемого метода осуществляется расчёт сроков реализации процесса ИАД

⁵Критический путь — максимальный по продолжительности полный путь (т.е. путь от начальной до завершающей операции) в сети, продолжительность этого пути определяет общую продолжительность всего процесса ИАД формирования документа. При этом, критическая операция — это операция, лежащая на критическом пути, а критическая связь — это связь, соединяющая сроки наступления критических операций.



формирования вида документа с помощью метода критического пути [10], который позволяет выделить ранние и поздние сроки или времена (даты) выполнения некритических операций: время раннего начала (РН) — срок, ранее которого операция не может быть начата; время позднего начала (ПН) — срок, позже которого операция не может быть начата; время раннего окончания (РО) — срок, ранее которого операция не может быть окончена; время позднего окончания (ПО) — срок, позже которого операция не может быть окончена.

Прядок расчёт сроков можно представить в виде представленных ниже трёх подэтапов.

1. Определение сроков раннего выполнения операции и общей продолжительности процедуры процесса, равной сроку наступления завершающего события, так называемый «прямой проход» сетевой модели, т.е. движение по направлению стрелок алгоритма реализации процесса.

При расчёте принимают, что срок раннего начала первой операции равен 0. Срок раннего начала i -й операции рассчитывается по формуле:

$$T_i^{(PH)} = \max \{ T_j^{(PH)} + t_j \}, \quad (1)$$

где $T_j^{(PH)}$ — срок раннего начала j -й предшествующей операции; t_j — продолжительность j -й предшествующей операции.

Срок раннего окончания i -й операции рассчитывается по формуле:

$$T_i^{(PO)} = \max \{ T_j^{(PH)} + t_j \} + t_i,$$

или, с учётом (1):

$$T_i^{(PO)} = T_i^{(PH)} + t_i,$$

где t_i — продолжительность i -й операции.

2. Определение сроков позднего выполнения операций — «обратный проход» сетевой модели, т.е. движение против направления стрелок алгоритма реализации процесса.

Позднее окончание завершающей операции принимается равным раннему окончанию этой операции (если не установлены директивные сроки процедуры процесса).

Срок позднего окончания i -й операции рассчитывается по формуле:

$$T_i^{(ПН)} = \min \{ T_j^{(ПО)} - t_j \},$$

где $T_j^{(ПО)}$ — срок позднего окончания j -й последующей операции; t_j — продолжительность j -й последующей операции.

Срок позднего начала i -й операции рассчитывается по формуле:

$$T_i^{(ПН)} = T_i^{(ПО)} - t_i.$$

3. Определение резервов времени и выявление критических путей.

Для определения полного резерва времени i -й операции необходимо вычесть срок раннего окончания из срока позднего окончания или вычесть срок раннего начала из срока позднего начала данной операции:

$$T_i^{(Рез)} = T_i^{(ПО)} - T_i^{(РО)} = T_i^{(ПН)} - T_i^{(РН)}.$$

К критическим работам относятся операции, у которых резерв времени равен нулю, а последовательность этих операций образует критический путь. Несложно убедиться, что любая задержка в выполнении критических операций приведёт к соответствующему увеличению продолжительности всего процесса ИАД формирования документа.

На заключительном этапе рассматриваемого метода осуществляется оптимизация алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа.

Оценка возможности оптимизации алгоритма реализации процесса основывается на вычислении критерия оптимальности данного алгоритма. Одним из самых распространённых критериев оптимальности моделей сетевых процессов является коэффициент напряжённости наикратчайшего пути, определяемый по формуле:

$$\gamma(X) = \frac{T_{\min}(X)}{T_0(X)},$$

где $T_{\min}(X)$ — продолжительность наикратчайшего пути; $T_0(X)$ — продолжительность критического пути.

Коэффициент напряжённости наикратчайшего пути принимает значения в интервале $[0;1]$, при этом чем больше его значение, тем ближе к оптимальному вариант алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа. Введение дополнительного ограничения на значение коэффициента наикратчайшего пути позволяет принимать решение о необходимости оптимизации алгоритма, то есть если значение $\gamma(X)$ меньше заданного, то принимается решение о необходимости дальнейшей оптимизации.

Возможен и другой вариант оценки возможности оптимизации алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа. Исходя из того, что оптимизация алгоритма по времени заключается в сокращении продолжительности критического пути, оценивается возможность

сокращения продолжительности отдельных операций, составляющих критический путь. Возможность сокращения продолжительности операций определяется:

1. Наличием нераспределённых ресурсов, привлечение которых возможно для выполнения критических операций.
2. Наличием достаточного резерва времени у не критических операций, позволяющего перераспределить ресурсы для более интенсивного выполнения критических операций. Схема принятия решения о возможности оптимизации алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа представлена на рис. 3.

Как было отмечено выше, оптимизация алгоритма по времени заключается в сокращении продолжительности критического пути. При наличии свободных ресурсов их можно использовать для повышения интенсивности выполнения критических операций. При этом свободные

ресурсы назначаются на ту критическую операцию, для которой сокращение продолжительности будет наибольшим. Для оптимизации алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа при отсутствии свободных ресурсов предлагается использовать подход, основанный на методе максимального элемента путём выполнения следующих поэтапов.

1. Формируется множество операций критического пути $W' = \{w_g\}$.
2. Составляется матрица $B = \{b_{gi}\}$, элементами которой являются значения сокращения резерва времени, к которому приведёт перемещение ресурсов с i -й операции на g -ю в таких количествах n_h по видам ресурсов, что продолжительность g -й операции сократится на единицу времени. Если i -я операция не обладает резервом времени или перемещение ресурсов с i -й операции на g -ю невозможно, то b_{gi} считается равным ∞ .

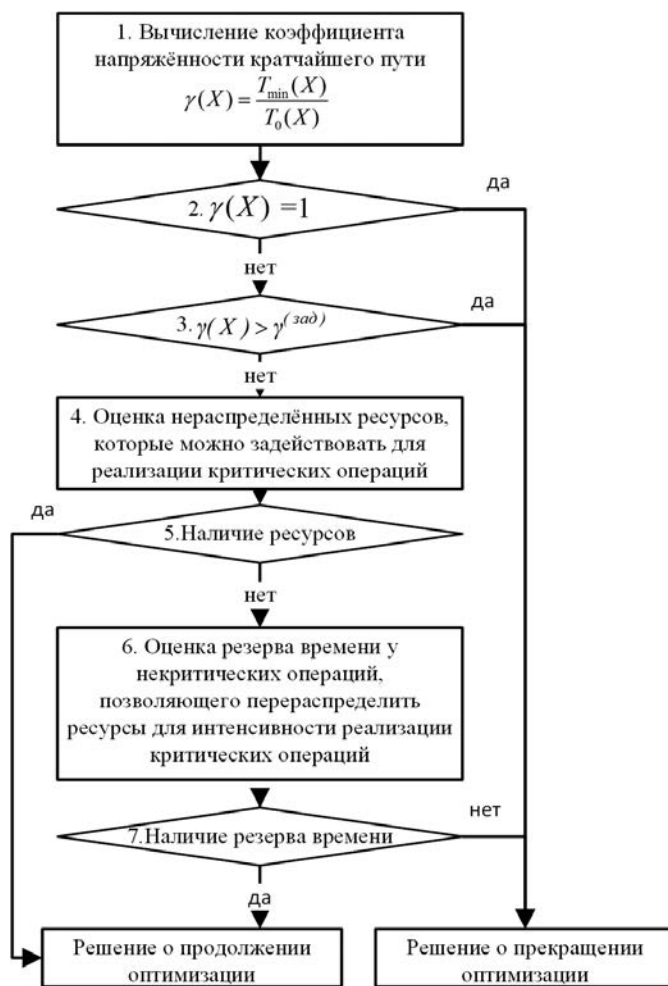


Рис. 3. Схема принятия решения о возможности оптимизации алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа



3. Из матрицы B выбирается элемент b_{gi} с наименьшим значением, что соответствует перемещению ресурсов в количестве n_{gi} по видам с i -й операции на g -ю.

После выполнения шага оптимизации необходимо заново рассчитать параметры алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа и принять решение о возможности дальнейшей оптимизации рассматриваемого алгоритма.

В качестве примера представим результат оптимизации алгоритма реализации процесса ИАД формирования документа в виде апробированной на практике модели процессов ИАД формирования организационно-распорядительных документов (ОРД) [6], которые являются регулятором существующей системы управления качеством АСВН на всех этапах её ЖЦ. Данные документы содержат решения, идущие «сверху-вниз» в рамках установленной системы взаимодействия субъектов ЖЦ АСВН, являясь юридическими фактами, вызывающими возникновение конкретных административно-правовых отношений. Процесс ИАД формирования ОРД состоит из процедур разработки, согласования и утверждения документа, состав и последовательность реализации которых представлена на рисунке 4 в виде унифицированной модели процесса ИАД формирования ОРД.

