



ISSN 2782-3210 (Print)  
ISSN 2500-316X (Online)

# RUSSIAN TECHNOLOGICAL JOURNAL

**РОССИЙСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

- Информационные системы. Информатика. Проблемы информационной безопасности
- Роботизированные комплексы и системы. Технологии дистанционного зондирования и неразрушающего контроля
- Современные радиотехнические и телекоммуникационные системы
- Микро- и нанoeлектроника. Физика конденсированного состояния
- Аналитическое приборостроение и технологии
- Математическое моделирование
- Экономика наукоемких и высокотехнологичных предприятий и производств. Управление в организационных системах
- Управление качеством продукции. Стандартизация
- Мировоззренческие основы технологии и общества
- Information systems. Computer sciences. Issues of information security
- Multiple robots (robotic centers) and systems. Remote sensing and non-destructive testing
- Modern radio engineering and telecommunication systems
- Micro- and nanoelectronics. Condensed matter physics
- Analytical instrument engineering and technology
- Mathematical modeling
- Economics of knowledge-intensive and high-tech enterprises and industries. Management in organizational systems
- Product quality management. Standardization
- Philosophical foundations of technology and society

**Russian Technological Journal**  
2022, том 10, № 4

**Russian Technological Journal**  
2022, Vol. 10, No. 4

<https://www.rtj-mirea.ru>



## Russian Technological Journal 2022, том 10, № 4

Дата опубликования 29 июля 2022 г.

Научно-технический рецензируемый журнал освещает вопросы комплексного развития радио-технических, телекоммуникационных и информационных систем, электроники и информатики, а также результаты фундаментальных и прикладных междисциплинарных исследований, технологических и организационно-экономических разработок, направленных на развитие и совершенствование современной технологической базы.

Периодичность: один раз в два месяца.

Журнал основан в декабре 2013 года. До 2016 г. издавался под названием «Вестник МГТУ МИРЭА» (ISSN 2313-5026), а с января 2016 г. по июль 2021 г. под названием «Российский технологический журнал» (ISSN 2500-316X).

### Учредитель и издатель:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»  
119454, РФ, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 78.

Журнал индексируется в РГБ, РИНЦ, elibrary, Соционет, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD), Google Scholar, Open Archives Initiative, Ulrich's International Periodicals Directory.

### Главный редактор:

**Сигов Александр Сергеевич**, академик РАН,  
доктор физ.-мат. наук, профессор, президент ФГБОУ ВО  
МИРЭА – Российский технологический университет  
(ПТУ МИРЭА), Москва, Россия.  
Scopus Author ID 35557510600, ResearcherID L-4103-2017,  
[sigov@mirea.ru](mailto:sigov@mirea.ru).

### Редакция:

Зав. редакцией	к.т.н. Г.Д. Середина
Научный редактор	д.т.н., проф. Г.В. Куликов
Выпускающий редактор	А.С. Алексеенко
Технический редактор	Д.В. Трофимова

119571, г. Москва, пр-т Вернадского, 86, оф. Л-119.  
Тел.: +7(495) 246-05-55 (#2-88).  
E-mail: [seredina@mirea.ru](mailto:seredina@mirea.ru).

Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 81733 от 19.08.2021 г. СМИ зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Индекс по объединенному каталогу «Пресса России» **79641**.

<https://www.rtj-mirea.ru>

## Russian Technological Journal 2022, Vol. 10, No. 4

Publication date July 29, 2022.

The peer-reviewed scientific and technical journal highlights the issues of complex development of radio engineering, telecommunication and information systems, electronics and informatics, as well as the results of fundamental and applied interdisciplinary researches, technological and economical developments aimed at the development and improvement of the modern technological base.

Periodicity: bimonthly.

The journal was founded in December 2013. The titles were «Herald of MSTU MIREA» until 2016 (ISSN 2313-5026) and «Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal» from January 2016 until July 2021 (ISSN 2500-316X).

### Founder and Publisher:

Federal State Budget  
Educational Institution  
of Higher Education

«MIREA – Russian Technological University»  
78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia.

The Journal is included in RSL (Russian State Library), Russian citation index, elibrary, Socionet, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD), Google Scholar, Open Archives Initiative, Ulrich's International Periodicals Directory.

### Editor-in-Chief:

**Alexander S. Sigov**, Academician at the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Professor,  
President of MIREA – Russian Technological University  
(RTU MIREA), Moscow, Russia.  
Scopus Author ID 35557510600, ResearcherID L-4103-2017,  
[sigov@mirea.ru](mailto:sigov@mirea.ru).

