

РАДИО-  
ТЕХНИКА

**182/2015**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

## РАДИОТЕХНИКА

Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник

Основан в 1965 г.

ВЫПУСК 182

Харків  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки  
2015

*Сборник включен в список специальных изданий ВАК Украины по физико-математическим и техническим наукам.*

*Регистрационное свидетельство КВ № 12098-969 ПР от 14. 12. 2006.*

*Ответственность за содержание статей несут авторы.*

#### **Редакционная коллегия**

Н.И. Слипченко, д-р физ.-мат наук, проф. (главный редактор)  
Ю.Б. Гимпилевич, д-р физ.-мат. наук, проф.  
И.Д. Горбенко, д-р техн. наук, проф.  
Ю.Е. Гордиенко, д-р физ.-мат. наук, проф.  
А.Н. Довбня, чл.-кор. НАНУ, д-р физ.-мат. наук, проф.  
В.М. Карташов, д-р техн. наук, проф.  
А.А. Коноваленко, академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук  
В.М. Кузмичев, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Л.М. Литвиненко, академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук  
А.И. Лучанинов, д-р физ.-мат. наук, проф. (зам. главного редактора)  
И.М. Неклюдов, академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук  
А.Г. Пашенко, канд. физ.-мат. наук, доц. (ответственный секретарь)  
В.В. Поповский, д-р техн. наук, проф.  
Э.Д. Прохоров, д-р физ.-мат. наук, проф.  
А.И. Стрелков, д-р техн. наук, проф.  
К.С. Сундучков, д-р техн. наук, проф.  
П.Л. Токарский, д-р физ.-мат. наук, проф.  
А.И. Фисун, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Г.И. Хлопов, д-р техн. наук  
Я.С. Шифрин, д-р техн. наук, проф.

#### **Международная редакционная коллегия**

A.G. Karabanov, USA  
S.E. Sandström, Sveden  
N. Chichkov, Germany

*Ответственный за выпуск А.И. Лучанинов, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Технический секретарь Е.С. Полякова*

Рекомендовано Ученым советом Харьковского национального университета радиоэлектроники, протокол № 8 от 06.10.2015.

*Адрес редакционной коллегии:* Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЭ), просп. Ленина, 14, Харьков, 61166, тел. (0572) 7021-397.

*Сборник «Радиотехника» включен в Каталог подписных изданий Украины, подписной индекс 08391*



## СОДЕРЖАНИЕ

### РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>В. К. Волосяк, Ву Та Кыонг, Е. Н. Тимощук, С. С. Жила</i> Синтез оптимального обнаружителя в многоантенной радиометрической системе	5
<i>В.М. Карташов, Д.Н. Куля, Е.Г. Толстых</i> Потенциальная точность оценки информационного энергетического параметра сигнала в системах радиоакустического зондирования атмосферы	13
<i>Д. В. Котов, А. В. Богомаз</i> Методика расчета обобщенной двумерной функции неопределенности, используемой для решения обратной задачи радиофизики в методе некогерентного рассеяния	19
<i>Т.А. Скворцов, А.В. Фисун</i> К вопросу о точности измерения разности фаз между стохастическими сигналами	24
<i>Л.Я. Емельянов, А.И. Лялюк, Е.В. Рогожкин</i> Особенности обработки сигналов некогерентного рассеяния на радаре Ионосферной обсерватории Института ионосферы	29
<i>Б.В. Перельгин</i> Рациональное построение радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды	34
<i>М.А. Мирошник, В.Г. Котух, Э.Е. Герман, Е.В. Загуменная</i> Проектирование систем искусственного интеллекта с использованием нечеткой логики	42
<i>И.С. Шостко, Н.В. Деревянко</i> Анализ влияния искажающих факторов на качество сигнала эфирной цифровой телевизионной системы DVB	51
<i>В.М. Карташов, А.В. Беляев</i> Обнаружение объектов заданной формы на изображении в мультимедийном стрелковом тренажере и определение их координат	58
<i>В.Г. Котух, Ю.В. Пахомов</i> Построение распределенных информационно-управляющих систем учета и контроля энергоресурсов на примере газовой отрасли	65
<i>Д.В. Кухаренко</i> Побудова компьютерной системы для прогнозування результату оперативних втручань на окорухових м'язах людини	73
<i>Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков</i> Квадратурная обработка сигналов в моделях пассивных систем частотно-временной синхронизации	79

### УСТРОЙСТВА МИКРОВОЛНОВОГО И ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНОВ

<i>И.В. Безносенко, Ю.П. Мачехин</i> Компактный лазерный излучатель на 1,531 мкм на кристалле $\text{PbMoO}_4:\text{Nd}^{3+}$ с ВКР-самопреобразованием и диодной накачкой	87
<i>М.И. Дзюбенко, С.В. Николаев, В.В. Пожар, К.С. Николаев</i> Твердотельный лазер на красителях с дисперсионным резонатором	96
<i>А.А. Зарудный</i> Теоретический анализ повышения интенсивности излучения резонансного лидара однопроходовым усилителем	102
<i>А.С. Гнатенко, Е.Д. Алексеева</i> Расчет дисперсионных характеристик оптических волокон для проектирования кольцевых резонаторов волоконных лазеров	106
<i>Н.Н. Чернышов, Н.И. Слипченко, И.Н. Бондаренко, В.М. Писаренко, С.Ю. Башлий</i> Обработка и визуализация изображений в сканирующей микроволновой микроскопии	110
<i>И.Н. Бондаренко</i> Взаимодействие высокочастотных электромагнитных полей с тонкими сверхпроводящими и охлаждаемыми токовыми каналами	115
<i>Д.С. Гавва</i> Представление поверхностного импеданса при моделировании электродинамических устройств выполненных на основе ВТСР материалов	121
<i>Ю.В. Рассохина, В.Г. Крыжановский</i> Режекторный фильтр на Н-образном щелевом резонаторе в экранирующем слое микрополосковой линии	129

### ТЕХНОЛОГИЯ И МАТЕРИАЛЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

<i>В.Н. Борщев, А.М. Листратенко, Г.В. Буеров, Н.В. Герасименко, Н.И. Слипченко, А.Ю. Петрова, М.А. Проценко, А.А. Фомин, И.Т. Тымчук, Г.И. Никитский, И.Т. Перекопский</i> Новые конструктивно-технологические решения пленочных электронагревателей космического назначения	137
<i>Ю.Г. Лимаренко, А.В. Васильев, Ю. П. Мачехин</i> Микроструктурированные волокна для генерации суперконтинуума	144
<i>Ю.Н. Лаврич</i> Получение нанодисперсного диоксида титана с использованием СВЧ излучения	152
<i>О.Ю. Бабыченко</i> Фотопроводимость кристаллического кремния с аморфными вкраплениями сферической формы	157
Юрию Емельяновичу Гордиенко – 75 лет	161

РЕФЕРАТЫ	163
----------	-----

# CONTENT

## RADIO ENGINEERING AND INFORMATION SYSTEMS

<i>V. K. Volosyuk, Vu Ta Cuong, O. M. Tymoshchuk, S. S. Zhyla</i> Synthesis of optimal detector in multi-antenna radiometric system	5
<i>V.M. Kartashov, D.M. Kulia, E.G. Tolstykh</i> Potential estimation accuracy of information signal energy parameter in radio acoustic atmosphere sounding systems (RASS)	13
<i>D. V. Kotov, O. V. Bogomaz</i> Technique of calculation of generalized two-dimensional ambiguity function used to solve inverse problem of radio physics in incoherent scattering method	19
<i>T.A. Skvortsov, A.V. Fesun</i> On the problem about exactness of measuring phase difference between stochastic signals	24
<i>L.Ya. Emelyanov, O.I. Lyalyuk, E.V. Rogozhkin</i> Features of incoherent scatter signals processing at the radar of the Ionospheric Observatory of the Institute for Ionosphere	29
<i>B. Pereygin</i> Rational construction of the radar field for environmental monitoring system	34
<i>V.G. Kotuh, M.A. Miroshnik, E.E. German, E.V. Zagumena</i> Design of artificial intelligence systems using fuzzy logic	42
<i>I. Shostko, N.Derevyanko</i> Analysis of distorting factors action on the signal quality of digital terrestrial television system DVB	51
<i>V.M. Kartashov, O.V. Belyaev</i> Detection of predetermined shape objects on the image in the multimedia shooting simulator and determination their coordinates	58
<i>V.G. Kotukh, Y. Pakhomov</i> Construction of distributed information and control systems of accounting and control of energy resources at the example of the gas industry	65
<i>D.V. Kukhareno</i> Building of computer system for prediction of outcome of surgical interventions into human eye muscles	73
<i>[J.A. Koval], A.A. Kostyria, V.N. Naumenko, S.A. Plehno, S.I. Ushakov</i> Quadrature processing of signals in models of passive systems of time-frequency synchronization	79

## DEVICES OF MICROWAVE AND OPTICAL RANGE

<i>I.V. Beznosenko, Y.P. Machehin</i> Compact diode-pumped 1.531 $\mu\text{m}$ laser emitter with self-Raman conversion based on $\text{PbMoO}_4:\text{Nd}^{3+}$ crystal	87
<i>M.I. Dzyubenko, S.V. Nikolayev, V.V. Pozhar, C.S. Nikolayev</i> Solid-state dye laser with dispersive resonator	96
<i>O.A. Zarudnyi</i> Theoretical analysis of increasing radiation intensity of resonance lidar using one-pass amplifier	102
<i>A.S. Gnatenko, K.D. Aleksieieva</i> Calculation of dispersion characteristics of optical fibers for designing fiber ring resonator of fiber lasers	106
<i>N.N. Chernyshov, N.I. Slipchenko, I.N. Bondarenko, V.M. Pisarenko, S. Yu. Bashliy</i> Processing and visualization of image in scanning microwave microscopy	110
<i>I.N. Bondarenko</i> Interaction of high frequency electromagnetic fields with thin superconducting and cooled current channels	115
<i>D.C. Gavva</i> Submission of the surface impedance when modeling electrodynamic devices made on the basis of HTS materials	121
<i>Yu.V. Rassokhina, V. G. Krizhanovski</i> Rejection filter based on H-shaped slot resonator in microstrip line ground plane	129

## TECHNOLOGY AND MATERIALS OF RADIO ELECTRONICS

<i>V.N. Borshchov, O.M. Listratenko, G.V. Buerov, M.V. Gerasymenko, M.I. Slipchenko, A.Yu. Petrova, M.A. Protsenko, O.O. Fomin, I.T. Tymchuk, G.I. Nikitskiy, I.T. Perekopskiy</i> New design and technological solutions of film-type electrical resistance heaters for space applications	137
<i>Y.G. Limarenko, Y.P. Machekhin</i> Microstructured fibers for supercontinuum generation	144
<i>Yu. N. Lavrich</i> Production of nano-disperse titanium dioxide with the use of microwave radiation	152
<i>O. Babychenko</i> Photoconductivity of crystalline silicon with amorphous disseminations of spherical form	157
Юрию Емельяновичу Гордиенко – 75 лет	161
ABSTRACTS	163



## РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### Введение

При проведении всеобъемлющего радиолокационного мониторинга окружающей среды очень важную роль играет радиолокационный мониторинг атмосферы [1]. Состояние атмосферы существенно влияет на работу многих хозяйственных отраслей: транспорта, сельского, лесного, водного хозяйства, различных муниципальных структур. В связи с изменениями климата особые угрозы в виде человеческих жертв и крупного материального ущерба представляют опасные явления погоды [2]. Процессы эти быстротечны. Информация об их протекании необходима в реальном масштабе времени. Это требование можно выполнить только с использованием технологии оперативного радиолокационного мониторинга.

### Актуальность

Во многих странах существуют радиолокационные сети для наблюдения за состоянием атмосферы. В основу их функционирования положены различные приоритеты, позволяющие соответствующим службам получать необходимую информацию для прогнозирования с целью предотвращения гибели людей и материальных потерь. В Испании сеть составляют 12 метеорологических РЛС, в Великобритании и Ирландии – 15, в Скандинавских странах – 19. По проекту COST–73 в Западной Европе развернуты и функционируют более 120 метеорологических РЛС, в Японии – 22, в США – более 150, в России – более 140 [3]. На Украине сеть составляют 2 метеорологические РЛС, расположенные в Киеве и в Запорожье [4]. Столь малое количество средств мониторинга не обеспечивает прогностические центры радиолокационной информацией о состоянии всей толщи тропосферы в необходимом количестве и с потребным качеством. По этой причине решение задачи рационального построения радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды для Украины является актуальным.

### Цель исследования

Цель исследования – обоснование рационального построения радиолокационной системы мониторинга окружающей среды, образующей единое радиолокационное поле над всей территорией страны и прилегающими к ней районами и средств для моделирования этой системы.

### Научная новизна

Научная новизна приведенных исследований состоит в обосновании рационального построения радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды и создании средств моделирования для этих целей.

### Изложение основного материала

Концепции построения существующих радиолокационных сетей в разных странах обладают определенной общностью, однако есть и различия. Они обусловлены разными климатическими и погодными условиями, разным подходом к гидрометеорологическому прогнозированию.

Общностью обладают целевые установки создания радиолокационной сети наблюдения за атмосферными процессами [5, 6], она предназначается:

- 1) для штормового оповещения населения и организаций на новом качественном уровне, т.е. создания автоматизированной технологии текущего прогноза опасных стихийных явлений с целью многократного повышения его оперативности и качества;
- 2) организации метеорологического обеспечения гражданской и ведомственной авиации в соответствии с требованиями, предъявляемыми автоматизированными системами управле-



ния воздушным движением как по территории, так и в каждом аэропорту;

3) измерения интенсивности и количества осадков по территориям для использования в метеорологических и гидрологических прогнозах наводнений;

4) доведения информации непосредственно до инженерных служб коммунального хозяйства администрации городов, с целью полного и оперативного ее использования при организации работ и контроле состояния городских, пригородных и междугородных транспортных магистралей, особенно общенационального значения;

5) повышения качества работы прогностических центров по чрезвычайным ситуациям;

6) повышения уровня метеорологического обеспечения административных органов путем создания на рабочих местах абонентских пунктов потребителей информации;

7) перевода на качественно новый уровень обслуживания любых потребителей и в первую очередь тех, производственная деятельность которых существенно зависит от гидрометеорологических условий.

Общностью отличаются и подходы к созданию радиолокационных сетей в разных странах [6 – 8]:

1) предпосылка создания – возникновение настоятельной необходимости использования радиолокационной метеорологической информации об опасных явлениях и осадках для решения хозяйственных задач;

2) понимание обязательности системного подхода при создании радиолокационных сетей;

3) решение вопросов финансирования радиолокационных сетей по возможности на государственном уровне;

4) в зависимости от выделенных средств выбор пути создания радиолокационных сетей – быстрого или медленного.

Различия в построении радиолокационных сетей в разных странах заключаются в разных требованиях к информации радиолокационных сетей (табл. 1).

Различия существуют также в подходах к созданию радиолокационных сетей наблюдения за атмосферными процессами. Примером быстрого варианта создания радиолокационной сети является реализация проекта NEXRAD в США [6], а медленного – создание радиолокационной сети в Западной Европе [8, 9]. Суть концепции NEXRAD состояла в разработке и поставке однотипной радиолокационной системы, отвечающей минимальным запросам трех ведомств (Министерства торговли, Министерства перевозок, Министерства обороны), и их объединении в единой радиолокационной сети наблюдения за атмосферными процессами. В Западной Европе ее создание проводилось постепенно, по мере появления финансовых возможностей. В этой ситуации в каждой стране до момента начала функционирования радиолокационной сети в полном объеме были расставлены приоритеты [10] с учетом ценности и первоочередности информации метеорологических РЛС (таблица). В каждой стране Западной Европы радиолокационная сеть создавалась на базе отечественных метеорологических РЛС или метеорологических РЛС известных фирм. Системы автоматизации разрабатывались под приоритетные задачи, применялись свои методы кодирования и распознавания передаваемой информации. По мере совершенствования радиолокационных средств указанные сети комплектовались более совершенными метеорологическими радиолокационными станциями.

Совершенствование сетей, главным образом, осуществляется за счет расширения круга измеряемых параметров зондирующего сигнала (частота Доплера, параметры поляризации), за счет увеличения излучаемой энергии путем повышения мощности передающего устройства, за счет улучшения обработки полученных сигналов, основанных на принципах теории распознавания образов [3, 9, 11].



Информационные приоритеты стран Европы	Страны Европы													
	Австрия	Бельгия	Великобритания	Германия	Дания	Испания	Италия	Нидерланды	Норвегия	Португалия	Финляндия	Франция	Швейцария	Швеция
Метеорологическое обеспечение авиации	+				+		+			+			+	+
Штормовое оповещение	+					+					+		+	+
Краткосрочный прогноз, в т.ч. осадков и опасных явлений	+	+		+					+			+		
Активные воздействия на град	+						+							
Метеорологическое обеспечение дорожного транспорта и дорог	+		+					+	+		+		+	+
Показ радиолокационных карт погоды по телевидению	+		+											
Измерение осадков и гидрологический прогноз паводков, наводнений, речного и городского стока, управление водными ресурсами		+	+	+				+		+	+	+		
Повышение качества метеопрогноза прохождения фронтальных систем, сроков начала и окончания осадков			+											
Совмещение с данными искусственных спутников Земли			+									+		
Метеорологическое обеспечение сельскохозяйственных работ и обслуживание фермеров прогнозами осадков					+		+							+
Строительство								+						
Расчет потоков на горных реках													+	
Разработка адвективных моделей краткосрочного прогноза														+

Первый и последний из указанных путей совершенствования сомнений не вызывают. Однако рост излучаемой радиолокатором мощности с 1980-х годов по 2000-е годы в четыре раза (с 250 кВт у РЛС WSR-88D EEC USA и у большинства РЛС других стран до 1000 кВт у РЛС DWSR-10001C EEC USA) [12 – 14] явно нежелателен. Практика эксплуатации метеорологической РЛС даже с мощностью 250 кВт в южных густонаселенных районах Украины привела к тому, что пришлось отказаться от ее установки в интересах Гидрометеорологического центра Черного и Азовского морей на указанной территории. Ведомственные разногласия не позволили ее установить в уже отведенных районах, а отводить под установку РЛС новые земли затруднительно из-за дороговизны земли. Таким образом, декларируемый системный подход к созданию радиолокационных систем мониторинга не осуществляется, т.е. отсутствует понимание облика самой системы, который бы предъявил требования к собственно радиолокационной станции. Вполне может оказаться, что метеорологические РЛС с такими мощностями и не нужны.

### Обсуждение результатов исследования

Анализ принципов построения зарубежных радиолокационных сетей приводит к выводу о том, что ориентирование на требования нескольких, пусть и важных, заказчиков, как в США, и существенные различия в приоритетах в гидрометеорологической информации, как в Европе, нарушает системную стройность радиолокационной системы мониторинга. Желание иметь однотипную РЛС, как в первом случае, приведет к избыточности информации там, где она не нужна, и к недостаточности там, где она необходима. А различные приоритеты будут сильно влиять на структуру системы обработки информации. Поэтому радиолокационную систему мониторинга нужно строить таким образом, чтобы информация о характери-