Реализацию данной модели целесообразно применять при автоматизации процессов ИАД формирования следующих ОРД: технические задания на создание (развитие) АСВН и её компонентов; контракты (договора) на выполнение работ; приказы, указания, распоряжения о проведении работ; решения (совместные решения); планы (планы-графики) проведения работ; протоколы согласования, разногласий; акты о завершении работ (в рамках этапов, стадий); акты приёма-сдачи, передачи; руководящие указания по правилам разработки программ и оформлению документов, инструкции; обеспечивающие программы, программы и методики испытаний.

Заключение

Таким образом, применение данного метода позволяет провести построение и оптимизацию всего комплекса моделей процессов ИАД субъектов ЖЦ АСВН в части формирования документов, обеспечивающих выработку РУК, при этом каждая из моделей характеризуется определённым составом процедур, включающих в себя соответствующее количество операций, анализ которых помогает вскрыть слабые (узкие) места в существующих процессах ИАД субъектов ЖЦ АСВН, и определить достаточный состав необходимых видов документов и процессов их фор-

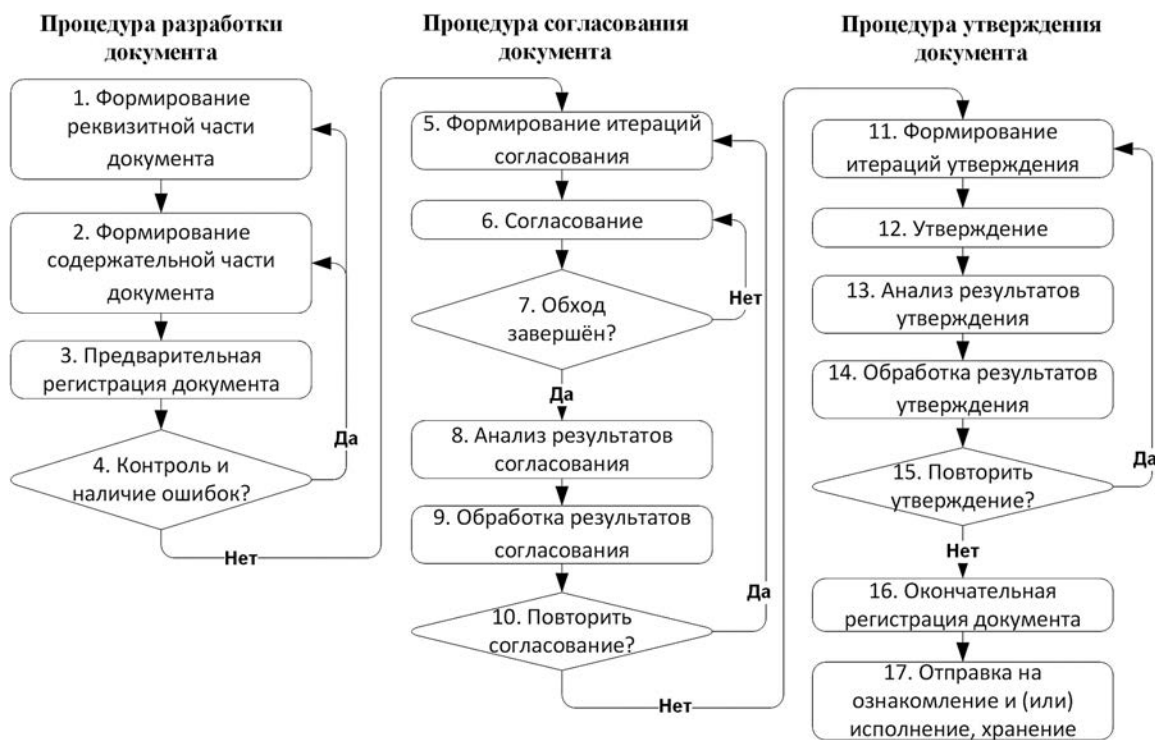


Рис. 4. Унифицированная модель процесса ИАД формирования ОРД

мирования применительно ко всем стадиям и этапам ЖЦ АСВН.

Литература

1. *Говоритель В. В.* Порядок создания автоматизированных информационных систем // Стандарты и качество. 2018. № 12. С. 13–17.
2. *Лясковский В. Л., Говоритель В. В.* К вопросу применения международных стандартов при оценке качества автоматизированных систем военного назначения // Сборник научно-методических трудов II Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития вооружения, военной и специальной техники войск противовоздушной и противоракетной обороны, космических войск Воздушно-космических сил» (Москва, 21 апреля 2017 г.). Москва, 2017. С. 229–232.
3. *Лясковский В. Л.* Системотехнические основы автоматизации процессов обработки информации и управления в иерархических системах военного назначения: Монография. Тверь: ВА ВКО, 2014. 244 с.
4. *Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С.* Некоторые аспекты оценки эффективности автоматизированных информационных систем на различных стадиях их жизненного цикла // Системы и средства информатики. 2016. Т. 26. № 3. С. 121–135.
5. *Лясковский В. Л.* К вопросу формализации иерархических информационно-управляющих систем реального времени как объекта моделирования // Материалы четвертой международной конференции ТТС-12 «Технические и технологические системы» (Кубань, 10–12 октября 2012 г.). Воронеж: Изд-во ФВУНЦ ВВС ВВА, 2012. С. 233–238.
6. *Говоритель В. В.* Опыт автоматизации управления проектами в ОАО «НИИИТ» с использованием системы электронного документооборота // Сборник докладов III конференции «Информационные технологии на службе оборонно-промышленного комплекса России» (Саров, 15 апреля 2014 г.). Саров, 2014. С. 92–93.
7. *Бреслер И. Б.* Работа с документами — в едином информационном пространстве // Умное производство. 2017. № 3(39). С. 60–63.
8. *Репин В. В.* Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация. М.: Стандарты и качество, 2007. 240 с.
9. *Алешин А. В., Аньшин В. М., Багратиони К. А.* Управление проектами: фундаментальный курс / под ред. В. М. Аньшина, О. Н. Ильиной. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. 624 с.
10. *Голенко Д. И.* Статистические методы сетевого планирования и управления. М.: Наука, 1968. 400 с.

METHOD FOR CONSTRUCTING MODELS OF INFORMATION AND ANALYTICAL ACTIVITY OF LIFE CYCLE SUBJECTS OF AUTOMATED MILITARY SYSTEMS

VLADIMIR V. GOVORITEL,

Tver, Russia, govoritel@mail.ru

KEYWORDS: automated military system; automation tools; quality; characteristics; life cycle; electronic document management.

ABSTRACT

The method of constructing models of the processes of information and analytical activities of subjects of the life cycle of automated military systems allows you to reduce the number of iterations for the information survey of automation objects in terms of description, classification, construction and optimization of process models characterizing the information and analytical activities of subjects of the life cycle of automated military systems for the purpose of subsequent automation of documentation processes you working out decisions on the quality management of these systems. An approach to the construction of a supporting version of the algorithm for the implementation of the processes of information and analytical ac-

tivities for the formation of documents of various types, as well as a method for calculating the timing of the implementation of these processes using the critical path method, where the maximum value of the duration of operations of the process procedures determines the total duration of the entire process of information and analytical activities of the formation of certain types of documents. The list of operations as part of the different types of procedures of the corresponding process is formed taking into account the resource capabilities of the subjects of the life cycle of automated military systems in terms of the number of officials involved in the formation of a particular type of document, while officials with sufficient competencies



and the availability of relevant resources are considered means of automation of their activities. As an example, we present the result of optimizing the model of the process of information and analytical activity of the formation of organizational and administrative documents in the form of an algorithm for its implementation, which was tested during the creation and operation of the electronic document management system of enterprises of the military-industrial complex, where organizational and administrative documents are the regulator of the existing quality management system of automated systems military use at all stages and stages of its life cycle.