### Editorial staff:

Managing Editor	Cand. Sci. (Eng.) Galina D. Seredina
Scientific Editor	Dr. Sci. (Eng.), Prof. Gennady V. Kulikov
Executive Editor	Anna S. Alekseenko
Technical Editor	Darya V. Trofimova

86, Vernadskogo pr., Moscow, 119571 Russia.  
Phone: +7(495) 246-05-55 (#2-88).  
E-mail: [seredina@mirea.ru](mailto:seredina@mirea.ru).

The registration number ПИ № ФС 77 - 81733 was issued in August 19, 2021 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media of Russia.

The subscription index of *Pressa Rossii*: **79641**.

## Редакционная коллегия

<b>Кудж Станислав Алексеевич</b>	д.т.н., профессор, ректор РТУ МИРЭА, Москва, Россия. Scopus Author ID 56521711400, ResearcherID AAG-1319-2019, <a href="https://orcid.org/0000-0003-1407-2788">https://orcid.org/0000-0003-1407-2788</a> , <a href="mailto:rector@mirea.ru">rector@mirea.ru</a>
<b>Банис Юрас Йонович</b>	хабилированный доктор наук, профессор, проректор Вильнюсского университета, Вильнюс, Литва. Scopus Author ID 7003687871, <a href="mailto:juras.banyas@ff.vu.lt">juras.banyas@ff.vu.lt</a>
<b>Бетелин Владимир Борисович</b>	академик Российской академии наук (РАН), д.ф.-м.н., профессор, научный руководитель Федерального научного центра «Научно-исследовательский институт системных исследований» РАН, Москва, Россия. Scopus Author ID 6504159562, ResearcherID J-7375-2017, <a href="mailto:betelin@niisi.msk.ru">betelin@niisi.msk.ru</a>
<b>Боков Алексей Алексеевич</b>	старший научный сотрудник, химический факультет и 4D LABS, Университет Саймона Фрейзера, Ванкувер, Британская Колумбия, Канада. Scopus Author ID 35564490800, ResearcherID C-6924-2008, <a href="http://orcid.org/0000-0003-1126-3378">http://orcid.org/0000-0003-1126-3378</a> , <a href="mailto:abokov@sfu.ca">abokov@sfu.ca</a>
<b>Вахрушев Сергей Борисович</b>	д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией нейтронных исследований Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, профессор кафедры Физической электроники СПбГПУ, Санкт-Петербург, Россия. Scopus Author ID 7004228594, ResearcherID A-9855-2011, <a href="http://orcid.org/0000-0003-4867-1404">http://orcid.org/0000-0003-4867-1404</a> , <a href="mailto:s.vakhrushev@mail.ioffe.ru">s.vakhrushev@mail.ioffe.ru</a>
<b>Гуляев Юрий Васильевич</b>	академик РАН, член Президиума РАН, д.ф.-м.н., профессор, научный руководитель Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия. Scopus Author ID 35562581800, <a href="mailto:gulyaev@cplire.ru">gulyaev@cplire.ru</a>
<b>Жуков Дмитрий Олегович</b>	д.т.н., профессор, РТУ МИРЭА, Москва, Россия. Scopus Author ID 57189660218, <a href="mailto:zhukov_do@mirea.ru">zhukov_do@mirea.ru</a>
<b>Кимель Алексей Вольдемарович</b>	к.ф.-м.н., профессор, Университет Радбауд, г. Наймеген, Нидерланды. Scopus Author ID 6602091848, ResearcherID D-5112-2012, <a href="mailto:a.kimel@science.ru.nl">a.kimel@science.ru.nl</a>
