



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

ВЕСТНИК 2(30) 2016

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

апрель-июнь

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 № ФС77-51886 от 23 ноября 2012 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@volgatche.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 30.06.16.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 11,62

Тираж 500 экз. Заказ №

Дата выхода в свет 04.07.16.

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, профессор 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 2(30) 2016

OF VOLGA STATE UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY

april – june

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 ПИИ № ФЦ77-51886 from November 23, 2012)

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 30.06.16.

Format 60×84 1/8. No. of press sheets. 11,62

Circulation 500 copies. Order №

Publication Date 04.07.16.

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, Professor 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

Л. Ф. Черногор, В. Л. Фролов, В. В. Барабаш. Эффекты воздействия мощным радиоизлучением на ионосферу на фоне умеренных геокосмических бурь: результаты наблюдений с помощью ионозондов

L. F. Chernogor, V. L. Frolov, V. V. Barabash. Effects of Powerful Radio Emission Exposure on the Ionosphere on the Background of Moderate Geocosmic Storms: Results of Observation Using Ionosondes

Я. А. Фурман, А. В. Казаринов, Д. С. Громыко. Подавление корреляционных шумов при разрешении сигналов по дальности и скорости

В. И. Есипенко, Л. Ю. Богомолова. Экспериментальная оценка помехоустойчивости системы связи с ДЧМ при наличии сосредоточенной помехи в канале с умножением частоты

Ya. A. Furman, A. V. Kazarinov, D. S. Gromyko. Suppression of Correlated Noise at a Resolution of Signals According to a Distance and Speed

V. I. Esipenko, L. Yu. Bogomolova. Experimental Estimate of the Noise Immunity of the Communication System with Binary Frequency Shift Keying (FSK) in Case of Concentrated Interference in the Channel with Frequency Multiplication.

Р. Р. Бельгибаев, Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова. Система частотного обеспечения на основе пассивного зондирования многомерного КВ-радиоканала

R. R. Belgibaev, D. V. Ivanov, V. A. Ivanov, N. V. Ryabova. A Frequency Support System Based on the Passive Sensing of a Multidimensional Short-Wave Radio Channel

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И ИНФОРМАТИКАCOMPUTER ENGINEERING
AND INFORMATICS

И. И. Безукладников, А. А. Миронова, А. А. Южаков. Противодействие угрозам информационной безопасности в распределённых беспроводных mesh-сетях

I. I. Bezukladnikov, A. A. Mironova, A. A. Yuzhakov. Information Security Threat Countermeasures in Distributed Wireless Mesh-Networks

С. Ф. Тюрин, В. Г. Зарубский. Транзисторное резервирование в логическом элементе FPGA DC LUT

S. F. Tyurin, V. G. Zarubsky. Transistor Redundancy in a Logical Element FPGA DC LUT

ЭЛЕКТРОНИКА

ELECTRONICS

А. В. Мороз, Н. И. Сушенцов, С. А. Степанов, Е. В. Михеева, Е. А. Рыжова. Технологические особенности формирования резистивных плёнок на основе нержавеющей стали

A. V. Moroz, N. I. Sushentsov, S. A. Stepanov, E. V. Mikheeva, E. A. Ryzhova. Technological Aspects of Resistive Film Formation on the Basis of Stainless Steel.

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

Д. А. Веденькин, О. Г. Морозов, Г. А. Морозов, Ю. Е. Седельников. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016»

D. A. Vedenkin, O. G. Morozov, G. A. Morozov, Yu. E. Sedelnikov. The third International Scientific and Technical Conference «Applied Electrodynamics, Photonics and Living Systems – 2016»

Информация для авторов

90 Information for the authors

100



Уважаемые коллеги!

Представляем Вам второй номер за 2016 год журнала «Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы».

Первый раздел «Телекоммуникации и радиотехника» открывает статья, посвящённая исследованию эффектов взаимодействия подсистем системы Земля–атмосфера–ионосфера–магнитосфера при антропогенном воздействии на ионосферу Земли мощного радиоизлучения российского нагревного стенда, а также эффектов, вызванных стимулирующими воздействиями природного характера, – геокосмическими бурями. В следующей статье представлены результаты исследования влияния движения цели на результаты сжатия эхосигналов, а также подавления корреляционных шумов при использовании конечномерных кодирующих последовательностей. Третья статья раздела посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям помехоустойчивости системы связи с дискретной частотной манипуляцией при наличии в канале связи белого шума и сосредоточенной по спектру помехи. В последней статье раздела приводятся результаты решения задачи создания системы связи с встроенным режимом частотного обеспечения на основе применения метода пассивного зондирования многомерного ионосферного коротковолнового радиоканала сверхширокополосным сигналом.

Раздел «Вычислительная техника и информатика» начинается с работы, посвящённой решению задач информационной безопасности в современных распределённых беспроводных mesh-инфраструктурах. В следующей статье предлагаются пути решения вопросов резервирования логических элементов ПЛИС (программируемых логических интегральных схем).

В разделе «Электроника» представлена работа, посвящённая технологическим особенностям формирования резистивных плёнок на основе оксидов и нитридов элементов нержавеющей стали. Полученные результаты показывают возможность использования нержавеющей стали в качестве мишени для производства резистивных плёнок методом магнетронного распыления.

В заключительном разделе сообщается о результатах работы III международной научно-технической конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016», состоявшейся в г. Казани.

Уважаемые читатели, мы надеемся, что результаты, представленные в этом номере журнала, будут полезны в вашей работе, и вы продолжите дальнейшее сотрудничество с нашим журналом.

Профессор Наталья Рябова

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И РАДИОТЕХНИКА

УДК 550.388, 533.951,537.868
DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.6

ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ НА ИОНОСФЕРУ НА ФОНЕ УМЕРЕННЫХ ГЕОКОСМИЧЕСКИХ БУРЬ: РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИОНОЗОНДОВ

Л. Ф. Черногор¹, В. Л. Фролов^{2,3}, В. В. Барабан⁴

¹Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина Министерства образования
и науки Украины,

Украина, 61022, Харьков, пл. Свободы, 4

E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

²Научно-исследовательский радиофизический институт,

Российская Федерация, 603950, Нижний Новгород, ул. Б. Печерская, 25/12а

E-mail: frolov.418@nirfi.sci-nnov.ru

³Казанский (Приволжский) федеральный университет,

Российская Федерация, 420008, Казань, ул. Кремлёвская, 18

⁴Институт ионосферы Национальной академии наук Украины и Министерства образования
и науки Украины,

Украина, 61002, Харьков, ул. Краснознаменная, 16

E-mail: iion@kpi.kharkov.ua

Приведены результаты наблюдений за вариациями критической частоты f_oF2 на трёх разнесённых по широте и долготе ионозондах, сопровождавших воздействие мощным радиоизлучением на ионосферу нагревного стенда «Сура». Удаление ионозондов от стенда составляло 560, 960, и 2200 км. В 63 – 74 % случаев включений стенда с временем запаздывания 10 ÷ 15 мин возникали аperiodические всплески f_oF2 величиной от 0,07 до 0,41 МГц продолжительностью 10 ÷ 15 мин, которым соответствовали относительные увеличения концентрации электронов от 2 до 13 %. Наблюдаемые всплески, скорее всего, вызваны стимулированными геокосмическими бурями нарушениями установившегося в спокойных условиях взаимодействия подсистем в системе Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера, точнее высыпанием высокоэнергичных электронов из магнитосферы в атмосферу и её дополнительной ионизацией. Величина потока электронов могла быть порядка 10^8 – 10^9 м⁻²с⁻¹ при их энергии 100 кэВ.

Ключевые слова: мощное радиоизлучение; крупномасштабные возмущения; критическая частота; система ЗАИМ; взаимодействие подсистем; высыпание электронов.

Благодарности

Авторы выражают свою благодарность сотрудникам стенда СУРА за оказанную ими помощь в проведении экспериментальных исследований.

Работа Фролова В. Л. выполнялась при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-12-00556 в части анализа полученных экспериментальных данных. Представленные в обзоре результаты экспериментов на стенде СУРА были получены при финансовой поддержке ФЦП «Геофизика» и РФФИ (гранты №№ 11-02-00374, 13-02-12074, 13-02-12241).

Список литературы

1. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия. 2003. Т. 8, № 1. С. 59–106.
2. Chernogor L. F. The Earth–atmosphere–geospace system: main properties and processes // Int. J. Remote Sens. 2011. Vol. 32, No 11. Pp. 3199–3218.
3. Chernogor L. F., Frolov V. L., Komrakov G. P. et al. Variations in the ionospheric wave perturbation spectrum during periodic heating of the plasma by high-power high-frequency radio waves // Radiophysics and Quantum Electronics. 2011. Vol. 54, No 2. Pp. 75–88.
4. Черногор Л. Ф., Домнин И. Ф. Физика геокосмических бурь. Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2014. 408 с.
5. Черногор Л. Ф. Физика мощного радиоизлучения в геокосмосе. Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2014. 448 с.
6. Борисов Н. Д., Гуревич А. В., Милих Г. М. Искусственная ионизированная область в атмосфере. М.: ИЗМИРАН, 1986. 184 с.
7. Гуревич А. В., Шварцбург А. Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. М.: Наука, 1973. 272 с.
8. Митяков Н. А., Грач С. М., Митяков С. Н. Возмущение ионосферы мощными радиоволнами // Итоги науки и техники. Сер. Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. 1989. Т. 9. С. 1–140.
9. Тепловые нелинейные явления в плазме / Сб. науч. трудов. Горький: ИПФ АН СССР, 1979. 220 с.
10. Gurevich A. V. Nonlinear phenomena in the ionosphere. New York, Heidelberg, Berlin: Springer Verlag, 1978. 465 p.
11. Radio Sci. 1974. Vol. 9, No 11 (тематический выпуск).
12. Гармаш К. П., Черногор Л. Ф., Шварцбург А. Б. Возникновение крупномасштабных возмущений в ионосфере, инициируемых мощным нестационарным радиоизлучением // Компьютерная оптика. 1989. Вып. 6. С. 62–71.
13. Гармаш К. П., Черногор Л. Ф. Эффекты в околосферной плазме, стимулированные воздействием мощного радиоизлучения // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 6. С. 17–40.
14. Костров Л. С., Черногор Л. Ф. Доплеровское радиозондирование крупномасштабных волновых возмущений в ионосфере, генерируемых мощным радиоизлучением // Геомагнетизм и аэронавигация. 1990. Т. 30, № 1. С. 159–161.
15. Черногор Л. Ф. Статистические характеристики крупномасштабных возмущений в ионосфере, инициируемых воздействием мощного нестационарного излучения // Геомагнетизм и аэронавигация. 1989. Т. 29, № 3. С. 513–515.
16. Черногор Л. Ф. Фазовые вариации километровых радиоволн, сопутствовавшие воздействию на ионосферу мощного радиоизлучения // Радиофизика и радиоастрономия. 2009. Т. 14, № 4. С. 377–389.
17. Черногор Л. Ф. Механизмы генерации колебаний инфразвукового диапазона в верхней атмосфере под действием мощного периодического радиоизлучения // Радиофизика и радиоастрономия. 2012. Т. 17, № 3. С. 240–253.
18. Burmaka V. P., Domnin I. F., Uryadov V. P., Chernogor L. F. Variations in the parameters of scattered signals and the ionosphere connected with plasma modification by high-power radio waves // Radiophysics and Quantum Electronics. 2009. Vol. 52, No 11. Pp. 774–795.
19. Chernogor L. F., Domnin I. F., Panasenko S. V., Uryadov V. P. Aperiodic large-scale disturbances in the ionospheric E region stimulated by high-power HF heating // Radiophysics and Quantum Electronics. 2012. Vol. 55, No 3. Pp. 156–167.
20. Chernogor L. F., Frolov V. L., Pushin V. F. Infrasound oscillations in the ionosphere affected by high-power radio waves // Radiophysics and Quantum Electronics. 2012. Vol. 55, No 5. Pp. 296–308.
21. Chernogor L. F., Frolov V. L. Traveling ionospheric disturbances generated due to periodic plasma heating by high-power high-frequency radiation // Radiophysics and Quantum Electronics. 2012. Vol. 55, No 1, 2. Pp. 13–32.
22. Chernogor L. F., Frolov V. L. Features of propagation of the acoustic-gravity waves generated by high-power periodic radiation // Radiophysics and Quantum Electronics. 2013. Vol. 56, No 4. Pp. 197–215.
23. Chernogor L. F., Frolov V. L. Features of the wave disturbances in the ionosphere during periodic heating of the plasma by the "Sura" radiation // Radiophysics and Quantum Electronics. 2013. Vol. 56, No 5. Pp. 276–289.
24. Chernogor L. F., Frolov V. L., Barabash V. V. Aperiodic large-scale disturbances in the lower ionosphere. ionosonde observation results // Radiophysics and Quantum Electronics. 2014. Vol. 57, No 2. Pp. 100–116.
25. Chernogor L., Frolov V. L. Geomagnetic pulsation amplitude and spectrum variations accompanying the ionospheric heating by high-power radio waves from the Sura facility // Radiophysics and Quantum Electronics. 2014. Vol. 57, No 5. Pp. 340–359.
26. Chernogor L. F., Panasenko S. V., Frolov V. L., Domnin I. F. Observations of the ionospheric wave disturbances using the Kharkov incoherent scatter radar upon RF heating of the near-earth plasma // Radiophysics and Quantum Electronics. 2015. Vol. 52, No 2. Pp. 79–91.
27. Domnin I. F., Uryadov V. P., Chernogor L. F., Panasenko S. V. Results of radiophysical studies of the wave processes in the ionospheric plasma during its heating by high-power radio emission of the Sura facility // Radiophysics and Quantum Electronics. 2012. Vol. 55, No 4. Pp. 253–265.

28. Черногор Л. Ф. Крупномасштабные возмущения в нижней ионосфере, вызванные воздействием мощного нестационарного радиоизлучения // Радиофизика и радиоастрономия. 2013. Т.18, № 1. С. 49–64.
29. Buonsanto M. J. Ionospheric storms: A Review // Space Sci. Rev. 1999. Vol. 88. Pp. 563 – 601.
30. Брюнелли Б. Е., Намгаладзе А. А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 528 с.
31. Belov A. S., Markov G. A., Komrakov G. P. et al. Excitation of guided ELF-VLF waves through modification of the F2 ionospheric layer by high-power radio waves // Plasma Phys. Rep. 2012. Vol. 38, No 3. Pp. 219–224.
32. Markov G.A., Belov A.S., Frolov V.L. et al. Excitation of a magnetospheric maser through modification of the Earth's ionosphere by high-power HF radio emission from a ground-based transmitter // Zh. Eksper. Teoret. Fiz. Vol. 111, No 6. Pp. 916–920.
33. Tadokoro H., Tsuchiya F., Miyoshi Y. et al. Electron flux enhancement in the inner radiation belt during moderate magnetic storms // Ann. Geophys. 2007. Vol. 12. Pp. 1359–1364.
34. Cole K. D. Formation of field-aligned irregularities in the magnetosphere // J. Atmos. and Terr. Phys. 1971. Vol. 33. Pp. 741–750.
35. Park C. G., Helliwell R. A. The formation by electric fields of field-aligned irregularities in the magnetosphere // Radio. Sci. 1971. Vol. 6. Pp. 299–304.
36. Walker A. D. M. Formation of whistler ducts // Planet. Space. Sci. 1978. Vol. 26. Pp. 375–379.

