



<http://www.volgatech.net/>

# ВЕСТНИК 1(33) 2017

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

январь – март

Научно-технический журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит четыре раза в год

## СЕРИЯ «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы»

**Журнал публикует оригинальные результаты исследований и технических решений по радиотехнике и электронике, телекоммуникациям, вычислительной технике и информатике, а также из других областей, объединённых общим радиотехническим подходом к решению задач**

Журнал включён в систему РИНЦ, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY и ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

### Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-67092 от 15 сентября 2016 г.)

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции.

### Адрес редакции:

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Тел. (8362) 68-60-12, 68-78-46

Факс (8362) 41-08-72

e-mail: vestnik@volgatech.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

*А. А. Кислицын*

Перевод на английский язык

*О. В. Миронова*

Подписано в печать 10.04.17.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Усл. п. л. 9,76

Тираж 500 экз. Заказ №

Дата выхода в свет 17.04.17.

Цена свободная

Поволжский государственный

технологический университет

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета

в ООО ИПФ «Стринг»

424006, Йошкар-Ола,

ул. Строителей, 95

### Главный редактор

**Н. В. Рябова**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### Редакционный совет:

**Д. В. Иванов**, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН  
(*председатель*)

**А. В. Пестряков**, д-р техн. наук, профессор (Москва)  
(*зам. председателя*)

**Д. С. Лукин**, д-р физ.-мат. наук, профессор (Москва)

**А. Ф. Надеев**, д-р физ.-мат. наук, профессор (Казань)

### Редакционная коллегия:

**В. А. Иванов**, д-р физ.-мат. наук, профессор  
(*зам. главного редактора*)

**И. Я. Орлов**, д-р техн. наук, профессор (Нижний Новгород)  
(*зам. главного редактора*)

**Alexander A. Balandin**, D. Sci., Professor  
(Riverside, California, USA)

**А. С. Дмитриев**, д-р физ.-мат. наук, профессор (Москва)

**А. С. Крюковский**, д-р физ.-мат. наук, профессор (Москва)

**А. Н. Леухин**, д-р физ.-мат. наук, профессор

**О. Г. Морозов**, д-р техн. наук, профессор (Казань)

**В. А. Песошин**, д-р техн. наук, профессор (Казань)

**А. А. Роженцов**, д-р техн. наук, профессор

**И. Г. Сидоркина**, д-р техн. наук, профессор

**Н. М. Скулкин**, д-р техн. наук, профессор

**Я. А. Фурман**, д-р техн. наук, профессор

**Л. Ф. Черногор**, д-р физ.-мат. наук, профессор (Украина)

**Yury V. Shestopalov**, D. Sci., Professor  
(Karlstad University, Sweden)

**А. В. Зуев**, канд. техн. наук, доцент  
(*отв. секретарь серии*)

# VESTNIK 1(33) 2017

OF VOLGA STATE UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY

January–March

Scientific and technical journal

Issued since November, 2007

Published four times a year

**SERIES «Radio Engineering and Infocommunication Systems»**

**The journal publishes original results of research and engineering solutions to problems in radio engineering, electronics, telecommunications, computer engineering, computer science and in other fields, linked by a common radio engineering approach to the problem solution**

The journal has been included in the Russian Science Citation Index (RSCI) database, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY and in the list of peer-reviewed scientific editions for publishing the essential scientific results of the theses for the degrees of Candidate and Doctor of Sciences.

#### Founder and Publisher:

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volga State University of Technology»

The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications (registration certificate ПИ № ФЦ77-67092 from September 15, 2016)

Full and partial reproduction of materials published in the issue is allowed only upon receiving the written approval of the Editorial Office

#### Editorial office address:

424000, Yoshkar-Ola, Lenin Square, 3

Tel. (8362) 68-60-12, 68-78-46

Fax (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Editor *T. A. Rybalka*

Cover design *L. G. Malankina*

Computer-aided makeup

*A. A. Kislitsyn*

Translation into English

*O. V. Mironova*

Passed for printing 10.04.17.

Format 60×84 1/8. No. of press sheets 9,76

Circulation 500 copies. Order №

Publication Date 17.04.17.

Free price

Volga State University of Technology  
424000, Yoshkar-Ola, Lenin Square, 3

Printed from the original layout

in LLC PPF «String»

424006, Yoshkar-Ola,

95, Stroiteley St.

#### Editor-in-chief

**N. V. Ryabova**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

#### Editorial Board:

**D. V. Ivanov**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Corresponding Member of RAS (*Chairman*)

**A. V. Pestryakov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor (Moscow) (*Vice-Chairman*)

**D. S. Lukin**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Moscow)

**A. F. Nadeev**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Kazan)

#### Editorial Staff:

**V. A. Ivanov**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (*Deputy Editor-in-chief*)

**I. Ya. Orlov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor (Nizhny Novgorod) (*Deputy Editor-in-chief*)

**Alexander A. Balandin**, D. Sci., Professor (Riverside, California, USA)

**A. S. Dmitriev**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Moscow)

**A. S. Kryukovsky**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Moscow)

**A. N. Leukhin**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**O. G. Morozov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor (Kazan)

**V. A. Pesoshin**, Doctor of Engineering Sciences, Professor (Kazan)

**A. A. Rozhentsov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor

**I. G. Sidorkina**, Doctor of Engineering Sciences, Professor

**N. M. Skulkin**, Doctor of Engineering Sciences, Professor

**Ya. A. Furman**, Doctor of Engineering Sciences, Professor

**L. F. Chernogor**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Ukraine)

**Yury V. Shestopalov**, D. Sci., Professor (Karlstad University, Sweden)

**A. V. Zuev**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor (*Executive Secretary*)

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

Колонка редактора

5 *Editor's note*ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ  
И РАДИОТЕХНИКАTELECOMMUNICATION  
AND RADIO ENGINEERING

**В. В. Ромашов, К. А. Якименко, А. Н. Докторов, Л. В. Ромашова.** Экспериментальное исследование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот на основе прямого цифрового и косвенного методов синтеза

**V. V. Romashov, K. A. Yakimenko, A. N. Doktorov, L. V. Romashova.** Experimental Research on Noise Characteristics of Hybrid Frequency Synthesizers Based on the Direct Digital and the Indirect Synthesis

**Е. С. Фитасов.** Адаптивный алгоритм пеленгации источников шумовых активных помех с использованием оценки квантилей статистического распределения процесса

**E. S. Fitasov.** Adaptive Algorithm of the Direction Finding of Active Noise Interference Sources Using the Assessment of Statistical Process Distribution Quantiles

**В. А. Иванов, Н. В. Рябова.** Линейное прогнозирование структурных функций ионосферных радиоканалов с использованием данных зондирования многоэлементным ЛЧМ-сигналом

**V. A. Ivanov, N. V. Ryabova.** Linear Prediction of Structure Functions of Ionospheric Radio Channels Using the Data of the Probing by a Multielement LFM-Signal

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
И ИНФОРМАТИКАCOMPUTER ENGINEERING  
AND INFORMATICS

**Я. А. Фурман, В. В. Севастьянов, К. О. Иванов.** Формирование информативных признаков для автоматической классификации электроэнцефалограмм

**Ya. A. Furman, V. V. Sevastyanov, K. O. Ivanov.** Formation of Informative Features for Automatic EEG Classification

38

## ЭЛЕКТРОНИКА

## ELECTRONICS

**Н. В. Рябова, Ю. С. Чавайн.** Панорамные измерения выходной импульсной мощности приёмо-передающих устройств СВЧ-диапазона

**N. V. Ryabova, Yu. S. Chavayn.** Panoramic Measurements of the Output Pulse Power of Receiving/Transmitting Devices of a Microwave Band.

51

**С. Ф. Тюрин, А. Н. Каменских.** Резервирование на основе отказоустойчивой ячейки базового матричного кристалла

**S. F. Tyurin, A. N. Kamenskih.** Redundancy Based on a Fault-Tolerant Gate Array Cell

64

**Н. М. Скулкин, Е. В. Михеева, А. Н. Истомин.** Проблема воспроизводимости размерных характеристик металлокерамических корпусов в условиях производства

**N. M. Skulkin, E. V. Mikheeva, A. N. Istomin.** Problem of Metal-Ceramic Package Magnitude Reproducibility under Conditions of Production

71

НОВИНКИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ.  
ОБЗОРЫ. КОНФЕРЕНЦИИ. ВАЖНЫЕ ДАТЫTHE NOVELTIES IN THE FIELD OF ENGI-  
NEERING AND TECHNOLOGIES. REVIEWS.  
CONFERENCES. IMPORTANT DATES

**Д. В. Иванов, Ю. С. Андрианов, И. А. Кудрявцев, П. А. Нехорошков.** Экзоскелет – технологии будущего

**D. V. Ivanov, Yu. S. Andrianov, I. A. Kudryavtsev, P. A. Nehoroshkov.** Exoskeletons – technologies for the future

79

Информация для авторов

83 *Information for the authors*



*Уважаемые коллеги!*

Представляем вашему вниманию очередной номер нашего журнала.

Раздел «Телекоммуникации и радиотехника» открывает статья, посвящённая исследованию двух типов гибридных синтезаторов частот с фазовой автоподстройкой. В результате натурных экспериментов на изготовленных образцах показано, что предложенные аналитические модели позволяют с достаточной степенью точности рассчитать уровни фазовых шумов гибридных синтезаторов для различных значений частот входного и выходного сигнала. В следующей статье представлены результаты исследования и разработки метода обнаружения источников шумовых активных помех с адаптивным порогом обнаружения на основе оценки квантилей статистического распределения процесса. Показана его эффективность по сравнению с рядом классических методов. Третья статья раздела посвящена созданию моделей и исследованию нового алгоритма линейного прогнозирования структурных функций ионосферных декаметровых радиоканалов. Верификация предложенных моделей позволила оценить ошибки прогнозов по экспериментальным данным, полученным на сети ЛЧМ-ионозондов, покрывающих территорию Западной части России и Сибири.

В разделе «Вычислительная техника и информатика» опубликована работа, в которой предложен подход к формированию информативных признаков для автоматической классификации электроэнцефалограмм. Разработанные алгоритмы апробированы на реальных электроэнцефалограммах.

Раздел «Электроника» открывает статья, посвящённая разработке методики и оценке погрешности измерения выходной импульсной мощности приёмно-передающих устройств диапазона сверхвысоких частот, имеющей преимущества перед аналогами. В следующей статье представлены результаты разработки отказа- и сбоеустойчивых элементов интегральных схем, в которых резервирование осуществляется на транзисторном уровне. Завершает раздел статья о проблемах обеспечения технологической точности размерных характеристик изделий в условиях массового производства корпусов микросхем. Предложено направление совершенствования системы контроля и стабилизации размерных характеристик изделий.

В заключительном разделе приведён обзор совместного проекта двух вузов РФ, базового предприятия и института РАН по созданию экзоскелета, получившего поддержку и финансирование в рамках конкурса по постановлению Правительства РФ.

Уважаемые читатели, мы надеемся, что результаты, представленные в этом номере, будут вам интересны и полезны в вашей работе.