<b>Крамаров Сергей Олегович</b>	д.ф.-м.н., профессор, Сургутский государственный университет, Сургут, Россия. Scopus Author ID 56638328000, ResearcherID E-9333-2016, <a href="https://orcid.org/0000-0003-3743-6513">https://orcid.org/0000-0003-3743-6513</a> , <a href="mailto:mavoo@yandex.ru">mavoo@yandex.ru</a>
<b>Новиков Дмитрий Александрович</b>	член-корр. РАН, д.т.н., директор Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия. Scopus Author ID 7102213403, ResearcherID Q-9677-2019, <a href="https://orcid.org/0000-0002-9314-3304">https://orcid.org/0000-0002-9314-3304</a> , <a href="mailto:novikov@ipu.ru">novikov@ipu.ru</a>
<b>Перно Филипп</b>	профессор, Центральная Школа г. Лилль, Франция. Scopus Author ID 7003429648, <a href="mailto:philippe.pernod@ec-lille.fr">philippe.pernod@ec-lille.fr</a>
<b>Романов Михаил Петрович</b>	д.т.н., профессор, директор Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, Москва, Россия. Scopus Author ID 14046079000, <a href="https://orcid.org/0000-0003-3353-9945">https://orcid.org/0000-0003-3353-9945</a> , <a href="mailto:m_romanov@mirea.ru">m_romanov@mirea.ru</a>
<b>Савиных Виктор Петрович</b>	член-корр. РАН, Дважды Герой Советского Союза, д.т.н., профессор, президент Московского государственного университета геодезии и картографии, Москва, Россия. Scopus Author ID 56412838700, <a href="mailto:vp@miigaik.ru">vp@miigaik.ru</a>
<b>Соболевский Андрей Николаевич</b>	д.ф.-м.н., директор Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича, Москва, Россия. Scopus Author ID 7004013625, ResearcherID D-9361-2012, <a href="http://orcid.org/0000-0002-3082-5113">http://orcid.org/0000-0002-3082-5113</a> , <a href="mailto:sobolevski@iitp.ru">sobolevski@iitp.ru</a>
<b>Сюй Ли Да</b>	PhD (Systems Science), профессор, Университет Олд Доминион, Норфолк, Соединенные Штаты Америки. Scopus Author ID 13408889400, <a href="https://orcid.org/0000-0002-5954-5115">https://orcid.org/0000-0002-5954-5115</a> , <a href="mailto:lxu@odu.edu">lxu@odu.edu</a>
<b>Харин Юрий Семенович</b>	член-корр. Национальной академии наук Беларуси, д.ф.-м.н., профессор, директор НИИ прикладных проблем математики и информатики Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. Scopus Author ID 6603832008, <a href="http://orcid.org/0000-0003-4226-2546">http://orcid.org/0000-0003-4226-2546</a> , <a href="mailto:kharin@bsu.by">kharin@bsu.by</a>
<b>Чаплыгин Юрий Александрович</b>	академик РАН, д.т.н., профессор, член Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН, президент Института микроприборов и систем управления им. Л.Н. Преснухина НИУ «МИЭТ», Москва, Россия. Scopus Author ID 6603797878, ResearcherID B-3188-2016, <a href="mailto:president@miet.ru">president@miet.ru</a>
<b>Шпак Василий Викторович</b>	к.э.н., зам. министра промышленности и торговли Российской Федерации, Министерство промышленности и торговли РФ, Москва, Россия; доцент, Институт микроприборов и систем управления им. Л.Н. Преснухина НИУ «МИЭТ», Москва, Россия, <a href="mailto:mishinevaiv@minprom.gov.ru">mishinevaiv@minprom.gov.ru</a>