Статья поступила в редакцию 09.03.16.

Для цитирования: Черногор Л. Ф., Фролов В. Л., Барабаш В. В. Эффекты воздействия мощным радиоизлучением на ионосферу на фоне умеренных геокосмических бурь: результаты наблюдений с помощью ионозондов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 6-27. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.6

Информация об авторах

ЧЕРНОГОР Леонид Феоктистович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры космической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина. Область научных интересов – радиофизика, радиоэлектроника, физическая экология, теория сигналов. Автор 948 публикаций.

ФРОЛОВ Владимир Леонтьевич – доктор физико-математических наук, заведующий сектором Научно-исследовательского радиофизического института, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. Область научных интересов – физика ионосферы, распространение радиоволн, физика плазмы, генерация искусственной ионосферной турбулентности. Автор 175 публикаций.

БАРАБАШ Владимир Владимирович – младший научный сотрудник, Институт ионосферы НАН и МОН Украины. Область научных интересов – радиофизика, радиоэлектроника, вертикальное зондирование, волновые возмущения в ионосфере. Автор 10 публикаций.

UDC 550.388, 533. 951, 537. 868

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.6

EFFECTS OF POWERFUL RADIO EMISSION EXPOSURE ON THE IONOSPHERE ON THE BACKGROUND OF MODERATE GEOCOSMIC STORMS: RESULTS OF OBSERVATION USING IONOSONDES

L. F. Chernogor¹, V. L. Frolov^{2,3}, V. V. Barabash⁴

¹V. N. Karazin Kharkov National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine,
4, Svobody Square, Kharkov, 61022, Ukraine

E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

²Radiophysical Research Institute of the Ministry of Education and Science,
25/12a, B. Pecherskaya Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

E-mail: frolov.418@nirfi.sci-nnov.ru

³Kazan Federal University of the Ministry of Education and Science,
18, Kremlevskaya Street, Kazan, Russian Federation, 420008

⁴The Institute of the Ionosphere of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Ministry
of Education and Science of Ukraine,

16, Krasnoznamennaya Street, Ukraine, 61002, Kharkov

E-mail: iion@kpi.kharkov.ua

Key words: powerful radio emission; large-scale disturbances; critical frequency; EAIM system (the Earth-atmosphere-ionosphere-magnetosphere); interaction of subsystems; electron precipitation.

ABSTRACT

The **purpose** of the work is a summary of the results of critical frequency variations observation with three ionosondes, separated in latitude and longitude under powerful radio emission exposure on the ionosphere of the heating facility «Sura». The distances from ionosondes to the heating facility were 560, 960 and 2200 km. **Results.** In time variations of the layer critical frequency, aperiodic bursts were discovered with the value $0.1 \div 0.4$ MHz. The powerful radio emission exposure on the ionosphere lasted 15 minutes. Disturbance delay time with respect to the heating facility «switching on» moment was $5 \div 15$ min and its duration was $10 \div 15$ min. The horizontal range of the disturbed ionosphere region was not less than 2200 km. The magnitude of disturbances slightly decreased with an increase in the distance from the heating facility. In some cases the «accumulation effect» of disturbances was observed, when aperiodic bursts appeared during heating facility operation in the mode 5 min «on», 5 min «off». Discovered bursts of the critical frequency can be masked by wave disturbances of natural and man-made origin. In the latter case wave disturbances were generated by powerful radio emission that their propagation speed (about $300 \div 500$ m/sec) and its dependence on the altitude show. Under natural conditions, the generation site of wave disturbances is not usually known, that doesn't allow estimating their propagation velocity. The electron flow value could be about $108\text{--}109$ M–2sec–2 at their energy 100 keV. Aperiodic bursts of the critical frequency demonstrate the increase of $1 \div 10\%$ of the electron concentration in the region F of the ionosphere, which is probably determined by high-energy electron precipitation from the Earth radiation belt, which is in the metastable state. This state could be caused by weak and moderate geocosmic storms, observed during measuring. Observed bursts were probably caused by disturbances (stimulated by geocosmic storms) of the established (under quite conditions) interaction of subsystems in the system the Earth-atmosphere-ionosphere-magnetosphere, specifically high-energy electron precipitation from the magnetosphere into the atmosphere and its additional ionization. **Conclusion.** Discovered regularities require confirmation and a more detailed study using other testing procedures and electron flow measurements on low-flying artificial satellites.

Acknowledgements

The authors express their thanks to the staff of the heating facility SURA for their assistance in carrying out experimental investigations.

V. L. Frolov's work was carried out with the grant financial support from the Russian Science Foundation № 14-12-00556 with respect to the analysis of received experimental data. Experiment results, presented in the review, were received, using the heating facility SURA with the financial support from FTP «Geophysics» and RFBR (grants №№ 11-02-00374, 13-02-12074, 13-02-12241).

REFERENCES

1. Chernogor L. F. Fizika Zemli, atmosfery i geokosmosa v svete sistemnoy paradigmy [Physics of the Earth, the Atmosphere and Geocosmos from the Standpoint of System Paradigm]. *Radio Physics and Radio Astronomy*. 2003. Vol. 8. No 1. Pp. 59–106.
2. Chernogor L. F. The Earth–atmosphere–geospace system: main properties and processes. *Int. J. Remote Sens.* 2011. Vol. 32, No 11. Pp. 3199–3218.
3. Chernogor L. F., Frolov V. L., Komrakov G. P. et al. Variations in the ionospheric wave perturbation spectrum during periodic heating of the plasma by high-power high-frequency radio waves. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2011. Vol. 54, No 2. Pp. 75–88.
4. Chernogor L. F., Domnin I. F. *Fizika geokosmicheskikh bur'* [Physics of Geospace Storms]. Kharkov: KhNU imeni V. N. Karazina, 2014. 408 p.
5. Chernogor L. F. *Fizika moshchnogo radioizlucheniya v geokosmose*. [Physics of Powerful Radio Emission in Geospace]. Kharkov: KhNU imeni V. N. Karazina, 2014. 448 p.
6. Borisov N. D., Gurevich A. V., Milikh G. M. *Iskusstvennaya ionizirovannaya oblast' v atmosfere* [Artificially Ionized Region in the Atmosphere]. Moscow: IZMIRAN Publ, 1986. 184 p.
7. Gurevich A. V., Shvartsburg A. B. Nelineinaya teoriya rasprostraneniya radiovoln v ionosfere [Non-Linear Theory of Propagation of Radio Waves in the Ionosphere]. Moscow: Nauka, 1973. 272 p.
8. Mityakov N. A., Grach S. M., Mityakov S. N. Vozmushchenie ionosfery moshhnymi radiovolnami [Ionospheric Disturbance by Powerful Radio Waves]. *Itogi nauki i tekhniki. Ser. Geomagnetizm i vysokie sloi atmosfery* [The Results of Science and Technology. Series Geomagnetism and High Layers of the Atmosphere]. 1989. Vol. 9. Pp. 1–140.
9. *Teplovye nelineynye yavleniya v plazme / Sbornik nauch. trudov* [Thermal Nonlinear Phenomena in Plasma / Collection of Scientific Papers]. Gor'kiy, IAF AS SSSR, 1979. 220 p.
10. Gurevich A. V. Nonlinear phenomena in the ionosphere. New York, Heidelberg, Berlin: Springer, Verlag, 1978. 465 p.
11. *Radio Sci.* 1974. Vol. 9. No. 11 (special iss.).
12. Garmash K. P., Chernogor L. F., Shvartsburg A. B. Vozniknovenie krupnomasshtabnykh vozmushcheniy v ionosfere, initsiruemykh moshchnym nestatsionarnym radioizlucheniem [The Occurrence of Large-Scale Disturbances in the Ionosphere Initiated by Powerful Non-Stationary Radio Emission]. *Komp'yuternaya optika* [Computer Optics]. 1989. Iss. 6. Pp. 62–71.
13. Garmash K. P., Chernogor L. F. Effekty v okolozemnoy plazme, stimulirovannye vozdeystviem moshchnogo radioizlucheniya [The Effects in the Near-Earth Plasma, Stimulated by the Influence of Powerful Radio Emission]. *Zarubezhnaya radioelektronika. Uspekhi sovremennoy radioelektroniki* [International Radio Electronics. Achievements of Modern Radio Electronics]. 1998. No 6. Pp. 17–40.
14. Kostrov L. S., Chernogor L. F. Doplerovskoe radiozondirovanie krupnomasshtabnykh volnovykh vozmushcheniy v ionosfere, generiruemykh moshchnym radioizlucheniem [Doppler Radio Probing of Large-Scale Wave Disturbances in the Ionosphere, Generated by Powerful Radio Emission]. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 1990. Vol. 30, No 1. Pp. 159–161.
15. Chernogor L. F. Statisticheskie kharakteristiki krupnomasshtabnykh vozmushcheniy v ionosfere, initsiruemykh vozdeystviem moshchnogo nestatsionarnogo izlucheniya [Statistic Characteristics of Large-Scale Disturbances in the Ionosphere Initiated by Powerful Non-Stationary Radio Emission]. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 1989. Vol. 29, No 3. Pp. 513–515.
16. Chernogor L. F. Fazovye variatsii kilometrovyykh radiovoln, soputstvovavshie vozdeystviyu na ionosferu moshchnogo radioizlucheniya [Phase Variations of Kilometric Radio Waves Accompanying Powerful Radiation Exposure on the Ionosphere]. *Radiofizika i radioastronomiya* [Radio Physics and Radio Astronomy]. 2009. Vol. 14, No 4. Pp. 377–389.
17. Chernogor L. F. Mekhanizmy generatsii kolebaniy infrazvukovogo diapazona v verkhney atmosfere pod deystviem moshchnogo periodicheskogo radioizlucheniya [Mechanisms for Generating Oscillations in the Infrasound Frequency Range in the Upper Atmosphere under Powerful Periodic Radio Emission Exposure]. *Radiofizika i radioastronomiya* [Radio Physics and Radio Astronomy]. 2012. Vol. 17, No 3. Pp. 240–253.
18. Burmaka V. P., Domnin I. F., Uryadov V. P., Chernogor L. F. Variations in the parameters of scattered signals and the ionosphere connected with plasma modification by high-power radio waves. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2009. Vol. 52, No 11. Pp. 774–795.
19. Chernogor L. F., Domnin I. F., Panasenko S. V., Uryadov V. P. Aperiodic large-scale disturbances in the ionospheric E region stimulated by high-power HF heating. *Radiophysics and Quantum Electronics*, 2012. Vol. 55, No 3. Pp. 156–167.
20. Chernogor L. F., Frolov V. L., Pushin V. F. Infrasound oscillations in the ionosphere affected by high-power radio waves. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2012. Vol. 55. No 5. Pp. 296–308.
21. Chernogor L. F., Frolov V. L. Traveling ionospheric disturbances generated due to periodic plasma heating by high-power high-frequency radiation. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2012. Vol. 55. No 1, 2. Pp. 13–32.

22. Chernogor L. F., Frolov V. L. Features of propagation of the acoustic-gravity waves generated by high-power periodic radiation. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2013. Vol. 56, No 4. Pp. 197–215.
23. Chernogor L. F., Frolov V. L. Features of the wave disturbances in the ionosphere during periodic heating of the plasma by the "Sura" radiation. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2013. Vol. 56, No 5. Pp. 276–289.
24. Chernogor L. F., Frolov V. L., Barabash V. V. Aperiodic large-scale disturbances in the lower ionosphere. Ionosonde observation results. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2014. Vol. 57, No 2. Pp. 100–116.
25. Chernogor L. F., Frolov V. L. Geomagnetic pulsation amplitude and spectrum variations accompanying the ionospheric heating by high-power radio waves from the Sura facility. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2014. Vol. 57, No 5. Pp. 340–359.
26. Chernogor L. F., Panasenko S. V., Frolov V. L., Domnin I. F. Observations of the ionospheric wave disturbances using the Kharkov incoherent scatter radar upon RF heating of the near-earth plasma. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2015. Vol. 52, No 2. Pp. 79–91.
27. Domnin I. F., Panasenko S. V., Uryadov V. P., Chernogor L. F. Results of radiophysical studies of the wave processes in the ionospheric plasma during its heating by high-power radio emission of the Sura facility. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2012. Vol. 55, No 4. Pp. 253–265.
28. Chernogor L. F. Krupnomasshtabnye voz-mushcheniya v nizhney ionosfere, vyzvannye vozdeystviem moshchnogo nestatsionarnogo radio-izlucheniya [Large-Scale Disturbances in the Lower Ionosphere Caused by Powerful Non-Stationary Radio Emission Exposure]. *Radiofizika i radioastronomiya* [Radio Physics and Radio Astronomy]. 2013. Vol. 18, No 1. Pp. 49–64.
29. Buonsanto M. J. Ionospheric storms: A Review. *Space Sci. Rev.* 1999. Vol. 88. Pp. 563–601.
30. Bryunelli B. E., Namgaladze A. A. Fizika ionosfery [Physics of the Ionosphere]. Moscow: Nauka, 1988. 528 p.
31. Belov A. S., Markov G. A., Komrakov G. P., Parrot M. Excitation of guided ELF-VLF waves through modification of the F2 ionospheric layer by high-power radio waves. *Plasma Phys. Rep.* 2012. Vol. 38, No 3. Pp. 219–224.
32. Markov G. A., Belov A. S., Frolov V. L. et al. Excitation of a magnetospheric maser through modification of the Earth's ionosphere by high-power HF radio emission from a ground-based transmitter. *Zh. Eksper. Teoret. Fiz.* Vol. 111, No 6. Pp. 916–920.
33. Tadokoro H., Tsuchiya F., Miyoshi Y. et al. Electron flux enhancement in the inner radiation belt during moderate magnetic storms. *Ann. Geophys.* 2007. Vol. 12. Pp. 1359–1364.
34. Cole K. D. Formation of field-aligned irregularities in the magnetosphere. *J. Atmos. and Terr. Phys.* 1971. Vol. 33. Pp. 741–750.
35. Park C. G., Helliwell R. A. The formation by electric fields of field-aligned irregularities in the magnetosphere. *Radio. Sci.* 1971. Vol. 6. Pp. 299–304.
36. Walker A. D. M. Formation of whistler ducts. *Planet. Space. Sci.* 1978. Vol. 26. Pp. 375–379.

The article was received 09.03.16.