*Профессор Наталья Рябова*

## ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И РАДИОТЕХНИКА

УДК 621.396

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.6

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНЫХ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО И КОСВЕННОГО МЕТОДОВ СИНТЕЗА

**В. В. Ромашов, К. А. Якименко, А. Н. Докторов, Л. В. Ромашова**

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г. Столетовых,  
Российская Федерация, 602264, Владимирская область, Муром, ул. Орловская, 23  
E-mail: yakimenko.kirill@yandex.ru

*Приведено описание и исследование двух типов гибридных синтезаторов частот: гибридного синтезатора с цифровым вычислительным синтезатором (ЦВС) в качестве опорного генератора фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и гибридного синтезатора с ЦВС в цепи обратной связи ФАПЧ. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы гибридных синтезаторов на современных интегральных микросхемах. Исследованы спектральные характеристики выходного сигнала, а также проведено математическое моделирование спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов гибридных синтезаторов частот. Экспериментальные измерения показали, что разработанные аналитические модели СПМ фазовых шумов позволяют с достаточной степенью точности рассчитать уровни фазовых шумов гибридных синтезаторов для любых значений входных и выходных частот.*

**Ключевые слова:** гибридные синтезаторы частот; фазовая автоподстройка частоты; цифровой вычислительный синтезатор; фазовый шум.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-00299 мол\_а.

#### Список литературы

1. Шахгильдян В. В., Ляховкин А. А. Системы фазовой автоподстройки частоты. М.: Связь, 1972. 446 с.
2. Kroupa V.F. Phase Lock Loops and Frequency Synthesis // John Wiley & Sons, Ltd. 2003. 320 p.
3. Кочемасов В. Н., Фадеев А. Н. Цифровые вычислительные синтезаторы двухуровневых сигналов с компенсацией фазовых ошибок // Радиотехника. 1982. Т. 37, № 10. С. 15-19.
4. Kroupa V. F. Direct Digital Frequency Synthesizers. John Wiley & Sons, Ltd. 1998. 396 p.
5. Формирование прецизионных частот и сигналов / Н. П. Ямпурин, В. В. Болознев, Е. В. Сафронов, Е. Б. Жалнин. Нижний Новгород: НГТУ, 2003. 187 с.
6. Рябов И.В. Цифровой синтез прецизионных сигналов: Монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 152 с.
7. Ченакин А. Частотный синтез: текущие решения и новые тенденции // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2008. № 1. С. 92-97.
8. Leeson D. B. A Simple Model of Feedback Oscillator Noise Spectrum // IEEE Proc. Letters. February 1966. Vol. 54. Pp. 329-330.
9. Rubiola E. Phase Noise and Frequency Stability in Oscillators. Cambridge University Press, 2009. 203 p.
10. Рыжков А. В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи М.: Радио и связь, 1991. 264 с.
11. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот / В.В. Ромашов, Л.В.

Ромашова, К.К. Храмов и др. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 1. С. 5-20.

12. Romashov V.V., Yakimenko K.A. Modelling and comparing of phase noise curves of hybrid synthesizers // Proc. of the 2015 Int. Siberian Conf. on Control and Communications (SIBCON). – Omsk State Technical University, Russia, Omsk, May 20–22, 2015. ISBN: 978-147997102-2. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147198.

13. Ромашов В.В., Ромашова Л. В. Моделирование шумовых характеристик интегральных цифровых вычислительных синтезаторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 4. С. 20-23.

14. Жабин А. С., Кулешов В. Н., Голубков А.В. Собственные шумы ИЧФД и их влияние на работу синтезатора частот // Вестник МЭИ. № 1. 2011. С. 60-68.

Статья поступила в редакцию 14.12.16.

### Информация об авторах

*РОМАШОВ Владимир Викторович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов – теория цифровых вычислительных синтезаторов, гибридных синтезаторов частот, формирователей радиосигналов на основе таких синтезаторов для радиотехнических систем. Автор 200 публикаций.

*ЯКИМЕНКО Кирилл Александрович* – аспирант кафедры радиотехники, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов – гибридный метод синтеза частот. Автор 30 публикаций.

*ДОКТОРОВ Андрей Николаевич* – аспирант кафедры системы автоматизированного проектирования, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов – цифровые вычислительные синтезаторы частот. Автор 30 публикаций.

*РОМАШОВА Любовь Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов – цифровые вычислительные синтезаторы частот и их применение для формирования радиосигналов радиотехнических систем. Автор 50 публикаций.

UDC 621.396

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.6

### EXPERIMENTAL RESEARCH ON NOISE CHARACTERISTICS OF HYBRID FREQUENCY SYNTHESIZERS BASED ON THE DIRECT DIGITAL AND THE INDIRECT SYNTHESIS

*V. V. Romashov, K. A. Yakimenko, A. N. Doktorov, L. V. Romashova*

Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs,  
23, Orlovskaya Street, Vladimir region, Murom, 602264, Russian Federation  
E-mail: yakimenko.kirill@yandex.ru

**Key words:** hybrid frequency synthesizers; phase-locked loop; PLL; direct digital synthesizer; phase noise.

### ABSTRACT

**Introduction.** The issues of improving the characteristics and parameters of harmonic oscillations generators for modern radio systems are urgent today. There are two most common methods of synthesis of harmonious oscillations: the indirect synthesis (based on phase locked loop – PLL) and the direct digital synthesis (direct digital synthesizers – DDS). These methods have their own advantages and disadvantages. The hybrid method of synthesis represents the combination of the above-mentioned methods of synthesis. It allows reducing the influence of disadvantages considerably. **The purpose** of this work is the research on noise and spectral characteristics of two types of hybrid synthesizers based on the PLL and the DDS: the hybrid synthesizer with the DDS as the reference generator of the PLL system and the hybrid synthesizer with the DDS in the feedback loop of the PLL system. To achieve the purpose, the following **problems** were solved in this work. The test models of hybrid frequency synthesizers based on modern integral chips were developed. Spectral and noise characteristics of these mod-

els were investigated, the mathematical modeling of the power spectral density (PSD) of phase noise of hybrid frequency synthesizers was performed and the comparison of developed mathematical models with experimental data was made. **Results.** The maximum level of discrete spurious spectrum components of the output signal of hybrid frequency synthesizers is less than that of the current integrated direct digital synthesizers (about 24-26 dB). Hybrid frequency synthesizers have the gain in the level of power spectral density of phase noise, compared to the modern systems of PLL due to the possibility of setting the maximum possible comparison frequency in a frequency-phase detector (up to 10-15 dBc/Hz). Hybrid frequency synthesizers can generate signals with higher frequencies than modern integrated direct digital synthesizers without the use of additional multipliers; therefore hybrid frequency synthesizers have the gain in the phase noise level up to 4-7 dBc/Hz at the low offset frequency and up to 15-20 dBc/Hz at the high offset frequency from the carrier. The developed mathematical models of noise characteristics of hybrid frequency synthesizers allow calculating the level of PSD of phase noise at offset frequencies from the carrier from 10 Hz to 10 MHz for any values of clock and output frequencies with a sufficient degree of accuracy.

**The research was carried out with financial support from the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the project: № 16-37-00299 мол. а.**

## REFERENCES

1. Shahgildyan V.V., Lyahovkin A. A. *Sistemy fazovoy avtopodstroiki chastoty* [Phase-Locked Loop Systems]. Moscow: Svyaz', 1972. 446 pp.
2. Kroupa V. F. *Phase Lock Loops and Frequency Synthesis*. John Wiley & Sons, Ltd, 2003. 320 p.
3. Kochemasov V. N., Fadeev A. N. Tsifrovye vychislitel'nye sintezatory dvukhurovnevnykh signalov s kompensatsiyey fazovykh oshibok [Direct Digital Synthesizers of Two-Level Signals with the Compensation of Phase Errors]. *Radiotekhnika* [Radio Engineering]. 1982. Vol. 37, No 10. Pp. 15-19.
4. Kroupa V. F. *Direct Digital Frequency Synthesizers*. John Wiley & Sons, Ltd, 1998. 396 pp.
5. Yampurin N. P., Boloznev V. V., Safonov E. V., Zhalnin E. B. *Formirovanie pretsizionnykh chastot i signalov* [Generation of Precise Frequencies and Signals]. Nizhny Novgorod: NNSTU, 2003. 187 p.
6. Ryabov I. V. *Tsifrovoy sintez pretsizionnykh signalov*: Monografiya [Digital Synthesis of Precise Signals: Monograph]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2005. 152 p.
7. Chenakin A. Chastotnyy sintez: tekushchie resheniya i novye tendentsii [Frequency Synthesis: Current Solutions and New Trends]. *ELEKTRONIKA: Nauka, Tekhnologiya* [Business/ELECTRONICS: Science, Technology, Business]. 2008. No 1. Pp. 92-97.
8. Leeson D. B. A Simple Model of Feedback Oscillator Noise Spectrum. *IEEE Proc. Letters*, February 1966. Vol. 54. Pp. 329-330.
9. Rubiola E. *Phase Noise and Frequency Stability in Oscillators*. Cambridge University Press, 2009. 203 pp.
10. Ryzhkov A. V., Popov V. N. *Sintezatory chastot v tekhnike radiosvyazi* [Frequency Synthesizers in Radio Communication Technology]. Moscow: Radio and communication. 1991. 264 pp.
11. Romashov V.V., Romashova L.V., Khramov K.K. et al. Modelirovanie shumovykh kharakteristik gibridnykh sintezatorov chastot [Modeling of Noise Characteristics of Hybrid Frequency Synthesizers]. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy* [Radio Engineering and Telecommunication Systems]. 2014. No 1. Pp. 5-20.
12. Romashov V. V., Yakimenko K. A. Modeling and comparing of phase noise curves of hybrid synthesizers. Proc. of the 2015 Int. Siberian Conf. on Control and Communications (SIBCON). Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 20–22, 2015. ISBN: 978-147997102-2. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147198.
13. Romashov V. V., Romashova L. V. Modelirovanie shumovykh kharakteristik integral'nykh tsifrovyykh vychislitel'nykh sintezatorov [Simulation of Noise Characteristics of Integrated Direct Digital Synthesizers]. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy* [Radio Engineering and Telecommunication Systems]. 2011. No 4. Pp. 20-23.
14. Zhabin A. S., Kuleshov V. N., Golubkov A. V. Sobstvennyye shumy IChFD i ikh vliyanie na rabotu sintezatora chastot [Intrinsic Noise of the PFPD and their Influence on the Frequency Synthesizer Performance]. *Vestnik MEI* [Bulletin of MPEI]. 2011. No. 1. Pp.60-68.

The article was received 14.12.16.

**Citation for an article:** Romashov V. V., Yakimenko K. A., Doktorov A. N., Romashova L. V. Experimental Research on Noise Characteristics of Hybrid Frequency Synthesizers Based on the Direct Digital and the Indirect Synthesis. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2017. No 1 (33). Pp. 6-17. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.6

**Information about authors**

*ROMASHOV Vladimir Viktorovich* – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of the Chair of Radio Engineering at Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs. The sphere of scientific interests is the theory of direct digital synthesizers, hybrid frequency synthesizers, shapers of radio signals based on the synthesizers for radio engineering systems. The author of 200 publications.

*YAKIMENKO Kirill Aleksandrovich* – a postgraduate student of the Chair of Radio Engineering at Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs. The sphere of scientific interests is the hybrid frequency synthesis method. The author of 30 publications.

*DOKTOROV Andrey Nikolayevich* – a postgraduate student of the Chair of Computer -Aided Design at Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs. The sphere of scientific interests is direct digital synthesizers. The author of 30 publications.

*ROMASHOVA Lyubov Vladimirovna* – Candidate of Engineering, the Associate Professor of the Chair of Radio Engineering at at Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs. The sphere of scientific interests is direct digital synthesis used for generating of signals for radio systems. The author of 50 publications.