REFERENCES

1. Govoritel V.V. Porjadok sozdaniya avtomatizirovannyh informacionnyh sistem [The order of creation of automated information systems]. *Standards and quality*. 2018. No. 12. Pp.13-17. (In Rus)
2. Lyaskovsky V.L., Govoritel V.V. K voprosu primeneniya mezhdunarodnyh standartov pri ocenke kachestva avtomatizirovannyh sistem voennogo naznachenija [On the issue of applying international standards in assessing the quality of automated military systems]. *Sbornik nauchno-metodicheskikh trudov II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Aktual'nye voprosy razvitiya vooruzheniya, voennoj i special'noj tehniky vojsk protivovozdushnoj i protivoraketnoj oborony, kosmicheskikh vojsk Vozdushno-kosmicheskikh sil"* [Proc. of the II all-Russian scientific and practical conference "Current issues of development of weapons, military and special equipment of the air and missile defense forces, space forces of the Aerospace forces", Moscow, April 21, 2017.]. Moscow, 2017. Pp. 229-232. (In Rus)
3. Lyaskovsky V.L. *Sistemotekhnicheskie osnovy avtomatizacii processov obrabotki informacii i upravlenija v ierarhicheskikh sistemah voennogo naznachenija: Monografija*. [System-technical fundamentals of automation of information processing and control processes in hierarchical military systems: Monograph]. Tver: Air and Space Defense Academy, 2014. 244 p. (In Rus)
4. Zatsarinny A.A., Iononkov Yu.S. Nekotorye aspekty ocenki jeffektivnosti avtomatizirovannyh informacionnyh sistem na razlichnyh stadijah ih zhiznennogo cikla [Some aspects of evaluating the effectiveness of automated information systems at various stages of their life cycle]. *Sistemy i sredstva informatiki* [Systems and means of informatics]. 2016. No. 3. Pp. 121-135. (In Rus)
5. Lyaskovsky V.L. K voprosu formalizatsii ierarhicheskikh informatsionno-upravlyayushchikh sistem real'nogo vremeni kak ob"ekta modelirovaniya [On the issue of formalizing hierarchical real-time information management systems as an object of modeling]. *Materialy chetvertoy mezhdunarodnoy konferencii TTS-12 "Tekhnicheskie i tekhnologicheskie sistemy"* [Proceedings of the fourth international conference TTS-12 "Technical and technological systems", Kuban, October 10-12, 2012]. Voronezh, 2012. Pp. 233-238. (In Rus)
6. Govoritel V.V. Opyt avtomatizacii upravlenija proektami v OAO "NIIT" s ispol'zovaniem sistemy jelektronnogo dokumentooborota. [Experience in automation of project management at NIIT using an electronic document management system]. *Sbornik dokladov III konferencii "Informacionnye tehnologii na sluzhbe oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii"* [Collection of reports of the III conference "Information technology in the service of the military-industrial complex of Russia", Sarov, 15 april, 2014]. Sarov, 2014. Pp. 92-93. (In Rus)
7. Bresler I.B. Rabota s dokumentami – v edinom informacionnom prostranstve [Work with documents – in a single information space]. *Umnoe proizvodstvo* [Smart production]. 2017. No. 3(39). Pp. 60-63. (In Rus)
8. Repin V.V. *Biznes-processy kompanii: postroenie, analiz, reglamentacija*. [Business processes of the company: construction, analysis, regulation]. *Standarty i kachestvo* [Standards and quality]. 2007. 240 p. (In Rus)
9. Aleshin A.V., Anshin V.M., Bagrationi K.A. *Upravlenie proektami: fundamental'nyj kurs* [Project management: a fundamental course]. Moscow: Higher School of Economics Publ., 2013. 624 p. (In Rus)
10. Golenko D.I. *Statisticheskie metody setevogo planirovaniya i upravlenija*. [Statistical methods of network planning and management]. Moscow: Nauka, 1968. 400 p. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Govoritel V.V., PhD, Doctoral Candidate, Air and Space Defense Academy named after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov.

For citation: Govoritel V.V. Method for constructing models of information and analytical activity of life cycle subjects of automated military systems. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 53-63. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-53-63 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-64-69

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

ЗАХАРОВ

Дмитрий Николаевич¹

НИКУЛИН

Владимир Сергеевич²

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен подход к расчету показателей надежности вычислительных комплексов на примере многофункционального гибридного вычислительного комплекса «КВАНТ». В ходе эксплуатации вычислительного комплекса, системой мониторинга собирается статистическая информация о текущих процессах и отказах аппаратных компонентов. Полученная информация зафиксирована в базе данных и подлежат дальнейшей обработке. Оценка коэффициента готовности и коэффициента технического использования вычислительного комплекса рассчитывается по известным показателям надежности элементной базы. Достоверные значения показателей надежности вычислительных комплексов практически возможно получить путем анализа данных из эксплуатации или статистических экспериментов. Фиксация времени выявления отказов и наработка каждого элемента при условии знания общего числа элементов в группе позволяет оценить распределение времени (плотность распределения) на отказ. Данный показатель предоставляет наибольшую информацию для анализа надежности элемента и на его основе могут быть получены практически любые другие показатели безотказности. Для обработки статистической информации, полученной в ходе эксплуатации, предлагается применить непараметрический метод ядерной оценки. Исследования показали, что выбранный метод является универсальным для обработки цензурированной статистики и не привязан к конкретным законам распределения. В перспективе запланирована разработка программного обеспечения на основе данного метода. Обосновано применение непараметрического метода ядерной оценки для расчета эксплуатационной надежности вычислительных комплексов с учетом входных требований. Целью исследования является получение достоверных данных о надежности отдельных устройств и комплекса в целом. Применение предложенного метода к оценке эксплуатационной надежности возможно в других областях сложных технических систем, таких как автоматизированные системы управления, технические средства охраны и т.д.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., начальник отдела 12 Центрального научно-исследовательского института Минобороны России, г. Сергиев Посад, Россия, fgu12tsnii@mil.ru

²младший научный сотрудник 12 Центрального научно-исследовательского института Минобороны России, г. Сергиев Посад, Россия, fgu12tsnii@mil.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: надежность; вычислительные комплексы; оценка статистических данных; непараметрические методы; цензурированные данные.

Для цитирования: Захаров Д.Н., Никулин В.С. Анализ методов статистической оценки эксплуатационной надежности вычислительных комплексов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 1. С. 64-69. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-64-69



Введение

Вычислительные комплексы представляют собой сложные изделия, характеризующиеся различными режимами эксплуатации и большим количеством элементов. Оценка коэффициента готовности и коэффициента технического использования вычислительного комплекса рассчитывается по известным показателям надежности элементной базы. Достоверные значения показателей надежности вычислительных комплексов практически возможно получить путем анализа данных из эксплуатации или статистических экспериментов.

Наблюдение за текущими процессами, контроль состояния аппаратных компонент многофункционального гибридного вычислительного комплекса (МГВК) «КВАНТ» основная задача системы мониторинга. Объем поступающих данных и сложность механизмов как оперативной, так и постобработки накопленной информации о состоянии комплектующих вычислительного комплекса подводят к необходимости автоматизации данного процесса. Чем более масштабными и сложными становятся вычислительные системы, тем более важными и актуальными становятся задачи автоматизации обработки данных. Но показатели надежности системы от данного факта не улучшаются, а в отдельных случаях снижаются. Причинами является, как правило, отсутствие аналитического прогноза о возможной неисправности элементной составляющей вычислительного комплекса или возникновении нештатной ситуации.

Прогнозирование факта аппаратного отказа комплектующей вычислительного комплекса возможно методами обработки имеющихся статистических данных о событиях, полученных в ходе эксплуатации вычислительного комплекса, с учетом показателей наработки на отказ по данным производителя оборудования. Результатом метода прогнозирования является оценка показателей надежности комплектующей. К таким показателям относятся плотность и функция распределения времени до отказа.

Теоретическая надежность многофункционального гибридного вычислительного комплекса «КВАНТ»

На стадии проектирования МГВК «КВАНТ» был произведен расчет теоретической надежности с помощью программного комплекса. Показатели надежности для отдельных изделий (сервер, коммутатор и т.п.) использованы из комплектной документации производителей оборудования. Среднее время наработки на отказ МГВК «КВАНТ» составляет $T_o = 7695,32$ ч.

Коэффициент готовности согласно «ГОСТ 27.002–2009 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» — это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент

времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Коэффициент готовности представляет собой отношение времени работоспособного состояния к сумме времен работоспособного состояния и вынужденных простоев объекта, взятых за один и тот же календарный срок выраженный в формуле (1):

$$K_g = \frac{t_w}{t_w + t_p} \quad (1)$$

где t_w — суммарное время работоспособного состояния объекта; t_p — суммарное время вынужденного простоя.

Для перехода к вероятностной трактовке величины t_w и t_p заменяют математическими ожиданиями времени между соседними отказами и времени восстановления соответственно и принимает вид (2).

$$K_g = \frac{T_o}{T_o + T_v} \quad (2)$$

где T_o — наработка на отказ; T_v — среднее время восстановления.

$$K_g = 7695,32 / (7695,32 + 1) = 0,99987$$

Расчет теоретической надежности выполнен в соответствии с «ГОСТ 27.002–2009 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».