## Editorial Board

<b>Stanislav A. Kudzh</b>	Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector of RTU MIREA, Moscow, Russia. Scopus Author ID 56521711400, ResearcherID AAG-1319-2019, <a href="https://orcid.org/0000-0003-1407-2788">https://orcid.org/0000-0003-1407-2788</a> , rector@mirea.ru
<b>Juras Banys</b>	Habilitated Doctor of Sciences, Professor, Vice-Rector of Vilnius University, Vilnius, Lithuania. Scopus Author ID 7003687871, <a href="mailto:juras.banys@ff.vu.lt">juras.banys@ff.vu.lt</a>
<b>Vladimir B. Betelin</b>	Academician at the Russian Academy of Sciences (RAS), Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Supervisor of Scientific Research Institute for System Analysis, RAS, Moscow, Russia. Scopus Author ID 6504159562, ResearcherID J-7375-2017, <a href="mailto:betelin@niisi.msk.ru">betelin@niisi.msk.ru</a>
<b>Alexei A. Bokov</b>	Senior Research Fellow, Department of Chemistry and 4D LABS, Simon Fraser University, Vancouver, British Columbia, Canada. Scopus Author ID 35564490800, ResearcherID C-6924-2008, <a href="http://orcid.org/0000-0003-1126-3378">http://orcid.org/0000-0003-1126-3378</a> , <a href="mailto:abokov@sfu.ca">abokov@sfu.ca</a>
<b>Sergey B. Vakhrushev</b>	Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Head of the Laboratory of Neutron Research, A.F. Ioffe Physico-Technical Institute of the RAS, Department of Physical Electronics of St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia. Scopus Author ID 7004228594, ResearcherID A-9855-2011, <a href="http://orcid.org/0000-0003-4867-1404">http://orcid.org/0000-0003-4867-1404</a> , <a href="mailto:s.vakhrushev@mail.ioffe.ru">s.vakhrushev@mail.ioffe.ru</a>
<b>Yury V. Gulyaev</b>	Academician at the RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Supervisor of V.A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of the RAS, Moscow, Russia. Scopus Author ID 35562581800, <a href="mailto:gulyaev@cplire.ru">gulyaev@cplire.ru</a>
<b>Dmitry O. Zhukov</b>	Dr. Sci. (Eng.), Professor, RTU MIREA, Moscow, Russia. Scopus Author ID 57189660218, <a href="mailto:zhukov_do@mirea.ru">zhukov_do@mirea.ru</a>
<b>Alexey V. Kimel</b>	PhD (Phys.-Math.), Professor, Radboud University, Nijmegen, Netherlands, Scopus Author ID 6602091848, ResearcherID D-5112-2012, <a href="mailto:a.kimel@science.ru.nl">a.kimel@science.ru.nl</a>
<b>Sergey O. Kramarov</b>	Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Surgut State University, Surgut, Russia. Scopus Author ID 56638328000, ResearcherID E-9333-2016, <a href="https://orcid.org/0000-0003-3743-6513">https://orcid.org/0000-0003-3743-6513</a> , <a href="mailto:mavoo@yandex.ru">mavoo@yandex.ru</a>
<b>Dmitry A. Novikov</b>	Dr. Sci. (Eng.), Corr. Member of the RAS, Director of V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Moscow, Russia. Scopus Author ID 7102213403, ResearcherID Q-9677-2019, <a href="https://orcid.org/0000-0002-9314-3304">https://orcid.org/0000-0002-9314-3304</a> , <a href="mailto:novikov@ipu.ru">novikov@ipu.ru</a>
<b>Philippe Pernod</b>	Professor, Dean of Research of Centrale Lille, Villeneuve-d'Ascq, France. Scopus Author ID 7003429648, <a href="mailto:philippe.pernod@ec-lille.fr">philippe.pernod@ec-lille.fr</a>
<b>Mikhail P. Romanov</b>	Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Artificial Intelligence, RTU MIREA, Moscow, Russia. Scopus Author ID 14046079000, <a href="https://orcid.org/0000-0003-3353-9945">https://orcid.org/0000-0003-3353-9945</a> , <a href="mailto:m_romanov@mirea.ru">m_romanov@mirea.ru</a>
<b>Viktor P. Savinykh</b>	Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Professor, President of Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia. Scopus Author ID 56412838700, <a href="mailto:vp@miigaik.ru">vp@miigaik.ru</a>
<b>Andrei N. Sobolevski</b>	Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Director of Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute), Moscow, Russia. Scopus Author ID 7004013625, ResearcherID D-9361-2012, <a href="http://orcid.org/0000-0002-3082-5113">http://orcid.org/0000-0002-3082-5113</a> , <a href="mailto:sobolevski@iitp.ru">sobolevski@iitp.ru</a>
<b>Li Da Xu</b>	Ph.D. (Systems Science), Professor and Eminent Scholar in Information Technology and Decision Sciences, Old Dominion University, Norfolk, VA, the United States of America. Scopus Author ID 13408889400, <a href="https://orcid.org/0000-0002-5954-5115">https://orcid.org/0000-0002-5954-5115</a> , <a href="mailto:lxu@odu.edu">lxu@odu.edu</a>
<b>Yury S. Kharin</b>	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Director of the Institute of Applied Problems of Mathematics and Informatics of the Belarusian State University, Minsk, Belarus. Scopus Author ID 6603832008, <a href="http://orcid.org/0000-0003-4226-2546">http://orcid.org/0000-0003-4226-2546</a> , <a href="mailto:kharin@bsu.by">kharin@bsu.by</a>
<b>Yuri A. Chaplygin</b>	Academician at the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Member of the Departments of Nanotechnology and Information Technology of the RAS, President of the National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow, Russia. Scopus Author ID 6603797878, ResearcherID B-3188-2016, <a href="mailto:president@miet.ru">president@miet.ru</a>
<b>Vasilii V. Shpak</b>	Cand. Sci. (Econ.), Deputy Minister of Industry and Trade of the Russian Federation, Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation, Moscow, Russia; Associate Professor, National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow, Russia, <a href="mailto:mishinevaiv@minprom.gov.ru">mishinevaiv@minprom.gov.ru</a>