УДК 621.396

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.18

## АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ШУМОВЫХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНКИ КВАНТИЛЕЙ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЦЕССА

**Е. С. Фитасов**

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н. И. Лобачевского,  
Российская Федерация, 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23  
E-mail: fitasoves@mail.ru

*Предложен и проанализирован метод обнаружения источников шумовых активных помех с адаптивным порогом обнаружения на основе оценки квантилей статистического распределения процесса. Приведены результаты моделирования и показана эффективность применения данного метода, по сравнению с классическими методами «скользящего среднего», в случае сложной сигнально-помеховой обстановки – маскировки слабого сигнала интенсивной помехой, взаимной маскировки нескольких сигналов, одновременно находящихся в скользящем окне данных и в области скачкообразного изменения помехи. Приведены результаты моделирования пеленгации источников шумовых активных помех с формированием порога обнаружения на основе метода порядковых статистик и приведены результаты моделирования для случая обнаружения групповых объектов при наличии сильных боковых лепестков диаграммы направленности. Приведены оценки чувствительности и точностных характеристик системы пеленгации источников активной помехи на основе метода порядковых статистик.*

**Ключевые слова:** источник шумовых активных помех; пеленг; метод скользящего среднего; метод скользящего среднего с отбором максимума; метод порядковых статистик; метод порядковых статистик модифицированный; квантили.

### Список литературы

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Советское радио, 1967. 391 с.
2. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.
3. Михеев П.В. Многомерная гауссовская плотность вероятности в вырожденном случае и её применения // Известия вузов. Радиофизика. 2006. Т. XLIX. № 7. С. 626-634.
4. Орлов И.Я., Цветков В.Е. Адаптивная оценка параметров импульсного процесса на фоне узкополосного шума методом пороговых статистик // Известия вузов. Радиофизика. 2000. Т. XLIII. № 7. С. 665-671.
5. Rohling H. Radar CFAR thresholding in Clutter and Multiple target situations // IEEE Trans.: VAES-19. 1983. No 4. Pp. 601-621.
6. Бакулев П.А., Басистов Ю.А., Тугуши В.Г. Обработка сигналов с постоянным уровнем ложных тревог // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1989. Т. 32. № 4. С. 4-15.
7. Витолло В.В., Дмитриенко Д.Н. Адаптивное обнаружение сигнала с использованием оценок квантиля распределения помехи // Радиотехника. 1986. № 11. С. 66-68.
8. Введение в теорию порядковых статистик: сб. ст. / Под ред. А. Я. Боярского. М.: Статистика, 1970. 416 с.
9. Дейвид Г. Порядковые статистики. М.: Наука, 1979. 336 с.
10. Михеев П. В., Фитасов Е. С. Метод формирования адаптивного порога обнаружения // Труды междунар. выставки-конф. «Новые технологии в радиоэлектронике и системах управления». Н. Новгород, 2002. С. 125.
11. Насонов В.В., Фитасов Е.С., Хмылов Е.С. Адаптивный метод формирования порога обнаружения радиолокационных целей на основе оценки квантилей статистического распределения процесса на выходе системы временной обработки сигналов // Вестник Ярославского государственного университета. Серия Естественные и технические науки. 2013. № 3. С. 33-37
12. Лезин Ю.С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. М.: Советское радио, 1963. 319 с.

13. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.

Статья поступила в редакцию 18.01.17.

#### Сведения об авторе

ФИТАСОВ Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского (ННГУ). Область научных интересов – радиолокация, методы помехозащиты радиоэлектронных систем. Автор 50 публикаций.

UDC 621.396

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.18

### ADAPTIVE ALGORITHM OF THE DIRECTION FINDING OF ACTIVE NOISE INTERFERENCE SOURCES USING THE ASSESSMENT OF STATISTICAL PROCESS DISTRIBUTION QUANTILES

*E. S. Fitasov*

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,  
23, Gagarin Avenue, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation  
E-mail: fitasoves@mail.ru

**Key words:** active noise interference source; bearing; moving average method; moving average method with maximum selection; method of order statistics; modified order statistics method; quantiles.

#### ABSTRACT

**Introduction.** The problem of detecting active noise interference sources against the background of the intrinsic noise of a receiver can be interpreted as a special case of the general problem of detecting a desired signal against the background of interference. A simple hypothesis about the presence of a signal versus a simple alternative (that there is no signal in the input mixture) is tested. To make a decision, a function is composed of the input sample, which is then compared with the preset threshold. At the same time, the threshold has to be formed on the basis of adaptive algorithms that make it possible to overcome a prior uncertainty. In the article this problem is considered with regard to pulsed radars of a circular view with a large dynamic range of the signal processing path. In this case, in addition to external stationary and nonstationary interference, it is necessary to take into account the reception of interference by the side lobes of the antenna diagram. Besides, when forming the adaptive threshold, there is a problem of disguising weak signals (interference) with strong ones. The **purpose** of the work is the analysis and synthesis of the adaptive algorithm for direction finding of active noise interference sources under conditions of complex jamming environment. **Results.** A method for detecting active noise interference sources with an adaptive detection threshold based on the estimation of statistical process distribution quantiles is proposed and analyzed. The results of the simulation are presented and the effectiveness of this method is shown in comparison with classical "moving average" methods, in the case of complex signal-interference environment - disguising a weak signal by intense interference, mutual disguising of several signals, simultaneously located in a sliding data window and in the area of the abrupt interference change. The results of modeling of the direction finding of active noise interference sources with the formation of the detection threshold based on the method of order statistics are presented, and the results of modeling for the case of detecting group objects in the presence of strong side lobes of the directivity pattern are given. The estimation of the sensitivity and accuracy characteristics of the direction finding system for active interference sources on the basis of the method of order statistics is presented. **Conclusions.** Under conditions of detecting several sources of active noise interference, as well as with a large dynamic range of the processing path, the proposed modified method of order statistics has significantly better characteristics than the known moving average method. Therefore, for the practical implementation of the device for the formation of the adaptive detection threshold in the system of direction finding of active noise interference sources, the modified method of order statistics can be recommended.

## REFERENCES

1. Levin B.R. Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki [Theoretical Foundations of Statistical Radio Engineering]. Moscow: Sovetskoe radio, 1967. 391 p.
2. Shirman Ya. D, Manzhos V.N. Teoriya i tekhnika obrabotki radiolokatsionnoy informatsii na fone pomekh [Theory and Technique of Radar Information Processing Against the Background of Interference]. Moscow: Radio i svjaz', 1981. 416 p.
3. Miheev P.V. Mnogomernaya gaussovskaya plotnost' veroyatnosti v vyrozhdennom sluchae i ee primeneniya [Multidimensional Gaussian Probability Density in a Degenerate Case and its Applications]. *Izvestiya vuzov. Radiofizika* [News of Institutions of Higher Education. Radiophysics]. 2006. Vol. XLIX. No 7. Pp. 626-634.
4. Orlov I.Ya., Tsvetkov V.E. Adaptivnaya otsenka parametrov impul'snogo protsessa na fone uzkopolosnogo shuma metodom porogovykh statistik [Adaptive Estimation of the Parameters of the Pulsed Process on the Background of Narrowband Noise by the Method of Threshold Statistics]. *Izvestiya vuzov. Radiofizika* [News of Institutions of Higher Education. Radiophysics]. 2000. Vol. XLIII. No 7. Pp. 665-671.
5. Rohling H. Radar CFAR thresholding in Clutter and Multiple target situations. *IEEE Trans.: VAES-19*. 1983. No 4. Pp. 601-621.
6. Bakulev P.A., Basistov Ya.A., Tugushi V.G. Obrabotka signalov s postoyannym urovnem lozhnykh trevog [Signal Processing with the Constant Level of False Alarm]. *Izvestiya vuzov. Radioelektronika* [News of Institutions of Higher Education. Radioelectronics]. 1989. Vol. 32. No 4. Pp. 4-15.
7. Vitollo V.V., Dmitrienko D.N. Adaptivnoe obnaruzhenie signala s ispol'zovaniem otsenok kvantilya raspredeleniya pomekhi [Adaptive Detection of a Signal Using Estimates of the Quantile of Interference Distribution]. *Radiotekhnika* [Radio Engineering]. 1986. No 11. Pp. 66-68.
8. Vvedenie v teoriyu poryadkovykh statistik [Introduction to the Theory of Order Statistics]: proceedings / Edited by A. Ya. Boyarsky. Moscow: Statistics, 1970. 416 p.
9. David H. Poryadkovye statistiki [Order Statistics]. Moscow: Nauka, 1979. 336 p.
10. Miheev P.V., Fitasov E.S. Metod formirovaniya adaptivnogo poroga obnaruzheniya [Method of Forming the Adaptive Detection Threshold]. *Trudy mezhdunar. vystavki-konf. «Novye tekhnologii v radioelektronike i sistemakh upravleniya»* [Proceedings of the International Exhibition-Conference «New Technologies in Radioelectronics and Control Systems»]. N. Novgorod, 2002. P. 125.
11. Nasonov V.V., Fitasov E.S., Hmylov E.S. Adaptivnyy metod formirovaniya poroga obnaruzheniya radiolokatsionnykh tseley na osnove otsenki kvantiley statisticheskogo raspredeleniya protsessa na vykhode sistemy vremennoy obrabotki signalov [Adaptive Method of Forming the Threshold of Detection of Radar Targets Based on the Estimation of Quantiles of Statistical Process Distribution at the Output of the System of Time Signal Processing]. *Vestnik Yaroslavskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [The Bulletin of Yaroslavl State University. Series Natural and Technical Sciences]. 2013. No 3. Pp. 33-37.
12. Lezin Yu.S. Optimal'nye fil'try i nakopiteli impul'snykh signalov [Optimal Filters and Accumulators of Pulsed Signals]. Moscow: Sovetskoe radio, 1963. 319 p.
13. Tihonov V.I. Statisticheskaya radiotekhnika [Statistical Radio Engineering; the second edition, revised and completed]. Moscow: Radio i svyaz', 1982. 624 p.

The article was received 18.01.17.

**Citation for an article:** Fitasov E. S. Adaptive Algorithm of the Direction Finding of Active Noise Interference Sources Using the Assessment of Statistical Process Distribution Quantiles. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2017. No 1 (33). Pp. 18-25. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.18

#### Information about the author

*FITASOV Evgeny Sergeevich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Chair of Radio Engineering at Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. The sphere of scientific interests is radiolocation, methods of interference protection of radio-electronic systems. The author of 50 publications.

УДК 621.371.3

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.26

## ЛИНЕЙНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ФУНКЦИЙ ИОНОСФЕРНЫХ РАДИОКАНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМ ЛЧМ-СИГНАЛОМ

**В. А. Иванов, Н. В. Рябова**

Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3  
E-mail: RyabovaNV@volgatech.net

*Приведены результаты исследования нового подхода к линейному прогнозированию структурных функций ионосферных радиоканалов (предикторных функций) с использованием Базы данных экспериментальных ионограмм, полученных на сети ЛЧМ-иозондов, покрывающих радиолинии, протяжённостью от 2,6 до 5,7 тыс. км, территорию Западной части России и Сибири.*

**Ключевые слова:** линейное прогнозирование; ионосфера; радиоканал; зондирование; ЛЧМ-сигнал; структурная функция.

**Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 15-07-05294).**

### Список литературы

1. Рябова Н.В. Диагностика и имитационное моделирование помехоустойчивых декаметровых радиоканалов: монография. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2003. 291 с.
2. Синтез, анализ и прогнозирование характеристик ионосферных линий декаметровой радиосвязи / В.А. Иванов, Д.В. Иванов, Н.В. Рябова и др. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. 180 с.
3. Research of dispersion distortion of signals in the ionospheric plasma and optical fiber / M.I. Ryabova, V.A. Ivanov, D.V. Ivanov et al. // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 9807, art. no. 98070N. 2016.
4. Developing methods and software for research the effects of phase dispersion depending of the state of ionospher based on LabVIEW/ V.A. Ivanov, D.V. Ivanov, N.V. Ryabova et al. // International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 - Proceedings, art. no. 7491781. 2016.
5. Адаптивная фильтрация сосредоточенных помех при зондировании многомерного КВ-канала с помощью программно-аппаратного комплекса, созданного по технологии программно-конфигурируемого радио / Д.В. Иванов, В.А. Иванов, Н.В. Рябова и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 3 (31). С. 6-17.
6. Дальнее управление экспериментом по наклонному зондированию ионосферных каналов КВ-связи // Д.В. Иванов, В.А. Иванов, Е.В. Катков и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 3 (31). С. 18-30.
7. Иванов В. А., Рябова Н. В., Бастркова М.И. Методика определения помехоустойчивости ионосферных радиоканалов с помощью ЛЧМ-иозонда с SDR-приемником // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. М.: ООО «Издательский дом Медиа публишер», 2016. Т. 7. № 4. С. 22-24.
8. Моделирование системы построения импульсных характеристик трансionoсферных радиоканалов в условиях частотной дисперсии / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, Н. В.Рябова и др. // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. М.: ООО «Издательский дом Медиа публишер», 2016. Т. 7. № 4. С. 22-24.

Статья поступила в редакцию 27.01.17.

### Информация об авторах

*ИВАНОВ Владимир Алексеевич* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – ионосфера, распространение радиоволн, моделирование, широкополосные сигналы. Автор 289 публикаций.

*РЯБОВА Наталья Владимировна* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и связи, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – информационно-телекоммуникационные системы, ионосфера, распространение радиоволн, прогнозирование, моделирование, адаптивные системы. Автор 212 публикаций.

UDC 621.371.3

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.26

### LINEAR PREDICTION OF STRUCTURE FUNCTIONS OF IONOSPHERIC RADIO CHANNELS USING THE DATA OF THE PROBING BY A MULTIELEMENT LFM - SIGNAL

*V. A. Ivanov, N. V. Ryabova*

Volga State University of Technology,  
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: RyabovaNV@volgatech.net

**Key words:** *linear prediction; ionosphere; radio channel; probing; LFM-signal; structure function.*

#### ABSTRACT

*In the process of multifrequency communication system operation, the problem of the prediction of communication channel structure functions (prediction functions) for a certain specified interval (delay time) arises. At present in order to solve this problem, the analytical and empirical ionosphere models have been developed. Using these models together with radio wave propagation models allows predicting the ionosphere parameters. However the accuracy of these predictions is not high especially in the periods of ionospheric disturbances. Prediction systems, combining the channel diagnostic and calculations using the models of the ionosphere and ionospheric radio wave propagation allow diminishing this disadvantage. A new approach to the linear prediction of ionospheric radio channel structure function (prediction functions) has been justified and investigated. The algorithms for the implementation of the method of the structure functions prediction using the data of radio probing by a multielement LFM-signal have been developed. The techniques for the verification of structure functions prediction models have been developed. The problem of the filtering of experimental values of prediction functions has been solved. Experimental research of prediction functions using the example of the maximally observed frequency of a multifrequency communication radio line was conducted with the use of modern digital LFM-ionosondes (Volgatech developments) with the breakthrough technology SDR, the Bank of ionogram data, received by Volgatech scientists on radio lines of the different extent and geographical orientation. Spectral methods of the filtering of the prediction function daily variation with the aim of regular component selection were investigated. The method and the algorithm of the estimation of prediction function filtered component randomness was suggested. It was experimentally stated that the mean square deviation of the random component does not exceed 100-150 kHz for calm ionospheric conditions. The verification of the developed method of the linear prediction was carried out using the Database of experimental ionograms, received at the network of LFM-ionosondes, covering the territory of the Western part of Russia and Siberia by radio lines, extending from 2,6 to 5,7 thousand kilometers.*

**The work was carried out with the grant support from the Russian Foundation for Basic Research project: 15-07-05294.**

#### REFERENCES

1. Ryabova N.V. *Diagnostika i imitatsionnoe modelirovanie pomexoustoichivyykh dekametrovykh radiokanalov, monografiya* [Diagnostics and Simulation Modeling of Noise-Immune Decameter Radio Channels, Monograph]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2003. 291 p.
2. Ivanov V.A., Ivanov D.V., Ryabova N.V., et al. *Sintez, analiz i prognozirovaniye kharakteristik ion-*

*osfernykh liniy dekametrovoy radiosvyazi* [Synthesis, Analysis and Prediction of Characteristics of Ionospheric Lines of Decameter Radio Communication]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2011. 180 p.

3. Ryabova M.I., Ivanov V.A., Ivanov D.V. et al. Research of dispersion distortion of signals in the ionospheric plasma and optical fiber. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 9807, art. no. 98070N. 2016.

4. Ivanov V.A., Ivanov D.V., Ryabova N.V. et al. Developing methods and software for re-search the effects of phase dispersion depending of the state of ionospher based on LabVIEW. *International Siberian Conference on Control and Communications*, SIBCON 2016 - Proceedings, art. no. 7491781. 2016.

5. Ivanov D. V., Ivanov V. A., Ryabova N. V. et al. Adaptivnaya fil'tratsiya sosredotochennykh pomekh pri zondirovanii mnogomernogo KV-kanala s pomoshch'yu programmno-apparatnogo kompleksa, sozdannogo po tekhnologii programmno-konfiguriruemogo radio [Adaptive Filtering of Concentrated Interference During Multidimensional Short-Wave Channel Sensing Using the Hardware-Software Complex, Implemented According to the Software-Defined Radio Technology]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2016. No 3 (31). Pp. 6-17.

6. Ivanov D. V., Ivanov V. A., Katkov E. V. et al. Dal'nee upravlenie eksperimentom po naklonnomu

zondirovaniyu ionosfernykh kanalov KV svyazi [Remote Control of the Experiment on the Oblique Sounding of Ionospheric Channels of Short-Wave Communication]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2016. No 3 (31). Pp. 18-30.

7. Ivanov V. A., Ryabova N. V., Bastrakova M. I. Metodika opredeleniya pomekhoustoichivosti ionosfernykh radiokanalov s pomoshch'yu LChM-ionozonda s SDR priemnikom [The Method of the Determination of Noise Immunity of Ionospheric Radio Channels Using a LFM-Ionosonde with a SDR Receiver]. *Sistemy sinkhronizatsii, formirovaniya i obrabotki signalov* [Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications]. Moscow: «Publishing house Media publisher», 2016. Vol. 7, No 4. Pp. 22-24.

8. Ivanov V. A., Ivanov D. V., Ryabova N. V. et al. Modelirovanie sistemy postroeniya impul'snykh kharakteristik transionosfernykh radiokanalov v usloviyakh chastotnoy dispersii [Modeling of the System of the Construction of Pulse Characteristics of Transionospheric Radio Channels Under Conditions of Frequency Dispersion]. *Sistemy sinkhronizatsii, formirovaniya i obrabotki signalov* [Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications]. Moscow: «Publishing house Media publisher», 2016. Vol. 7, No 4. Pp. 25-27.

The article was received 27.01.17.

**Citation for an article:** Ivanov V. A., Ryabova N. V. Linear Prediction of Structure Functions of Ionospheric Radio Channels Using the Data of the Probing by a Multielement LFM-Signal. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2017. No 1 (33). Pp. 26-37. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.26

#### Information about the authors

*IVANOV Vladimir Alekseevich* – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, the Head of the Chair of Higher Mathematics, Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is the ionosphere, the propagation of radio waves, modeling and broadband signals. The author of 289 publications.

*RYABOVA Natalia Vladimirovna* – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, the Head of the Chair of Radio Engineering and Communication, Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is information and telecommunication systems, the ionosphere, the propagation of radio waves, forecasting, modeling, adaptive systems. The author of 212 publications.

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 621.391

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.38

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ

**Я. А. Фурман<sup>1</sup>, В. В. Севастьянов<sup>1,2</sup>, К. О. Иванов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3  
E-mail: krtmbs@volgatech.net

<sup>2</sup>Центр патологии речи и нейрореабилитации нейросенсорных и двигательных нарушений  
Министерства здравоохранения Республики Марий Эл,  
Российская Федерация, 424031, Йошкар-Ола, ул. Пролетарская, 65  
E-mail: cpr@mari-el.ru

*Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) рассмотрена как изображение, ограниченное полигональным контуром. В качестве её математической модели принята последовательность заданных в аналитическом виде элементарных векторов. Предложен подход к анализу сигнала, заключающийся в оценке параметров каждой отдельной волны. Разработаны алгоритмы вычисления информативных признаков форм волн, достаточные для их классификации. Показаны преимущества контурной модели при определении информативных признаков волн и использования предложенных алгоритмов вычисления информативных признаков форм при обработке реальных ЭЭГ.*

**Ключевые слова:** дискретное преобразование Фурье; контурный согласованный фильтр; математическая модель ЭЭГ; скалярное произведение; элементарный вектор; элементарный контур; электроэнцефалограмма.

### Список литературы

1. *Зенков Л.Р.* Клиническая электроэнцефалография. М: МЕДпресс-информ, 2013. 356 с.
2. *Кропотов Ю.Д.* Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. Донецк: Издатель Заславский АЮ, 2010. 512 с.
3. *Кулаичев А. П.* Об информативности когерентного анализа в исследованиях ЭЭГ // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2009. Т. 59. № 6. С. 757-767.
4. Контурная математическая модель электроэнцефалограммы / Я. А. Фурман, В. В. Севастьянов и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2015. № 2 (26). С. 50-61.
5. *Furman Ya. A., Sevastyanov V. V., Ivanov K. O.* Contour analysis of a fine structure in an electroencephalogram // Pattern Recognition and Image Analysis. 2016. Issue 4. Vol. 26. Pp. 758-772.
6. *Жирминская Е. А.* Клиническая электроэнцефалография. М.: Мэйби, 1991. 78 с.
7. *Цыган В.Н., Богословский М.М., Мирюлов А.В.* Электроэнцефалография / под ред. М.М. Дьяконова. СПб.: Наука, 2008. 192 с.
8. Сегментация тонкой структуры электроэнцефалограммы / Я. А. Фурман, В. В. Севастьянов, К. О. Иванов и др. // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 54. Часть 2. С. 56-67.
9. *Фурман Я. А., Севастьянов В. В., Иванов К. О.* Локальный анализ электроэнцефалограмм по их контурным моделям // Материалы VII Всероссийской научной конференции «Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред». Муром, 2016. С. 377-383.
10. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Крещетский, А.К. Передреев и др. М.: Физматлит, 2002. 592 с.

Статья поступила в редакцию 01.02.17.

### **Информация об авторах**

*ФУРМАН Яков Абрамович* – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – цифровая обработка изображений и сигналов, распознавание образов. Автор 150 публикаций.

*СЕВАСТЬЯНОВ Виктор Викторович* – доктор медицинских наук, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем, Поволжский государственный технологический университет; главный врач Центра патологии речи и нейрореабилитации нейро-сенсорных и двигательных нарушений Министерства здравоохранения Республики Марий Эл. Область научных интересов – неврология, программируемая электростимуляция, лазеростимуляция, медикаментозная терапия, лечение речевых нарушений с применением радиоэлектронных устройств. Автор 200 публикаций и девяти патентов за рубежом.

*ИВАНОВ Константин Олегович* – аспирант кафедры радиотехнических и медико-биологических систем, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – цифровая обработка изображений и сигналов. Автор 20 публикаций.

UDC: 621.391

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.38

**FORMATION OF INFORMATIVE FEATURES FOR AUTOMATIC EEG CLASSIFICATION***Ya. A. Furman<sup>1</sup>, V. V. Sevastyanov<sup>1,2</sup>, K. O. Ivanov<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Volga State University of Technology,  
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: krtmbs@volgatech.net<sup>2</sup>Center for Speech Pathology and Neurorehabilitation of Neurosensor and Motor Disturbances,  
65, Proletarskaya St., Yoshkar-Ola, 424031, Russian Federation  
E-mail: cpr@mari-el.ru

**Key words:** discrete Fourier transform; contour matched filter; mathematical model of EEG; scalar product; elementary vector; elementary contour; electroencephalogram.

**ABSTRACT**

**Introduction.** In clinical neurophysiology two approaches to solving diagnostic problems by the results of the EEG analysis have been developed. The first approach is based on the visual analysis, carried out by an experienced clinician, and the second approach uses the capabilities of digital signal processing for the automatic EEG analysis on computers. Despite the development of computer methods of EEG signal processing, the task of the automatic creation of clinical EEG reports is not currently solved, and the effectiveness of the automatic analysis is lower than the efficiency of visual techniques in clinical electroencephalography. **The purpose** of the article is the formation of informative features of local zones of the EEG, on the basis of which the problem of its automatic classification can be solved. For this purpose, the following **problems** are solved: 1) the review of the authors' contour model of an EEG signal, allowing its decomposition and the determination of informative parameters of EEG element forms; 2) the analysis of visual signs of EEG waveforms; 3) the determination of informative features of EEG segments, sufficient for their classification; 4) the development of algorithms for computing the introduced features with the unified stand on contour analysis. **The results.** On the basis of the visual EEG analysis, the necessary features of EEG segments, sufficient for their classification were determined. The algorithms for computing the introduced informative features were developed. The advantages of using the EEG contour model when determining the informative parameters of waveforms were shown. They consist in improving the reliability of the determination of the extremum position due to the contour equalization and the estimation of the pulse deflection from the vertical position. An example of the analysis of the real EEG, classified as the norm by means of spectral and correlation methods was considered. Using the results of its contour model analysis, where the informative features of waveforms are compared with the ranges of their values, used in clinical practice, the conclusion about the normality, a borderline case and the pathology of a nervous system was made. **Practical significance** of the work lies in the fact that the proposed approach in the form of estimates of the parameters of each individual EEG oscillation allows you to store more information about EEG signal dynamics and diagnose conditions, which cannot be detected by existing methods of the analysis.

**REFERENCES**

1. Zenkov L.R. *Klinicheskaya elektroentsefalografiya* [Clinical Electroencephalography]. Moscow: MEDpress-inform, 2013. 356 p.
2. Kropotov Yu.D. *Kolichestvennaya EEG, kognitivnye vyzvannye potentsialy mozga cheloveka i neiroterapiya* [Quantitative EEG, Cognitive Evoked Human Brain Potentials and Neurotherapy]. Donetsk: Editor Zaslavsky A.Yu., 2010. 512 p.
3. Kulaichev A. P. Ob informativnosti kogerentnogo analiza v issledovaniyakh EEG [On the Information Value of the Coherent Analysis in EEG Research]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova* [Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlov]. 2009. Vol. 59. No 6. Pp. 757-767.
4. Furman Ya. A., Sevastyanov V. V. et al. Konturnaya matematicheskaya model' elektroentsefalogrammy [Contour Mathematical Model of an Electroencephalogram]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Volga State University of Technology].

Ser. Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2015. No 2 (26). Pp. 50-61.

5. Furman Ya. A., Sevastyanov V. V., Ivanov K. O. Contour analysis of a fine structure in an electroencephalogram. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2016. Issue 4. Vol. 26. Pp. 758-772.

6. Zhirminskaya E. A. *Klinicheskaya elektroentsefalografiya* [Clinical Electroencephalography]. Moscow: Maybey, 1991. 78 p.

7. Tsygan V. N., Bogoslovsky M. M., Miroluybov A.V. *Elektroentsefalografiya* [Electroencephalography] / edited by M. M. Dyakonov. StPb.: Nauka, 2008. 192 p.

8. Furman Ya. A., Sevastyanov V. V., Ivanov K. O. et al. Segmentatsiya tonkoy struktury elektroentsefalogrammy [Segmentation of the Fine Structure of an Electroencephalogram]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo uni-*

*versiteta* [Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University]. 2015. No 54. Part 2. Pp. 56-67.

9. Furman Ya. A., Sevastyanov V. V., Ivanov K. O. Lokal'nyy analiz elektroentsefalogramm po ikh konturnym modelyam [Local Analysis of Electroencephalograms According to their Contour Models]. *Materialy VII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Radiofizicheskie metody v distantsionnom zondirovanii sred»* [Proceedings of VII All-Russian Scientific Conference «Radiophysical Techniques in Remote Sensing of Mediums»]. Murom, 2016. Pp. 377-383.

10. Furman Ya.A., Krevetsky A.V., Peredreev A.K. et al. Vvedenie v konturnyy analiz i ego prilozheniya k obrabotke izobrazheniy i signalov [Introduction to Contour Analysis and its Applications to Image and Signal Processing]. Moscow: Fizmatlit, 2002. 592 p.

The article was received 01.02.17.

**Citation for an article:** Furman Ya. A., Sevastyanov V. V., Ivanov K. O. Formation of Informative Features for Automatic EEG Classification. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2017. No 1 (33). Pp. 38-50. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.38

#### Information about the authors

*FURMAN Yakov Abramovich* – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair of Medical-Biological System Engineering at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is digital image and signal processing, pattern recognition. The author of 150 publications.

*SEVASTYANOV Viktor Viktorovich* – Doctor of Medicine, Professor of the Chair of Medical-Biological System Engineering at Volga State University of Technology, the Head of the Center for Speech Pathology and Neurorehabilitation of Neurosensor and Motor Disturbances, the Ministry of Healthcare of the Republic of Mari El. The sphere of scientific interests is neurology, programmable electrostimulation, laser stimulation, pharmacological therapy, speech disorders treatment using radio electronic devices. The author of 200 publications and 9 patents abroad.

*IVANOV Konstantin Olegovich* – a postgraduate student of the Chair of Medical-Biological System Engineering at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is digital image and signal processing. The author of 20 publications.

## ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.37/.39:621.317

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.51

### ПАНОРАМНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫХОДНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ МОЩНОСТИ ПРИЁМО-ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ СВЧ-ДИАПАЗОНА

*Н. В. Рябова<sup>1</sup>, Ю. С. Чавайн<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

E-mail: RyabovaNV@volgatech.net

<sup>2</sup>АО «Марийский машиностроительный завод»,  
424003, Йошкар-Ола, ул. Суворова, 15

E-mail: chavayn@inbox.ru

*Разработана методика и определена погрешность измерения выходной импульсной мощности приёмно-передающих устройств диапазона сверхвысоких частот (СВЧ) с применением векторного анализатора цепей (ВАЦ) при выборе одной измерительной точки на огибающей радиоимпульса. Проведён сравнительный анализ измерений импульсной мощности по предлагаемой методике с применением ВАЦ и калориметрическим способом с применением измерителя мощности МЗ-5б.*

**Ключевые слова:** приёмно-передающее устройство; импульсная мощность; огибающая радиоимпульса; векторный анализатор цепей.

**Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 15-07-05294).**

#### Список литературы

1. Андронов Е. В., Глазов Г. Н. Теоретический аппарат измерений на СВЧ: Т. 1. Методы измерений на СВЧ. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. 804 с.
2. Popovic Z., Kuester E. F. Principles of RF and microwave measurements. University of Colorado, 2013. 271 p.
3. Principles of Power Measurement. A Primer on RF & Microwave Power Measurement – Wireless Telecom Group, 2011. 139 p.
4. Fantom A. Radio frequency and microwave power measurement. London: Peter Peregrinus Ltd., 1990. 278 p.
5. Collier R.J., Skinner A.D. Microwave measurements 3rd edition. London: The Institution of Engineering and Technology, 2007. 471 p.
6. Хибель М. Основы векторного анализа цепей / Пер. с англ. С. М. Смольского; под ред. У. Филипп. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 500 с.
7. Чавайн Ю.С., Павлов В.В. Панорамные измерения импульсной мощности широкополосных усилителей диапазона СВЧ // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы IX международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (Йошкар-Ола, 18-19 апреля 2014 г.): в 3 ч. / редкол.: Д.В. Иванов [и др.]. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. Ч. 2. С. 246 - 248.
8. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т. 1. Пер. с англ.-4-е изд., перераб. и доп. М.: Мир, 1993. 413 с.

Статья поступила в редакцию 22.12.16.

### Информация об авторах

*РЯБОВА Наталья Владимировна* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и связи, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – информационно-телекоммуникационные системы, ионосфера, распространение радиоволн, прогнозирование, моделирование, адаптивные системы. Автор 212 публикаций.

*ЧАВАЙН Юрий Сергеевич* – аспирант ПГТУ; ведущий инженер-конструктор – научный руководитель группы, АО «Марийский машиностроительный завод». Область научных интересов – приёмно-передающие устройства, СВЧ-устройства, радиолокация. Автор четырёх публикаций.

UDC 621.37/.39:621.317

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.51

### PANORAMIC MEASUREMENTS OF THE OUTPUT PULSE POWER OF RECEIVING/TRANSMITTING DEVICES OF A MICROWAVE BAND

*N. V. Ryabova<sup>1</sup>, Yu. S. Chavayn<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Volga State University of Technology,

3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

E-mail: RyabovaNV@volgatech.net

<sup>2</sup>JSC «Mari Machine-Building Plant»,

424003, Yoshkar-Ola, Suvorov Street, 15

E-mail: chavayn@inbox.ru

**Key words:** receiving/transmitting device; pulse power; radio-pulse envelope; vector network analyzer.

#### ABSTRACT

**Introduction.** The output pulse power is the most important parameter of active phased array elements, determining the energy and tactical indices of radar stations. Most radar stations work in the frequency range that provides the additional protection from radio electronic interference in the form of operating frequency tuning. The efficiency of such protection primarily depends on the range of variable frequencies of radar stations. The tuning bandwidth is mainly limited by the band of the operation of output amplifier cascades of receiving/transmitting devices since the strictest requirements are imposed on them. As a rule the rest elements of a receiving - transmitting path have wider operating frequency ranges. Thus, the stability of radar system operation and its performance mainly depend on the tuning quality of output amplifier cascades of receiving/transmitting devices. In its turn the tuning quality depends on the choice of methods and the accuracy of measurements of pulse power. **The purpose** of the work is the development of the method of the measurement of output pulse power of receiving/transmitting devices using the vector network analyzer choosing one measurement point on the radio pulse envelope. **Results.** The method of panoramic measurements of the pulse power of broadband receiving/transmitting devices of a microwave band was developed using the vector network analyzer. The research on radio pulse envelope forms allowed determining the law in accordance with which the output power is changed during the time of radio pulse propagation. The mathematical model of the idealized exponential dependence of a radio pulse top drop was constructed. The optimum point of making measurements of the pulse power and the error, introduced by the application of this measurement method were calculated. **Conclusion.** The comparative analysis of measurement repeatability considering the value  $3 \times \sigma$ , chosen for reasons of the consideration of the probability belief 99,73 % of a random variable entering the search interval showed that the measurement error of the pulse power according to the offered method does not exceed 1,71 % that is in agreement with the definite overall error according to the results of experiments and mathematical modeling. These research results are applied during the development of hardware-software complexes of parameters measurements of receiving/transmitting devices and pulse power amplifiers.

The work was carried out with the grant support from the Russian Foundation for Basic Research (project: 15-07-05294).

## REFERENCES

1. Andronov E. V., Glazov G. N. Teoreticheskiy apparat izmereniy na SVCh: T. 1. Metody izmereniy na SVCh [Theoretical Apparatus of Measurements on UHF: Vol. 1. Measurement Methods on UHF]. Tomsk: TML-Press, 2010. 804 p.
2. Popovic Z., Kuester E. F. Principles of RF and microwave measurements. University of Colorado, 2013. 271 p.
3. Principles of Power Measurement. A Primer on RF & Microwave Power Measurement – Wireless Telecom Group, 2011. 139 p.
4. Fantom A. Radio frequency and microwave power measurement. London: Peter Peregrinus Ltd., 1990. 278 p.
5. Collier R.J., Skinner A.D. Microwave measurements 3rd edition. London: The Institution of Engineering and Technology, 2007. 471 p.
6. Hiebel M. Osnovy vektornogo analiza tsepey [Fundamentals of Vector Network Analysis]. Trans. with the English. SM Smolsky; under the editorship of Ute Philipp. Moscow: Publishing House MEI, 2009. 500 p.
7. Chavayn Yu.S., Pavlov V.V. Panoramy izmereniya impul'snoy moshchnosti shirokopolosnykh usiliteley diapazona SVCh [Panoramic Measurements of the Pulse Power of Broadband Amplifiers of the UHF Band]. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh: materialy IX mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii po estestvennonauchnym i tekhnicheskim distsiplinam* [The Creativity of the Youth for the Scientific Progress: Proceedings of the IX International Youth Scientific Conference on Natural Science and Engineering Disciplines] (Yoshkar-Ola, April 18-19, 2014): 3 parts / editorial board: D.V. Ivanov [and others]. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2014. Part 2. Pp. 246 – 248.
8. Horowitz P., Hill W. Iskustvo skhemotekhniki [The Art of Electronics: 3 volumes: Vol. 1. Translation from English - the fourth edition revised and completed]. Moscow: Mir, 1993. 413 p.

The article was received 22.12.16.

**Citation for an article:** Ryabova N. V., Chavayn Yu. S. Panoramic Measurements of the Output Pulse Power of Receiving/Transmitting Devices of a Microwave Band. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2017. No 1 (33). Pp. 51-63. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.51

## Information about the authors

*RYABOVA Natalia Vladimirovna* – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, the Head of the Chair of Radio Engineering and Communication, Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is information and telecommunication systems, the ionosphere, the propagation of radio waves, forecasting, modeling, adaptive systems. The author of 212 publications.

*CHAVAYN Yuri Sergeevich* – a postgraduate student at Volga State University of Technology; the Leading Design Engineer – the group research supervisor, JSC «Mari Machine-Building Plant». The sphere of scientific interests is receiving/transmitting devices, microwave devices, radiolocation. The author of four publications.

УДК 681.32

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.64

## РЕЗЕРВИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ЯЧЕЙКИ БАЗОВОГО МАТРИЧНОГО КРИСТАЛЛА

*С. Ф. Тюрин, А. Н. Каменских*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Российская Федерация, 614990, Пермь, Комсомольский пр., 29  
E-mail: tyurinsergfe0@yandex.ru

*Базовые матричные кристаллы (БМК, Uncommitted Logic Array-ULA) являются полужаказными микросхемами, которые, в отличие от заказных (ASIC – application-specific integrated circuit) содержат стандартные ячейки, конфигурирование которых и их связей с другими ячейками выполняется однократно на заводе. В программируемых пользователем вентильных матрицах (ППВМ, англ. Field-Programmable Gate Array, FPGA) конфигурирование может выполняться многократно. Авторы разработали отказо- и сбоестойчивые элементы, в которых резервирование осуществляется на транзисторном уровне. Однако при этом не учитывался следующий важный момент радиационной стойкости: распределение резервированных транзисторов по отдельным ячейкам. Существующая ячейка БМК не допускает такой возможности, поэтому в статье предложена изменённая структура ячейки БМК, обеспечивающая распределение транзисторов по отдельным ячейкам так, что отказ одной ячейки вследствие радиационных эффектов не приведёт к отказу всего элемента.*

**Ключевые слова:** базовые матричные кристаллы; транзистор; резервирование; отказо- и сбоестойчивость; радиационная стойкость.

### Список литературы

1. Денисов А.Н. Методология проектирования аппаратуры по технологии БМК-ПЛИС-БМК // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2009. № 5 (79). С. 85-86.
2. Денисов А.Н., Коняхин В.В. Семейство серий БМК НПК «Технологический центр» // Микроэлектроника-2015. Интегральные схемы и микроэлектронные модули: проектирование, производство и применение: сборник докладов Международной конференции. М.: Рекламно-издательский центр «ТЕХНОСФЕРА», 2016. С. 192-195.
3. Библиотека элементов для проектирования самосинхронных полужаказных БМК микросхем серий 5503/5507 / Ю.А. Степченков., А.Н. Денисов, Ю.Г. Дьяченко. М.: ИПИ РАН, 2014. 296 с.
4. Бобков С.Г. Импортзамещение элементной базы вычислительных систем // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 11. С. 1010.
5. Bradley Matush. An Innovative Radiation Hardened by Design Flip-Flop. A Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science. [Электронный ресурс]. URL: [https://repository.asu.edu/attachments/56273/content/Matush\\_asu\\_0010N\\_10226.pdf](https://repository.asu.edu/attachments/56273/content/Matush_asu_0010N_10226.pdf) (дата обращения 28.01.2016).
6. Carl Carmichael. Triple Module Redundancy Design Techniques for Virtex FPGAs [Электронный ресурс]. [https://www.xilinx.com/support/documentation/application\\_notes/xapp197.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/application_notes/xapp197.pdf) (дата обращения 28.01.2016).
7. Power, Delay and Area Comparisons of Majority Voters relevant to TMR Architectures. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2016/barcelona/CSST/CSST-14.pdf> (дата обращения 26.01.2016).
8. Kamenskih A.N., Tyurin S.F. Features that provide fault tolerance of self-synchronizing circuits // Russian Electrical Engineering. 2014. Vol. 85. No 11. Pp. 677-682.
9. Тюрин С.Ф., Каменских А.Н. Мажоритарное устройство: патент РФ № 2580080; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.
10. Тюрин С.Ф., Каменских А.Н. Резервирование на транзисторном уровне с использованием ячейки базового матричного кристалла // Проектирование и технология электронных средств. 2015. № 4. С. 41-46.
11. Weibull Distribution [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3668.htm> (дата обращения 28.01.2016).

Статья поступила в редакцию 20.01.17.

## Сведения об авторах

*ТЮРИН Сергей Феофанович* – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и телемеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Область научных интересов – отказоустойчивая цифровая аппаратура. Автор 163 публикаций.

*КАМЕНСКИХ Антон Николаевич* – аспирант кафедры автоматизации и телемеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Область научных интересов – отказоустойчивая цифровая аппаратура. Автор 39 публикаций.

UDC 681.32

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.64

## REDUNDANCY BASED ON A FAULT-TOLERANT GATE ARRAY CELL

*S. F. Tyurin, A. N. Kamenskih*

Perm National Research Polytechnic University,  
29, Komsomolsky pr., Perm, 614990, Russian Federation  
E-mail: tyurinsergfe@yandex.ru

**Key words:** uncommitted logic array; transistor; redundancy; fault tolerant cells; radiation-resistant.

## ABSTRACT

**Introduction.** At the present time, because of known problems of the import substitution of the electronic component base, the study of the creation of radiation-resistant digital equipment is urgent. One of the directions is a self-timed circuit technique, developed on the basis of gate arrays. The authors have been working on this issue in cooperation with the scientists of the Institute of Informatics Problems for more than 20 years. Fail-safe elements, using the suggested transistor redundancy, were developed. Such elements are parts of the library of elements of the Technological Center of the National Research University of Electronic Technology. However in these elements, topological singularities of radiation exposure are not taken into account. In a number of cases, radiation exposure can lead to the failure of two transistors of the same conductivity type that will result in the failure of the whole element. **The purpose of the article** is the development and the study of elements under redundancy, created on the basis of gate arrays, considering the topology. **The tasks** are the development and the study of the element 2И-HE, based on the suggested fault-tolerant gate array field cell with distributed reserves and the estimation of this implementation efficiency. **Research methods** are the modification of the gate array cell with the aim of transistor degrouping and the estimation of this implementation efficiency, based on probability theory relations. **Results.** The architecture of a new cell and the estimates of the fraction of counteracting failures, using the Weibull model were obtained. The proposed variant provides either the resistance of all four transistors of one cell to failures or the resistance of the transistor of each conductivity type in each cell to one failure. **Conclusion.** The proposed solution allows increasing radiation resistance of elements. It is advantageous to update the cell with the aim of providing the possibility of the proposed element realization. It can be applied in special equipment. Further improvement is possible by means of the application of structures, counteracting two or more failures. It will require the additional modification of the gate array cell. Moreover, it is necessary to study the proposed topology, considering concrete gate array types.

## REFERENCES

1. Denisov A.N. Metodologiya proektirovaniya apparatury po tekhnologii BMK-PLIS-BMK [Methodology of Equipment Design According to ULA-PLD-ULA Technology]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektronika* [News of Institutions of Higher Education. Electronics]. 2009. No 5 (79). Pp. 85-86.
2. Denisov A.N., Konyahin V.V. Semeistvo seriy BMK NPK «Tekhnologicheskii tsentr». Mikro-

elektronika-2015. Integral'nye skhemy i mikroelektronnye moduli: proektirovanie, proizvodstvo i primeneniye. Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii [Family of the Series ULA Research and Manufacturing Complex «Technological Center». Microelectronics -2015. Integrating Circuits and Microelectronic Modular Assemblies: Design, Production and Application. Proceedings of the International Conference]. Moscow: Reklamno-izdatel'skiy tsentr «TEKhNOSFERA», 2016. Pp. 192-195.

3. Stepchenkov Yu. A., Denisov A.N., Dyachenko Yu. G., Grinfeld F.I., Filimonenko O.P., Morozov N.V., Stepchenkov D.Yu. Biblioteka elementov dlya proektirovaniya samosinkhronnykh polyzakaznykh BMK mikroskhem seriy 5503/5507 [Library of Elements for the Design of Self-Timed Semicustom ULA of Microcircuits of Series5503/5507]. Moscow: Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences, 2014. 296 p.

4. Bobkov S.G. Importozameshchenie elementnoy bazy vychislitel'nykh system [Import Substitution of the Element Base of Computer Systems]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]. 2014. Vol. 84. No 11. Pp. 1010.

5. Bradley Matush. An Innovative Radiation-Hardened by Design Flip-Flop. A Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science. [Electronic resource]. – URL:

[https://repository.asu.edu/attachments/56273/content/Matush\\_asu\\_0010N\\_10226.pdf](https://repository.asu.edu/attachments/56273/content/Matush_asu_0010N_10226.pdf) (reference date 28.01.2016).

6. Carl Carmichael. Triple Module Redundancy Design Techniques for VirtexFPGAs [Electronic resource ]. [https://www.xilinx.com/support/documentation/application\\_notes/xapp197.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/application_notes/xapp197.pdf) (reference date 28.01.2016).

7. Power, Delay and Area Comparisons of Majority Voters relevant to TMR Architectures. [Electronic resource]. URL: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2016/barcelona/CSST/CSST-14.pdf> (reference date 26.01.2016).

8. Kamenskih A.N., Tyurin S.F. Features that provide fault tolerance of self-synchronizing circuits. *Russian Electrical Engineering*. 2014. Vol. 85. No 11. Pp. 677-682.

9. Tyurin S.F., Kamenskih A.N. Mazhoritarnoe ustroystvo [Majority Device]. Patent RF, no 2580080. 2016.

10. Tyurin S.F., Kamenskih A.N. Rezervirovanie na tranzistornom urovne s ispol'zovaniem yacheiki bazovogo matrichnogo kristalla. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv* [Redundancy at the Transistor Level Using the Gate Array Cell. Design and Technology of Electronic Means]. 2015. No 4. Pp. 41-46.

11. WeibullDistribution [Electronic resource]. – URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3668.htm> (reference date 28.01.2016).

The article was received 20.01.17.

**Citation for an article:** Tyurin S. F., Kamenskih A. N. Redundancy Based on a Fault-Tolerant Gate Array Cell. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2017. No 1 (33). Pp. 64-70. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.64

#### Information about the authors

*TYURIN Sergey Feofentovich* – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University. The sphere of scientific interests is fault-tolerant digital equipment. The author of 163 publications.

*KAMENSKIH Anton Nikolaevich* – a postgraduate student of the Chair of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University. The sphere of scientific interests is fault-tolerant digital equipment. The author of 39 publications.

УДК 621.396.6.019

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.71

## ПРОБЛЕМА ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОРПУСОВ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

*Н. М. Скулкин<sup>1</sup>, Е. В. Михеева<sup>1</sup>, А. Н. Истомин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3  
E-mail: SkulkinNM@volgatech.net

<sup>2</sup>Марийский государственный университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1

*Приведены сведения о проблемах обеспечения технологической точности размерных характеристик изделий в условиях массового производства корпусов микросхем. Приводятся сведения о сложности и многообразии физико-химических процессов, способных, в той или иной степени, повлиять на форму и размер заготовок. Рассматривается методика совершенствования системы контроля и стабилизации размерных характеристик изделий.*

**Ключевые слова:** форма изделий; дефекты формы; контролируемость; структура; фаза; нестабильность.

### Список литературы

1. Ермолаев Е.В. Разгерметизация металлокерамических корпусов в области межслойных проводников в производственных условиях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1(20). С. 87 – 92.
2. Дворецкий С.В., Муромцев Ю.Л., Погудин В.А. Моделирование систем. М.: Академия, 2013. 320 с.
3. Каллистер У., Ретвич Д. Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) / Пер. с англ. Под ред. Малкина А.Я. СПб.: Научные основы технологии, 2011. 896 с.
4. А.с. 1796057 СССР, МКИ G 01 N 21/88 Способ обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов / Никитин Р.И., Трифионов В.С., Золотарев В.Н., Скулкин Н.М., Петрушенко В.П.; 1993.
5. Ермолаев Е.В., Скулкин Н.М. Структурная неоднородность керамики в условиях массового производства металлокерамических корпусов микросхем // Проектирование и технология электронных средств. 2012. № 1. С. 7 – 11.
6. Библиков Е.Л., Ильин А.А. Процессы кристаллизации и затвердевания. М.: Альфа-М; ИНФРА-М, 2016. 352 с.: ил.

Статья поступила в редакцию 27.01.17.

### Информация об авторах

*СКУЛКИН Николай Михайлович* – доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – физические причины дефектности металлокерамических корпусов и металлокерамических плат. Автор 42 публикаций и 20 авторских свидетельств и патентов.

*МИХЕЕВА Елена Викторовна* – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – исследование радиоматериалов. Автор 26 публикаций.

*ИСТОМИН Андрей Николаевич* – магистрант, Марийский государственный университет. Область научных интересов – исследование металлокерамических корпусов и металлокерамических плат. Автор четырех публикаций.

UDC 621.396.6.019

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.71

**PROBLEM OF METAL-CERAMIC PACKAGE MAGNITUDE REPRODUCIBILITY UNDER CONDITIONS OF PRODUCTION***N. M. Skulkin, E. V. Mikheeva, A. N. Istomin*<sup>1</sup>Volga State University of Technology,  
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

E-mail: SkulkinNM@volgatech.net

Mari State University,  
1, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation**Key words:** *product form; form defects; controllability; structure; phase; instability.***ABSTRACT**

**Introduction.** One of the main problems of metal-ceramic package production is the accuracy and the resolution of the technology, implemented on the items of different forms, dimensions and release programs. **The purpose** of the work is the analysis of metal-ceramic package magnitude reproducibility under conditions of production. The analysis was carried out by means of the stratification of statistics concerning the instability of item magnitudes. Besides the stratification, the possibility of the selection of basic operations and physicochemical processes, connected with them, was considered. These processes can influence the product quality. **Results.** It was found that one of the main operations, determining the decrease in the technological accuracy and controllability of metal-ceramic packages and boards is the operation of sintering. It was determined that the existing tolerance range of conditions and regimes of sintering of metal-ceramic packages doesn't provide the structural homogeneity of the ceramic material. One of the indicators of the necessity and the relevance of the tolerance range correction is the structural material stabilization when the temperature gradient increases at the drop-down section of the temperature curve. **Conclusion.** The conducted research showed that the control of the crystallization degree can be provided by means of the temperature gradient regulation at the drop-down section of the temperature graph. The received results are the basis for doing comprehensive production research, directed at providing the stability and steadiness of construction and technological developments of metal-ceramic packages, which meet modern requirements for the microcircuit package integration degree.

**REFERENCES**

1. Ermolaev E.V. Razgermetizatsiya metallokeramicheskikh korpusov v oblasti mezhsloinykh provodnikov v proizvodstvennykh usloviyakh [Depressurization of Metal-Ceramic Packages in the Area of Interlayer Conductors under Production Conditions]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2014. No 1 (20). Pp. 87-92.
2. Dvoretzky S.V., Muromtsev Yu.L., Pogodin V.A. Modelirovanie sistem [Modeling of Systems]. Moscow: Academy, 2013. 320 p.
3. Kallister U., Retvich D. Materialovedenie: ot tekhnologii k primeneniyu (metally, keramika, polimery) [Materials Science: From Technology to Application (Metals, Ceramics, Polymers)] / Translation from English. Edited by Malkin A.Ya. StPb: Scientific basis of technology, 2011. 896 p.
4. Nikitin R.I., Trifonov V.S., Zolotarev V.N., Skulkin N.M., Petrushenko V.P. Sposob obnaruzheniya poverkhnostnykh i podpoverkhnostnykh defektov [Method of Surface and Subsurface Defects Detection]. A.c. No 1796057 the USSR, 1993.
5. Ermolaev E.V., Skulkin N.M. Strukturnaya neodnorodnost' keramiki v usloviyakh massovogo proizvodstva metallokeramicheskikh korpusov mikroskhem [Structural Inhomogeneity of Ceramics under Conditions of Mass Production of Metal-Ceramic Microcircuit Packages]. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv* [Design and technology of electronic means]. 2012. No 1. Pp. 7 – 11.
6. Biblikov E.L., Ilyin A.A. Protsessy kristallizatsii i zatverdevaniya [Processes of Crystallization and Hardening]. Moscow: Alfa-M; INFRA-M, 2016. 352 p.: il.

The article was received 27.01.17.

**Citation for an article:** Skulkin N. M., Mikheeva E. V., Istomin A. N. Problem of Metal-Ceramic Package Magnitude Reproducibility under Conditions of Production. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems.* 2017. No 1 (33). Pp. 71-78. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.71

### Information about the authors

*SKULKIN Nikolay Mikhailovich* – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair of Life Safety, Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is physical causes for the faultiness of metal-ceramic packages and boards. The author of 42 publications and 20 author's certificates and patents.

*MIKHEEVA Elena Viktorovna* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair of Radio Equipment Engineering and Production, Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is research on radio materials. The author of 26 publications.

*ISTOMIN Andrey Nikolaevich* – a Master's degree student, Mari State University. The sphere of scientific interests is the research on metal-ceramic packages and boards. The author of 4 publications.

## НОВИНКИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ. ОБЗОРЫ. КОНФЕРЕНЦИИ. ВАЖНЫЕ ДАТЫ

УДК 378.662(470.343):001.38

DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.79

### ЭКЗОСКЕЛЕТ – ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО

**Д. В. Иванов, Ю. С. Андрианов, И. А. Кудрявцев, П. А. Нехорошков**

Поволжский государственный технологический университет,

Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

E-mail: IvanovDV@volgatech.net

*Представлен проект создания и производства экзоскелета медицинского назначения, получивший финансирование в рамках конкурса по постановлению Правительства Российской Федерации № 218 «Получение субсидий на создание комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства».*

**Ключевые слова:** экзоскелет; высокотехнологичное производство; восстановительная медицина; реабилитация инвалидов.

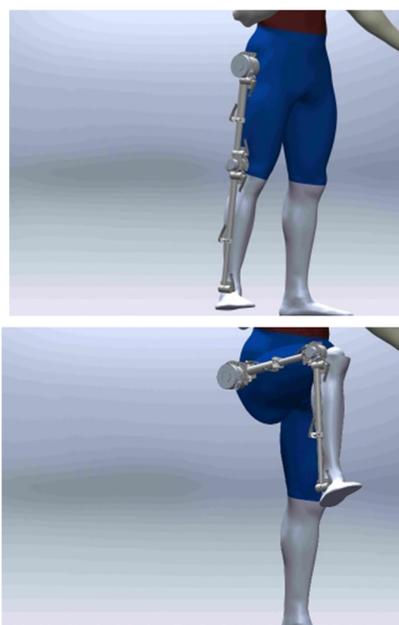
Правительством Российской Федерации согласно постановлению № 218 организациям и предприятиям страны на конкурсной основе выделяются мегагранты на создание высокотехнологичного производства уникальных научно-технических разработок. Одним из победителей по направлению «Персонализированная медицина, высокотехнологичное здравоохранение, технологии здоровьесбережения и рационального применения лекарственных препаратов» стал коллектив, объединяющий два вуза – Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ) и Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского (ННГУ), институт РАН (Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук) и предприятие – АО «Волжский электромеханический завод» (ВЭМЗ), входящий в концерн «ПВО Алмаз-Антей», являющийся головным предприятием-исполнителем по данному проекту.

Результатом выполнения проекта должно стать созданное на головном предприя-

тии высокотехнологичное производство многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения.

Экзоскелет (от греческого ἔξω – внешний и σκελετός – скелет) – устройство, предназначенное для расширения физических возможностей человека за счёт внешнего усиливающего каркаса. Сейчас экзоскелеты представляют собой роботизированные костюмы, от протеза до полного закрытого скафандра, которые позволяют людям выполнять действия либо сложные, либо невозможные. Экзоскелеты дают людям сверхчеловеческую силу, а людям с ограниченными возможностями – возможность ходить.

В настоящее время активно развиваются разработки по созданию экзоскелетов в военных и медицинских целях. В первом случае преследуется создание брони, которая совместила бы в себе огневую мощь и бронирование танка, подвижность и скорость человека, и в несколько раз увеличивала силу того, кто использует экзоскелет. Во втором случае – помощь людям с ограниченными физическими возможностями.



*Многофункциональный роботизированный экзоскелет*

Два года назад по инициативе проректора по научной работе ПГТУ, члена-корреспондента РАН Д. В. Иванова в университете были начаты работы по созданию экзоскелета медицинского применения. Здесь наши учёные и инженеры были подключены к работам Нижегородского госуниверситета, основоположником которых был проректор по науке ННГУ профессор В. Б. Казанцев.

Научная группа механического факультета ПГТУ, возглавляемая руководителем Студенческого конструкторского бюро доцентом И. А. Кудрявцевым, известным созданными механическими фигурами в памятных местах г. Йошкар-Олы, взялась за выполнение работ по созданию механической части экзоскелета, а группа из ННГУ – за управление экзоскелета по сигналам от датчиков, закреплённых на теле человека (разработка программного обеспечения системы управления). За прошедшее время был обеспечен задел – создан образец одной из основных частей экзоскелета. Он демонстрировался на различных престижных выставках и получил одобрение и поддержку специалистов.

Представляемая в данной статье разработка должна иметь ряд конкурентных преимуществ:

- существенно больший срок эксплуатации приводных блоков за счёт применения разработанной коллективом проекта (запатентованных и апробированных в нескольких видах продукции военнотехнического назначения) технологии зацепления на основе цевочной передачи;
- сниженная общая масса (до 40 %) приводных компонентов в сравнении с аналогами за счёт применения композиционных материалов и использования оригинальных редукторов;
- рекуперация кинетической энергии в системе, позволяющая снизить энергопотребление на 8–12 % и повысить удельную мощность устройства, время автономной работы и радиус зоны автономного перемещения экзоскелета.

Следует отметить, что существующие экзоскелетные системы не обладают такими возможностями. Кроме того, современные устройства, в силу применяемых проектных решений, ориентированы на пользователей ростом 150–190 см. Для взрослых и детей меньшего роста возникают проблемы, ко-

торые могут быть решены только при уменьшении массогабаритных характеристик устройства. Важно, что эта возможность позволит в будущем решить проблему создания робототехнических реабилитационных комплексов для детей с нейродегенеративными нарушениями (ДЦП).

Получившая поддержку разработка прошла этап валидации. Проект предполагает создание технологической документации, а также обеспечение полного цикла работ для серийного производства заявленной продуктовой линейки, основанной на полученных в ходе исследований результатах.

В проекте предусмотрено несколько вариантов исполнения экзоскелета. В од-

ном из вариантов экзоскелет будет работать во взаимодействии с платформой, представляющей собой робот-спутник в виде ходунков с активными колёсными приводами, несущими основной аккумулятор, обеспечивающий энергией приводы экзоскелета, при этом ходунки имеют возможность трансформироваться в кресло-коляску. Ходунки будут иметь два варианта исполнения: для передвижения по ровным территориям в городских условиях и для передвижения по бездорожью.

Победа в конкурсе по 218 постановлению стала ещё одним ярким примером тесного взаимодействия двух вузов, института РАН и производственного предприятия.

Статья поступила в редакцию 20.03.17

#### Информация об авторах

*ИВАНОВ Дмитрий Владимирович* – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, проректор по научной работе и инновационной деятельности, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – моделирование технических систем, широкополосные сигналы, распространение радиоволн. Автор 189 публикаций.

*АНДРИАНОВ Юрий Семенович* – кандидат технических наук, профессор кафедры управления и права, начальник управления научной и инновационной деятельности, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – управление и организация автомобильных перевозок в отраслевых промышленных кластерах, управление интеллектуальной собственностью. Автор 223 публикаций, в том числе четырёх монографий.

*КУДРЯВЦЕВ Игорь Аркадьевич* – руководитель Студенческого конструкторского бюро, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – робототехника, мехатроника, конструирование и моделирование в технических системах. Автор 103 публикаций.

*НЕХОРОШКОВ Пётр Аркадьевич* – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела научных программ, публикаций и интеллектуальной собственности, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – рациональное лесопользование, транспорт леса, оптимизация и моделирование транспорта леса, геоинформационные и логистические системы. Автор 47 публикаций.

UDC 378.662(470.343):001.38  
DOI: 10.15350/2306-2819.2017.1.71

## EXOSKELETONS – TECHNOLOGIES FOR THE FUTURE

*D. V. Ivanov, Yu. S. Andrianov, I. A. Kudryavtsev, P. A. Nehoroshkov*  
Volga State University of Technology,  
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: IvanovDV@volgatech.net

*The project which received support and got research funding within the framework of the competition by order of the Government of the Russian Federation № 218 «Obtaining subsidies for the creation of complex projects on high-tech manufacturing establishment» has been reviewed.*

**Key words:** *exoskeleton; rehabilitation medicine; disabled persons rehabilitation.*

### Information about the authors

*IVANOV Dmitry Vladimirovich* – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Corresponding Member of RAS, Vice-Rector for Research and Innovation Activity at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is the modeling of technical systems, wideband signals and the propagation of radio waves. The author of 189 publications.

*ANDRIANOV Yuriy Semenovich* – Candidate of Technical Sciences, Professor at the Chair of Management and Law, Head of Research and Innovation Department, Volga State University of Technology. Research interests – management and organization of transportation by road in sectoral industrial clusters, intellectual property management. The author of 223 publications, including 4 monographs.

*KUDRYAVTSEV Igor Arkadyevich* – the Head of the Student's Design Bureau at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is robotics, mechatronics, design and modeling in technical systems. The author of 103 publications.

*NEKHOROSHKOV Petr Arkadyevich* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Scientific Programs, Publication and Intellectual Property Management. Research Work, Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is efficient forest exploitation, forest transport, optimization and modeling of forest transport, geo information and logistic systems. The author of 47 publications.

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы» принимает к публикации статьи, соответствующие профилю издания по рубрикам:

«**Телекоммуникации и радиотехника**» – публикуются оригинальные результаты исследований, направленных на создание и обеспечение функционирования устройств и систем, основанных на использовании электромагнитных колебаний и волн и предназначенных для передачи, приема и обработки информации, получения информации об окружающей среде, природных и технических объектах. Кроме того, результаты исследований по автоматизированным системам распределенной обработки информации, теоретическим основам построения, функционирования и использования компьютерных сетей различного масштаба, возможностям их реализации на основе базовых технологий и стандартов.

«**Вычислительная техника и информатика**» – публикуются оригинальные результаты исследований, направленных на создание электронно-вычислительных устройств, систем и сетей, автоматизированных систем обработки информации и управления, систем автоматизированного проектирования, программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

«**Электроника**» – публикуются оригинальные результаты исследований по физическим основам различных типов приборов, по улучшению их моделей, характеристик, параметров и режимов работы в радиотехнических устройствах различного назначения. Кроме того, по научному обоснованию новых технологий производства микро- и нанoeлектронных изделий, принципов построения интегральных схем, по исследованию механизмов влияния условий эксплуатации на работу активных приборов, микро- и нанoeлектронных изделий.

«**Новинки техники и технологий. Обзоры. Конференции. Важные даты**» – публикуются статьи, обзорная информация по отдельным проблемным вопросам техники и технологий, краткая информация о датах, событиях, конференциях, а также рецензии на научные работы по тематике серии.

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершенных исследований авторов, объемом 6–15 страниц, включая рисунки.

К печати принимаются материалы, которые не опубликованы и не переданы в другие редакции. Рукописи проходят обязательное рецензирование. В «Вестнике ...» печатаются только статьи, получившие положительные рецензии.

Отклоненные в результате рецензирования материалы возвращаются в одном экземпляре (с приложением копии рецензии).

**Требования к оригиналам предоставляемых работ***Структура научной статьи*

1. Аннотация (3–4 предложения).
2. Ключевые слова или словосочетания (не более 10) отделяются друг от друга точкой с запятой.
3. Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
4. Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации (1–2 предложения).
5. Решаемые задачи, направленные на достижение цели.
6. Математическое, аналитическое или иное моделирование.
7. Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
8. Интерпретация результатов или их анализ.
9. Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающих, что цель, поставленная в работе, достигнута.

*Требования к оформлению статьи*

Статья должна быть предоставлена в электронном виде и компьютерной распечатке (2 экз.) на бумаге формата А4. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал одинарный. Поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см (зеркальные поля), абзацный отступ первой строки на 0,75 см.

На первой странице статьи слева печатается УДК (размер шрифта 10 пт, прямой, светлый) без отступа. Название статьи печатается по центру (размер шрифта 14 пт, прямой, полужирный, прописной). Ниже, по центру – инициалы, фамилия автора (размер шрифта 12 пт, курсив, полужирный). После фамилий авторов указываются места работы: первая строка – название организации, вторая строка – почтовый адрес (размер шрифта 10 пт, прямой). После адресов указывается электронный адрес контактного автора.

Далее размещается аннотация (выравнивание по ширине, размер шрифта 10 пт, курсив, отступ слева и справа 1 см). Аналогично оформляются ключевые слова. Ключевые слова статьи предоставляются на русском и английском языках. Также необходимо предоставить **авторское резюме** статьи на русском и английском языках.

Авторское резюме должно быть понятным без обращения к самой публикации.

Авторское резюме к статье является основным источником информации в отечественных и зарубежных информационных системах и базах данных, индексирующих журнал.

Авторское резюме должно излагать существенные факты работы, и не должно преувеличивать или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации.

**Структура резюме должна включать введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы и практическая значимость).**

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается

предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в авторском резюме не приводятся.

В тексте авторского резюме следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

В тексте авторского резюме следует применять значимые слова из текста статьи.

Текст авторского резюме должен быть лаконичен и четок, свободен от второстепенной информации, лишних вводных слов, общих и незначущих формулировок.

Текст должен быть связным, разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определения при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не делаются ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

Можно использовать техническую (специальную) терминологию вашей дисциплины, четко излагая свое мнение и имея также в виду, что вы пишете для международной аудитории.

Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т.д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.), либо разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. «The study tested», но не «It was tested in this study» (частая ошибка российских аннотаций).

**Объем текста авторского резюме не менее 250-300 слов.**

**Формулы** и отдельные символы набираются с использованием редакторов формул Microsoft Equation или Math Type (не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab, а также не следует использовать стандартную вставку математических формул или построение собственных формул с помощью библиотеки математических символов).

**Иллюстрации.** Схемы, графики, диаграммы и т.п. принимаются только в векторных форматах (Word, Excel, Visio, CorelDraw, Adobe Illustrator и др.). Графический материал должен быть четким и не требовать перерисовки. Графики могут выделяться линиями разного стиля, отмечаться цифрами, либо различными цветами. Фотографии и скриншоты должны выполняться в растровых форматах (tiff, bmp, png и др.) достаточного расширения (300 dpi) и чёткости. Таблицы и рисунки должны быть вставлены в текст после абзацев, содержащих ссылку на них.

Размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см).

**Список литературы** оформляется согласно порядку ссылок в тексте (где они указываются в квадратных скобках) и обязательно в соответствии с ГОСТ 7.0.5-2008 в двух вариантах:

1) на русском;

2) на языке оригинала латинскими буквами (References). Если русскоязычная статья была переведена на английский язык и опубликована в английской версии, то необходимо указывать ссылку из переводного источника. Библиографические описания российских публикаций составляются в следующей последовательности: авторы (транслитерация), перевод названия статьи (монографии) в транслитерированном варианте, перевод названия статьи (монографии) на английский язык в квадратных скобках, название источника (транслитерация, курсив), выходные данные с обозначениями на английском языке.

**Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.**

Статья должна быть подписана автором(ами). После подписи автора и даты указываются его фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, должность, место работы, область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail, домашний адрес.

К статье прилагаются следующие **документы**:

- авторское заявление с указанием рубрики журнала;

- экспертное заключение о возможности опубликования;

**Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.**

**Адрес для переписки:** 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, ПГТУ,

редакция журнала «Вестник ПГТУ», e-mail: [vestnik@volgatech.net](mailto:vestnik@volgatech.net)

Плата за публикацию рукописей не взимается.

Подробнее – на сайте ПГТУ: <http://www.volgatech.net>