Эксплуатация МГВК «КВАНТ» показала, что полученный показатель коэффициента готовности вычислительных комплексов, рассчитанный на стадии проектирования, не является достоверным. Теоретическое среднее время восстановления вычислительного комплекса отличается от времени восстановления наблюдаемого в ходе эксплуатации. Достоверные значения показателей надежности вычислительных комплексов практически возможно получить путем анализа данных из эксплуатации или статистических экспериментов.

Анализ методов обработки статистической информации

Модуль регистрации и хранения событий по возникшим неполадкам и неисправностям реализован на основе единой для вычислительного комплекса базы данных (БД) MySQL [1], входящей в состав системы мониторинга, содержащей информацию по каждому элементу составляющей МГВК «КВАНТ». Позволяет обеспечить не только автоматизированный сбор информации об отказах, но и электронный учет наличия, движения и эксплуатации вычислительных элементов.

Алгоритмы функционирования данного модуля предусматривают автоматическое формирование и заполнение части полей БД (дата начала эксплуатации, отказа

и пр.) при наступлении соответствующих событий в вычислительном комплексе.

Основные модули системы сбора и хранения информации реализованы на языке Perl и JavaScript [2, 3], задача программных модулей, представленных на рисунке, своевременное предоставление данных о событиях произошедших в ходе эксплуатации вычислительного комплекса оператору системы мониторинга и сохранение полученных данных в БД.

Таким образом, по каждому введенному в эксплуатацию изделию в БД содержится информация, дополняемая при наступлении каждого значимого с точки зрения учета надежности события.

База данных обеспечивает возможность извлечения необходимых выборок, сортировки информации по всем введенным в эксплуатацию комплектующим вычислительного комплекса: общее количество (полный перечень по номерам изделий), количество вышедших (вышедших) из строя, количество сохранивших работоспособность, количество выведенных из эксплуатации и пр.

Полученные данные о надежности вычислительных элементов в эксплуатации неоднородны. Не для всех вычислительных элементов начало наблюдений за ними совпадает с началом работы, а для основной части элементов за текущий период наблюдений отказов не произойдет. Это означает, что часть поступающей информации будет цензурированной, причем в основном будет иметь место цензурирование справа [4].

Учитывая большой массив данных, поступающий в обработку, следует предполагать, что обработка таких сведений также должна быть машинно-ориентированной.

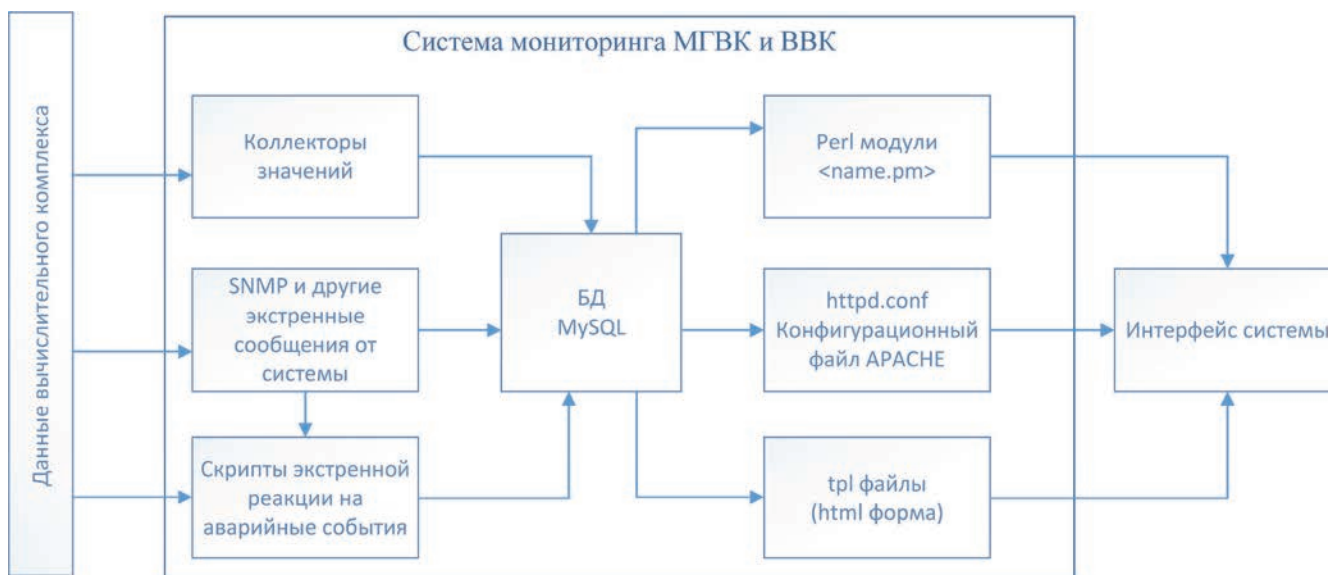
Причем априорная информация о законах распределения данной статистики изначально является неизвестной.

Трудности, возникающие при обработке информации, поступающей с вычислительных комплексов и достижении необходимой точности, связаны с двумя основными моментами: наличием цензурированных данных отказа оборудования и ограниченным объемом этих данных. Явление, при котором для части испытываемых или контролируемых изделий отсутствуют сведения о моментах наступления отказа за период наблюдения, носит название цензурирования данных, а получаемые в результате выборки — цензурированных выборок [4].

Существует большое количество методов оценки и анализа надежности. Особенности применения изложены в «ГОСТ Р 51901.5–2005 Руководство по применению методов анализа надежности». При этом ни один из известных методов не является универсальным. Основными ограничениями из тех методов, которые предполагают количественную, а не качественную оценку показателей надежности восстанавливаемых систем, являются: размерность оцениваемой системы и наличие Марковского свойства (т.е. независимость рассматриваемого процесса от предыстории) [5].

На выбор метода статистической оценки распределения времени до отказа и плотности распределения компонентов вычислительного комплекса повлияли следующие факторы:

- значительное количество оцениваемых компонентов, а также преобладание больших выборок;
- отсутствие априорной информации о виде функции распределения вероятности безотказной работы для абсолютного большинства оцениваемых номенклатур;



Программные модули сбора информации системы мониторинга



– разнотипность поступающей статистической информации;

– статистической информации характерно множественное цензурирование справа. Причем имеет место наиболее сложный для анализа вид цензурирования — тип I [6] предполагающий, что число наблюдаемых наработок до отказа на интервалах является случайной величиной.

Использование непараметрических методов аппроксимации неизвестных плотностей обусловлено отсутствием априорных знаний о виде функции распределения генеральной совокупности. Среди современных непараметрических методов, позволяющих аппроксимировать массивы экспериментальной информации и получать оценки эмпирической плотности распределения вероятностей, следует отметить: ядерные оценки [7], гистограммные, проекционные оценки [8] корневого оценивания [9].

Несмотря на состоятельность гистограммных оценок, их недостатком является то, что они представляют собой разрывную ступенчатую функцию, что не всегда удобно для практического использования. Это может оказаться важным при выяснении причин отказов, так как зоны сгущения точек вариационного ряда могут быть как статистическими выбросами, так и свидетельствовать о наличии закономерностей.

Проекционные и основанные на ортогональных разложениях оценки обладают следующими общими недостатками: полученная оценка может не удовлетворять условию нормировки, а также условию неотрицательности (т.е. в общем случае они не являются плотностями). К тому же, применение в методах проекционного и корневого оценивания периодических функций приводит к тому, что в полученной плотности распределения времени до отказа будут иметь место всплески и понижения, не обусловленные характером исходных данных. Они способны вводить в заблуждение исследователя при анализе надежности и выявлении причин отказов.

Достоинством ядерных оценок является их положительная определенность (при выборе неотрицательного ядра), что не выполняется для оценок на основе ортогональных разложений. Непараметрический метод ядерной оценки функции плотности распределения времени до отказа, нашел практическое применение для определения характеристик надежности оборудования АЭС в Обнинском государственном техническом университете атомной энергетики, где при участии и под руководством Антонова [12] он был развит для аппроксимации цензурированной информации. Там же исследованы методы, устраняющие граничные эффекты ядерных оценок плотностей для неотрицательных случайных величин (нарушение условий нормировки).

Таким образом, проекционные и гистограммно-аппроксимационные оценки, сложнее в реализации, чем

метод ядерных оценок. Существенно также то, что для них отсутствуют теоретические наработки по учету цензурированной справа информации. По этим причинам в качестве метода, на основе которого предлагается проводить анализ надежности элементов вычислительного комплекса, выбран метод ядерных оценок.

Метод ядерной оценки показателей безотказности элементов

Для сохранения информации в процессе обработки, для малых выборок применяется «индивидуальный подход», заключающийся в присвоении каждой реализации некоторой элементарной плотности [10].