Citation for an article: Chernogor L. F., Frolov V. L., Barabash V. V. Effects of Powerful Radio Emission Exposure on the Ionosphere on the Background of Moderate Geocosmic Storms: Results of Observation Using Ionosondes. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2016. No 2 (30). Pp. 6-27. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.6

Information about the authors

CHERNOGOR Leonid Feoktistovich – Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Chair of Space Radiophysics, V. N. Karazin Kharkov National University. The sphere of scientific interests is radiophysics, radio electronics, physical ecology, theory of signals. The author of 948 publications.

FROLOV Vladimir Leontievich – Doctor of Physics and Mathematics, the Head of the Department of Scientific Research Radiophysical Institute, Lobachevsky National Research State University in Nizhny Novgorod. The sphere of scientific interests is the Physics of the ionosphere, radio wave propagation, plasma physics and generation of artificial ionospheric turbulence. The author of 175 publications.

BARABASH Vladimir Vladimirovich – a junior research fellow, Institute of the Ionosphere of the National Academy of Sciences and the Ministry of Education and Science of Ukraine. The sphere of scientific interests is radiophysics, radio electronics, vertical sounding and wave disturbances in the ionosphere. The author of 10 publications.

УДК 621.396

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.28

ПОДАВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ШУМОВ ПРИ РАЗРЕШЕНИИ СИГНАЛОВ ПО ДАЛЬНОСТИ И СКОРОСТИ

Я. А. Фурман, А. В. Казаринов, Д. С. Громыко

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

Рассмотрен класс конечномерных кодирующих последовательностей для сложных дискретных сигналов, обеспечивающих у сжатого сигнала нулевой уровень боковых лепестков. Показано, что в общем случае такие последовательности являются комплекснозначными и имеют равномерный энергетический спектр. Обработка подобных сигналов в приёмном тракте базируется на применении циклической согласованной фильтрации. Исследованы вопросы влияния движения цели на результаты сжатия эхосигналов с подобными кодирующими последовательностями.

Ключевые слова: аналоговый сигнал; конечномерный сигнал; сжатие сигналов; автокорреляционная функция; δ - функция; энергетический спектр; корреляционные шумы; согласованный фильтр.

Список литературы

1. Свистов В.М. Радиолокационные сигналы и их обработка. М.: Советское радио, 1977. 448 с.
2. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Скольника. Пер. с англ. под общей ред. В.С. Вербы. В двух книгах. М.: Техносфера, 2014. Книга I. 672 с.
3. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы; пер. с англ. под ред. В.С. Кельзона. М.: Советское радио, 1971. 568 с.
4. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. М.: Советское радио, 1970. 376 с.
5. Радиотехнические цепи и сигналы / Д.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков, и др.; под ред. К.А. Самойло. М.: Радио и связь, 1982. 528 с.
6. Лезин Ю.С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. М.: Советское радио, 1969. 448 с.
7. Вакман Д.Е. Регулярный метод синтеза фазоманипулированных сигналов. М.: Советское радио, 1967. 386 с.
8. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев и др.; под ред. Я.А. Фурмана. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 592 с.
9. Фурман Я.А. О двух замечательных видах замкнутых контуров изображений // Радиотехника и электроника. 1993. № 6. С. 1054-1061.
10. Furman Ya. A. Visual structure contours with special spectrocorrelation properties // Pattern Recognition and Image Analysis. 1996. № 4. Pp.734-746.
11. Леухин А.Н. Глобальный подход к синтезу фазокодированных последовательностей с нулевыми боковыми лепестками периодической АКФ. // Современная радиоэлектроника в ретроспективе идей В.А. Котельникова. М.: Изд-во МЭИ, 2003. С. 35-37.
12. Фурман Я.А., Егошина И.Л., Ерусланов Р.В. 2D и 4D векторные сигналы с хорошими корреляционными свойствами // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 4. С. 24.
13. Контурный дискретно-кодированный сигнал с идеальными корреляционными свойствами / Я.А. Фурман, А.А. Рожнецов, Р.Г. Хафизов, А.В. Казаринов // XXIX Всероссийский симпозиум «Радиолокационное исследование природных сред». СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015.
14. Frank R.L. Polyphase Codes with Good Non-periodic Correlation Properties / IEEE Trans. on Information Theory // 1963. Vol 9, № 1. Pp. 43-45.
15. Инамов В.П. Троичные последовательности с идеальными периодическими автокорреляционными свойствами // Радиотехника и электроника. 1979. № 10. С. 2053-2057.

Статья поступила в редакцию 16.11.15.

Для цитирования: Фурман Я.А., Казаринов А.В., Громыко Д.С. Подавление корреляционных шумов при разрешении сигналов по дальности и скорости // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 28-41. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.28

Информация об авторах

ФУРМАН Яков Абрамович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – радиолокация и навигация, цифровая обработка сигналов и изображений. Автор 160 публикаций.

КАЗАРИНОВ Артемий Витальевич – аспирант кафедры радиотехнических и медико-биологических систем, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – радиолокация и навигация, цифровая обработка сигналов.

ГРОМЫКО Дмитрий Сергеевич – аспирант кафедры радиотехнических и медико-биологических систем, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – радиолокация и навигация, цифровая обработка сигналов.

UDC 621.396

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.28

SUPPRESSION OF CORRELATED NOISE AT A RESOLUTION OF SIGNALS ACCORDING TO A DISTANCE AND SPEED

Ya. A. Furman, A. V. Kazarinov, D. S. Gromyko

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

Key words: analog signal; finite-dimensional signal; signal compression; autocorrelation function; δ -function; energy spectrum; correlated noise; matched filter.

ABSTRACT

Introduction. At present for the quantitative assessment of radar station resolution by non-energy parameters, the correlation function device is applied, when the difference in signal parameters is transformed into the distinction between their normalized autocorrelation functions. Meanwhile the signal resolution is the higher, the smaller its autocorrelation function differs from a delta function. However the realization of the autocorrelation function of this kind is connected with the impossible demand for infinitely high signal energy. Therefore besides the main lobe, the real signal autocorrelation function contains correlated noise in the form of side lobes. Their intensity also depends on properties of the signal. Their control was and still is an urgent problem in radiolocation and it is a primary objective during the synthesis of coding sequences. The **purpose** of this work is obtaining the complex envelope, related to a phase-coded probing signal and represented by an element of finite-dimensional vector space and having ACF in the form of a Kronecker symbol. Provided that the phase shift is compensated, the energy signal spectrum remains uniform that gives an opportunity of ideal compression and obtaining signal ACF in the form of a unit impulse. The structure of the device of echo signal processing from a moving target in the form of the multichannel circuit of phase shift compensation is offered. **Results.** The class of finite-dimensional coding sequences for complex discrete signals, providing the zero side-lobe level of the compressed signal is considered. It is shown that in general such sequences are complex valued and they have the uniform energy spectrum. The processing of such signals in the reception path is based on the application of cyclic matched filtering. The problems of the target movement influence on the results of the compression of echo signals with similar coding sequences have been investigated.

REFERENCES

1. Svistov V.M. *Radiolokatsionnye signaly i ikh obrabotka* [Radar Signals and their Processing]. Moscow: Sovetskoe radio, 1977. 448 p.
2. Radiolocation handbook / Edited by M.I. Skolnik. Translation from English under the general editorship of V.S. Verba. Two books. Moscow: Tekhnosfera, 2014. Book I. 672 p.
3. Cook Ch., Bernfeld M. *Radiolokatsionnye signaly* [Radar Signals]; translation from English under the editorship of V.S. Kelzon. Moscow: Sovetskoe radio, 1971. 568 p.
4. Varakin L.E. *Teoriya slozhnykh signalov* [Theory of Complex Signals]. Moscow: Sovetskoe radio, 1970. 376 p.

5. Vasiliev D.V., Vitol M.R., Gorshenkov Yu.N. et al. *Radiotekhnicheskie tsepi i signaly* [Radio Engineering Circuitry and Signals]; edited by K.A. Samoilo. Moscow: Radio i svyaz', 1982. 528 p.
6. Lezin Yu.S. *Optimal'nye fil'try i nakopiteli impul'snykh signalov* [Optimum Filters and Impulse Signal Storage Devices]. Moscow: Sovetskoe radio, 1969. 448 p.
7. Vakman D.E. *Regulyarnyy metod sinteza fazomanipulirovannykh signalov* [Regular Method of the Synthesis of Phase-Shift Keyed Signals]. Moscow: Sovetskoe radio, 1967. 386 p.
8. Vvedenie v konturnyy analiz; prilozheniya k obrabotke izobrazheniy i signalov [Introduction to Contour Analysis; Applications to Image and Signal Processing] / Ya.A. Furman, A.V. Krevetsky, A.K. Peredreev and others; edited by Ya. A. Furman. – the second edition. Moscow: FIZMATLIT, 2003. 592 p.
9. Furman Ya. A. O dvukh zamechatel'nykh vidakh zamknutykh konturov izobrazheniy [On Two Remarkable Types of Closed Image Contours]. *Radio-tekhnika i elektronika* [Radio Engineering and Electronics]. 1993. № 6. Pp. 1054-1061.
10. Furman Ya. A. Visual structure contours with special spectrocorrelation properties. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 1996. № 4. Pp. 734–746.
11. Leuhin A.N. Global'nyy podkhod k sintezu fazokodirovannykh posledovatel'nostey s nulevymi bokovymi lepestkami periodicheskoy AKF [The Global Approach to the Synthesis of Phase-Coded Sequences with Zero Side Lobes of Periodic ACF]. *Sovremennaya radioelektronika v retrospektive idey V.A. Kotelnikova* [Modern radio electronics in retrospect of V.A. Kotelnikov's ideas]. Moscow: Izd-vo MEI, 2003. Pp. 35-37.
12. Furman Ya.A., Egoshina I.L., Eruslanov R.V. 2D i 4D vektornye signaly s khoroshimi korrelyatsionnymi svoystvami [2D and 4D Vector Signals with Good Correlation Properties]. *Zhurnal radioelektroniki* [Journal of radio electronics]. 2012. № 4. Pp. 24.
13. Furman Ya.A., Rozhentsov A.A., Hafizov R.G., Kazarinov A.V. Konturnyy diskretnokodirovanny signal s ideal'nymi korrelyatsionnymi svoystvami [A Contour Discrete-Coded Signal with Ideal Correlation Properties]. *XXIX Vserossiyskiy simpozium «Radiolokatsionnoe issledovanie prirodnikh sred»* [XXIX All-Russian Symposium «Radiolocation Research on Natural Environments»] StPb.: VKA imeni A.F. Mozhayskogo, 2015.
14. Frank R.L. Polyphase Codes with Good Non-periodic Correlation Properties. *IEEE Trans. on Information Theory*. 1963. Vol. 9. № 1. Pp. 43-45.
15. Ipatov V.P. Troichnye posledovatel'nosti s ideal'nymi periodicheskimi avtokorrelyatsionnymi svoystvami [Ternary Sequences with Ideal Periodic Autocorrelation Properties]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radio Engineering and Electronics]. 1979. № 10. Pp. 2053–2057.

The article was received 16.11.15.

Citation for an article: Furman Ya. A., Kazarinov A. V., Gromyko D. S. Suppression of Correlated Noise at a Resolution of Signals According to a Distance and Speed. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2016. No 2 (30). Pp. 28-41. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.28

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 radiolocation and navigation, digital image and signal processing. The author of 160 publications.

KAZARINOV Artemy Vitalievich – a postgraduate student of the Chair of Medical-Biological System Engineering at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is radiolocation and navigation, digital signal processing.

GROMYKO Dmitry Sergeevich – a postgraduate student of the Chair of Medical-Biological System Engineering at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is radiolocation and navigation, digital signal processing.

УДК 621.372.061.2(075.8)

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.42

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ДЧМ ПРИ НАЛИЧИИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ПОМЕХИ В КАНАЛЕ С УМНОЖЕНИЕМ ЧАСТОТЫ

В. И. Есипенко¹, Л. Ю. Богомолова²

¹Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,
Российская Федерация, 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24
E-mail: esipenko@nntu.nnov.ru

²ООО «Артезио»,
Российская Федерация, 603093, Нижний Новгород, ул. Родионова, 23
E-mail: antantamil@ya.ru

Приводится теоретическая и экспериментальная оценка помехоустойчивости системы связи с дискретной частотной манипуляцией при наличии в канале связи белого шума и сосредоточенной по спектру помехи. Исследование базируется на развитой ранее методике. Показано, что использование в каждом подканале нелинейной обработки смеси с последующими узкополосной фильтрацией и детектированием на удвоенных поднесущих частотах позволяет улучшить помехоустойчивость приёма полезных сигналов.

Ключевые слова: частотная манипуляция; приём; гауссовский шум; сосредоточенная по спектру помеха; нелинейная обработка; узкополосная фильтрация; детектирование удвоенных поднесущих; оценка помехоустойчивости.

Список литературы

1. Теплов Н.Л. Помехоустойчивость систем передачи дискретной информации. М.: Связь, 1964. 159 с.
2. Стейн С., Джонс Дж. Принципы современной теории связи и их применение к передаче дискретных сообщений. М.: Связь, 1971. 376 с.
3. Левин Б.Р. Статистическая радиотехника. М.: Советское радио, 1962. 752 с.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Советское радио, 1971. 672 с.
5. Шварцман В.О., Емельянов Г.А. Теория передачи дискретной информации. М.: Связь, 1979. 424 с.
6. Есипенко В.И., Богомолова Л.Ю. Оценка помехоустойчивости системы связи с ДЧМ при наличии сосредоточенной помехи в канале связи // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 4. С. 11–19.
7. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.
8. Есипенко В.И. Прямой статистический анализ каскадных гаммерштейновских систем. М.: Книга по требованию, 2014. 374 с.
9. Коржик В.И., Финк Л.М., Щелкунов К.Н. Расчёт помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений. Справочник. М.: Радио и связь, 1981. 232 с.
10. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Наука, 1971. 1001 с.
11. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.И., Назаров М.В. Теория электрической связи. М.: Радио и связь, 1998. 432 с.

Статья поступила в редакцию 04.04.16.

Для цитирования: Есипенко В. И., Богомолова Л. Ю. Экспериментальная оценка помехоустойчивости системы связи с ДЧМ при наличии сосредоточенной помехи в канале с умножением частоты // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 42–51. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.42

Сведения об авторах

ЕСИПЕНКО Валентин Иванович – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры электроники и сетей ЭВМ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Область научных интересов – статистическая радиофизика и радиотехника, распространение радиоволн, электросвязь, статистические и нелинейные методы приёма и обработки сигналов, нелинейная радиолокация. Автор 160 публикаций, в том числе двух монографий и двух учебных пособий.

БОГОМОЛОВА Людмила Юрьевна – аспирант, программист, ООО «Артезио». Область научных интересов – статистические и нелинейные методы приёма и обработки сигналов. Автор шести публикаций.

