



# РАДИОТЕХНИКА

## Т. 86, № 11, 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

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ

#### Методы анализа и обработки радиосигналов

Выбор рациональных временных параметров подсистемы пространственной компенсации помех в радиолокаторах с синтезированием апертуры <b>Баринов С.П., Маевский Ю.И., Сергеев В.И.</b>	7
Анализ характеристик обнаружения сетевой радиолокационной системы при различных алгоритмах функционирования в условиях активных помех <b>Баринов С.П., Маевский Ю.И., Морозов А.А.</b>	14
Пеленгация источников LPI излучения с использованием взаимокорреляционной обработки сигналов, принятых разнесенными приемными модулями <b>Морозов А.А., Потапова Т.П., Топорков Н.В., Пуда П.И.</b>	21
Обнаружение и пеленгование слабых сигналов на фоне мощных помех <b>Иванов Н.М., Шевченко В.Н.</b>	28
Совместное оценивание частоты и скорости ее изменения по разностно-фазовым измерениям при обработке когерентных пакетов сигналов <b>Скрипкин А.А., Щербачёв В.А.</b>	34
Снижение методической погрешности при цифровом корреляционном измерении разностных задержек и частотных сдвигов <b>Скрипкин А.А., Щербачёв В.А., Подчиненко Н.Е.</b>	42

#### Радиотехнические системы и устройства: проблемы построения и технические решения

Температурная коррекция характеристик приёмных и передающих модулей бортового радиотехнического комплекса <b>Куликов А.В.</b>	49
Исследование характеристик модифицированного плоского спирального излучателя <b>Табакон Д.П., Малахов М.А.</b>	54
Расчет основных параметров устройства переотражения сигналов сантиметрового диапазона длин волн <b>Ивлев В.С., Кочубей А.С.</b>	63
Усилитель мощности для антенной решетки <b>Зикий А.Н., Ивлев В.С., Кочубей А.С.</b>	69
Методы реализации цифровой части приемника с частотным дискриминатором <b>Сальный И.А.</b>	74
Широкополосная частотно-независимая рупорная антенна <b>Бобков Н.И.</b>	80
Исследование макета фазостабильной системы синхронизации АЦП разнесенных каналов радиоинтерферометра с использованием технологии радиофотоники <b>Емельянов А.А., Топорков Н.В.</b>	86

### РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Особенности применения метода ESPRIT в обработке сигналов плоских эквидистантных антенных решеток <b>Немов А.В.</b>	91
Обоснование выбора параметров тестовых сценариев проверки работоспособности алгоритмов RAIM (ARAIM) в навигационной аппаратуре потребителей при обнаружении одиночных сбоев <b>Короленко В.Н., Сафронов С.А., Короленко А.В.</b>	100
Использование многолучевого распространения сверхширокополосного радиосигнала для навигации внутри помещения <b>Серов С.А., Куликов Р.С., Петухов Н.И.</b>	109
Снижение объема вычислений в одноэтапном алгоритме обработки сигналов спутниковых радионавигационных систем для некогерентного приемника <b>Солодов Е.В.</b>	115
Принципы построения навигационной аппаратуры потребителей ГЛОНАСС для полетных контроллеров легких беспилотных летательных аппаратов в условиях ограничений <b>Немов А.В., Никитин А.В., Ермолаев С.В.</b>	121
Прогнозирование фазы во время пропадания навигационного сигнала: результаты моделирования и экспериментальных исследований в инерциально-спутниковой навигационной системе NV216C-IMU <b>Нагин И.А., Мухамедзянов Т.А., Черкасова А.А.</b>	131
Алгоритм нелинейной аппроксимации траекторий источников радиоизлучения в многопозиционных пассивных комплексах <b>Чугунов А.А.</b>	143
Оценка состояния бортовых стандартов частоты глобальных навигационных спутниковых систем в процессе эксплуатации <b>Сальцберг А.В., Шупен К.Г., Феоктистов А.Ю.</b>	152

### АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ: ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Новые возможности систем широкополосной когнитивной связи, работающих в ионосферных КВ-радиоканалах с внутримодовой дисперсией <b>Иванов Д.В., Иванов В.А., Рябова Н.В., Овчинников В.В.</b>	162
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### АНТЕННЫ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И ТЕХНИКА СВЧ

Алгоритм согласования антенно-фидерного тракта коротковолнового диапазона радиоволн на базе нейронных сетей с распределением зон ответственности <b>Павлов А.П., Кащенко И.Е., Бахмуцкая А.В.</b>	178
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