В этом случае для полных наработок x_1, \dots, x_N эмпирическая функция распределения времени до отказа может быть представлена в виде формулы (3):

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta(u, x_i) du \quad (3)$$

где $\delta(u, x_i)$ — дельта-функция Дирака [11].

В результате замены дельта-функции некоторой функцией V , удовлетворяющей условиям $V \geq 0$ и $\int V dt = 1$, будет иметь место выражение (4), вполне соответствующее традиционному подходу к построению оценки функции распределения времени до отказа:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{N\sigma} \sum_{i=1}^N V\left(\frac{u - x_i}{\sigma}\right) du \quad (4)$$

где под интегралом представлено выражение для суммы ядерных оценок плотности распределения; σ — управляющий параметр сглаживания (параметр локальности).

Доказательство состоятельности ядерных оценок плотности приводится, например, в монографии Девроя и Дьёрфи [8].

Заключение

Выбранный метод ядерных оценок позволяет обрабатывать данные в автоматическом режиме, является универсальным, не привязанным к конкретным законам распределения наработки на отказ, развитый для обработки цензурированной статистики.

Практическая значимость предложенного метода заключается в поддержании требуемого уровня надежности вычислительных комплексов за счет рациональной организации его эксплуатации, минимизирующей затраты на закупку ЗИП. Применение предложенного метода к оценке эксплуатационной надежности возможно и в других

областях сложных технических систем, таких как автоматизированные системы управления, технические средства охрана и т.д.

Литература

1. MySQL Docs // MySQL. 2018. URL: <https://www.mysql.com> (дата обращения: 10.08.2019).
2. Язык программирования Perl // Perl. 2015. URL: <https://www.perl.org/> (дата обращения: 13.08.2019).
3. Курсы по javascript // Журнал javascript. 2016. URL: <https://learn.javascript.ru/> (дата обращения: 22.08.2019).
4. *Скрипник В.М.* Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам. М.: Радио и связь, 1988. 184 с.
5. *Тихонов В.И., Миронов М.А.* Марковские процессы. М.: Сов. радио, 1977. 488 с.
6. *Кендалл М., Стьюарт А.* Статистические выводы и связи: пер с англ. М.: Наука, 1973. 896 с.
7. *Parzen E.* On estimation of a probability density function and mode // *Annals of Mathematical Statistics*. 1962. Vol. 33. No. 3. Pp. 1065–1076.
8. *Деврой Л., Дьёрфи Л.* Непараметрическое оценивание плотности. L1-подход: пер с англ. М.: Мир, 1988. 408 с.
9. *Богданов Ю.И.* Основная задача статистического анализа данных: корневой подход. М.: МИЭТ, 2002. 95 с.
10. *Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И.* Малая выборка. М.: Статистика, 1978. 248 с.
11. *Колмогоров А.Н., Фомин С.Ф.* Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1976. 543 с.
12. *Антонов А.В., Никулин М.С.* Статистические модели в теории надежности. М.: Абрис, 2012. 390 с.

ANALYSIS OF METHODS OF STATISTICAL EVALUATION OF OPERATIONAL RELIABILITY OF COMPUTATIONAL COMPLEXES OF OM

DMITRY N. ZAKHAROV

Sergiev Posad, Russia, fgu12tsnii@mail.ru

VLADIMIR S. NIKULIN

Sergiev Posad, Russia, fgu12tsnii@mail.ru

KEYWORDS: reliability; computer systems; estimation of statistical data; nonparametric methods; censored data.

ABSTRACT

The approach to calculating the reliability indicators of computer systems by the example of a multifunctional hybrid computer complex "QUANT" is considered. During the operation of the computer complex, the monitoring system collects statistical information about current processes and hardware component failures. The information received is recorded in the database and is subject to further processing. The assessment of the availability coefficient and the technical utilization coefficient of the computing complex is calculated by the known reliability indicators of the element base. Reliable values of the reliability indicators of computer systems are practically possible to obtain by analyzing data from operation or statistical experiments. Fixing the time for identifying failures and operating time of each element, provided that the total number of

elements in the group is known, allows us to estimate the time distribution (distribution density) for failure. This indicator provides the most information for analyzing the reliability of an element and on its basis practically any other reliability indicators can be obtained. To process statistical information obtained during operation, it is proposed to use the nonparametric method of nuclear assessment. Studies have shown that the chosen method is universal for processing censored statistics and is not tied to specific distribution laws. In the future, software development based on this method is planned. The application of the nonparametric method of nuclear assessment to calculate the operational reliability of computer systems based on input requirements is justified. The aim of the study is to obtain reliable data on the reliability of individual devices and the complex as a whole. Application of the proposed method to the evaluation of



operational reliability is possible in other areas of complex technical systems, such as automated control systems, security equipment.

REFERENCES

1. MySQL Docs. *MySQL*. 2018. URL: <https://www.mysql.com> (date of access: 10.08.2019).
2. Perl. 2015. URL: <https://www.perl.org/> (date of access: 13.08.2019).
3. Courses on javascript. *Journal of javascript*. 2016. URL: <https://learn.javascript.ru/> (date of access: 22.08.2019).
4. Skripnik V.M. *Reliability Analiz nadezhnosti tekhnicheskikh sistem po tsenzurovannym vyborkam* [Analysis of technical systems by censored samples]. Moscow: Radio i svyaz', 1988. 184 p. (In Rus)
5. Tikhonov V.I., Mironov M.A. *Markovskie protsessy* [Markov processes]. Moscow: Sovetskoe radio 1977. 488 p. (In Rus)
6. Kendall M., Stuart A. *The Advanced Theory of Statistics. Vol. 2: Inference and Relationship*. 2nd ed. London: Charles Griffin and Co. Ltd., 1967. 690 p.
7. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode. *Annals of Mathematical Statistics*. 1962. Vol. 33. No. 3. Pp. 1065-1076.
8. Devroye L., Györfi L. *Nonparametric density estimation: The L1 view*. Wiley; 1985. 408 p. ISBN: 978-0-4718-1646-1.
9. Bogdanov Yu.I. *Osnovnaya zadacha statisticheskogo analiza dannyh: kornevoj podhod* [The main task of statistical data analysis: the root approach]. Moscow: MIET, 2002. 408 p. (In Rus)
10. Gaskarov D.V., Shapovalov V.I. *Malaya vyborka* [Small sample]. Moscow: Statistika, 1978. 248 p. (In Rus)
11. Kolmogorov A.N., Fomin S.F. *Elementy teorii funktsiy i funktsional'nogo analiza* [Elements of function theory and functional analysis]. Moscow: Nauka, 1976. 543 p. (In Rus)
12. Antonov A.V., Nikulin M.S. *Statisticheskie modeli v teorii nadezhnosti* [Statistical models in reliability theory]. Moscow: Abris, 2012. 390 p. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Zakharov D.N., PhD, Head of Division of the 12 Central Scientific Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation;
Nikulin V.S., Research Assistant of the 12 Central Scientific Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation.

For citation: Zakharov D.N., Nikulin V.S. Analysis of methods of statistical evaluation of operational reliability of computational complexes. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 64-69. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-64-69 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-70-76

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

КРАСОВ

Андрей Владимирович¹

САХАРОВ

Дмитрий Владимирович²

ТАСЮК

Александр Андреевич³

АННОТАЦИЯ

Информационные технологии способны позволить современному человеку обрабатывать большой объем данных, сделать иерархическую систематизацию, а также выявить какие-либо закономерности там, где человеческий мозг не смог бы их определить. Направление Больших данных открывает абсолютно новые возможности относительно использования данных. Установлено, что внедрение Big Data в современном мире является обязательным условием с целью развития лидирующих позиций в сфере информационных технологий. Не имея полного анализа поведения своих пользователей, не имея средств прогнозирования, при этом опираясь исключительно на опыт или же интуицию, практически невозможно оставаться конкурентоспособным в современном мире. Грамотно настроенная и эффективно работающая система Big Data имеет возможность в доли секунды проанализировать и воспроизвести требуемую информацию на основе результата работы миллиарда действий клиентов компании. Предлагаемая система полезна в различных областях с большой гибкостью и хорошей таксономией атак. С растущей сложностью и быстрыми изменениями, система обнаружения вторжений должна конкурировать в информационном пространстве. В работе рассматриваются методы классификации, кластеризации, фильтрации, гибридизации, интеллектуальный анализ данных и усовершенствованный генетический алгоритм обнаружения вторжений. Доказанные результаты эксперимента основываются на алгоритмах G.A и C4.5 для атак DoS, Probe, U2R и R2L. Проектирование гибридного подхода к анализу атак осуществляется с применением технологии Big Data и визуализации архитектуры гибридного подхода. Проведенный эксперимент на основе данных алгоритмов привел к допустимому количеству ложноположительных результатов срабатывания тревоги и обнаружению большинства видов атак с вероятностью 94,40%.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., доцент, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия, Krasov@inbox.ru

²к.т.н., доцент, преподаватель Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия,

³студент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия, alexsandric7@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система обнаружения вторжений; информационные сети; большие данные; информационная безопасность; компьютерные атаки.