УДК 621.372.061.2(075.8)

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.42

**EXPERIMENTAL ESTIMATE OF THE NOISE IMMUNITY
OF THE COMMUNICATION SYSTEM WITH BINARY FREQUENCY SHIFT KEYING
(FSK) IN CASE OF CONCENTRATED INTERFERENCE IN THE CHANNEL
WITH FREQUENCY MULTIPLICATION**

V. I. Esipenko¹, L. Yu. Bogomolova²

¹Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev,
24, Minin Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

E-mail: esipenko@nntu.nnov.ru

²LLC «Artezio»

23, Rodionov Street, Nizhny Novgorod, 603093, Russian Federation

E-mail: antantamil@ya.ru

Key words: frequency-shift keying; reception; Gaussian noise; interference, concentrated over the spectrum; nonlinear processing; narrow-band filtering; detection of duplicate subcarriers; noise immunity estimation.

ABSTRACT

Introduction. At present the rapid growth in the number of radio aids puts forward extremely difficult problems. One of them is providing the efficient operation of communication systems under conditions of ether «occupancy». It requires the answer to the question about providing the decrease in mutual interference between radio aids, operating together both in space and time. **Purpose:** The comparative estimate of the noise immunity of the reception of signals with binary frequency-shift keying (FSK) during non-coherent reception without frequency multiplication and with frequency multiplication by two times in a demodulator in the presence of Gaussian noise at the input and the interference, concentrated over the spectrum in one of its channels is carried out in this work. **Methodology / approach:** The theoretical and experimental analysis of demodulator noise immunity is carried out with frequency multiplication by two times in each of its subchannels and they are compared with analogous results, received and published earlier for a demodulator without frequency multiplication. The improved demodulator block diagram and established equations, which are initial for obtained results, are presented. **Results.** For different signal and noise power ratios at the output of acceptance filters of the demodulator, the estimates of probabilities of the erroneous reception of a desired signal in case of concentrated interference in one of subchannels have been received. **Application.** The obtained theoretical and experimental results show the usefulness of the application of the nonlinear processing of discrete signals in communication channels. **Conclusion.** It is shown, that the application of the nonlinear processing of desired discrete signals in the demodulator gives the possibility of improving noise immunity of their reception considerably.

REFERENCES

1. Teplov N.L. *Pomekhoustoichivost' sistem peredachi diskretnoy informatsii* [Interference Immunity of Discrete Information Transfer Systems]. Moscow: Svyaz', 1964. 159 p.
2. Stein S., Jones J. *Printsipy sovremennoy teorii svyazi i ikh primeneniye k peredache diskretnykh soobshcheniy* [Principles of Modern Communication Theory and their Application to Discrete Message Transfer]. Moscow: Svyaz', 1971. 376 p.
3. Levin B.R. *Statisticheskaya radiotekhnika* [Statistical Radio Engineering]. Moscow: Sovetskoe radio, 1962. 752 p.
4. Gonorovsky I.S. *Radiotekhnicheskie tsepi i signaly* [Radio Engineering Circuitry and Signals]. Moscow: Sovetskoe radio, 1971. 672 p.
5. Shvartsman V.O., Emelyanov G.A. *Teoriya peredachi diskretnoy informatsii* [Discrete Information Transfer Theory]. Moscow: Svyaz', 1979. 424 p.
6. Esipenko V.I., Bogomolova L.Yu. Otsenka pomekhoustoichivosti sistemy svyazi s DCHM pri nalichii sosredotochennoy pomekhi v kanale svyazi [Estimation of Noise Immunity of the Communication System with FSK in Case of Concentrated Interference in a Communication Channel]. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev]. 2014. № 4. Pp. 11–19.
7. Tihonov V.I., Harisov V.N. *Statisticheskii analiz i sintez radiotekhnicheskikh ustroystv i sistem* [Statistical Analysis and Synthesis of Radio Engineering Means and Systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1991. 608 p.
8. Esipenko V.I. *Pryamoy statisticheskii analiz kaskadnykh gammershteynovskikh sistem* [Direct Statistical Analysis of Cascade Hammerstein Systems]. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2014. 374 p.
9. Korzhik V.I., Fink L.M., Shchelkunov K.N. *Raschyot pomekhoustoichivosti sistem peredachi diskretnykh soobshcheniy* [Calculation of Noise Immunity of Discrete Message Transfer Systems]. Handbook. Moscow: Radio i svyaz', 1981. 232 p.
10. Gradshtein I.S., Ryzhik I.M. *Tablitsy integralov, summ, ryadov i proizvedeniy* [Tables of Integrals, Sums, Series and Products]. Moscow: Nauka, 1971. 1001 p.
11. Zyuko A.G., Klovsky D.D., Korzhik V.I., Nazarov M.V. *Teoriya elektricheskoy svyazi* [Electric Communication Theory]. Moscow: Radio i svyaz', 1998. 432 p.

The article was received 04.04.16.

Citation for an article: Esipenko V. I., Bogomolova L. Yu. Experimental Estimate of the Noise Immunity of the Communication System with Binary Frequency Shift Keying (FSK) in Case of Concentrated Interference in the Channel with Frequency Multiplication. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2016. No 2 (30). Pp. 42-51. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.42

Information about the authors

ESIPENKO Valentin Ivanovich – Doctor of Physics and Mathematics, Senior Research Fellow, Professor of the Chair of Electronics and Computer Network, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev. The sphere of scientific interests is Statistical Radiophysics and Radio Engineering, radio-wave propagation, electrical communication, statistical and nonlinear methods of receiving and processing signals, nonlinear radiolocation. The author of 160 publications, including 2 monographs and 2 training manuals.

BOGOMOLOVA Lyudmila Yurievna – a postgraduate student, programmer, LLC «Artezio». The sphere of scientific interests is statistical and nonlinear methods of receiving and processing signals. The author of 6 publications.

УДК 621.371.25; 550.388.2
DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.52

СИСТЕМА ЧАСТОТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАССИВНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНОГО КВ-РАДИОКАНАЛА

Р. Р. Бельгибаев, Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: ra4sbt@mail.ru

Решалась задача создания системы связи с встроенным режимом частотного обеспечения на основе применения метода пассивного зондирования многомерного ионосферного КВ-радиоканала сверхширокополосным ЛЧМ-сигналом. Многомерный канал представлен в виде упорядоченного множества одномерных узкополосных примыкающих каналов со средними частотами, заданными на сетке с шагом, равным полосе одномерного канала. Развита математическая модель многомерного канала. Разработан алгоритм автоматического определения текущих параметров многомерного канала, верифицированный в натурных экспериментах.

Ключевые слова: КВ-связь; режим частотного обеспечения; пассивный зонд; линейная частотная модуляция; параметры многомерного канала.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: проекты: № 15-07-05280; 15-07-05294; 16-35-50083; 16-37-60068; грантов Министерства образования и науки РФ: № 3.2695.2014 / К, № 8.2697.2014 / К; Российского научного фонда № 15-19-10053.

Список литературы

1. Иванов В.А., Иванов Д.В., М.И. Рябова, Соколкин Н.А. Искажение сложных декаметровых радиосигналов в дисперсных ионосферных радиоканалах при квазизенитном распространении // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 1 (8). С. 43-53.
2. Иванов В.А., Катков Е.В., Чернов А.А. Устройство и алгоритмы синхронизации радиотехнических систем связи и зондирования ионосферных высокочастотных радиоканалов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 2 (9). С. 114-126.
3. Иванов Д.В., Иванов В.А., Рябова М.И., Лацевский А.Р. Исследования коррекции дисперсионных искажений, возникающих в ионосферных радиоканалах с полосой 1 МГц // Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. Т. 13. № 8. С. 58-66.
4. Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В. и др. Зондирование ионосферных каналов высокочастотной связи с поверхности Земли // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2008. № 1 (2). С. 3-20.
5. Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В. Зондирование ионосферы и декаметровых каналов связи сложными радиосигналами // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 1 (8). С. 33-37.
6. Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова М.И. Исследование факторов, приводящих к искажению высокочастотных сигналов с расширенным спектром при их квазизенитном распространении в ионосфере // Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. Т. 16. № 8. С. 33-39.
7. Иванов В.А., Желонкин А.Ю., Рябова Н.В., Зуев А.В. Влияние геомагнитных возмущений на полное электронное содержание ионосферы // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 1 (11). С. 24-30.
8. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Теория и применение. М.: Советское радио, 1971. 567 с.
9. Филипп Н.Д., Блаунштейн Н.Ш., Ерухимов Л.М. и др. Современные методы исследования динамических процессов в ионосфере. Кишинев: Штиинца, 1991. 287 с.
10. Рябова Н.В. Диагностика и имитационное моделирование помехоустойчивых декаметровых радиоканалов: научное издание. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 292 с.

11. Хмельницкий Е.А. Оценка реальной помехозащищенности приема сигналов в КВ диапазоне. М.: Радио и связь, 1975. 232 с.
12. Бакут П.А., Большаков И.А., Герасимов Б.М и др. Вопросы статистической теории радиолокации; Под ред. Тартаковского Г.П. М.: Советское радио, 1963. Т. 1. 424 с.; 1964. Т. 2. 1079 с.
13. Бельгибаев Р.Р. Влияние радио блэкаута на частотную емкость линии декаметровая связи// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 4 (23). С. 23-34.

Статья поступила в редакцию 27.04.16.

Для цитирования: Бельгибаев Р. Р., Иванов Д. В., Иванов В. А., Рябова Н. В. Система частотного обеспечения на основе пассивного зондирования многомерного КВ-радиоканала // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 52-63. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.52

Информация об авторах

БЕЛЬГИБАЕВ Руслан Рашидович – аспирант кафедры высшей математики, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – ионосфера, распространение радиоволн, моделирование, радиосвязь. Автор 16 публикаций.

ИВАНОВ Дмитрий Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – моделирование технических систем, широкополосные сигналы, распространение радиоволн. Автор 187 публикаций.

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 281 публикации.

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 204 публикаций.

UDC 621.371.25; 550.388.2
DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.52

A FREQUENCY SUPPORT SYSTEM BASED ON THE PASSIVE SENSING OF A MULTIDIMENSIONAL SHORT-WAVE RADIO CHANNEL

R. R. Belgibaev, D. V. Ivanov, V. A. Ivanov, N. V. Ryabova
Volga State University of Technology,
3, Lenin Squire, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: ra4sbt@mail.ru

Key words: short-wave communication; frequency support mode; passive probe; linear frequency modulation; multidimensional channel parameters.

ABSTRACT

Introduction. The variability of the ionosphere creates problems for the operation of radio engineering systems, using a multidimensional ionospheric short-wave channel. For this reason the multiple users need the information about multidimensional channel parameters, which can be received in real-time, using signals emitted by transmitters of the world network of LFM ionosondes. Meanwhile it is necessary to restrict oneself to the features of standard receivers of short-wave communication. **The purpose of the work** is the development of methods, algorithm and software creation for the method of passive panoramic sensing of a multidimensional radio channel by a continuous LFM signal and their verification by natural experiments. **Conclusion.** The algorithm of passive sensing of a multidimensional short-wave radio channel by a LFM signal has been developed. The corresponding device and the algorithms of optimal signal processing, the visual display of the power delay profile of the multidimensional channel have been presented. The notion of the dimension of the multidimensional channel has been introduced. The formula of its estimation has been presented. The algorithm of the automatic determination of dimension, signal-to-noise ratio and short-wave radio channel memory was developed. It is shown that the sounding signal is a physical model of the communications signal. It allows estimating the quality of communication for an arbitrary partial channel upon the results of sensing. The received results allow implementing the frequency support mode based on the existing systems of short-wave communication without their equipment modernization and increasing the reliability of communication by 25-45 %.

The work was carried out with grant support from the Russian Foundation for Basic Research: projects № 15-07-05280; 15-07-05294; 16-35-50083; 16-37-60068; grants of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation: № 3.2695.2014/K, № 8.2697.2014/K; the Russian Science Foundation № 15-19-10053.

REFERENCES

1. Ivanov V. A., Ivanov D. V., Ryabova M. I., Sorokin N. A. Iskazhenie slozhnykh dekametrovykh radiosignalov v dispersnykh ionosfernykh radiokanalakh pri kvazizenitnom rasprostraneni [The Distortion of Complex Decameter Radio Signals in Dispersive Ionospheric Radio Channels During their Quasi-zenithal Propagation]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2010. № 1 (8). Pp. 43-53.
2. Ivanov V. A., Katkov E. V., Chernov A. A. Ustroistvo i algoritmy sinkhronizatsii radiotekhnicheskikh system svyazi i zondirovaniya ionosfernykh vysokochastotnykh radiokanalov [The Construction and Synchronization Algorithms of Radio Engineering Communication Systems and Ionospheric High-Frequency Radio Channel Sounding]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2010. № 2 (9). Pp. 114-126.
3. Ivanov V. A., Ivanov D. V., Ivanov V. A., Ryabova M. I., Lashchevsky A. R. Issledovaniya korrektsii dispersionnykh iskazheniy, voznikayushchikh v ionosfernykh radiokanalakh s polosoi 1 MGts [Investigations of the Correction of Dispersive Distortions Arising in Ionospheric Radio Channels with a Band 1 MHz]. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy* [Electromagnetic Waves and Electronic Systems]. 2008. Vol. 13. № 8. Pp. 58-66.
4. Ivanov V. A., Ivanov D. V., Ryabova N. V. et al. Zondirovanie ionosfernykh kanalov vysokochastotnoy svyazi s poverkhnosti Zemli [The Sounding of

the Ionospheric Channels of High-frequency Communication from the Surface of the Earth]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2008. № 1 (2). Pp. 3-20.

5. Ivanov V. A., Ivanov D. V., Ryabova N. V. Zondirovanie ionosfery i dekametrovykh kanalov svyazi slozhnyimi radiosignalami [The Sounding of the Ionosphere and Decameter Communication Channels by Complex Radio Signals]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2010. № 1 (8). Pp. 3-37.

6. Ivanov V. A., Ivanov D. V., Ryabova M. I. Issledovanie faktorov, privodyashchikh k iskazheniyu vysokochastotnykh signalov s rasshirennym spektrom pri ikh kvazizenitnom rasprostraneni v ionosfere [The Research on the Factors Leading to the Distortion of High-frequency Spread-spectrum Signals during their Quasi-zenithal Propagation in the Ionosphere]. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy* [Electromagnetic Waves and Electronic Systems]. 2011. Vol. 16, № 8. Pp.33-39.

7. Ivanov V. A., Zhelonkin A. Yu., Ryabova N. V., Zuev A. V. Vliyaniye geomagnitnykh vozmushcheniy na polnoe elektronnoye sodержание ionosfery [The Influence of Geomagnetic Disturbance on Full Electronic Content of the Ionosphere]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo uni-*

versiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2011. № 1(11). Pp. 24-30.

8. Kuk Ch., Bernfeld M. Radiolokatsionnye signaly [Radiolocation Signals]. Moscow: Sovetskoe radio, 1971, 568 p.

9. Filipp N.D., Blaunshtein N.Sh., Eruhimov L.M. et al. Sovremennyye metody issledovaniya dinamicheskikh protsessov v ionosphere [Modern Methods of Research on Dynamic Processes in the Ionosphere]. Kishinev: Shtiintsa, 1991. 287 p.

