



# РАДИОТЕХНИКА

т. 86, № 5, 2022

Включен в Перечень ВАК.

Входит в состав базы Russian Science Citation Index (RSCI)  
на платформе Web of Science.

**Международный научно-технический журнал, освещающий широкий круг проблем приоритетных направлений развития систем связи, локации, навигации, радиоэлектронных устройств**

## Главный редактор:

**Юрий Васильевич**

**ГУЛЯЕВ** – академик РАН,  
Институт радиотехники  
и электроники  
имени В.А. Котельникова РАН  
(Москва, Россия)

## Заместители

### главного редактора

**Колесов Владимир Владимирович** –  
к.ф.-м.н.,

вед. научный сотрудник,  
Институт радиотехники и электроники  
имени В.А. Котельникова РАН  
(Москва, Россия)

**Коренной Александр Владимирович** –  
д.т.н., проф.,  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина»  
(г. Воронеж, Россия)

**Мещанов Валерий Петрович** –  
д.т.н., проф.,  
заместитель генерального директора,  
АО «Центральный научно-исследовательский  
институт измерительной аппаратуры»  
(г. Саратов, Россия)

## Редакционная коллегия

**Фёдоров Игорь Борисович** – академик РАН,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

**Верба Владимир Степанович** – член-корр. РАН, генеральный конструктор-  
первый заместитель генерального директора, АО «Концерн «Вега» (Москва, Россия)

**Андреев Григорий Иванович** – д.т.н., проф.,  
АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга» (Москва, Россия)

**Антипов Владимир Никитович** – д.т.н., проф.,  
заведующий кафедрой, МАИ «Стрела» (Москва, Россия)

**Артёмов Михаил Леонидович** – д.т.н.,  
генеральный директор, АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж, Россия)

**Богословский Андрей Витальевич** – д.т.н., проф.,  
ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

**Бузов Александр Львович** – д.т.н., проф.,  
генеральный директор АО «СИП РС» (г. Самара, Россия)

**Букашкин Сергей Анатольевич** – д.т.н., проф., Генеральный директор,  
Российский государственный НПО «Автоматика» (Москва, Россия)

**Верона Энрико** – научный советник,  
Институт фотоники и нанотехнологий (Рим, Италия)

**Витязев Владимир Викторович** – д.т.н., проф.,  
заведующий кафедрой, РГТУ (г. Рязань, Россия)

**Воловач Владимир Иванович** – д.т.н., доцент,  
Поволжский государственный университет сервиса (г. Тольятти, Россия)

**Засовин Эдуард Анатольевич** – д.т.н., проф.,  
Московский технологический университет (МИРЭА) (Москва, Россия)

**Иванов Александр Владимирович** – д.т.н., проф., доцент,  
Тамбовское ВВАИУРЭ (г. Тамбов, Россия)

**Козирацкий Юрий Леонтьевич** – д.т.н., проф.,  
ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

**Козорезов Александр Георгиевич** – д.ф.-м.н., проф.,  
ст. науч. сотрудник физического факультета, Ланкастерский университет (Англия)

**Меркулов Владимир Иванович** – д.т.н., проф.,  
заместитель генерального конструктора, АО «Концерн «Вега» (Москва, Россия)

**Нечаев Евгений Евгеньевич** – д.т.н., проф.,  
МАИ (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)

**Обуховец Виктор Александрович** – д.т.н., проф., Советник ректората  
по инженерному направлению, Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)

**Перов Александр Иванович** – д.т.н., проф.,  
Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва, Россия)

**Плесский Виктор Петрович** – д.ф.-м.н., проф.,  
директор научной фирмы GVR Trade SA (Швейцария)

**Приоров Андрей Леонидович** – д.ф.-м.н., проф.,  
Ярославский государственный университет (г. Ярославль, Россия)

**Радзиевский Вячеслав Григорьевич** – д.т.н., проф., гл. науч. сотрудник,  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

**Сличенко Михаил Павлович** – д.т.н.,  
начальник сектора АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж, Россия)

**Татарский Борис Григорьевич** – д.т.н., проф.,  
АО «Концерн «Вега» (Москва, Россия)

**Толстов Евгений Федорович** – д.т.н., проф., начальник отдела,  
ЗАО «Аэрокон» (г. Жуковский, Россия)

**Ушаков Виктор Николаевич** – д.т.н., проф.,  
заведующий кафедрой, СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Санкт-Петербург, Россия)

**Фарбер Владимир Ефимович** – д.т.н., проф.,  
заместитель главного конструктора ПАО «Радиофизика» (Москва, Россия)

**Цимбал Владимир Анатольевич** – д.т.н., проф. (г. Серпухов, Россия)

**Ярлыков Михаил Семенович** – д.т.н., проф. (Москва, Россия)

# Содержание

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СОЗДАНИЯ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ СИСТЕМ РЭБ И РАДИОЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Редактор выпуска – д.т.н., профессор,  
генеральный директор АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга» Г.И. Андреев

Концептуальный подход к оцениванию и снижению радиолокационной заметности объектов <b>Созинов П.А., Андреев Г.И., Тихомиров В.А., Замарин М.Е.</b>	5
Особенности применения радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны для всепогодного обнаружения объектов <b>Татаренков К.В.</b>	16
Синтезирование изображений на комбинационных частотах в нелинейной радиолокации <b>Кравцов А.А., Поздышев В.Ю., Замарин М.Е., Татаренков К.В., Осокин В.В., Санников В.Ф.</b>	21
Аппаратура интеллектуального подавления для защиты объектов от космического радиолокационного мониторинга <b>Мичурин В.В., Шабалкин А.П.</b>	28
Введение искусственной миграции в радиолокаторе с синтезированной апертурой <b>Саушкин В.П., Татаренков К.В.</b>	38
Поляризационная адаптация при приеме монохроматической электромагнитной волны <b>Замарин М.Е., Корнев В.В.</b>	43
Оценка влияния нестабильности положения космического аппарата на синтез радиолокационных изображений <b>Крутов М.М., Мирталибов Т.А., Славянский А.О., Фесенко М.В.</b>	55
Создание многофункционального двухдиапазонного бортового радиолокатора <b>Алимирзоев Р.Р., Николенко Б.Б., Колесников Н.П., Славянский А.О.</b>	64
Контрольно-проверочная аппаратура активных фазированных антенных решеток <b>Грачев Д.В., Ковалев А.П., Мартынов А.Г., Славянский А.О.</b>	72
Применение многокритериального подхода для повышения качества деталей из состава изделий РЭБ <b>Крюков А.В.</b>	80
Синтез многообразия множества парето-оптимальных свойств результата управления средств РЭБ <b>Тихомиров А.В.</b>	88

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В РАДИОТЕХНИКЕ

Методика оценки рабочей зоны мультистатистического пассивного радара для решения задачи авиационного наблюдения <b>Елисеев А.В., Истомина И.А., Митькин А.С., Рубайло Д.Э.</b>	93
Методика оценки эффективности работы поглощающих граничных условий Мура при решении задач электродинамики методом конечных разностей во временной области <b>Бородулин Р.Ю., Лукьянов Н.О.</b>	104

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

Повышение точности и надежности корректирующей информации наземного функционального дополнения ГНСС <b>Бестугин А.Р., Киришина И.А., Саута О.И., Амелин К.Б.</b>	111
Анализ влияния отражений от земной поверхности в системе разнесенных РЛС с ФАР <b>Чапурский В.В., Слукин Г.П., Нонишвили М.И., Крючков И.В.</b>	121

## ЦИФРОВЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Повышение эффективности использования высших зон Найквиста при прямом цифровом синтезе высокочастотных сигналов <b>Ромашов В.В., Храмов К.К., Докторов А.Н., Якименко К.А., Сочнева Н.А.</b>	135
---	-----

## АНТЕННЫ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И ТЕХНИКА СВЧ

Проектирование многочастотной вибраторной антенны с включениями в виде параллельных LC-контуров <b>Бойко С.Н., Егизарян А.М., Корышев О.В., Трухачев И.М.</b>	145
--	-----

# Radioengineering / Radiotekhnika

Included in the Russian Science Citation Index

V. 86, № 5, 2022

«Radiotekhnika» (Radioengineering) is the leading scientific and technical journal in Russia. It covers wide spectrum of problems in priority areas of the development in communication, radar, navigation, and radioelectronics.

## Editor-in-Chief:

**Yury Vasil'evich GULYAEV**

Academician of RAS,  
Institute of Radio Engineering  
and Electronics  
named after V.A. Kotelnikov RAS  
(Moscow, Russia)

## Deputy Editor-in-Chief:

**Kolesov Vladimir Vladimirovich**

Ph.D. (Phys.-Math.),  
Leading Research Scientist,  
Institute of Radio Engineering  
and Electronics  
named after V.A. Kotelnikov RAS  
(Moscow, Russia)

**Korennoy Alexander Vladimirovich**

Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and  
Y.A. Gagarin Air Force Academy»  
(Voronezh, Russia)

**Meshchanov Valery Petrovich**

Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
Deputy General Director,  
JSC «Central Research Institute  
of Measuring Equipment»  
(Saratov, Russia)

## EDITORIAL BOARD

**Fyodorov Igor Borisovich** – Academician of RAS,  
Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)  
**Verba Vladimir Stepanovich** – Corresponding Member of RAS,  
General Design – First Deputy General Director, JSC «Concern «Vega» (Moscow, Russia)  
**Andreev Grigory Ivanovich** – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof.,  
JSC «Central Radio-Research Institute named after academician A.I. Berg» (Moscow, Russia)  
**Antipov Vladimir Nikitovich** – Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.,  
Head of the Department, «MAI «Strela» (Moscow, Russia)  
**Artemov Mikhail Leonidovich** – Dr. Sc. (Eng.),  
General Director, JSC «Concern «Sozvezdie» (Voronezh, Russia)  
**Bogoslovsky Andrey Vitalyevich** – Dr. Sc. (Eng.), Prof.,  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh, Russia)  
**Bukashkin Sergey Anatolyevich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof., General Director,  
Russian State Scientific and Production Association «Automatics» (Moscow, Russia)  
**Buzov Alexander Lvovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
General Director, JSC «SIP RS» (Samara, Russia)  
**Farber Vladimir Efimovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
PJSC «Radiofizika» (Moscow, Russia)  
**Ivanov Alexander Vldimirovich** – Dr.Sc. (Eng.), Professor, Associate Professor,  
Tambov Higher Military Engineering School of Radio Electronics (Tambov, Russia)  
**Zasovin Eduard Anatolyevich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
Moscow Technological University (MIREA) (Moscow, Russia)  
**Koziratsky Yuri Leontyevich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh, Russia)  
**Kozorezov Alexander Georgievich** – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. (Great Britain)  
**Merkulov Vladimir Ivanovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
Deputy General Designer, JSC «Concern «Vega» (Moscow, Russia)  
**Nechaev Evgeny Evgenievich** – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof.,  
MAI (National Research University) (Moscow, Russia)  
**Obukhovets Victor Aleksandrovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
District Engineering Advisor, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)  
**Perov Alexander Ivanovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
National Research University «MPEI» (Moscow, Russia)  
**Plessky Victor Petrovich** – Dr.Sc. (Phys.-Math.),  
Director of the scientific firm GVR Trade SA (Switzerland)  
**Prirov Andrey Leonidovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
Yaroslavl State University (Yaroslavl, Russia)  
**Radziyevsky Vyacheslav Grigoryevich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof., Chief Research Scientist,  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh, Russia)  
**Slichenko Mikhail Pavlovich** – Dr. Sc. (Eng.),  
Head of Department, JSC «Concern «Sozvezdie» (Voronezh, Russia)  
**Tatarsky Boris Grigorievich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
JSC «Concern «Vega» (Moscow, Russia)  
**Tolstov Evgeny Fedorovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
Head of Department, JSC «Aerokon» (Zhukovskii, Russia)  
**Tsimbal Vladimir Anatolyevich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof. (Serpukhov, Russia)  
**Ushakov Viktor Nikolaevich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof., Head of the Department,  
St. Petersburg State Technical University «LETI» (St. Petersburg, Russia)  
**Verona Enrico** – scientific adviser,  
Institute of Photonics and Nanotechnology (Rome, Italy)  
**Vityazev Vladimir Viktorovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
Head of the Department, RGRTU (Ryazan, Russia)  
**Volovach Vladimir Ivanovich** – Dr.Sc. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department,  
Volga Region State University of Service (Togliatti, Russia)  
**Yarlykov Mikhail Semyonovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.

# Contents

## THEORY AND PRACTICE OF CREATION OF MODELS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT OF ELECTRONIC WARFARE AND ELECTRONIC SURVEILLANCE SYSTEMS

Editor – Dr.Sc. (Eng.), Professor, General Director of JSC «Central Radio-Research Institute named after academician A.I. Berg» G.I. Andreev