Для цитирования: Красов А.В., Сахаров Д.В., Тасюк А.А. Проектирование системы обнаружения вторжений для информационной сети с использованием больших данных // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 1. С. 70-76. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-70-76

Введение

В настоящее время объем обрабатываемой информации в мире растет в геометрической прогрессии. С целью быстрого реагирования на какие-либо изменения рынка, получения конкурентоспособных преимуществ, а также абсолютного повышения эффективности производства требуется правильно и быстро получать, обрабатывать и конечно же анализировать большое количество данных [1].

Для таких целей необходимы разработки соответствующих инструментов, такими решениями стали «Большие данные» (Big Data). Большие данные — это совокупность технологий, инструментов, которые призваны совершать улучшенные операции. Во-первых, обрабатывать большие по сравнению со «стандартными» сценариями объемы данных. Во-вторых, уметь работать с быстро поступающими данными в очень больших объемах. В-третьих, они должны уметь работать со структурированными и плохо структурированными данными параллельно в разных аспектах [2].

Появление Больших данных в публичном пространстве было связано с тем, что эти данные затронули практически всех людей, а не только научное сообщество, где подобные задачи решаются давно. В публичную сферу технологий Big Data вышла, когда речь стала идти о вполне конкретном числе — числе жителей планеты. 7 миллиардов, которые собираются в социальных сетях и других проектах, которые агрегируют людей. YouTube, Facebook, ВКонтакте, где количество людей измеряется миллиардами, а количество операций, которые они совершают одновременно, — огромно. Поток данных в этом случае — это пользовательские действия. Например, данные того же хостинга YouTube, которые переливаются по сети в обе стороны. Под обработкой такой информации понимается не только интерпретация, но и возможность правильно обработать каждое из этих действий, то есть поместить его в нужное место и сделать так, чтобы эти данные были доступны каждому пользователю быстро, поскольку социальные сети не терпят ожидания [3].

В настоящее время объемы цифровых данных удваиваются каждые два года. Международная исследовательская и консалтинговая компания IDC, занимающаяся изучением мирового рынка информационных технологий и телекоммуникаций, сначала прогнозировала, что с 2009 г до 2020 г. объем мировых данных увеличится в 44 раза, потом, что в 50 раз, теперь уже значится цифра 55 раз. Каждый год IDC с учетом анализа новых данных перестраивает кривую роста вверх, как правило, на несколько зеттабайт (Збайт). Согласно последнему отчету по заказу компании Seagate объем данных в мире к концу 2018 года достиг 33 зеттабайт (1 Збайт равен триллиону гигабайт), а к 2025-му показатель достигнет 175 Збайт, что на 9% больше, чем ожидалось ранее [4]. Три года назад, по не-

которым оценкам, вся всемирная паутина содержала около 500 эксабайт (Эбайт) — это 5 миллиардов гигабайт, и только половина одного зеттабайта.

Описание исследования

1. Анализ систем обнаружения вторжений

В работе [6] предлагается система обнаружения вторжений (COB), основанная на использовании двухслойной нейронной сети с обратной связью. Преимуществом такого подхода является его распределенность, способность к обучению и адаптации. Получаемая в ходе анализа информация подвергается предварительной обработке путем отображения символьных данных (тип протокола, сервисы, флаги) в числовое значение из отрезка $(-1,1)$. После обнаружения атаки ее тип и характеристики рассматриваются более подробно.

Несмотря на ряд введений, направленных на увеличение скорости обучения и снижения накладных расходов, такой подход значительно зависит от выбора функции активации, а также недостаточно эффективен при обнаружении атак типа внедрение (R2L, remote-to-user) и повышение привилегий (U2R, user-to-root).

В публикации [7] предлагается система, использующая сигнатурный подход к обнаружению сетевых атак. В процессе работы происходит отслеживание сетевых пакетов и их последовательное сравнение с базой данных известных шаблонов и атрибутов атак. Кроме того, существует возможность работы в фоновом режиме контроля сети. К основным недостаткам предложенного подхода можно отнести: сложность в распознавании неизвестных атак, а также необходимость в постоянном обновлении базы данных сигнатур. Подобные недостатки позволяют сделать вывод о невозможности применения такого решения в сложных, высокоскоростных магистральных сетях.

Исследование коммерческого сектора решений, приводит к таким системам: Spark, Cloudera Hadoop, Hadoop MapReduce. Hadoop MapReduce (рис. 1) использует архитектуру «master-worker», где master — единственный экземпляр управляющего процесса (JobTracker), как правило, запущенный на отдельной машине (вычислительном узле).

В большинстве случаев выделяется следующий недостаток. Принцип восстановления в узлах JobTracker и TaskTracker описан ниже. При сбое TaskTracker-узла JobTracker-узел переназначает задания неисправному узлу другому узлу TaskTracker. В случае неисправности JobTracker-узла, для продолжения исполнения MapReduce-приложения, необходим перезапуск JobTracker-узла. При перезапуске узел JobTracker читает из специального журнала данные, о последней успешной контрольной точке (checkpoint), восстанавливает свое состояние на момент записи checkpoint и продолжает работу с места последней контрольной точки.

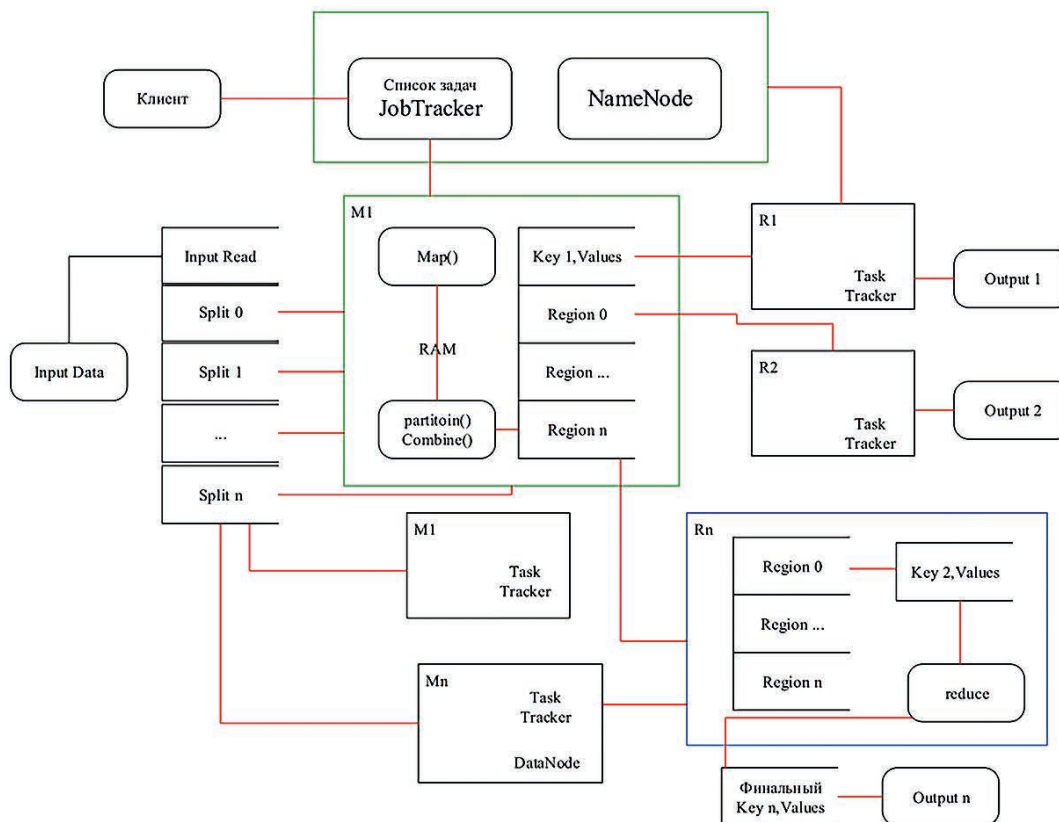


Рис. 1. Типовая разработка приложения для Hadoop MapReduce

2. Сравнение технологий хранения

Проведено небольшое исследование традиционной базы данных в сравнении с технологиями Big Data, результаты структурированы (табл. 1).

Исходя из анализа таблицы, можно сделать вывод, что технологии Big Data являются наиболее эффективными и более рациональными в работе относительно традиционных баз данных [5].

3. Проектное решение

Для достижения указанных целей формализуем постановку задачи, основная задача, проектирование системы обнаружения вторжения (СОВ), функции которой сводится к повышению оперативности обнаружения компьютерной атаки в информационной сети (ИС) за счет определения информации о подготовке компьютерной атаки путем использования гибридного подхода анализа событий.

Таблица 1

Характеристические особенности традиционной базы данных и BigData

Характеристика	Традиционная БД	BigData
Информационный объем	От гигабайта (10^9 байт), до терабайта (10^{12} байт)	От петабайта (10^{15} байт), до эксабайта (10^{18} байт)
Структурированность данных	Структурированы	Полу-структурированы и не структурированы
Способ хранения	Централизованный	Децентрализованный
Взаимосвязь между данными	Сильная	Слабая
Модель хранения и обработки данных	Вертикальная модель	Горизонтальная модель



Помимо функций постоянного мониторинга и анализа происходящего, система выполняет следующие функции:

- сбор и запись информации;
- оповещения администраторов системы о произошедших изменениях (alert);
- создание отчетов для суммирования логов.

Основу исследования составляют мероприятия по защите информации [44], средств ее хранения, обработки, передачи и автоматизации процессов от воздействий противника, включающие действия средств защиты информации, необходимых для решения задач управления и блокирования обфускации, распространяемой и внедряемой в программе управления.

Необходимо исследования идентификаторов Big Data для дальнейшего проектирования. Здесь рассматривается выбор доступных наборов данных и их атрибутов. В технологии Big Data существует правило «3V», которое и определяет принадлежность информации к большим данным — объем (volume), скорость (velocity) и разнообразие (variety). Объем определяет количество данных, создается трудоемкая задача, когда огромные объемы данных создают препятствия для обработки различными вычислительными технологиями. Скорость обуславливает темп, с которым обрабатываются данные и может появиться проблема, когда скорость передачи данных становится затратной, чем задача обработки. Разнообразие объясняет сложность данных, и это также про большие данные, когда данные содержат разнородную структуру, такую как высокая пространственность данных, данные из гетерогенных источников или данные, имеющие большое количество различных структур данных. В дополнение к этому, еще выделяют еще два «V»: достоверность (veracity) и ценность (value). Достоверность как точность данных может иметь проблемы с корректностью данных, поврежденные или пропущенные значения. Ценность определяет значимость обработки информации, оправдание работы вычислительного комплекса.

Предполагается, что все пять «V» должны учитываться при проектировании СОВ. Проблемы с данными при обнаружении вторжений, в основном обсуждается на уровне избыточности данных и их ценности. Например, если рядовой пользователь производит от пяти до семидесяти мегабайт данных в восемь часов и проанализировать один час данных занимает продолжительное время, это не целесообразно. Следует учесть методы кластеризации, фильтрации и выбора объектов, на основе данных, если ожидается обнаружение в реальном времени, что может улучшить правильность обнаружения. На сегодняшний день, существует потребность в необходимости улучшения систем безопасности и предотвращения вторжений.

В прошлом системным администраторам выполнялся мониторинг безопасности, проверялись файлы и журнал сервера. С появлением идентификаторов, отдельных устройств мониторинга все проверки проводятся в сети или на уровне хоста. Несмотря на то, что СОВ имеет проблему больших данных, связанную с большим массивом информации и обнаружений инцидентов вторжения. Выбор наборов данных всегда является сложной задачей. Многие из исследователей подчеркивают, что даже анализ простого массива данных доставляет сложности исследованию. Что особенно важно при использовании наборов данных из разнородных источников. Для того, чтобы СОВ функционировала исправно, выбор набора функций является первостепенной целью. Такое действие повышает точность классификации информации за счет удаления шума. Исследовано, что правильность выбора функций улучшает время обработки классификации с точки зрения эффективности системы. Данный экспериментальный подход в генерации наборов близок к генерации наборов в реальном времени.

Установлено, что в отношении точности классификации, метод выбора особенностей из общедоступной базы международной конференции по обнаружению знаний и интеллектуальному анализу данных (KDD99) [8] содержащей порядка 5 миллионов классифицированных по 22 типам экземпляров атак достигает самого лучшего результата. Поскольку выбор объекта занимает определенное количество вычислительного времени, то это время может быть уменьшено вдвое, при использовании метода опорных векторов (SVM, support vector machine) [9], алгоритма для построения деревьев решений (C4.5) [10] и наборов данных KDD99 [11].

4. Предлагаемая архитектура

В ходе исследования были получены разнородные данные из разных источников, собранных из набора данных базы KDD и сегрегированных на этап обучения и этап обнаружения. В процессе обучения известные атаки всегда идентифицируются. Для того, чтобы идентифицировать эти известные атаки, необходимо выбрать лучшие атрибуты из набор данных KDD. Аналогично с этапом обнаружения необходима выборка лучших атрибутов. На Рис. 2 выходная характеристика будет выбрана и применена в качестве входных данных для предварительной обработки, и здесь данные будут циклически обрабатываться на различных этапах. Для идентификации известных атаки таких как, отказ в обслуживании (DoS), зондирования (Probe), R2L, U2R. Атаки, которые не идентифицированы, рассматриваются на этапе повторного обнаружения. В этой фазе обнаружения используется усовершенствованный алгоритм C4.5 и усовершенствованный генетиче-

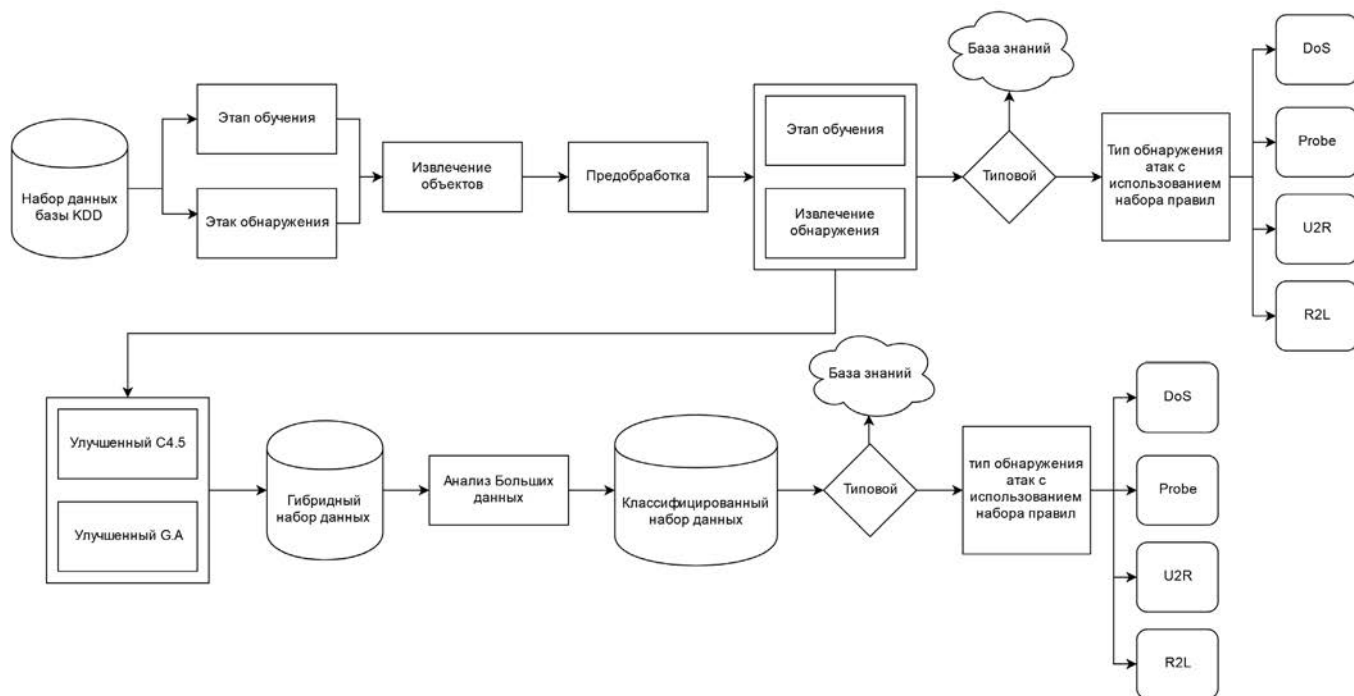


Рис. 2. Архитектура гибридной COB

ский алгоритм (G.A). Эти два метода хранят данные в базах данных независимо.

Далее две базы данных вместе образуют гибридную базу данных. Выходные данные этой большой гибридной базы данных будет применяться в качестве входных данных для Больших данных с использованием метода ограничения потока данных. Применение этого метода будет генерировать классификацию набора данных, в этом наборе мы можем найти известные и схожие типы атаки, такие как, DoS, Probe, R2L и U2R.