10. Ryabova N.V. Diagnostika i imitatsionnoye modelirovaniye pomekhoustoichivyykh dekametrovykh radiokanalov: monografiya [Diagnostics and Simulation Modeling of Interference Immune Decameter Radio Channels: monograph]. Yoshkar-Ola: MARS-TU, 2003. 292 p.

11. Hmel'nitsky E.A. Otsenka real'noy pomekhozashchishchennosti priema signalov v KV diapazone [Estimation of Real Noise Immunity of Signal Reception in a Short-Wave Range]. Moscow: Radio i svyaz', 1975, 232 p.

12. Bakut P.A., Bolshakov I.A., Gerasimov B.M. and others. Voprosy statisticheskoy teorii radiolokatsii [Problems of Statistical Radiolocation Theory]; Edited by Tartakovsky G.P. Moscow: Sovetskoe radio, 1963, Vol. 1. 424 p.; 1964, Vol. 2. 1079 p.

13. Belgibaev R. R. Influence of radio blackout on frequency capacity of a decameter communication line. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2014. No 4 (23). Pp. 23-34.

The article was received 27.04.16.

Citation for an article: Belgibaev R. R., Ivanov D. V., Ivanov V. A., Ryabova N. V. A Frequency Support System Based on the Passive Sensing of a Multidimensional Short-Wave Radio Channel. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2016. No 2 (30). Pp. 52-63. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.52

Information about the authors

BELGIBAEV Ruslan Rashidovich – a postgraduate student of the Chair of Higher Mathematics at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is the ionosphere, propagation of radio waves, modeling, radio communication. The author of 16 publications.

IVANOV Dmitry Vladimirovich – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, 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 187 publications.

IVANOV Vladimir Alekseevich – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, the Head of the Chair of Higher Mathematics at 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 281 publications.

RYABOVA Natalia Vladimirovna – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, the Head of the Chair of Radio Engineering and Communication at 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 204 publications.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 004.7

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.64

ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ УГРОЗАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ MESH-СЕТЯХ

И. И. Безукладников, А. А. Миронова, А. А. Южаков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Российская Федерация, 614013, Пермь, ул. Профессора Поздеева, 7
E-mail: corrector@at.pstu.ru

Рассматриваются проблемы информационной безопасности в современных распределённых беспроводных mesh-инфраструктурах. Анализ показал недостаточную проработку вопросов информационной безопасности в рассмотренных технологиях 6LoWPAN и Bluetooth 4.0 LE. Одним из основных видов атак на подобные технологии являются атаки, направленные на получение ключей доступа к сети у наименее защищённых, либо у наиболее доступных участников распределённой инфраструктуры с последующим доступом ко всей сети в целом. Предлагается подход, основанный на использовании скрытых каналов для передачи сигнатурной информации, позволяющий подтверждать подлинность участников сетевого взаимодействия в обход потенциальных средств перехвата, используемых злоумышленником.

Ключевые слова: скрытые каналы; P2P сети; mesh-сети; MANET; информационная безопасность; 6LoWPAN; Bluetooth.

Список литературы

1. Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks / Mirosław Kutulowski, Jacek Cichon, Przemisław Kubiak, Eds. Poland, Wrocław: Springer, 2007. 163 p.
2. Баранова Е. IEEE 802.15.4 и его программная настройка ZigBee [Электронный ресурс] // Телемультимедиа, 8 мая 2008. URL: <http://www.ipmce.ru/about/press/popular/telemultimedia08052008/> (дата обращения 30.04.16).
3. Безукладников И.И., Кон Е.Л. Скрытые каналы в информационно-управляющих системах // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н.Туполева. 2012. № 3. С. 124-131.
4. Безукладников И.И., Кон Е.Л. Скрытые каналы в распределённых автоматизированных системах // Вестник УГАТУ. 2010. Т.14. № 2 (37). С. 245-250.
5. Безукладников И.И., Кон Е.Л. Проблема скрытых каналов в промышленных информационно-управляющих и инфокоммуникационных сетях // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 7. С. 61-64.
6. Гуцина О. Беспроводное будущее: геологические исследования по Wi-Fi и авиадвигатель с Bluetooth [Электронный ресурс]. Электронный журнал «Роснаука». URL: <http://rosnauka.ru/publication/782> (дата обращения 30.04.16).
7. Маркелов К. С., Нейман А. Б. Безопасность беспроводных сетей // Молодой ученый. 2012. № 4. С. 63-66.
8. Джонас Олссон. Раскрываем тайны 6LoWPAN // Новости электроники. 2015. № 11. С. 30-36.

Статья поступила в редакцию 12.05.16

Для цитирования: Безукладников И.И., Миронова А.А., Южаков А.А. Противодействие угрозам информационной безопасности в распределённых беспроводных mesh-сетях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 64-74. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.64

Информация об авторах

БЕЗУКЛАДНИКОВ Игорь Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и телемеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Область научных интересов – нестандартные угрозы информационной безопасности в промышленных сетях, сетях общего назначения, распределённых системах и сервисах; скрытые каналы в ИКС/РИУС. Автор 40 публикаций.

МИРОНОВА Анна Алексеевна – студент 4 курса бакалавриата кафедры автоматизации и телемеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Область научных интересов – комплексная информационная безопасность распределённых сетей.

ЮЖАКОВ Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и телемеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Область научных интересов – надёжность, информационная безопасность и производительность информационно-управляющих и инфокоммуникационных систем и сетей. Автор 100 публикаций.

УДК 004.7

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.64

INFORMATION SECURITY THREAT COUNTERMEASURES IN DISTRIBUTED WIRELESS MESH-NETWORKS

I. I. Bezukladnikov, A. A. Mironova, A. A. Yuzhakov

Perm National Research Polytechnic University,
7, Professor Pozdeev St., Perm, 614013, Russian Federation
E-mail: corrector@at.pstu.ru

Key words: covert channels; P2P networks; mesh networks; MANET; information security; 6LoWPAN; Bluetooth.

ABSTRACT

Introduction. In recent years one of the most perspective and rapidly developing directions is the development and creation of wireless distributed peer-to-peer networks (p2p, mesh, MANET networks). As a rule, such networks are self-organizing and represent a set of intelligent nodes, combined by means of a radio channel. At present there is a number of technologies and standards (6LoWPAN, ZigBee, WirelessHART, Bluetooth 4.0LE, IEEE 802.15.4). Unfortunately, in spite of the growing popularity of such network technologies, the problems of providing the information security have not been properly studied. This work is a part of the cycle of articles about the security of modern mesh-protocols. **The purpose** of the work is the creation of the comprehensive, systematic approach to providing the information security of distributed network infrastructures. **Results.** The problems of providing the information security of distributed wireless mesh-networks are considered in the article. The analytical review of the most popular mesh-technologies 6LoWPAN and Bluetooth 4.0LE was carried out, which showed the lack of consistency in providing their information security and the insufficient elaboration of a number of aspects. The absence of mechanisms of resistance to one of the most dangerous attacks on such networks – «weak link» attacks was revealed. The universal (invariant to the technology) method of countering such attacks was suggested, satisfying the requirements and based on the application of covert channels. The use of covert channels allowed providing the principal security of transmitted information, which is protected from existing soft/hardware means, available to attackers and it in its turn allows facilitating their physical search. The experiment was conducted, showing the acceptability of temporal indexes of the suggested method of protection which allowed using it as part of standard IS (information security) policies.

REFERENCES

1. Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks. Mirosław Kutulowski, Jacek Cichon, Przemisław Kubiak, Eds. Poland, Wrocław: Springer, 2007, 163 p.

2. Baranova E. IEEE 802.15.4 i ego programmaya nadstroika ZigBee [IEEE 802.15.4 and its Add-in ZigBee [Electronic resource] // Telemultimedia, May 8, 2008. URL: <http://www.ipmce.ru/about/press/popular/telemultimedia08052008/> (reference date: 30.04.16).
3. Bezukladnikov I.I., Kon E.L. Skrytye kanaly v informatsionno-upravlyayushchikh sistemakh [Covert Channels in Information-Control Systems]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N.Tupoleva* [Bulletin of Kazan State Technical University named after A. N. Tupolev]. 2012. № 3. Pp. 124-131.
4. Bezukladnikov I.I., Kon E.L. Skrytye kanaly v raspredelennykh avtomatizirovannykh sistemakh [Covert Channels in Distributed Computer-Aided Systems]. *Vestnik UGATU* [Bulletin of USATU]. 2010. Vol.14, № 2 (37). Pp. 245-250.
5. Bezukladnikov I.I., Kon E.L. Problema skrytykh kanalov v promyshlennykh informatsionno-upravlyayushchikh i infokommunikatsionnykh setyakh [The Problem of Covert Channels in Industrial Information-Control and Infocommunication Networks]. *Promyshlennyye ASU i kontroly* [ICS and Controllers]. 2011. № 7. Pp. 61-64.
6. Gushchina O. Besprovodnoe budushchee: geologicheskie issledovaniya po Wi-Fi i aviadvigatel' s Bluetooth [Wireless Future: Wi - Fi Geological Research and an Airplane Engine with Bluetooth]. Electronic journal «Rosscience». URL: <http://rosnauka.ru/publication/782> (reference date 30.04.16).
7. Markelov K. S., Neiman A. B. Bezopasnost' besprovodnykh setey [Wireless Network Security]. *Molodoi uchenyi* [Young scientist]. 2012. № 4. Pp. 63-66.
8. Jonas Olsson. Raskryvaem tainy 6LoWPAN [We Disclose Secrets of 6LoWPAN]. *Novosti elektroniki* [News of electronics]. 2015. № 11. Pp. 30-36.

The article was received 12.05.16.

Citation for an article: Bezukladnikov I. I., Mironova A. A., Yuzhakov A. A. Information Security Threat Countermeasures in Distributed Wireless Mesh-Networks. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2016. No 2 (30). Pp. 64-74. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.64

Information about the authors

BEZUKLADNIKOV Igor Igorevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University. The sphere of scientific interests is non-standard threats of information security in industrial networks, general-purpose networks, distributed systems and services; covert channels in distributed information-control systems. The author of 40 publications.

MIRONOVA Anna Alekseevna – a fourth-year student in Bachelor studies of the Chair of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University. The sphere of scientific interests is the comprehensive information security of distributed networks.

YUZHAKOV Aleksandr Anatolievich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of the Chair of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University. The sphere of scientific interests is reliability, information security and the performance of information-control and infocommunication systems and networks. The author of 100 publications.

УДК 681.32

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.75

ТРАНЗИСТОРНОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ В ЛОГИЧЕСКОМ ЭЛЕМЕНТЕ FPGA DC LUT

С. Ф. Тюрин¹, В. Г. Зарубский²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Российская Федерация, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29

E-mail: tyurinsegerfe@yandex.ru

²Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний Российской Федерации,
Российская Федерация, 614012, Пермь, ул. Карпинского, 125

E-mail: volen3030@rambler.ru

Существующие логические элементы программируемых логических интегральных схем – ПЛИС типа FPGA (field-programmable gate array), часто именуются LUT (Look Up Table), что символизирует факт универсальности – в него записывается таблица истинности требуемой логической функции. Такие LUT представляют собой мультиплексор с настройкой данных и реализуют одну логическую функцию в совершенной дизъюнктивной нормальной форме – СДНФ. Предложены и запатентованы DC LUT, которые могут реализовывать несколько логических функций в СДНФ на основе дешифрации входного набора с дополнительными блоками настройки дизъюнкций членов СДНФ в разных функциях. В статье уточняется структура DC LUT, получаются оценки сложности, вероятности безотказной работы по сравнению с LUT, оценивается сложность масштабирования с целью увеличения разрядности реализуемых логических функций. Предлагается и оценивается отказоустойчивый DC LUT на основе резервирования транзисторов в дереве транзисторов, в блоках настройки дизъюнкций и в инверторах. Делается вывод о предпочтительности по сложности и вероятности безотказной работы DC LUT по сравнению с LUT.

Ключевые слова: логический элемент; программируемая логическая интегральная схема типа FPGA; LUT; транзистор; функционально полный толерантный логический элемент; избыточность; вероятность безотказной работы.

Список литературы

1. Корчинский А.П., Бурцева Н.В. Применение программируемых логических интегральных схем в электронной аппаратуре [Электронный ресурс]. URL: http://www.lib.nau.edu.ua/Journals/ESU/2009_4/R_1_5-13.pdf (дата обращения: 07.04.2016).
2. Опанасенко В.Н. Высокопроизводительные реконфигурируемые компьютеры на базе FPGA [Электронный ресурс]. URL: <http://masters.donntu.org/2010/fknt/vaskovtsov/library/114-118.pdf> (дата обращения: 07.04.2016).
3. Основы разработки с применением ПЛИС. Part 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://gnuradio.ru/2015/11/13/fpga-part1/> (дата обращения: 07.04.2016).
4. Греков А.В., Успенко В.Б. Перспективные программируемые логические интегральные схемы FPGA фирмы Altera // В мире научных открытий. 2014. № 6.1. С. 518-534.
5. Цыбин С. Программируемая коммутация ПЛИС: взгляд изнутри [Электронный ресурс]. URL: http://www.kit-e.ru/articles/plis/2010_11_56.php (дата обращения: 16.12.2014).
6. Золотуха Р., Комолов Д. Stratix III – новое семейство FPGA фирмы Altera [Электронный ресурс]. URL: http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_12_30.pdf (дата обращения: 28.11.2015).
7. Использование ресурсов ПЛИС Stratix III фирмы Altera при проектировании микропроцессорных ядер [Электронный ресурс]. URL: <file:///C:/Users/%D0%A2%D1%8E%D1%80%D0%B8%D0%BD/Desktop/%D0%A6%D1%8B%D0%B1%D0%B8%D0%BD%2010%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf> (дата обращения: 27.11.2015).
8. Дж. Д. Ульман. Вычислительные аспекты СБИС / Пер. с англ.: А.В. Неймана. Под ред. П.П. Пархоменко. М.: Радио и связь, 1990. 480 с.
9. Пат. 2573732 Российская Федерация, МПК G06F 7/57 (2006.01) H03K 19/173 (2006.01). Программируемое логическое устройство / С.Ф.Тюрин, Р.В. Вихорев; заявка 25.02.2014, опублик. 27.01.2016. Бюл. № 3.

10. Тюрин С.Ф., Громов О.А., Греков А.В. Функционально-полный толерантный элемент ФПТ+ // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2011. № 1 (115). С. 24-31.

11. Пат. 2573226 Российская Федерация, МПК G11C 11/40 (2006.01). Ячейка статической оперативной памяти / С.Ф. Тюрин; патентообладатель: Тюрин Сергей Феофентович; заявка 21.03.2014, опубл. 20.01.2016. Бюл. № 2.

