

# ДОКЛАДЫ БГУИР

Том 23, № 2, 2025

Научный журнал выходит шесть раз в год

Учредитель

Учреждение образования «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Журнал включен в Перечень ВАК Республики Беларусь, а также в базы данных:  
CNKI, Dimensions, DOAJ, Google Scholar, Mendeley, Open Alex, НЭБ «КиберЛенинка», РИНЦ

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Лазарук С. К., Лешок А. А., Долбик А. В., Томашевич Л. П., Ключкий А. Ю., Дудич В. В.,<br>Лабунов В. А., Ефименко С. А., Ковальчук Н. С., Кицюк Е. П., Рязанов Р. М., Басаев А. С., Светухин В. В.<br>Лавинные светодиоды на основе наноструктурированного кремния для СВЧ-диапазона частот.....                                                                       | 5   |
| Golosov D. A., Zhang J., Zavadski S. M., Melnikov S. N., Doan H. T., Alexandrovitch P. A. Influence of Zirconium<br>Doping on the Dielectric Properties of Hafnium Oxide Films (Голосов Д. А., Джанг Дж., Завадский С. М.,<br>Мельников С. Н., Доан Х. Т., Александрович П. А. Влияние легирования цирконием на диэлектрические<br>свойства пленок оксида гафния)..... | 12  |
| Гревцов Н. Л. Синтез пленочных сплавов кремний-германий на основе химически формируемых слоев<br>пористого кремния.....                                                                                                                                                                                                                                                | 20  |
| Mishchanka V. N. First-Principles Modeling of Electron-Phonon Scattering Rates in Hydrogenated Graphene<br>(Мищенко В. Н. Мищенко, В. Н. Моделирование из первых принципов интенсивностей электронно-фононного<br>рассеивания в гидрированном графене).....                                                                                                            | 28  |
| Кийко В. Н., Наумович Н. М., Давыдов М. В., Журавлёв В. И. Уменьшение фазовых шумов высокостабильных<br>кварцевых генераторов при воздействии вибрации посредством тросовых виброизоляторов.....                                                                                                                                                                       | 35  |
| Осипов А. Н., Ма Т., Рокач В. А. Анализ электрических сигналов, возбуждающих низкотемпературную<br>атмосферную плазму диэлектрического барьерного разряда.....                                                                                                                                                                                                         | 44  |
| Синькевич Е. В., Мордачев В. И., Фаю Ван, Ционенко Д. А., Шакинко И. В. Экспериментальные<br>исследования и разработка моделей нелинейности смесителей диапазона FR1 для анализа электромагнитной<br>совместимости.....                                                                                                                                                | 53  |
| Дик С. К., Гасенкова И. В. Характеристики устойчивости солнечных батарей в условиях эксплуатации.....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 61  |
| Fiadosenka U. S., Linxi Dong, Chenxi Yue, Gorokh G. G. Proactive Multisensory Solution for Mitigating Thermal<br>Runaway Risks in Li-Ion Batteries (Федосенко В. С., Линкси Донг, Ценкси Юэ, Горох Г. Г. Проактивное<br>мультисенсорное решение для снижения риска перегрева литий-ионных аккумуляторов).....                                                          | 70  |
| Шершнева Е. Б. Особенности изготовления элементной базы высокотемпературной электроники лазерным<br>излучением.....                                                                                                                                                                                                                                                    | 77  |
| Чебаков С. В., Серебряная Л. В. Построение порождающих допустимых подмножеств в задаче о ранце.....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 84  |
| Ярмолик В. Н., Петровская В. В., Шевченко Н. А. Построение управляемых вероятностных тестов с малым<br>числом тестовых наборов.....                                                                                                                                                                                                                                    | 92  |
| Кривальцевич Е. А., Вашкевич М. И. Исследование аппаратной реализации нейронной сети прямого<br>распространения для распознавания рукописных цифр на базе FPGA.....                                                                                                                                                                                                    | 101 |
| Герасимов В. А., Герасимова М. А., Кузнецов А. П. Методика реализации системы электронной цифровой<br>подписи на основе виртуальной инфраструктуры в информационных системах учреждений общего среднего<br>образования.....                                                                                                                                            | 109 |

**Главный редактор  
Вадим Анатольевич Богуш,**

д. ф.-м. н., профессор, ректор Белорусского государственного университета  
информатики и радиоэлектроники (Минск, Беларусь)

**Редакционная коллегия**

**Лыньков Л. М.**, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь – заместитель главного редактора

**Стемпницкий В. Р.**, к. т. н., доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь – заместитель главного редактора

**Бойправ О. В.**, к. т. н., доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь – ответственный секретарь редколлегии

**Батура М. П.**, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

**Борисенко В. Е.**, д. ф.-м. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

**Гасанов М. Г.**, д. т. н., профессор, Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан

**Козлов С. В.**, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

**Лабуню В. А.**, акад. НАН Беларуси, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

**Писецкий Ю. В.**, д. т. н., доцент, Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми, Ташкент, Узбекистан

**Сигов А. С.**, акад. РАН, д. ф.-м. н., профессор, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

**Смирнов А. Г.**, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

**Татур М. М.**, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

**Цветков В. Ю.**, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

**Ответственный секретарь Т. В. Мироненко**

**Издание зарегистрировано в Министерстве информации Республики Беларусь, рег. номер 1087**

**Журнал издается с 2003 г. Дата последней перерегистрации 23 января 2010 г.**

---

Подписано в печать 10.04.2025. Формат бумаги 60×84%. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 13.72. Уч.-изд. л. 11,5. Тираж 75 экз. Заказ 47.

Адрес редакции:  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, ком. 329а  
Тел.: +375 17 293-88-41  
[doklady@bsuir.by](mailto:doklady@bsuir.by); <http://doklady.bsuir.by>

---

Отпечатано в БГУИР. ЛП № 02330/264 от 24.12.2020.  
220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6

Индекс для индивидуальной подписки 00787. Индекс для ведомственной подписки 007872

# DOKLADY BGUIR

V. 23, No 2, 2025

The scientific journal is published 6 times a year

## Founder

Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”

The Journal is included in the List of Scientific Editions in the Republic of Belarus,  
as well as the following databases:

CNKI, Dimensions, DOAJ, Google Scholar, Mendeley, Open Alex, CyberLeninka, RSCI

---

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Lazarouk S. K., Leshok A. A., Dolbik A. V., Tamashevich L. P., Klutsky A. Y., Dudich V. V., Labunov V. A., Efimenko S. A., Kovalchuk N. S., Kitsyuk E. P., Ryazanov R. M., Basaev A. S., Svetukhin V. V.</b> Avalanche LEDs Based on Nanostructured Silicon for Microwave Frequency Range..... | 5   |
| <b>Golosov D. A., Zhang J., Zavadski S. M., Melnikov S. N., Doan H. T., Alexandrovitch P. A.</b> Influence of Zirconium Doping on the Dielectric Properties of Hafnium Oxide Films .....                                                                                                          | 12  |
| <b>Grevtsov N. L.</b> Synthesis of Silicon-Germanium Film Alloys Based on Chemically Formed Porous Silicon Layers. ....                                                                                                                                                                           | 20  |
| <b>Mishchanka V. N.</b> First-Principles Modeling of Electron-Phonon Scattering Rates in Hydrogenated Graphene .....                                                                                                                                                                              | 28  |
| <b>Kiyko V. N., Naumovich N. M., Davydov M. V., Zhuravliov V. I.</b> Reduction of Phase Noise of Highly Stable Quartz Oscillators Under Vibration by Means of Cable Vibration Isolators .....                                                                                                     | 35  |
| <b>Osipov A. N., Ma T., Rokach V. A.</b> Analysis of Electrical Signals Exciting Low-Temperature Atmospheric Plasma of Dielectric Barrier Discharge .....                                                                                                                                         | 44  |
| <b>Sinkevich E. V., Mordachev V. I., Fayu Wan, Tsyanenka D. A., Shakinka I. V.</b> Experimental Research and Development of Nonlinearity Models for FR1 Range Mixers for Electromagnetic Compatibility Analysis.....                                                                              | 53  |
| <b>Dzik K. S., Gasenkova I. V.</b> Characteristics of Solar Panel Stability Under Operating Conditions.....                                                                                                                                                                                       | 61  |
| <b>Fiadosenka U. S., Linxi Dong, Chenxi Yue, Gorokh G. G.</b> Proactive Multisensory Solution for Mitigating Thermal Runaway Risks in Li-Ion Batteries .....                                                                                                                                      | 70  |
| <b>Shershnev E. B.</b> Features of Manufacturing the Element Base of High-Temperature Electronics Using Laser Radiation                                                                                                                                                                           | 77  |
| <b>Chebakov S. V., Serebryanaya L. V.</b> Construction of Generating Feasible Subsets in the Knapsack Problem .....                                                                                                                                                                               | 84  |
| <b>Yarmolik V. N., Petrovskaya V. V., Shauchenka M. A.</b> Constructing Controlled Random Tests with a Small Number of Test Patterns .....                                                                                                                                                        | 92  |
| <b>Krivalcevich E. A., Vashkevich M. I.</b> Investigation of Hardware Implementation of a Feedforward Neural Network for Handwritten Digit Recognition Based on FPGA .....                                                                                                                        | 101 |
| <b>Gerasimov V. A., Gerasimova M. A., Kuznezov A. P.</b> The Methodology of Implementing an Electronic Digital Signature System Based on a Virtual Infrastructure in the Information Systems of General Secondary Education Institutions.....                                                     | 109 |

### **Editor-in-Chief**

**Vadim A. Bogush**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor,  
Rector of the Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Belarus)

### **Editorial Board**

**Leonid M. Lynkov**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus – Deputy Editor-in-Chief

**Viktor R. Stempitsky**, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus – Deputy Editor-in-Chief

**Olga V. Boiprav**, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus – Responsible Secretary of the Editorial Board

**Mikhail P. Batura**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

**Victor E. Borisenko**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

**Mehman H. Hasanov**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

**Sergei V. Kozlov**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

**Vladimir A. Labunov**, Acad. of the NAS of Belarus, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

**Yuri V. Pisetsky**, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Tashkent, Uzbekistan

**Alexander S. Sigov**, Acad. of the RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

**Alexander G. Smirnov**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

**Mikhail M. Tatur**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

**Viktor Yu. Tsvetkov**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

### **Responsible Secretary T. Mironenka**

**The journal is registered in the Ministry of Information of the Republic of Belarus, Reg. No 1087.**

**The journal has been published since 2003. Last re-registration date January 23, 2010.**

---

Signed for printing 10.04.2025. Format 60×84 1/8. Office paper. Printed on a risograph. Type face Times.

Ed.-pr. I. 13,72. Ed.-ed. I. 11,5. Edition 75 copies. Order 47.

Editorial address

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

6, P. Brovki St., Off. 329a, 220013, Minsk

Tel.: +375 17 293-88-41

doklady@bsuir.by; <http://doklady.bsuir.by>

---

Printed in BSUIR. License LP No 02330/264 from 24.12.2020.

6, P. Brovki St., Room 329a, 220013, Minsk

Index for individual subscription 00787. Index for departmental subscription 007872