Предполагается, что наша гибридная схема увеличит скорость обнаружения, а также определит принадлежность к типу атаки.

5. Экспериментальная установка

Цель эксперимента состояла в том, чтобы сосредоточиться на создании классификаторов правил для 25 типов атак, принадлежащих к четырем различным категориям, и для создания правила, которое может классифицировать все эти соединения с минимальной частотой ложных срабатываний (FPR). Оценки демонстрируют жизнеспособность и возможности исследуемого метода с чрезвычайно отличным исполнением с 94,80% обнаружения для DoS атак, 90,87% обнаружения для R2L атак, 95,52% обнаружения для U2R атак и 96,42% обнаружения для Probe атак с общей долей FPR — 0,058%. Тестовое решение этой методики свидетельствовало о ее полезности и важно-

Таблица 2

Частота обнаружения и ложные срабатывания для гибридной схемы

№	Тип атаки	Частота обнаружения %	Ложные срабатывания (%)
1	DoS	94.80	0.043
2	Probe	96.42	0.082
3	U2R	95.52	0.063
4	R2L	90.87	0.045
Средний Показатель Успеха		94.40	0.058



сти. Данный алгоритм привел к допустимому количеству ложноположительных результатов срабатываний тревоги (FAR) и обнаружению большинства видов атак с вероятностью в 94,40%, проектирование данной СОВ близко к оптимальной СОВ (табл. 2).

Заключение

Основной вклад этой работы заключается в динамичном развитии СОВ путем использования гибридного подхода к анализу атак с применением технологии Big Data.

Применение данной методологии обучения СОВ — это последовательность для лучшего выявления аномалий и снижения ложноположительной частоты срабатываний тревоги. Предлагаемый алгоритм представляет результаты работы эксперимента с показателем успеха по определению атаки с 94,40% вероятности, так что общие результаты методики реализовано отлично.

С ростом инцидентов нападений на ИС, СОВ с отличной производительностью в реальном времени имеет важное значение. Для будущего развития данной работы следует проверить дополнительные методы интеллектуального анализа данных для более плодотворного извлечения атрибутов. Предлагаемая система задает набор правил и поведение для DoS, R2L, U2R, Probe атак. Можно попытаться получить результаты выше заявленных, повысив эффективность и снизив сложность, присутствующую в модели. В будущем несколько методов анализа могут быть дополнены, чтобы получить больше возможностей.

Литература

1. Косов Н. А., Гельфанд А. М., Лантев А. А. Анализ темных данных для обеспечения устойчивости информационных систем от нарушения конфиденциальности или несанкционированных действий // *Colloquium-Journal*. 2019. № 13–2 (37). С. 100–103.
2. Тундал С. Большие данные: все, что вам необходимо знать // *PC Week/RE*. 2012. № 25 (810). URL: <https://www.pcweek.ru/idea/article/detail.php?ID=141962> (дата обращения 12.08.2019).
3. Тасюк А. А., Радынская В. Е. Kerberos, защита данных в Big Data // Материалы VIII Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотеле-коммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, 28 февраля 2019 г.). Санкт-Петербург, 2019. С. 125–134.
4. Reinsel D., Gantz J., Rydning J. The Digitization of the World From Edge to Core An // IDC White Paper. URL: <https://www.seagate.com/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-data-age-whitepaper.pdf> (дата обращения 12.08.2019).
5. Веретенников А. В. BigData: анализ больших данных сегодня // *Молодой ученый*. 2017. № 32. С. 9–12.
6. Haddadi F. Intrusion detection and attack classification using feedforward neural network // *International Conference on Computer and Network Technology*. 2010. Pp. 262–266.
7. Gandhi M., Srivatsa S. K. Detecting and preventing attacks using network intrusion detection systems // *International Journal of Computer Science and Security*. 2008. No. 1. Pp. 49–58.
8. Srikanth B. V. S., Reddy V. K. Efficiency of stream processing engines for processing BIGDATA Streams // *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. № 9(14). Pp 145–151.
9. Машина опорных векторов. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=SVM> (дата обращения 12.08.2019)
10. Подоплелова Е. С. Интеллектуальный анализ данных. Алгоритм C4.5. URL: <http://hdl.handle.net/10995/65645> (дата обращения 12.08.2019).
11. KDD99. URL: <https://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99> (дата обращения 12.08.2019)

DESIGN OF INTRUSION DETECTION SYSTEM FOR INFORMATION NETWORK USING BIG DATA

ANDREJ V. KRASOV,

St. Petersburg, Russia, Krasov@inbox.ru

DMITRIJ V. SAHAROV,

St. Petersburg, Russia

ALEKSANDR A. TASYUK

St. Petersburg, Russia, alexsandric7@gmail.com

KEYWORDS: intrusion detection system; information networks; big data; information security; computer attacks.

ABSTRACT

These technologies are able to allow modern man to process a large amount of data, to make a hierarchical systematization, as well as to identify any patterns where the human brain would not be able to

determine them. The direction of Big data opens up completely new possibilities regarding the use of data. It is established that the introduction of BigData in the modern world is a prerequisite for the de-

velopment of leading positions in the field of information technology. Without a complete analysis of the behavior of its users, without the means of forecasting, while relying solely on experience or intuition, it is almost impossible to remain competitive in the modern world. Properly configured and effectively working system BigData has the ability in a split second to analyze and reproduce the required information based on the result of the work of a billion actions of the company's customers. The proposed system is useful in various fields with great flexibility and good taxonomy of attacks. With increasing complexity and rapid changes, intrusion detection systems must compete in the information space. In this paper we consider the methods of classification, clustering, filtering, hybridization data mining and advanced genetic algorithm for intrusion detection. Proven results of the experiment are based on algorithms G. A and C4.5 to attacks, DoS, Probe, U2R and R2L. Designing a hybrid approach to attack analysis using BigData technology. Visualizations of the hybrid approach architecture. Conducting an experiment with this algorithm led to an acceptable number of false-positive results and the detection of most types of attacks with a large data set of 94.40%.

REFERENCES

1. Kosov N.A., Gelfand A.M., Laptev A.A. Analysis of dark data to ensure sustainability information systems from breach of privacy or unauthorized actions. *Colloquium-journal*. 2019. No.13-2 (37). Pp. 100-103. (In Rus)
2. Tyndall S. Big data: everything you need to know. *PC Week/RE*. 2012. № 25 (810). (date of access 10.08.2018). (In Rus)
3. Tasyuk A.A., Radynskaya V.E. Kerberos, zashchita dannykh v Big Data [Data Protection In Big Data]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy i nauchno-metodicheskoy konferentsii "Aktual'nye problemy infotelekomunikatsiy v nauke i obrazovanii"* [Materials of VIII International scientific-technical and scientific-methodical conference "Actual problems of infotelecommunications in science and education", Saint-Petersburg, 28 February,

- 2019]. Saint-Petersburg, 2019. Pp. 125-134. (In Rus)
4. Reinsel D., Gantz J., Rydning J. The Digitization of the World-From Edge to Core An. *IDC White Paper*. URL: <https://www.seagate.com/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf> (date of access 10.08.2018)
5. Veretennikov A.V. BigData: analiz bol'shikh dannykh segodnya [Big-Data: big data analysis today]. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2017. No. 32. Pp. 9-12. (In Rus)
6. Haddadi F. Intrusion detection and attack classification using feed-forward neural network. *International Conference on Computer and Network Technology (ICCNT)*. 2010. Pp. 262-266.
7. Gandhi M., Srivatsa S.K. Detecting and preventing attacks using network intrusion detection systems. *International Journal of Computer Science and Security*. 2008. No. 1. Pp. 49-58.
8. Srikanth B.V.S, Reddy V.K. Efficiency of stream processing engines for processing BIGDATA Streams. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. № 9(14). Pp 145-151.
9. Mashina opornykh vektorov [Support vector machine]. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=SVM> (date of access 12.08.2018). (In Rus)
10. Podoplelova E.S. Intellectual'nyj analiz dannykh. Algoritm S4.5. [Data maning. Algorithm S4.5]. URL: <http://hdl.handle.net/10995/65645> (date of access 12.08.2018). (In Rus)
11. KDD99. URL: <https://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99> (date of access 12.08.2019)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Krasov A.V., PhD, Docent, BrE of secure communication systems of the Bonch-Bruyevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications;
Saharov A.A., PhD, Docent, Lecturer of the Bonch-Bruyevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications;
Tasyuk A.A., Student of the Bonch-Bruyevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications.

For citation: Krasov A.V., Saharov A.A., Tasyuk A.A. Design of intrusion detection system for information network using Big data. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 70-76. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-1-70-76 (In Rus)