A conceptual approach to evaluation and reduction of radar recognizability objects	
<b>Sozinov P.A., Andreev G.I., Tikhomirov V.A., Zamarin M.E.</b>	<b>14</b>
Features of use of radars from the antenna synthesized by the aperture for all-weather detection of the objects	
<b>Tatarenkov K.V.</b>	<b>20</b>
Synthesizing of images at combinational frequencies in a nonlinear radar	
<b>Kravcov A.A., Pozdyshev V.Yu., Zamarin M.E., Tatarenkov K.V., Osokin V.V., Sannikov V.F.</b>	<b>27</b>
Method of forming radar portraits of extended objects	
<b>Michurin V.V., Shabalkin A.P.</b>	<b>37</b>
Introduction of artificial migration in the radar with the synthesized aperture	
<b>Saushkin V.P., Tatarenkov K.V.</b>	<b>42</b>
Polarization adaptation when receiving a monochromatic electromagnetic wave	
<b>Zamarin M.E., Kornev V.V.</b>	<b>54</b>
Evaluation of the effect of instability of the spacecraft position on the synthesis of radar images	
<b>Krutov M.M., Mirtalibov T.A., Slavyanskiy A.O., Fesenko M.V.</b>	<b>62</b>
Design of a dual-band radar	
<b>Alimirzoev R.R., Nikolenko B.B., Kolesnikov N.P., Slavyanskiy A.O.</b>	<b>70</b>
Control and verification equipment of the active electronically scanned arrays	
<b>Grachev D.V., Kovalev A.P., Martynov A.G., Slavyanskiy A.O.</b>	<b>79</b>
Improving the multi-criteria parts of electronic warfare products through the use of research results of optimization of the structure of the initial material	
<b>Kryukov A.V.</b>	<b>87</b>
Synthesis of the variety of the set of Pareto-optimal properties of the result of the control of electronic warfare means	
<b>Tikhomirov A.V.</b>	<b>92</b>

## MATHEMATICAL METHODS IN RADIO ENGINEERING

Procedure for estimation of working zone of multistatic passive radar for solving aircraft observation problem	
<b>Eliseev A.V., Istomina I.A., Mitkin A.S., Rubailo D.E.</b>	<b>102</b>
Methodology for evaluating work efficiency absorbing Moore boundary conditions when solving problems of electrodynamics finite difference time domain method	
<b>Borodulin R.Yu., Lukianov N.O.</b>	<b>110</b>

## CONTROL METHODS AND ALGORITHMS IN RADIOELECTRONIC SYSTEMS

Improving the accuracy and reliability of the correction information of the ground-based GNSS functional supplement	
<b>Bestugin A.R., Kirshina I.A., Sauta O.I., Amelin K.B.</b>	<b>119</b>
Analysis the influence of reflections from the Earth's surface in a system of spaced radars with phased array antennas	
<b>Chapurskiy V.V., Slukin G.P., Noniashvili M.I., Kryuchkov I.V.</b>	<b>134</b>

## DIGITAL RADIOELECTRONIC SYSTEMS

Improving the efficiency of the use of higher Nyquist zones in direct digital synthesis of high-frequency signals	
<b>Romashov V.V., Khramov K.K., Doktorov A.N., Yakimenko K.A., Sochneva N.A.</b>	<b>143</b>

## ANTENNAS, RADIO-WAVE PROPAGATION AND MICROWAVE ENGINEERING

Designing of a multi-frequency vibrator antenna with parallel LC-circuits loads	
<b>Boyko S.N., Egiazaryan A.M., Koryshev O.V., Trukhachev I.M.</b>	<b>156</b>



Все статьи, представленные в данном выпуске журнала, соответствуют номенклатуре специальностей научных работников (Приказ Минобрнауки РФ от 23.10.2017 № 1027).

Учредитель ООО «Издательство «Радиотехника». Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-76558.  
Подписано в печать 30.05.2022. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печ.л. 20,25. Тираж 1000 экз. Изд. № 5.  
ООО «Издательство «Радиотехника»: 107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6. Тел./факс: +7(495)625-92-41.  
107031, Russian Federation, Moscow, Kuznetsky Most, 20/6, tel./fax +7(495)625-92-41. Http://www.radiotec.ru; e-mail: info@radiotec.ru

Дизайн и допечатная подготовка ООО «САЙНС-ПРЕСС».  
Отпечатано с предоставленных готовых файлов в полиграфическом центре ФГУП Издательство «Известия».  
127254, Москва, ул. Добролюбова, д. 6. Телефон: (495) 650-38-80. izv-udprf.ru. Заказ №

ISSN 0033-8486

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2022 г.

Незаконное тиражирование и перевод печатного материала, включенного в журнал, в электронном и любом другом виде запрещено и карается административной и уголовной ответственностью по закону РФ «Об авторском праве и смежных правах»