12. Пат. 2496227 Российская Федерация, МПК H03K 19/094 (2006.01). Функционально-полный толерантный элемент / С.Ф. Тюрин, О.А. Громов, А.В. Греков, А.А. Сулейманов; заявка 19.06.2012, опубл. 20.10.2013. Бюл. № 29.

13. Пат. 2541854 Российская Федерация, МПК H03K 19/094 (2006.01). Функционально-полный толерантный элемент / Ю.П. Дудкин, С.Ф. Тюрин, А.А. Южаков, О.А. Громов; патентообладатель: ОАО «СТАР»; заявка 16.07.2013, опубл. 20.02.2015. Бюл. № 5.

Статья поступила в редакцию 13.04.16.

Для цитирования: Тюрин С. Ф., Зарубский В. Г. Транзисторное резервирование в логическом элементе FPGA DC LUT // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 75-83. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.75

Сведения об авторах

ТЮРИН Сергей Феофентович – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и телемеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Область научных интересов – отказоустойчивые элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Автор 210 публикаций.

ЗАРУБСКИЙ Владимир Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры режима и охраны в уголовно-исполнительной системе, Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний Российской Федерации. Область научных интересов – отказоустойчивые элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Автор 40 публикаций.

UDC 681.32

DOI 10.15350/2306-2819.2016.2.75

TRANSISTOR REDUNDANCY IN A LOGICAL ELEMENT FPGA DC LUT

S. F. Tyurin¹, V. G. Zarubsky²

¹Perm National Research Polytechnic University,
29, Komsomolsky Prospekt, Perm, 614990, Russian Federation
E-mail: tyurinsergfe@yandex.ru

²Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of the Russian Federation
125, Karpinski Street, Perm, 614012, Russian Federation
E-mail: volen3030@rambler.ru

Key words: logic element; field programmable gate array FPGA; LUT; transistor; full-function tolerant logic element; redundancy; probability of failure-free operation.

ABSTRACT

Universal logic elements (LE) of programmable logic devices of a FPGA type (field-programmable gate array) are called logical cells and LUT (Look Up Tables), as the truth table of the required logical function is recorded in them. In this way LE functions are configured and relations are determined by the settings of local and global matrices of relations. Therefore, FPGAs occupy an intermediate position between unconditional logic and software implementation and complicated finite automation can be implemented on their basis, including the memory as configuration blocks in addition to the LE also include triggers. The standard value of the number of LE variables

is four. To implement several functions in one LUT in a full disjunctive normal form (FDNF), DC LUT is offered, that implements the decoding of the dialing-in and the possibility of programming the entry of defined sets FDNF. The analysis of the complexity of the transistor circuit of this device in comparison with the standard LUT when implementing a various number of functions and with the different number of input variables showed the advantages of DC LUT with an increase in the number of implemented functions and the input variables. In order to improve fault tolerance of DC LUT, the use of transistor redundancy is suggested. The evaluation of probability of failure-free operation, implemented with the use of an exponential distribution law, showed its considerable gain in comparison with the circuit without redundancy, a triple circuit with one majority and a triple circuit with three majorities. Thus, the proposed implementation DC LUT can be used in digital radio engineering, digital communication engineering, the technology of sound signal digital processing, the technology of digital image processing and other devices and systems, applied for the creation of fault-tolerant radio engineering and infocommunication systems.

REFERENCES

1. Korchinsky A.P., Burtseva N.V. Primenenie programmiruemykh logicheskikh integral'nykh skhem v elektronnoy apparature [Application of Programmable Logic Devices in Electronic Equipment]. URL: http://www.lib.nau.edu.ua/Journals/ESU/2009_4/R_1_5-13.pdf (reference date: 07.04.2016).
2. Opanasenko V.N. Vysokoproizvoditel'nye rekonfiguriruyemye komp'yutery na baze FPGA [High-Performance Reconfigurable FPGA-based Computers]. URL: <http://masters.donntu.org/2010/fknt/vaskovtsov/library/114-118.pdf> (reference date: 07.04.2016).
3. Osnovy razrabotki s primeneniem PLIS. Chast' 1 [Principles of the Design Using FPGA. Part 1]. URL: <http://gnuradio.ru/2015/11/13/fpga-part1/> (reference date: 07.04.2016).
4. Grekov A. V., Uspalenko V. B. Perspektivnye programmiruemye logicheskie integral'nye skhemy FPGA firmy Altera [Prospective Programmable Logic Devices FPGA of the company Altera]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries]. 2014. № 6.1. Pp. 518-534.
5. Tsybin S. Programmiruemaya kommutatsiya PLIS: vzglyad iznutri [Programmable Switching FPGA: a View from the Inside]. URL: http://www.kit-e.ru/articles/plis/2010_11_56.php (reference date 16.12.2014).
6. Zolotuha R., Komolov D. Stratix III – novoe semeistvo FPGA firmy Altera [Stratix III – a New Family of FPGA of the Company Altera]. URL: http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_12_30.pdf (reference date: 28.11.2015)
7. Ispol'zovanie resursov PLIS Stratix III firmy Altera pri proektirovanii mikroprotsessornykh yader [The Resource Usage of the FPGA Stratix III of the Company Altera when Designing Microprocessor Cores]. URL: <file:///C:/Users/%D0%A2%D1%8E-%D1%80%D0%B8%D0%BD/Desktop/%D0%A6%D1%8B%D0%B1%D0%B8%D0%BD%2010%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf> (reference date: 27.11.2015).
8. Ullman J. Vychislitel'nye aspekty SBIS. [Computational Aspects of VLSI] The translation from English: A.V. Neiman. Edited by P.P. Parhomenko. Moscow: Radio i svyaz', 1990. 480 p.
9. Tyurin S.F., Vihorev R.V. Programmiruemoe logicheskoe ustroystvo [Programmable Logic Device]. Patent RF, no. 2573732, 2016.
10. Tyurin S.F., Gromov O.A., Grekov A.V. Funktsional'no-polnyy tolerantnyy element FPT+ [Functional Complete Tolerant Element FCT+] // *Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Petersburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*. [St. Petersburg State Polytechnical University Journal]. 2011. № 1(115). Pp. 24-31.
11. Tyurin S.F. Yacheika staticheskoy operativnoy pamyati [The Cell of Static RAM]. Patent RF, no. 2573226, 2016.
12. Tyurin S.F., Gromov O.A., Grekov A.V., Suleimanov A.A. Funktsional'no-polnyy tolerantnyy element [Functional Complete Tolerant Element]. Patent RF, no. 2496227, 2013.
13. Dudkin Yu.P., Tyurin S.F., Yuzhakov A.A., Gromov O.A. Funktsional'no-polnyy tolerantnyy element [Functional Complete Tolerant Element]. Patent RF, no. 2541854, 2015.

The article was received 13.04.16.

Citation for an article: Tyurin S. F., Zarubsky V. G. Transistor Redundancy in a Logical Element FPGA DC LUT. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2016. No 2 (30). Pp. 75-83. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.75

Information about the authors

TYURIN Sergey Feofentovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Chair of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University. The sphere of scientific interests is fault-tolerant elements and devices of computer engineering and control systems. The author of 210 publications.

ZARUBSKY Vladimir Georgievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Chair of Regime and Security in the Penal System, Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of the Russian Federation. The sphere of scientific interests is fault-tolerant elements and devices of computer engineering and control systems. The author of 40 publications.

ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 620.168.36

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.84

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

А. В. Мороз, Н. И. Сушенцов, С. А. Степанов, Е. В. Михеева, Е. А. Рыжова

Поволжский государственный технологический университет,
424000, Российская Федерация, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: MorozAndrey2405@mail.ru

Описана технология формирования резистивных плёнок на основе оксидов и нитридов элементов нержавеющей стали. Плёнки были сформированы методом реактивного импульсного магнетронного распыления мишени из нержавеющей стали. Приведены зависимости между удельным поверхностным сопротивлением температурным коэффициентом плёнок и содержанием реактивных газов в атмосфере аргона при их формировании.

Ключевые слова: резистивные плёнки; магнетронное распыление; нержавеющая сталь; удельное поверхностное сопротивление.

Список литературы

1. Дмитриев В. Д., Пиганов М. Н., Тюлевин С. В. Технология микросборок специального назначения; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (1,2 Мбайт). Самара, 2012. 87 с.
2. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. М.: Техносфера, 2007. 176 с.
3. Katnani A.D., Matienzo L. J., Emmi F. Effects of oxidation on the electrical resistance of cermet thin films // Journal of Materials Science Letters. 1989. No. 8. Pp. 1177-1178.
4. Sujatha K., Uthanna S., Jayarama P. Reddy Electrical properties of co-evaporated Bi-SiO cermet films // Journal of Materials Science Letters. 1989. No. 8 Pp. 75-76.
5. Katumba G., Olumekor I. Effects of thickness and composition on the resistivity of Cu-MgF₂ cermet thin film resistors // Journal of Materials Science. 2000. No. 35 Pp. 2557-2559.
6. Хижняк В.Г., Погребова И.С., Лоскутова Т.В. и др. Коррозионная стойкость хромоалитированной стали 12Х18Н10Т // Научные вести НТУУ «КПИ». 2011. № 6. С. 89-95.
7. Мороз А.В., Вашурин Н.С., Попов И.И. и др. Фотонное эхо и зондовая микроскопия как методы исследования тонких пленок для микроэлектронных датчиков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2 (16). С. 64-73.

Статья поступила в редакцию 12.05.16.

Для цитирования: Мороз А. В., Сушенцов Н. И., Степанов С. А., Михеева Е. В., Рыжова Е. А. Технологические особенности формирования резистивных плёнок на основе нержавеющей стали // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 84-89. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.84

Сведения об авторах

МОРОЗ Андрей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – формирование тонких плёнок магнетронным распылением и исследование взаимосвязи их свойств с технологическим режимом. Автор 30 публикаций.

СУШЕНЦОВ Николай Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – вакуумные методы формирования тонких плёнок, сканирующая зондовая микроскопия. Автор 140 публикаций.

СТЕПАНОВ Сергей Александрович – ассистент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – технология получения тонких плёнок для микро- и нанoeлектроники; структура тонких плёнок; оборудование для создания тонких плёнок. Автор 30 публикаций.

МИХЕЕВА Елена Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – исследование радиоматериалов. Автор 25 публикаций.

РЫЖОВА Елена Андреевна – студентка, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – технология получения тонких плёнок. Автор трёх публикаций.

УДК 620.168.36

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.84

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF RESISTIVE FILM FORMATION ON THE BASIS OF STAINLESS STEEL**A. V. Moroz, N. I. Sushentsov, S. A. Stepanov, E. V. Mikheeva, E. A. Ryzhova**

Volga State University of Technology,
3, Lenin Squire, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: MorozAndrey2405@mail.ru

Key words: resistive films; magnetron sputtering; stainless steel; surface resistivity.**ABSTRACT**

Introduction. Because of the need for the improvement of adaptability to manufacture of thin-film resistors by magnetron sputtering, the production of resistive films from stainless steel by a reactive magnetron sputtering method was offered. The **purpose** of the work is the study of technological aspects of the formation of resistive films of oxides and nitrides of stainless steel elements by the magnetron sputtering method. To achieve the purpose, the following problems were solved: 1) to obtain the films of oxides and nitrides of stainless steel elements by the reactive magnetron sputtering method; 2) to measure surface resistivity by a four-point probe method; 3) to compare technological parameters of formed films with their surface resistivity. The film formation was carried out in the automated device of magnetron sputtering at different concentrations of reactive gas (oxygen and nitrogen). The surface resistivity of resistive films, measured by the four-point probe method, changed from 3,7 to 370 Ohm/square, depending on the type and reactive gas concentration and the temperature resistance coefficient of films changed from $1,1 \cdot 10^{-4}$ to $15,9 \cdot 10^{-4}$ grade-1. When the concentration of oxygen in the chamber was more than 20 %, dielectric films were formed, that also allowed protecting the resistive film by a dielectric film in a single process cycle without target replacement. The analysis of formed film composition was carried out by the method of mass-spectrometry with inductively coupled plasma and laser ablation on the device NexION 300D and it showed the difference between the composition of the target and the formed film. The decrease in percentage ratio between nickel, chromium and iron can be explained by the reactivity worth of these elements with oxygen. The received results prove the possibility of the stainless steel use as the target for the production of resistive films by the method of magnetron sputtering.

REFERENCES

1. Dmitriev V. D., Piganov M. N., Tyulevin S. V. Tekhnologiya mikrosborok spetsial'nogo naznacheniya [Technology of Special-Purpose Microassemblies]; The Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Samara State Aerospace University named after S. P. Korolev (National Research University) – Electronic textual and graphical data (1,2 MB). Samara, 2012. 87 p.
2. Berlin E.V., Dvinin S.A., Seidman L.A. *Vakuumnaya tekhnologiya i oborudovanie dlya naneseniya i travleniya tonkikh plenok* [Vacuum Technology and Equipment for Applying and Etching of Thin Films]. Moscow: Tekhnosfera, 2007. 176 p.
3. Katnani A.D., Matienzo L. J., Emmi F. Effects of oxidation on the electrical resistance of cermet thin films. *Journal of materials science letters*. 1989. No. 8. Pp. 1177 – 1178.
4. Sujatha, K. Uthanna S., Jayarama P. Reddy Electrical properties of co-evaporated Bi-SiO cermet films. *Journal of materials science letters*. 1989. No. 8. Pp. 75–76.
5. Katumba G., Olumekor I. Effects of thickness and composition on the resistivity of Cu-MgF2 cermet thin film resistors // *Journal of materials science*. 2000. No. 35. Pp. 2557–2559.
6. Hizhnyak V.G., Pogrebova I.S., Loskutova T.V. and others. Korroziyonnaya stoikost' khromoalitirovannoy stali 12H18N10T [Corrosion Resistance of Chrome Aluminized Steel 12H18N10T]. *Nauchnye vesti NTUU «KPI»* [Proceedings of National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»]. 2011. No 6. Pp. 89-95
7. Moroz, A.V., Vashurin N. S., Popov I. I. et al. Fotonnoe ekho i zondovaya mikroskopiya kak metody issledovaniya tonkikh plenok dlya mikroelektronnykh datchikov [Photon Echo and Probe Microscopy as the Methods of Research on Thin Films for Microelectronic Sensors]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2012. No 2 (16). Pp. 64–73.

The article was received 12.05.16.

Citation for an article: Moroz A. V., Sushentsov N. I., Stepanov S. A., Mikheeva E. V., Ryzhova E. A. Technological Aspects of Resistive Film Formation on the Basis of Stainless Steel. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2016. No 2 (30). Pp. 84-89. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.84

Information about the authors

MOROZ Andrey Viktorovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair of Radio Equipment Engineering and Production at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is thin film formation by magnetron sputtering and the research on the interconnection of their properties with the technological mode. The author of 30 publications.

SUSHENTSOV Nikolay Ivanovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, the Head of the Chair of Radio Equipment Engineering and Production at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is vacuum methods of thin film formation, scanning probe microscopy. The author of 140 publications.

