



# РАДИОТЕХНИКА

## Т. 86, № 10, 2022

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

**Иванов Дмитрий Владимирович** –  
член-корреспондент РАН,  
проректор,  
Поволжский государственный  
технологический университет  
(г. Йошкар-Ола, Россия)

**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

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

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

**Анисимкин Владимир Иванович** – д.ф.-м.н., гл. науч. сотрудник, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (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)

**Беляев Борис Афанасьевич** – д.т.н., проф., зав. лабораторией, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН (г. Красноярск, 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, Российское государственное НПО «Автоматика» (Москва, Россия)

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

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

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

**Вятчанин Сергей Петрович** – д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой, МГУ им М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

**Гаврилов Константин Юрьевич** – д.т.н., проф., МАИ (национальный исследовательский университет) (Москва, 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)

**Кузнецова Ирен Евгеньевна** – д.ф.-м.н., гл. науч. сотрудник, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (Москва, Россия)

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

**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)

**Слукин Геннадий Петрович** – д.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

**Сучков Виктор Борисович** – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, 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., филиал военной академии РВСН им. Петра Великого (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

Концепция научно-технического развития бортового комплекса радиоэлектронной борьбы <b>Созинов П.А., Андреев Г.И., Тихомиров В.А., Замарин М.Е.</b>	5
Особенности использования средств радиотехнической разведки как источников (средств) целеуказания для радиоэлектронной борьбы <b>Бузин А.Л., Парфенов Г.Г.</b>	17
Применение активной фазированной антенной решетки в технике радиоэлектронной борьбы <b>Малинка А.В., Ходунов В.А., Чалкина Т.А.</b>	23
Широкополосная плоская логопериодическая антенна УВЧ/СВЧ-диапазонов аппаратуры радиомониторинга и радиопеленгации <b>Малинка А.В., Ходунов В.А., Куликов С.С., Чалкина Т.А.</b>	31
Методы подавления радиолокационных станций с моноимпульсной обработкой <b>Корнев В.В., Акопян Г.Л., Калябин Е.В.</b>	38
Сверхбыстродействующее цифровое запоминание и воспроизведение сигналов для систем постановки помех авиационного базирования <b>Акопян Г.Л., Солодун К.Д., Шляхов А.В.</b>	48
Влияние ширины спектра зондирующего сигнала на разрешающую способность по азимуту в радиолокаторах с синтезированной апертурой антенны <b>Татаренков К.В., Осокин В.В.</b>	64
Влияние разрешающей способности радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны на отношение сигнал/шум <b>Татаренков К.В.</b>	68
Проектирование радиопрозрачных обтекателей для средств радиоэлектронной борьбы из композиционных материалов на основе стекловолокна <b>Волков А.В., Крюков А.В., Цветков К.А.</b>	72
Грубые статистики в радиолокации: измерение пеленга <b>Горбунов Ю.Н.</b>	79

## РАДИОТЕХНИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Формирование секторных диаграмм направленности в решетках многомодовых круглых волноводов <b>Сидоров К.М.</b>	95
Анализ устойчивости некоторых методов калибровки фазированных антенных решеток к дрейфу фазы контрольного сигнала <b>Питеримов Д.А., Стакозов А.О., Шитиков А.М., Воцилов Е.М.</b>	107
Методы компенсации дрейфа фазы контрольного сигнала при калибровке фазированных антенных решеток <b>Питеримов Д.А., Стакозов А.О., Шитиков А.М.</b>	115
Метод определения положения вспомогательной антенны относительно полотна калибруемой фазированной антенной решетки без использования аппаратуры топогеодезической привязки <b>Воцилов Е.М., Шитиков А.М.</b>	124
Применение методов имитационного моделирования для оптимизации производственного цикла изготовления приемопередающих модулей активных фазированных антенных решеток <b>Невокшенов А.В., Шестакова О.В., Левитан Б.А., Тушнов П.А.</b>	134
Шумы высокочастотных кварцевых генераторов. Часть 1. Теория <b>Силаев Е.А.</b>	144

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

Исследование автоэмиссионных свойств многоэмиттерных катодов из углеродных нанотрубок <b>Шапошников С.С., Таикин А.Ю., Шешин Е.П., Бугаев А.С.</b>	150
---	-----

## АНТЕННЫ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И ТЕХНИКА СВЧ

Аналитические модели резонанса Фано для частотно-селективных поверхностей СВЧ-диапазона <b>Байбурин В.Б., Комаров В.В., Мещанов В.П., Балакин М.И., Киркица В.А.</b>	155
---	-----

# Radioengineering / Radiotekhnika

## V. 86, № 10, 2022

Included in the Russian Science Citation Index

«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:

#### Ivanov Dmitry Vladimirovich

Corresponding Member of the RAS,  
Vice-Rector,  
Volga State Technological University  
(Yoshkar-Ola, Russia)