## Содержание

### Информационные системы. Информатика. Проблемы информационной безопасности

- 7** *Р.Г. Болбаков, В.А. Мордвинов, А.Д. Макаревич*  
Сравнительный анализ алгоритмов сжатия четырехмерных световых полей
- 18** *А.Б. Сорокин, Л.М. Железняк, Д.В. Супруненко, В.В. Холмогоров*  
Проектирование модулей системной динамики в системах поддержки принятия решений

### Современные радиотехнические и телекоммуникационные системы

- 27** *И.В. Унченко, А.А. Емельянов*  
Модульная многопозиционная когерентная цифровая радиофотонная система
- А.А. Щукин, А.Е. Павлов*
- 38** *А.А. Щукин, А.Е. Павлов*  
Параметризация пользовательских функций в цифровой обработке сигналов для получения углового сверхразрешения

### Микро- и наноэлектроника. Физика конденсированного состояния

- В.Н. Каданцев, А.Н. Гольцов*
- 44** *В.Н. Каданцев, А.Н. Гольцов*  
Коллективная динамика доменных структур в жидкокристаллических липидных бислоях
- С.А. Одинцов, Э.Г. Локк, Е.Н. Бегинин, А.В. Садовников*
- 55** *С.А. Одинцов, Э.Г. Локк, Е.Н. Бегинин, А.В. Садовников*  
Эффекты невязимости при распространении спиновых волн в двухслойном магнитном микроволноводе на основе пленок железо-иттриевого граната

### Математическое моделирование

- Д.А. Карпов, В.И. Струченков*
- 65** *Д.А. Карпов, В.И. Струченков*  
Сплайн-аппроксимация многозначных функций в проектировании трасс линейных сооружений
- А.В. Смирнов*
- 75** *А.В. Смирнов*  
Свойства целевых функций и алгоритмов поиска в задачах многокритериальной оптимизации

### Мировоззренческие основы технологии и общества

- М.А. Еремеев, О.В. Трубиенко, И.И. Захарчук*
- 86** *М.А. Еремеев, О.В. Трубиенко, И.И. Захарчук*  
Применение подхода воспроизводимых исследований в процессе дистанционного обучения
- А.С. Сигов, И.В. Гладышев, А.Н. Юрасов*
- 93** *А.С. Сигов, И.В. Гладышев, А.Н. Юрасов*  
Наноэлектроника и нанотехнологии: перспективные подходы в образовательном процессе



## Contents

### Information systems. Computer sciences. Issues of information security

- 7** *Roman G. Bolbakov, Vladimir A. Mordvinov, Artem D. Makarevich*  
Comparative analysis of compression algorithms for four-dimensional light fields

- 18** *Aleksey B. Sorokin, Liliya M. Zheleznyak, Dmitry V. Suprunenko, Vladislav V. Kholmogorov*  
Designing modules of system dynamics in decision support systems

### Modern radio engineering and telecommunication systems

- 27** *Ivan V. Unchenko, Andrey A. Emelyanov*  
Photonics-based modular multistate digital coherent system

- 38** *Andrey A. Shchukin, Aleksandr E. Pavlov*  
Parameterization of user functions in digital signal processing for obtaining angular superresolution

### Micro- and nanoelectronics. Condensed matter physics

- 44** *Vasiliy N. Kadantsev, Alexey N. Goltsov*  
Collective dynamics of domain structures in liquid crystalline lipid bilayers

- 55** *Sergey A. Odintsov, Edwin H. Lock, Evgeniy N. Beginin, Alexander V. Sadovnikov*  
Nonreciprocal propagation of spin waves in a bilayer magnonic waveguide based on yttrium-iron garnet films

### Mathematical modeling

- 65** *Dmitry A. Karpov, Valery I. Struchenkov*  
Spline approximation of multivalued functions in linear structures routing

- 75** *Alexander V. Smirnov*  
Properties of objective functions and search algorithms in multi-objective optimization problems

### Philosophical foundations of technology and society

- 86** *Michail A. Ereemeev, Oleg V. Trubienko, Ivan I. Zakharchuk*  
Applying a reproducible research approach to distance education

- 93** *Alexander S. Sigov, Igor V. Gladyshev, Alexey N. Yurasov*  
Nanoelectronics and nanotechnology: promising approaches in the educational process