STEPANOV Sergey Aleksandrovich – an assistant of the Chair of Radio Equipment Engineering and Production at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is the technology of obtaining thin films for micro- and nanoelectronics; the structure of thin films; equipment for thin film creation. The author of 30 publications.

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 investigation of radio materials. The author of 25 publications.

RYZHOVA Elena Andreevna – a student at Volga State University of Technology. The sphere of scientific interests is the technology of obtaining thin films. The author of 3 publications.

НОВИНКИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ. ОБЗОРЫ. КОНФЕРЕНЦИИ. ВАЖНЫЕ ДАТЫ

УДК 621.391

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.90

ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА, ФОТОНИКА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ – 2016»

Д. А. Веденькин, О. Г. Морозов, Г. А. Морозов, Ю. Е. Седельников

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ,
Российская Федерация, 420111, Казань, ул. К. Маркса, 10
E-mail: denis_ved@mail.ru

Научно-технические конференции являются неотъемлемой частью функционирования научного сообщества, привития культуры проведения экспериментов, анализа результатов и подготовки докладов молодыми учёными. На базе КНИТУ-КАИ была проведена III международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016». Основным результатам работы данной конференции и динамике её развития и посвящена настоящая статья.

Ключевые слова: научная конференция; образование; микроволновые процессы; фотоника; оптические системы; информатика живых систем; квантовая оптика.

Седьмого и восьмого апреля текущего года на базе Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ) была проведена III-я международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016». Конференция традиционно отражает результаты развития основных научных направлений Научно-исследовательского института Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (НИИ ПРЭФЖС), преемника НИЦ ПРЭ и ОНИЛ МРП: «Радиофизика и радиофотоника: приложение в технических и живых системах», коллег из Института радиоэлектроники и телекоммуникаций КНИТУ-КАИ, научных коллективов России и мира, активно сотру-

начающих с институтом и университетом [1–3].

В рамках конференции были организованы секции и научные направления:

1. Микроволновые процессы, технологии и комплексы.

1.1. Моделирование микроволновых устройств и процессов.

1.2. СВЧ-устройства и комплексы.

1.3. Антенная техника и электромагнитная совместимость.

2. Фотоника.

2.1. Технологии оптических систем телекоммуникаций.

2.2. Пассивные и активные оптические компоненты волоконно-оптических линий связи и информационно-измерительных систем.

2.3. Микроволновая фотоника.

3. Техническая электродинамика, фотоника и информатика живых систем.

3.1. Межклеточная сигнализация.

3.2. Микроволновые и квантовые комплексы мониторинга и адаптации живых систем.

3.3. Психофизиологические аспекты восприятия информации.

4. Квантовая оптика и коммуникации.

5. Тренинг и образование в области радиофизики, фотоники и живых систем.

При этом необходимо отметить, что четвёртая секция была открыта впервые, поскольку в настоящее время развитию научных направлений, связанных с квантовыми коммуникациями, элементами квантовых компьютерных систем, надёжности, достоверности и однозначности передачи информации с использованием квантовых технологий уделяется значительное внимание, в том числе и сотрудниками Казанского квантового центра.

Открывая конференцию, к участникам с приветственным словом обратились директор Института радиоэлектроники и телекоммуникаций, доктор физ.-мат. наук, профессор А. Ф. Надеев, директор НИИ прикладной электродинамики, фотоники и живых систем, доктор техн. наук, профессор О. Г. Морозов, основатель Отраслевой научно-исследовательской лаборатории

Министерства радиопромышленности (ОНИЛ МРП) и научно-исследовательского центра прикладной электродинамики (НИЦ ПРЭ), доктор техн. наук, профессор Г. А. Морозов (рис. 1). В своём выступлении они подчеркнули актуальность проводимых исследований, бурное развитие новых научных направлений, разработку, создание и применение новых инструментов в радиотехнических, оптических и радиофотонных задачах. Было подчёркнуто, что активное вовлечение в техническое творчество и научную деятельность обучающихся стимулирует как развитие научного потенциала, так и личностный рост студентов.

К участию в конференции было представлено одиннадцать пленарных докладов, охватывающих широкий спектр научных направлений в области микроволновой техники, оптических сенсорных систем и современных систем телекоммуникаций, реализации элементов квантовой памяти, акустической картографии.

Пленарное заседание конференции ПРЭФЖС-2016 позволило участникам ознакомиться с тематикой работ, которые проводятся общепризнанными научными коллективами, с перспективными разработками в области микроволновых, оптических и квантовых технологий, их применениями в технических и живых системах.



Рис. 1. Открытие конференции: директор ИРЭТ доктор физ.-мат. наук, проф. А.Ф. Надеев, директор НИИ ПРЭФЖС доктор техн. наук, проф. О.Г. Морозов, директор ОНИЛ МРП и НИЦ ПРЭ доктор техн. наук, проф. Г.А. Морозов

Микроволновыми и квантовыми методами адаптации и модификации биологических организмов плодотворно занимаются сотрудники НИИ ПРЭФЖС при активном участии организатора и идейного вдохновителя направления – проф. Г. А. Морозова. В своём пленарном докладе он подчеркнул особенности воздействия низкоинтенсивного КВЧ-излучения на семена сельскохозяйственных и лесных культур, в том числе при предпосевной подготовке [4]. Проводимые научной группой Г. А. Морозова исследования являются особенно актуальными в текущем году – году Зернобобовых.

Развитие современных телекоммуникаций в квантово-механическом аспекте в своём пленарном докладе отразил проф. В. Х. Багманов (УГАТУ). Им были рассмотрены несколько аспектов, связывающих современные телекоммуникационные технологии с квантовой механикой и электродинамикой [5], поскольку современная элементная база в области телекоммуникаций основывается на квантово-механических законах и осуществляется в квантовом режиме. Также необходимо отметить, что в тренде современных и перспективных телекоммуникационных систем лежит явление квантовой телепортации. Одной из задач при реализации подобного рода перспективных телекоммуникационных систем является создание ячеек квантовой памяти. Разработкой элементов ячеек квантовой памяти, использующих принцип фотонного эха в твёрдом теле, активно занимаются сотрудники Казанского квантового центра КНИТУ-КАИ (С. А. Моисеев, К. И. Герасимов и др.). В настоящее время квантовую память можно рассматривать как основу для развития квантовых технологий, таких как квантовые компьютерные системы, сверхдлинные квантовые линии передачи информации и пр. Использование в этих целях фотонного эха обещает возможность экспериментальной реализации подобного рода устройств. К настоящему времени учёным удалось добиться 87 % эффективности восстановления записанной информации, однако, для практического исполь-

зования эта величина остаётся недостаточной. Предлагается рассматривать протоколы организации квантовой памяти в схеме нерезонансного рамановского фотонного эха. При этом в качестве носителей информации выступают редкоземельные ионы в неорганических кристаллах. При этом использование фазовой синхронизации при считывании записанной информации способствует существенному подавлению квантовых шумов [6], использование контролируемого лазерного излучения в значительной степени определяет параметры ячейки квантовой памяти.

Задачи стабилизации лазерного излучения, в том числе в автоматическом режиме являются крайне актуальными на сегодняшний день. Среди основных причин можно выделить как минимум три: совершенствование измерительных систем на основе лазерной техники, развитие радиотоники и создание новых принципов формирования, приёма и обработки сигналов [7]. В частотно-стабилизированных лазерах общими для всех систем являются: частотный дискриминатор, отслеживающая система и управляющий элемент. При этом долговременная стабильность частоты лазерного излучения в подобного рода системах не лучше, чем стабильность нуля оптического дискриминатора, в качестве которого используются атомные и молекулярные резонансы или, в ряде случаев – максимумы пропускания интерферометров. Некоторые аспекты стабилизации частоты были рассмотрены в пленарном докладе проф. Г. И. Ильина.

В настоящее время широкое применение в построении распределённых сенсорных систем находят волоконные решётки Брэгга, реализованные, как правило, на одномодовом оптическом волокне, поскольку подобный метод формирования брэгговских структур хорошо изучен. Вместе с этим активно ведутся работы над реализацией подобных систем, работающих в маломодовом режиме [8], который добавляет в пространство параметров новое измерение – направляемые моды определённого

порядка. Особенности зондирования датчиков на основе решёток Брэгга в маломодовом волокне были рассмотрены в докладе проф. А.В. Бурдина (ПГУТИ).

Интерес вызвал пленарный доклад на тему «Оптическая регистрация быстрых кальциевых сигналов в нервных окончаниях теплокровных и холоднокровных животных». Авторами предлагается методика оценки пресинаптического уровня кальция в периферийных синапсах при различных функциональных состояниях нервного окончания с использованием оптического источника длиной волны 488 нм [9]. Работа выполнена, в том числе и в рамках сотрудничества НИИ ПРЭФЖС с КИББ КазНЦ РАН в совместной лаборатории «Механизмы передачи информации в живых системах».

Четыре последних пленарных доклада представляли материалы исследований, проводимых в рамках подготовки докторских диссертаций, планируемых к защите сотрудниками КНИТУ-КАИ в 2016–2017 гг.

Методам интеррогации комплексированных волоконно-оптических датчиков в настоящее время также уделяется повышенное внимание. Сами датчики на основе ВРБ комплексированы по своей природе, они способны реагировать на изменение широкого спектра параметров: температуру, давление, натяжение и пр., что основано на мультипликативной чувствительности решёток. Опираясь на эти свойства, становится возможным реализовывать датчики, измеряющие одновременно до трёх параметров. Таким образом, для построения современных волоконно-оптических информационно-измерительных систем необходимо построение интеррогаторов с высокой скоростью опроса, разрешением и возможностью разделения информации по различным параметрам. Особо подчеркнута необходимость разработки радиофотонных методов опроса датчиков, которые позволят достичь скорости опроса в 50 МГц [10, 11].

В области развития микроволновых технологий рассматриваются адаптивные

микроволновые технологические комплексы, имеющие в своей структуре резонансные СВЧ-датчики на основе коаксиальных кабелей и компланарных структур с неоднородностями. Контур адаптивного управления технологическим процессом позволяет существенно повысить качество производимого продукта путём автоматического регулирования параметров воздействия. Резонансные СВЧ-датчики на основе коаксиальных кабелей и компланарных структур с неоднородностями строятся и проектируются на основе трансферта технологий оптических фотонных кристаллов 1-го рода в микроволновый диапазон [12, 13]. Кроме того, были освещены вопросы проектирования антенных структур с улучшенными характеристиками по коэффициенту усиления и диаграмме направленности, построенным на основе трансферта технологий DFB-лазеров.

Существенные достижения в повышении потенциала устройств радиосвязи, микроволновых технологий и технической диагностики обещает использование сфокусированных по широкополосному сигналу антенн и антенных решёток. Достоинства когерентной фокусировки в настоящее время хорошо известны и уже находят применение в современной радиотехнике и микроволновых технологиях. Практические варианты применения широкополосных сфокусированных антенных систем весьма разнообразны и включают в себя задачи постановки помех пунктам радиосвязи, организации перспективных ложных авиационных целей, проведения ближнепольных антенных измерений, повышения эффективности функционирования микроволновых технологических комплексов и т. п. [14–20].

Современный этап развития газотурбинных двигателей (ГТД) характеризуется тем, что наряду с требованиями к улучшению их удельных характеристик продолжают расти требования к безопасности, безотказности и долговечности их работы. В настоящее время в практику эксплуатации ГТД наряду с системой экс-

плуатации по фиксированному ресурсу внедряется новая система эксплуатации по техническому состоянию, позволяющая полнее использовать индивидуальные технические возможности каждого конкретного двигателя. Использование акустического и газодинамического метода контроля по параметрам, измеренным на площади среза сопла, позволяет эффективно контролировать техническое состояние и работоспособность двигателя. Проведение значительного объёма научных исследований элементов авиационных ГТД на специальных диагностических установках экономически выгодно, так как на одной и той же установке можно одновременно изучать физическую сущность процессов и разрабатывать диагностические методики измерения параметров [21]. Обосновано развитие установок указанного типа с использованием сетевых структур волоконно-оптических датчиков акустических вибраций [22].

Помимо этого, для участия в работе секций были отобраны 146 докладов научных сотрудников, профессорско-преподавательского состава, аспирантов, магистрантов и студентов из двенадцати вузов. На рис. 2 приводятся данные по числу поданных докладов и диаграмма их распределения по направлениям конференции.



Рис. 2. Диаграмма распределения докладов по секциям III-й МНТК «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016»

Интерес к конференции со стороны специалистов, представляющих научные школы в области микроволновых технологий, фотоники, квантовых коммуникаций и живых систем, демонстрирует стабильный рост (150 % по сравнению с первой конференцией), поскольку всё большее число студентов и молодых учёных активно занимаются научной деятельностью в указанных и смежных областях.

Участниками конференции традиционно становятся молодые учёные и студенты со своими научными руководителями. Возможность узнать о перспективных научных исследованиях, проводимых ведущими учёными страны, обмен опытом, создание презентаций стимулируют личностный рост каждого участника. По данным проведённого опроса, участие в конференции позволяет студентам чувствовать себя более уверенно при защите курсовых и выпускных квалификационных работ.



Рис. 3. Заседание секций «Микроволновые процессы, технологии и комплексы» и «Фотоника»

По традиции фотонная секция конференции была проведена при поддержке Оптического общества Америки (OSA) и Российского оптического общества им. Д.С. Рождественского (ROS). Студенческая оптическая ячейка КНИТУ-КАИ активно участвует в работе всех конференций, которые проводят фотон-

ный консорциум вузов Поволжья: Уфимский авиационный государственный технический университет, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ [23].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части Государственного задания 3.1962.2014/К.