# Radioengineering / Radiotekhnika

## V. 86, № 11, 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

## PROMISING RADIO-ELECTRONIC MEANS AND SYSTEMS

### Methods of analysis and processing of radio signals

- Choice of rational timing parameters of a subsystem of spatial interference compensation in radars with synthesized aperture  
**Barinov S.P., Maevskii Y.I., Sergeev V.I.** 13
- Analysis of characteristics of networked radar system detection under different algorithms in active interference environment  
**Barinov S.P., Maevskii Y.I., Morozov A.A.** 20
- Direction finding of LPI emitters using cross correlation processing of signals intercepted with spaced apart receiving units  
**Morozov A.A., Potapova T.P., Toporkov N.V., Puda P.I.** 27
- Detection and direction finding of weak signals affected by powerful interference  
**Ivanov N.M., Shevchenko V.N.** 33
- Joint estimation of frequency and rate of its change by differenced phase measurements when processing coherent packets of sinusoidal signals  
**Skripkin A.A., Shcherbachev V.A.** 41
- Reducing the systematic error in digital correlation measurement of differential delays and frequency shifts  
**Skripkin A.A., Shcherbachev V.A., Podchinenko N.E.** 48

### Radio engineering systems and devices: construction problems and technical solutions

- Temperature correction of characteristics of transmitting and receiving modules airborne radio system  
**Kulikov A.V.** 53
- Investigation of the characteristics of a modified planar spiral radiator  
**Tabakov D.P., Malakho M.A.** 62
- Calculation of the main parameters of the device for re-reflecting signals of the centimeter wave range  
**Ivlev V.S., Ivlev V.S.** 68
- Power amplifier for antenna array  
**Zikiy A.N., Ivlev V.S., Kochubey A.S.** 73
- Methods of implementing the digital part of the receiver with a frequency discriminator  
**Salnyy I.A.** 79
- Frequency-independent wideband horn antenna  
**Bobkov N.I., Bobkov I.N.** 85
- Studying a prototype of a phase-stable synchronization of ADCS in distributed reception channels of radio frequency interferometer using technologies of microwave photonics  
**Emelyanov A.A., Toporkov N.V.** 90

## RADIO NAVIGATION TECHNOLOGIES IN INSTRUMENT MAKING

- Features of the ESPRIT method application in signal processing of equidistant flat antenna arrays  
**Nemov A.V.** 99
- Rationale for the choice of test scenario parameters testing of RAIM (ARAIM) algorithms performance in consumer navigation equipment when single faults are detected  
**Korolenko V.N., Safronov S.A., Korolenko A.V.** 108
- The use of multipath propagation of an ultra-wideband radio signal for indoor navigation  
**Serov S.A., Kulikov R.S., Petukhov N.I.** 114
- Reduction of computations of vector delay lock loop algorithm for processing of satellite navigation systems signals in noncoherent receiver  
**Solodov E.V.** 120
- About the principles of construction of GLONASS receivers for light UAVs flight controllers in the conditions of restrictions  
**Nemov A.V., Nikitin A.V., Ermolaev S.V.** 129
- Navigation signal phase prediction during signal outages: modeling and experimental evaluation results in NV216C-IMU inertial-satellite navigation system  
**Nagin I.A., Muhamedzyanov T.A., Cherkasova A.A.** 142
- Algorithm for nonlinear approximation of radio radiation sources trajectories in multi-position complexes  
**Chugunov A.A.** 151
- Evaluation of GNSS on-orbit satellites atomic clocks during operation  
**Saltsberg A.V., Shupen K.G., Feoktistov A.Yu.** 161

## FUNCTIONAL ALGORITHMS: SIGNAL TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING

- New capabilities of wideband cognitive communication systems operating over ionospheric HF radio channels with intramode dispersion  
**Ivanov D.V., Ivanov V.A., Ryabova N.V., Ovchinnikov V.V.** 176

## ANTENNAS, RADIO-WAVE PROPAGATION AND MICROWAVE ENGINEERING

- The algorithm of matching of the antenna-feeder path of HF radio waves based on neural networks with the distribution of responsibility zones  
**Pavlov A.P., Kashchenko I.E., Bakhmutskaya A.V.** 187



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 30.11.2022. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печ.л. 23,5. Тираж 1000 экз. Изд. № 11.  
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](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»