#### 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

- 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., General Director,  
JSC «Central Radio-Research Institute named after academician A.I. Berg» (Moscow, Russia)
- Anisimkin Vladimir Ivanovich** – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Principal Research Scientist,  
Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS (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)
- Belyaev Boris Afanasievich** – Dr.Sc. (Eng.), Professor,  
Head of Laboratory, L.V. Kirensky Institute of Physics SB RAS (Krasnoyarsk, 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)
- Gavrilov Konstantin Yurievich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
MAI (National Research University) (Moscow, 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 Yury Leontyevich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh, Russia)
- Kuznetsova Iren Evgenievna** – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Principal Research Scientist,  
Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS (Moscow, Russia)
- Merkulov Vladimir Ivanovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof.,  
Deputy General Designer, JSC «Concern «Vega» (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)
- Priorov 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)
- Slukin Gennady Petrovich** – Dr.Sc. (Eng.),  
Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)
- Suchkov Viktor Borisovich** – Dr.Sc. (Eng.), Professor,  
Bauman Moscow State Technical University (Moscow, 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. (Serpuukhov, 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, RGRU (Ryazan, Russia)
- Volovach Vladimir Ivanovich** – Dr.Sc. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department,  
Volga Region State University of Service (Togliatti, Russia)
- Vyatchanin Sergey Petrovich** – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Professor,  
Head of the Department, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
- Yarlykov Mikhail Semyonovich** – Dr.Sc. (Eng.), Prof. (Moscow, Russia)

# Contents

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

A concept of on-board electronic warfare complex evolution in scientific and technical field <b>Sozinov P.A., Andreev G.I., Tikhomirov V.A., Zamarin M.E.</b>	16
Features of the electronic surveillance use as target designation sources (facilities) for electronic warfare <b>Buzin A.L., Parfenov G.G.</b>	22
Application of AIPA in the REW equipment <b>Malinka A.V., Hodunov V.A., Chalkina T.A.</b>	30
Wideband flat log-periodic radio monitoring equipment range UHF/microwave antenna and radio direction finding <b>Malinka A.V., Hodunov V.A., Kulikov S.S., Chalkina T.A.</b>	37
Methods of radar suppression with monopulse processing <b>Kornev V.V., Akopyan G.L., Kalyabin E.V.</b>	47
Development and implementation of superfast digital memory technology and signal reproduction for aviation based jamming systems <b>Akopyan G.L., Solodun K.D., Shliakhov A.V.</b>	63
Influence of width of a spectrum of the probing signal on resolution on an azimuth in radars from the antenna synthesized by an aperture <b>Tatarenkov K.V., Osokin V.V.</b>	67
Influence resolution of radars from the antenna synthesized by an aperture on relation signal/noise <b>Tatarenkov K.V.</b>	71
Design of radio-transparent fairings for electronic warfare equipment from composite materials based on fiberglass <b>Volkov A.V., Krykov A.V., Zvetkov K.A.</b>	78
Rough statistics in radar: bearing measurement <b>Gorbunov Yu.N.</b>	93

## RADIO EQUIPMENT AND ITS APPLICATION

Shaping of flat-topped radiation patterns in arrays of multimode circular waveguides <b>Sidorov K.M.</b>	106
Analysis of the stability of some PAA calibration methods to the phase drift of the control signal <b>Piterimov D.A., Stakozov A.O., Shitikov A.M., Voschilov E.M.</b>	113
Methods for compensating phase drift of the control signal when calibrating DAA <b>Piterimov D.A., Stakozov A.O., Shitikov A.M.</b>	123
Method for determining the position of the auxiliary antenna relative to the calibrating PAA without the use of special geodesic equipment <b>Voschilov E.M., Shitikov A.M.</b>	133
Application of simulation modeling methods to optimize the production cycle for the manufacture of TRM APAA <b>Nevozkhenov A.V., Shestakova O.V., Levitan B.A., Tushnov P.A.</b>	143
VHF crystal oscillator noise. Part 1. Theore <b>Silaev E.A.</b>	149

## RESEARCH METHODS AND CONTROL ALGORITHMS IN RADIO ELECTRONIC SYSTEMS

Investigation of field emission properties of multi-emitter carbon nanotube cathodes <b>Shaposhnikov S.S., Taikin A.Yu., Sheshin E.P., Bugaev A.S.</b>	154
---	-----

## ANTENNAS, RADIO-WAVE PROPAGATION AND MICROWAVE ENGINEERING

Analytical Fano resonance models for frequency-selective microwave surfaces <b>Bayburin V.B., Komarov V.V., Meshanov V.P., Balakin M.I., Kirkitsa V.A.</b>	163
---	-----



Включен в Перечень ВАК

Все статьи, представленные в данном выпуске журнала, соответствуют номенклатуре специальностей научных работников

Учредитель ООО Издательство Радиотехника. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-76558.  
Подписано в печать 28.10.2022. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печ.л. 20,5. Тираж 1000 экз. Изд. № 10.  
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](http://www.radiotec.ru); e-mail: [info@radiotec.ru](mailto:info@radiotec.ru)

Дизайн и допечатная подготовка ООО «САЙНС-ПРЕСС».  
Отпечатано с предоставленных готовых файлов в типографии ООО «Паблит».  
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1. Тел.: (495) 230-20-52. 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»