Список литературы

1. Седельников Ю.Е., Тестоедов Н.А., Веденькин Д.А. и др. Антенны, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля / Под общ. ред. Ю.Е. Седельникова и Н.А. Тестоедова. Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2015. 308 с.
2. Морозов О.Г., Ильин Г.И., Морозов Г.А. Системы радиофотоники с амплитудно-фазовым модуляционным преобразованием оптической несущей; Под ред. О.Г. Морозова. Казань: ООО «Новое знание», 2014. 192 с.
3. Морозов Г.А., Гришин С.Н., Стахова Н.Е. Введение в микроволновые биотехнологии: учебное пособие; Под ред. Г.А. Морозова. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2015. 124 с.
4. Морозов Г.А., Седельников Ю.Е., Стахова Н.Е. и др. Микроволновая обработка семян хвойных пород деревьев: достигнутые результаты и направления перспективных исследований // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 4-4. С. 1197-1202.
5. Кутлюяров Р.В., Султанов А.Х., Багманов В.Х. Влияние быстрого скремблирования поляризации на нелинейные искажения сигнала, передаваемого в волоконно-оптической линии передачи // Нелинейный мир. 2015. Т. 13, № 3. С. 32-38.
6. Moiseev S.A., Tarasov V.F., Ham B.S. Efficient multimode quantum memory based on photon echo in an optimal QED cavity / Physical review A – Atomic, Molecular, and Optical Physics. 2010. Т. 82, № 2. С. 022311.
7. Il'in G.I., Morozov O.G., Pol'sky Y.E. Two-frequency oscillator for interferometers with polarization dived channels // Progress in Biomedical Optics and Imaging. 1996. Vol. 2782. Pp. 814-821.
8. Бурдин В.А., Бурдин А.В. Результаты численного моделирования распространения оптических импульсов в нерегулярных многомодовых волоконных световодах, функционирующих в маломодовом режиме // Радиотехника. 2016. № 2. С. 120-127.
9. Самигуллин Д.В., Хазиев Э.Ф., Ковязина И.В. и др. Регуляция мускариновыми рецепторами кальциевого транзистента и синаптической передачи в нервно-мышечном соединении лягушки // Гены и клетки. 2014. Т. 9, № 3. С. 242-247.
10. Нуреев И.И. Радиофотонные амплитудно-фазовые методы интеррогации комплексированных датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3581.
11. Морозов О.Г., Нуреев И.И., Феофилактов С.В., Черепанов Д.А. Вопросы применения концепции программно-определяемых сетей для систем внутрискважинной волоконно-оптической телеметрии // Нелинейный мир. 2014. Т. 12, № 10. С. 83-90.
12. Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р. Свойства сложно-периодических неоднородных систем в радиочастотных и оптических направляющих структурах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18, № 3-1. С. 16-22.
13. Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Веденькин Д.А., Севастьянов А.А. Двухчастотный метод определения параметров резонансных датчиков СВЧ-диапазона // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1 (20). С. 76-86.
14. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11, № 4. С. 40-46.
15. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток // Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56-59.
16. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов // Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86-88.
17. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Насыбуллин А.Р. и др. Свойства объемных случайных антенных решеток, сфокусированных в зоне

ближнего излученного поля // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 12. С. 30-34.

18. Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18, № 3-1. С.23-30.

19. Митрохин В.Н., Можаров Э.О. Способы формирования и методы оценки сфокусированного поля в микроволновой технике // Антенны. 2015. № 3 (214). С. 39-46.

20. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения // Вестник Поволжского государственного технологического университета.

Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18-31.

21. Виноградов, В.Ю. Контроль технического состояния авиационных ГТД по акустическим параметрам, измеренным на срезе сопла двигателя // Контроль. Диагностика. 2013. № 3. С. 53-57.

22. Vinogradov V.Yu., Morozov O.G., Nureev I.I., Kuznetsov A.A. Fiber-optic system for checking the acoustical parameters of gas-turbine engine flow-through passages // Proc. of SPIE. 2014. Vol. 9533. Pp. 95330K.

23. Morozov O.G., Pavlycheva N.K., Muslimov E.R. et. al. Experience of an inter-institutional cooperation in enhancement of optics and photonics teaching // Proc. of SPIE. 2013. Vol. 8787. Pp. 87870H.

Статья поступила в редакцию 26.04.16.

Для цитирования: Веденькин Д. А., Морозов О. Г., Морозов Г. А., Седельников Ю. Е. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 90-99. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.90

Сведения об авторах

ВЕДЕНЬКИН Денис Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры радиопотоники и микроволновых технологий, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ. Область научных интересов – СВЧ-технологии в промышленности, антенная техника, сфокусированные антенные решётки, неразрушающий контроль. Автор 60 публикаций.

МОРОЗОВ Олег Геннадьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиопотоники и микроволновых технологий, директор НИИ Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ. Область научных интересов – оптические технологии, радиофизика, радиопотоника, микроволновые технологии, распределённые сенсорные системы, квантовые технологии. Автор 250 публикаций.

МОРОЗОВ Геннадий Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ. Область научных интересов – СВЧ-технологии в промышленности, биологии, СВЧ-устройства. Автор 130 публикаций.

СЕДЕЛЬНИКОВ Юрий Евгеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ. Область научных интересов – СВЧ-технологии в промышленности, антенная техника, сфокусированные антенные решётки, методы неразрушающего контроля. Автор 130 публикаций.

UDC 621.391

DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.90

**THE THIRD INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«APPLIED ELECTRODYNAMICSS, PHOTONICS AND LIVING SYSTEMS – 2016»**

D. A. Vedenkin, O. G. Morozov, G. A. Morozov, Yu. E. Sedelnikov

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI,

10, K. Marx Street, Kazan, 420111, Russian Federation

E-mail: denis_ved@mail.ru

Key words: scientific conference; education; microwave processes; photonics; optical systems; informatics of living systems; quantum optics.

ABSTRACT

Scientific and technical conferences are an integral part of academic community functioning, promoting a culture of conducting experiments, the analysis of results and making reports by young scientists. The third international scientific and technical conference «Applied electrodynamics, photonics and living systems» – 2016” was held at KNRTU-KAI. This article dwells on the main results of the conference and the dynamics of its development.

The work was carried out with financial support from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within a project part of the Government Mandate 3.1962.2014/K.

REFERENCES

1. Sedelnikov Yu.E., Testodov N.A., Vedenkin D.A. et al. *Antenny, sfokusirovannye v zone blizhnego izluchennogo polya* [Antennas, Focused in the Near Radiated Field Zone]. Edited by Yu. E. Sedelnikov and N.A. Testodov. Krasnoyarsk: Siberian State Aerospace University, 2015. 308 p.
2. Morozov O.G., Ilyin G.I., Morozov G.A. *Sistemy radiofotoniki s amplitudno-fazovym modulyatsionnym preobrazovaniem opticheskoy nesushchey* [Systems of Radio Phototics with Amplitude Phase Modulation Transformation of the Optical Carrier]. Edited by O.G. Morozov. Kazan: «Novoe znanie», 2014. – 192 p.
3. Morozov G.A., Grishin S.N., Stahova N.E. *Vvedenie v mikrovolnovye biotekhnologii: uchebnoe posobie* [Introduction to Microwave Biotechnologies: Textbook]. Edited by G.A. Morozov. Kazan: KNRTU-KAI, 2015. 124 p.
4. Morozov G.A., Sedelnikov Yu.E., Stahova N.E. et al. *Mikrovolnovaya obrabotka semyan khvoynykh porod derev'ev: dostignutye rezul'taty i napravleniya perspektivnykh issledovaniy* [Microwave Processing of Seeds of Coniferous Trees: Achieved Results and Directions of the Prospective Study]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [The News of Samara Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2011. Vol. 13, №4-4. Pp. 1197-1202.
5. Kutluyarov R.V., Sultanov A.H., Bagmanov V.H. *Vliyaniye bystrogo skremblirovaniya polarizatsii na nelineinye iskazheniya signala, peredavaemogo v volokonno-opticheskoy linii peredachi* [The Influence of Fast Polarization Scrambling on Nonlinear Distortions of a Signal, Transmitted in a Fiber-Optic Transmission Line]. *Nelineinyi mir* [Non-linear world]. 2015. Vol. 13, № 3. Pp. 32-38.
6. Moiseev S.A., Tarasov V.F., Ham B.S. Efficient multimode quantum memory based on photon echo in an optimal QED cavity. *Physical review A – Atomic, Molecular, and Optical Physics*. 2010. Vol. 82, № 2. Pp. 022311.
7. Ilyin G.I., Morozov O.G., Polsky Y.E. Two-frequency oscillator for interferometers with polarization divided channels. *Progress in Biomedical Optics and Imaging*. 1996. Vol. 2782. Pp. 814-821.
8. Burdin V.A., Burdin A.V. *Rezul'taty chislennogo modelirovaniya rasprostraneniya opticheskikh impul'sov v neregulyarnykh mnogomodovykh volokonnykh svetovodakh, funktsioniruyushchikh v malomodovom rezhime* [Results of the Numerical Simulation of Optical Impulse Propagation in Non-regular Multimode Optical Fibers, Functioning in a Few-Mode Regime]. *Radiotekhnika* [Radio Engineering]. 2016. № 2. Pp. 120-127.
9. Samigullin D.V., Haziev E.F., Kovyazina I.V. et al. *Regulyatsiya muskarinovymi retseptorami kal'tsievogo tranzienta i sinapticheskoy peredachi v nervno-myshechnom soedinenii lyagushki* [Regulation of the Calcium Transient and the Synaptic Function in the Neuromuscular Junction of a Frog by Muscarine Receptors]. *Geny i kletki* [Genes and cells]. 2014. Vol. 9, № 3. Pp. 242-247.
10. Nureev I.I. *Radiofotonnye amplitudno-fazovye metody interrogatsii kompleksirovannykh datchikov na osnove volokonnykh reshetok Bregga* [Radiophotonic Amplitude Phase Methods of the In-

terrogation of Complexed Sensors Based on Fiber Bragg Gratings]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Bulletin of Don]. 2016. № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3581.

11. Morozov O.G., Nureev I.I., Feofilaktov S.V., Cherepanov D.A. Voprosy primeneniya kontseptsii programmno-opredelyaemykh setey dlya sistem vnutrskvazhinnoy volokonno-opticheskoy teletmetrii [Problems of Software-Defined Networks Concept Application for Downhole Fiber-Optic Telemetry Systems]. *Nelineinyi mir* [Nonlinear World]. 2014. Vol. 12, № 10. Pp. 83-90.

12. Morozov O.G., Nasybullin A.R. Svoistva slozhno-periodicheskikh neodnorodnykh sistem v radiochastotnykh i opticheskikh napravlyayushchikh strukturakh [Properties of Complex-Periodic Inhomogeneous Systems in Radio-Frequency and Optical Guiding Structures]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy* [Physics of Wave Processes and Radio Engineering Systems]. 2015. Vol. 18, № 3-1. Pp. 16-22.

13. Morozov O.G., Nasybullin A. R., Vedenkin D. A., Sevastyanov A. A. Dvukhchastotnyy metod opredeleniya parametrov rezonansnykh datchikov SVCh-diapazona [Two-Frequency Method of the Determination of Parameters of Resonance Sensors of the Microwave Range]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2014. № 1 (20). Pp. 76-86.

14. Vedenkin D.A., Sedelnikov Yu. E. Aktivnye sfokusirovannye antennoye reshetki dlya radiotekhnicheskikh sredstv malorazmernykh letatel'nykh apparatov [Active Focused Antenna Arrays for Radio Aids of Low-Sized Aircraft]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy* [Physics of Wave Processes and Radio Engineering Systems]. 2008. Vol. 11, № 4. Pp. 40-46.

15. Vedenkin D.A., Sedelnikov Yu. E. Parametry razrezhenykh sfokusirovannykh antennoykh reshetok [Parameters of Rarefield Focused Antenna Arrays]. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and Business: Ways of Development]. 2013. №10 (28). Pp. 56-59.

16. Vedenkin D.A., Sedelnikov Yu. E. Sfokusirovannye antennoye reshetki na baze bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Focused Antenna Arrays Based on Pilotless Vehicles]. *Global'nyi nauchnyi potentsial* [Global Scientific Potential]. 2013. № 10 (31). Pp. 86-88.

17. Vedenkin D.A., Sedelnikov Yu. E., Nasybullin A. R. et al. Svoystva ob'emnykh sluchaynykh antennoykh reshetok, sfokusirovannykh v zone blizhnego izluchennogo polya [Properties of Volume Random Antenna Arrays, Focused in the Near Radiated Field Zone]. *Sovremennaya nauka: Aktual'nye problem teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Modern Science: Urgent Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences]. 2015. № 12. Pp. 30-34.

18. Sedelnikov Yu.E., Vedenkin D. A. Antennoye reshetki, sfokusirovannye po shirokopolosnomu signalu [Antenna Arrays, Focused According to a Broadband Signal]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy* [Physics of Wave Processes and Radio Engineering Systems]. 2015. Vol. 18, № 3. Pp. 23-30.

19. Mitrokhin V.N., Mozharov E. O. Sposoby formirovaniya i metody otsenki sfokusirovannogo polya v mikrovolnovoy tekhnike [Ways of Formation and Methods of the Estimation of the Focused Field in Microwave Technique]. *Antenny* [Antennas]. 2015. № 3 (214). Pp. 39-46.

20. Vedenkin D.A., Sedelnikov Yu. E. Svoistva sfokusirovannykh volnovykh poley v promezhutochnoy zone izlucheniya [Properties of Focused Wave Fields in the Intermediate Radiation Zone]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. Radio Engineering and Infocommunication Systems]. 2016. № 1 (29). Pp. 18-31.

21. Vinogradov V.Yu. Kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya aviatsionnykh GTD po akusticheskim parametram, izmerennym na sreze sopla dvigatelya [Control of the Technical State of the Aircraft Gas Turbine Engine by Acoustic Parameters, Measured on the Engine Nozzle Cut]. *Kontrol'. Diagnostika* [Control. Diagnostics]. 2013. № 3. Pp. 53-57.

22. Vinogradov V.Yu., Morozov O.G., Nureev I.I., Kuznetsov A.A. Fiber-optic system for checking the acoustical parameters of gas-turbine engine flow-through passages. *Proc. of SPIE*. 2014. Vol. 9533. P. 95330K.

23. Morozov O.G., Pavlycheva N.K., Muslimov E.R. et. al. Experience of an inter-institutional cooperation in enhancement of optics and photonics teaching. *Proc. of SPIE*. 2013. Vol. 8787. P. 87870H.

The article was received 26.04.16.

Citation for an article: Vedenkin D. A., Morozov O. G., Morozov G. A., Sedelnikov Yu. E. The third International Scientific and Technical Conference «Applied Electrodynamics, Photonics and Living Systems – 2016». *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2016. No 2 (30). Pp. 90-99. DOI: 10.15350/2306-2819.2016.2.90

Information about the authors

VEDENKIN Denis Andreevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair of Radio Photonics and Microwave Technologies, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI. The sphere of scientific interests is microwave technologies in the industry, antenna engineering, focused antenna arrays, nondestructive testing. The author of 60 publications.

MOROZOV Oleg Gennadievich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of the Chair of Radio Photonics and Microwave Technologies, Director of the Research Institute «Applied Electrodynamics, Photonics and Living Systems», Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI. The sphere of scientific interests is optical technologies, radio physics, radio photonics, microwave technologies, distributed sensor-based systems, quantum technologies. The author of 250 publications.

MOROZOV Gennady Aleksandrovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair of Radio-Electronic and Telecommunication Systems, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI. The sphere of scientific interests is microwave technologies in the industry, biology, microwave devices. The author of 130 publications.

SEDELNIKOV Yuri Evgenievich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair of Radio-Electronic and Telecommunication Systems, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI. The sphere of scientific interests is microwave technologies in the industry, antenna engineering, focused antenna arrays, nondestructive testing methods. The author of 130 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 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).** Объем текста авторского резюме не менее **250-300 слов.**

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

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

Плата за публикацию рукописей не взимается.

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

Подписка на журнал осуществляется по «Объединенному каталогу. Пресса России. Газеты и Журналы» (подписной индекс **42916**, тематический указатель: Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов).