

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

РАДИОТЕХНИКА

**Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник**

Основан в 1965 г.

В Ы П У С К 1 9 7

Харків
Харківський національний
університет радіоелектроніки
2019

УДК 621.3

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

А.И. Лучанинов, *д-р физ.-мат. наук, проф., ХНУРЭ (главный редактор)*
О.Г. Аврунин, *д-р техн. наук, проф., ХНУРЭ*
В.М. Безрук, *д-р техн. наук, проф., ХНУРЭ*
И.Д. Горбенко, *д-р техн. наук, проф., ХНУ имени В.Н. Каразина*
Ю.Е. Гордиенко, *д-р физ.-мат. наук, проф., ХНУРЭ*
А.Н. Довбня, *чл.-кор. НАНУ, д-р физ.-мат. наук, проф., ННЦ ХФТИ*
В.А. Дорошенко, *д-р физ.-мат. наук, проф., ХНУРЭ*
В.М. Карташов, *д-р техн. наук, проф., ХНУРЭ*
А.А. Коноваленко, *академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук, РИАН*
А.В. Лемешко, *д-р техн. наук, проф., ХНУРЭ*
Л.М. Литвиненко, *академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук, РИАН*
И.М. Неклюдов, *академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук, ННЦ ХФТИ*
В.И. Оборжицкий, *д-р. техн. наук, доц., НУ «Львовская политехника»*
А.Г. Пашенко, *канд. физ.-мат. наук, доц., ХНУРЭ (ответственный секретарь)*
К.С. Сундучков, *д-р техн. наук, проф., ИТС*
С.И. Тарапов, *чл.-кор. НАНУ, д-р физ.-мат. наук, проф., ИРЭ НАНУ*
П.Л. Токарский, *д-р физ.-мат. наук, проф., РИАН*
А.И. Фисун, *д-р физ.-мат. наук, проф. ИРЭ НАНУ*
А.И. Цопа, *д-р техн. наук, проф., ХНУРЭ*

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 № 79 от 28.06.2019.

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

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

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
РАДІОТЕХНІКА
Випуск 197
Російською, українською та англійською мовами

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
РАДИОТЕХНИКА
Выпуск 197
На русском, украинском и английском языках

Коректор Л.І. Сащенко

Підп. до друку 28.06.2019. Формат 60x90/8. Папір офсет. Гарнітура Таймс. Друк. ризограф.
Ум. друк. арк. 12,2. Обл.-вид. арк. 11,07. Тираж 300 прим. Зам. № 368. Ціна договір.

Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)
Просп. Науки, 14, Харків, 61166.

Оригінал-макет підготовлено і збірник надруковано у ПФ „Колегіум”, тел. (057) 703-53-74.
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої діяльності до Державного реєстру видавців.
Сер. ДК №1722 від 23.03.2004.

СОДЕРЖАНИЕ

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- О.А. Войтович, А.М. Линкова, А.А. Могила, В.П. Мальцев, Г.А. Руднев, Г.И. Хлопов, О.П. Грибский, С.В. Маковенко, С.Б. Мальцев, С.В. Миронюк, В.Д. Павленко* Многофункциональный сканирующий радиометр K_a диапазона с аддитивно-шумовым пилот-сигналом 5
- Б.В. Перельгин, Г.А. Боровская, А.В. Глушков* Обоснование процедур обзора пространства наблюдения при системном подходе к построению радиолокационной системы мониторинга атмосферы 16
- А.В. Лемешко, А.С. Еременко, А.В. Персигов, Б. Слейман* Модель безопасной маршрутизации на основе определения максимального количества непересекающихся путей для минимизации вероятности компрометации конфиденциальных сообщений 31

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА, АНТЕННЫ, МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА

- М.Е. Калиберда, Л.Н. Литвиненко, С.А. Погарский* Дифракция Н-поляризованной волны на плоской графеновой решетке типа жалюзи 38
- А.В. Безуглий, О.М. Петченко* Дифракция Н-поляризованных фотонов на бесконечной решетке металлических лент 43
- В.Ф. Комаров, Ю.В. Рассохина, В.Г. Крыжановский* Синтез компактного фильтра нижних частот на гантелеподобных щелевых резонаторах 50
- А.В. Грицунов, И.Н. Бондаренко, А.В. Бородин, М.А. Копоть, Л.И. Свицерская* Спектральные модели СВЧ-приборов с продольным взаимодействием 56

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

- И.В. Барышев, К.А. Щербина, Е.П. Мсаллам, К.Н. Нежалская, М.А. Вонсович, О.С. Инкарбаева* Результаты компьютерного моделирования тестовых сигнальных моделей пассивных помех при аналого-цифровом преобразовании 64
- В.М. Карташов, В.А. Тихонов, В.В. Воронин, А.А. Супрун* Оценка частоты сигнала при адаптивном подавлении помех в системах акустического зондирования атмосферы 72
- Д.Ю. Горелов, В.О. Алексеев, В.М. Бублик, Д.В. Маслий* Исследование статистических свойств клавиатурного почерка для решения задач аутентификации пользователей компьютерных сетей 78
- Ю.С. Курской* Теоретическая модель измерения параметров лазерного излучения 86
- В.В. Семенец, В.И. Леонидов* Особенности амплитудно-временной структуры помех в системах акустического зондирования атмосферы 93
- В.М. Карташов, О.И. Харченко, В.И. Чумаков* Использование эффекта стохастического резонанса для анализа спектров акустического излучения малых беспилотных летательных аппаратов 100

ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ РАДИОТЕХНИКИ

- О.Г. Аврунин, В.В. Семенец, Н.Г. Косулина, В.С. Попрядухин, С.В. Кускова* Определение параметров прямоугольного волновода для передачи электромагнитной энергии в призматический резонатор с шерстью 107
- В.В. Семенец, О.Г. Аврунин, Н.Г. Косулина, Т.Д. Гуцол, Г.А. Ляшенко* Методика калибровки радиометрического приёмника для дистанционной диагностики заболеваний животных 117

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

- В.Н. Борщев, А.М. Листратенко, М.А. Проценко, И.Т. Тымчук, А.В. Кравченко, Н.И. Слипченко* Новые подходы к созданию высокоэффективных приемников излучения для концентраторных солнечных модулей 123
- РЕФЕРАТЫ 137

CONTENT

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

<i>O.A. Voitovich, A.M. Linkova, A.A. Mogyla, V.P. Maltsev, G.A. Rudnev, G.I. Khlopov, O.P. Gribsky, S.V. Makovenko, S.B. Maltsev, S.V. Mironyuk, V.D. Pavlenko</i> Multifunctional K-band scanning radiometer with an additive noise pilot signal	5
<i>B.V. Pereygin, H.O. Borovska, A.V. Glushkov</i> Substantiation of survey procedures of the observation space in a systematic approach to the construction of a atmospheric monitoring radar system	16
<i>O.V. Lemeshko, O.S. Yeremenko, A.V. Persikov, B. Sleiman</i> Model of secure routing based on determining the maximum number of disjoint paths to minimize the probability of compromise the confidential messages	31

ELECTRODYNAMICS, ANTENNAS, MICROWAVE DEVICES

<i>M.E. Kaliberda, L.M. Lytvynenko, S.A. Pogarsky</i> Diffraction of H-polarized wave by planar venetian-blind type grating	38
<i>A.V. Bezougly, O.M. Petchenko</i> Diffraction of H-polarised photons on the infinite grating of metallic ribbons	43
<i>V.F. Komarov, Yu.V. Rassokhina, V.G. Krizhanovski</i> Synthesis of the compact low pass filter using dumbbell-shaped slot resonators	50
<i>A.V. Gritsunov, I.N. Bondarenko, A.V. Borodin, M.A. Kopot, L.I. Sviderska</i> Spectral models of microwave devices with longitudinal interaction	56

SIGNAL PROCESSING

<i>I.V. Baryshev, K.A. Scherbina, E.P. Msallam, K.N. Nezhalskaya, M.A. Vonsovitch, O.S. Inkarbaeva</i> Results of computer simulation for test signal models of passive interferences within analog-to-digital conversion	64
<i>V.M. Kartashov, V.A. Tikhonov, V.V. Voronin, A.A. Suprun</i> Evaluation of the signal frequency with adaptive noise suppression in systems of acoustic sounding of the atmosphere	72
<i>D.Y. Gorelov, V.A. Aliksieiev, V.M. Bubylyk, D.V. Masliy</i> Statistical analysis of keystroke for solving the computer networks users authenticating problems	78
<i>Yu.S. Kurskoy</i> Theoretical model for measuring parameters of laser radiation	86
<i>V.V. Semenetz, V.I. Leonidov</i> Particularities of the amplitude-time structure of the hindrances in the acoustic sounding system of the atmosphere	93
<i>V.M. Kartashov, O.I. Kharchenko, V.I. Chumakov</i> Use of stochastic resonance effect for analysis of acoustic radiation spectrum of small unmanned aerial vehicles	100

APPLIED QUESTIONS OF RADIO ENGINEERING

<i>O. Avrunin, V. Semenets, N. Kosulina, V. Popryaduhin, S. Kuskova</i> Determination of direct wave parameters for transmission of electromagnetic energy in a prismatic resonator with wool	107
<i>V. Semenets, O. Avrunin, N. Kosulina, T. Gutsol, G. Lyashenko</i> Methods for calibration of radiometric receiver for remote diagnostics of animals diseases	117

TECHNOLOGY OF EQUIPMENT AND PRODUCTION OF ELECTRONIC TECHNIQUE

<i>V.N. Borshchev, A.M. Listratenko, M.A. Protsenko, I.T. Tymchuk, A.V. Kravchenko, N.I. Slipchenko</i> New approaches to the creation of high-performance radiation detectors for concentrator solar modules	123
ABSTRACTS	137

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕДУР ОБЗОРА ПРОСТРАНСТВА НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

Введение

Анализ требований различных потребителей метеорологической радиолокационной информации к ее объему, качеству, форме и оперативности представления показывает, что оптимальный путь удовлетворения максимально возможного числа потребителей предполагает создание многофункциональной автоматизированной системы метеорологических радиолокационных наблюдений [1]. Ее главным и принципиальным преимуществом является возможность, в рамках единой системы, комплексно использовать радиолокационную информацию для мониторинга: штормового оповещения, прогнозирования погоды, метеорологического обеспечения транспортного комплекса, органов власти и управления, измерения интенсивности и количества осадков, активных воздействий на атмосферные процессы и иных задач. Обслуживание потребителей возможно лишь при безоговорочном выполнении их требований к формам, срокам, регулярности и достоверности метеорологической информации, которая позволяет им принимать решения, способствующие минимизировать ущерб от погодных условий или приносить прибыль [2]. Поскольку потребители разные, то удовлетворить все их настоящие и могущие возникнуть в будущем потребности можно, построив радиолокационную систему гидрометеорологического мониторинга так, чтобы создаваемое ею радиолокационное поле полностью покрывало пространство наблюдения, т.е. ту область атмосферы, в которой существуют все метеорологические объекты, явления и процессы [3]. Нижняя граница радиолокационного поля должна быть расположена как можно ближе к поверхности Земли, при этом поле должно быть без разрывов, сплошным, а верхняя граница безразрывного поля не должна быть больше высоты, на которой уже не существуют гидрометеорологические объекты, явления и процессы. При этом внутри поля должны обеспечиваться заданная точность и дискретность измерений [4]. Принципы построения радиолокационного поля, отвечающего отмеченным выше требованиям, известны из [5]. Необходимо организовать обзор пространства наблюдения таким образом и такими средствами, чтобы реализовать рациональное распределение энергии зондирующего излучения, предложенного в [5], с обеспечением требуемого качества радиолокационной информации. Решению этой задачи посвящены исследования, описанные в данной статье.

Актуальность

Обеспечение требуемого качества радиолокационной мониторинговой информации и непрерывное его повышение, с целью достижения потенциально возможного качества, является постоянной актуальной задачей при эксплуатации систем метеорологического радиолокационного мониторинга. Поэтому актуальным является и решение частной задачи организации обзора пространства наблюдения, позволяющего рационально распределить энергию зондирующего излучения.

Цель исследования

На основе анализа существующих процедур обзора пространства в метеорологических радиолокационных сетях разработать и предложить методику обзора и средства для обзора пространства наблюдения при системном подходе к построению метеорологической радиолокационной системы мониторинга, позволяющих реализовать рациональное распределение энергии зондирующего излучения с обеспечением требуемого качества метеорологической радиолокационной информации.

Таким образом при организации обзора пространства при радиолокационном мониторинге атмосферы надо ответить на два основных вопроса: как осуществить обзор наиболее рациональным образом и какими средствами осуществлять обзор.

1. Анализ процедур обзора пространства в существующих неавтоматизированных радиолокационных сетях

На начальном этапе развития радиолокационных наблюдений импульсными недоплеровскими метеорологическими радиолокаторами комплектовались только некоторые региональные прогностические центры, аэропорты и противораковые службы (рис. 1, а). Первые две организации использовали их данные для составления сверхоперативных прогнозов, а последняя – для штормового оповещения, подготовки данных для воздействий и анализа результатов применения средств активных воздействий на атмосферные процессы. При таком применении радиолокаторов расстояние между ними было значительным и в единую большую техническую систему увязать их было невозможно. В систему радиолокаторы увязывались информационно [6]. Поэтому с системотехнической точки зрения каждый радиолокатор был автономен. Это вынуждало для получения максимального количества информации от таких радиолокаторов обзор пространства осуществлять во всей его зоне наблюдения, от угла места диаграммы направленности антенны 0° до ее угла места 90° (рис. 1, б).

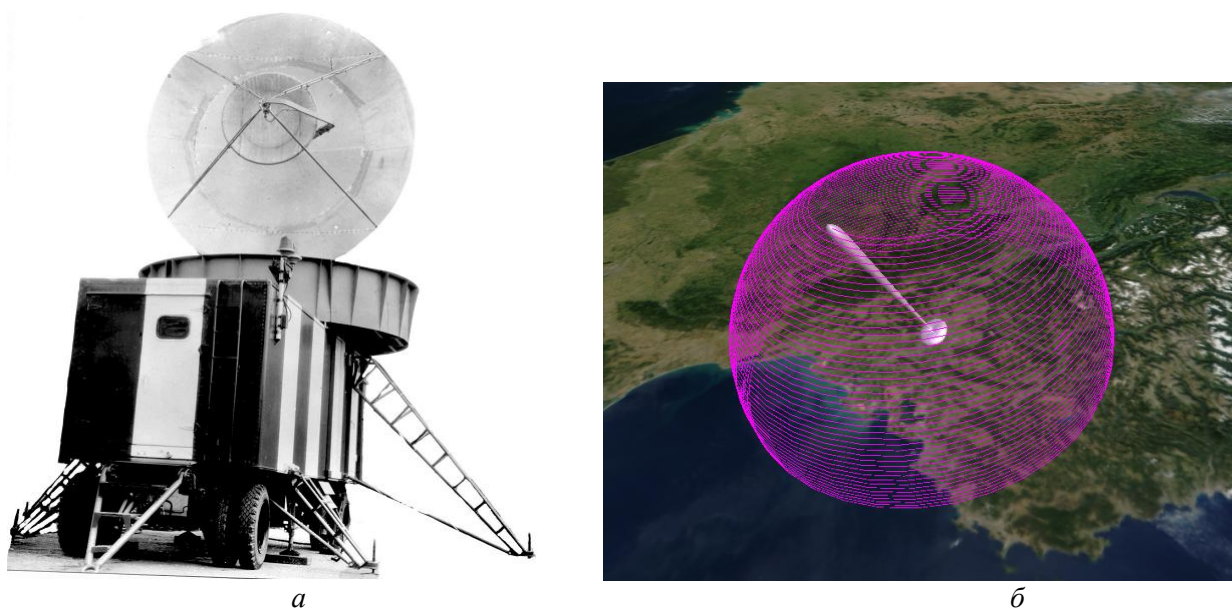


Рис. 1

Перед рассмотрением характеристик, в том числе обзорных, типичного на тот период радиолокатора, выявим минимально необходимые времена для зондирования при разных метрических дальностях действия R импульсных недоплеровских радиолокаторов (см. табл. 1). В табл. 1 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света.

Приведенные в табл. 1 значения потребных времен являются минимально возможными, к которым нужно стремиться при организации обзора пространства. Уменьшение этих значений приведет к пропуску радиолокационных данных о гидрометеорологической обстановке, а увеличение – ухудшает временные параметры обзора и все иные, связанные с ними, т.е. снижается качество мониторинга.

При указанных в табл. 1 временных параметрах обзора для неавтоматизированных импульсных недоплеровских метеорологических радиолокаторов несложно рассчитать минимально потребные частоты повторения зондирующих импульсов и скорости вращения антенны при разных метрических дальностях действия R радиолокаторов (см. табл. 2). При этом, по мере увеличения угла места диаграммы направленности антенны, скорость враще-

ния $n_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}$ должна возрастать, поскольку телесный угол конуса обзора будет уменьшаться и понадобится меньше времени для его обзора, т.е. обзор должен быть программным.

Таблица 1

Минимальное потребное время (в секундах)			Формула для расчета
для однократного зондирования в луче диаграммы направленности антенны	для R=300 км	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$T_{\text{ПОТРЕБ. ЗОНД}} = 2 \cdot R/c$
	для R=250 км	$1,667 \cdot 10^{-3}$	
	для R=100 км	$0,667 \cdot 10^{-3}$	
для однократного кругового обзора при угле места диаграммы направленности антенны $\epsilon=0^\circ$ и ширине диаграммы направленности антенны в азимутальной плоскости по половинной мощности $\beta_{05P}^\circ = 1^\circ$	для R=300 км	0,720	$T_{\text{ПОТРЕБ. ОБЗ}} = (360^\circ/\beta_{05P}^\circ) \cdot T_{\text{ПОТРЕБ. ЗОНД}}$
	для R=250 км	0,601	
	для R=100 км	0,241	
для однократного кругового обзора при угле места диаграммы направленности антенны $\epsilon=0^\circ$ и ширине диаграммы направленности антенны в азимутальной плоскости по половинной мощности $\beta_{05P}^\circ = 1,5^\circ$	для R=300 км	0,480	
	для R=250 км	0,400	
	для R=100 км	0,160	
сканирования телесного угла всей полусферы зоны наблюдения $\Omega_{\text{ЗН}} = 20626, 480625$ кв. градусов при телесном угле диаграммы направленности антенны радиолокатора $\Omega_{\text{ДНА}} = 1$ кв. градус	для R=300 км	41,253	$T_{\text{ПОТРЕБ. ЗН}} = (\Omega_{\text{ЗН}}/\Omega_{\text{ДНА}}) \cdot T_{\text{ПОТРЕБ. ЗОНД}}$
	для R=250 км	34,446	
	для R=100 км	13,820	
для сканирования телесного угла всей полусферы зоны наблюдения $\Omega_{\text{ЗН}} = 20626, 480625$ кв. градусов при телесном угле диаграммы направленности антенны радиолокатора $\Omega_{\text{ДНА}} = 1,5$ кв. градуса	для R=300 км	27,502	
	для R=250 км	22,923	
	для R=100 км	9,172	

Таблица 2

Параметр	R=300 км	R=250 км	R=100 км	Формула для расчета
потребная максимальная частота повторения зондирующих импульсов $F_{\text{ПОТРЕБ.ЗОНД}}$, Гц	500	600	1500	$F_{\text{ПОТРЕБ.ЗОНД}} = 1/T_{\text{ПОТРЕБ.ЗОНД}}$
потребная минимальная скорость вращения антенны при угле места диаграммы направленности антенны $\epsilon=0^\circ$ и ширине диаграммы направленности антенны 1° $n_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}$, об/с, [об/мин]	1,39 [83,4]	1,66 [99,6]	4,15 [249,0]	$n_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}} = 1/T_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}$ $[n_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}} = 60/T_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}]$
потребная минимальная скорость вращения антенны при угле места диаграммы направленности антенны $\epsilon=0^\circ$ и ширине диаграммы направленности антенны $1,5^\circ$ $n_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}$, об/с, [об/мин]	2,08 [125,0]	2,50 [150,0]	6,25 [375,0]	

В качестве примера рассмотрим характеристики радиолокатора МРЛ-5 [7] как естественного представителя последнего поколения импульсных недоплеровских радиолокаторов (на рис. 1, а он представлен без ветрозащитного укрытия), работавшего в неавтоматизированных радиолокационных сетях, проведем сравнительный анализ с потребными характеристиками обзора и сделаем выводы.

Радиолокатор МРЛ-5 двухканальный, 1-й канал работает с длиной волны 3 см, а 2-й канал с длиной волны 10 см. Импульсная мощность зондирующего излучения 1-го канала $P_{\text{имп.1}}$ может быть в пределах 160 – 300 кВт, а 2-го канала $P_{\text{имп.2}}$ – в пределах 510 – 1000 кВт. Применяются зондирующие импульсы длительностью 1 и 2 мкс. Частоты повторения зондирующих импульсов $F_{\text{ЗОНД}} = 500$ и 250 Гц. Ширина диаграммы направленности антенны в обеих плоскостях одинакова и равна $\beta_{05P} = \epsilon_{05P} = 0,45^\circ$ (1 канал); $1,5^\circ$ (1 и 2 каналы). Дальность

действия радиолокатора по грозам и ливням составляет 300 км. Описание процедур обзора, применяемых в МРЛ-5, сведены в табл. 3.

Таблица 3

Режим обзора	Описание режима	Назначение режима
Автоматический режим	Круговой обзор на любом угле места антенны со скоростью $n_{\text{обз}} = 0 - 6$ об/мин	Обнаружение очагов гроз, ливней, града
	Вертикальное сканирование по углу места от -1° до $+93^\circ$ на любом азимуте с периодом качания 24 – 80 с	Получение данных о вертикальном строении облаков, гроз, града
Программный режим	Программа 1. Автоматический круговой обзор со ступенчатым изменением угла места $\Delta\epsilon$ с шагом $0,5^\circ; 1,5^\circ; 3,0^\circ$	Получение данных об опасных метеорологических явлениях и процессах
	Программа 2. Автоматическое вертикальное сканирование со ступенчатым изменением азимута $\Delta\beta$ с шагом $0,5^\circ; 1,5^\circ; 3,0^\circ$	
Секторный режим	Сканирование по углу места и по азимуту в секторе $45^\circ \dots 48^\circ$ с периодом 12 – 40 с	
Ручной режим	Ручной доворот по азимуту и углу места	Определение границ облаков и положения градового очага для активного воздействия на него

Сравнительный анализ приведенных характеристик с потребными показывает, что частота повторения зондирующих импульсов МРЛ-5 при ее заявленной дальности обнаружения соответствует потребной. При неизменной скорости вращения антенны 6 об/мин, которая явно меньше потребной (см. табл. 2), и работе лучом $1,5^\circ$ в режиме „Программа 1” обзор всей зоны наблюдения займет 600 с (10 мин) при потребном времени 27,5 с (см. табл. 1), а при работе в режиме „Программа 2” обзор всей зоны наблюдения при минимальном периоде качания антенны займет вообще 5760 с (1,6 ч). Таким образом, с точки зрения проведения гидрометеорологического мониторинга обзор в радиолокаторе МРЛ-5 организован явно неоптимальным образом. Потребное время сканирования всей зоны наблюдения превышено в 22 раза, что снижает темп выдачи данных радиолокационного мониторинга и может привести к пропуску быстроразвивающегося опасного процесса или явления, длительность которого может составить всего единицы минут [8].

В качестве вывода можно отметить, что подобные параметры обзора МРЛ-5 позволяют проводить обзорные наблюдения только за достаточно медленными процессами и явлениями в атмосфере. Желание ускорить процесс наблюдения привело к введению в МРЛ-5 режима сканирования по азимуту и углу места через 3° , т.е. фактически через одну диаграмму направленности, что привело к пропуску половины всей информации, которую приходится восстанавливать методами интерполяции. А это ухудшает качество мониторинга. Необходимость наблюдения за быстроменяющимися опасными явлениями, процессами и штормового оповещения вынудила ввести „Секторный режим” работы, который полностью исключает радиолокатор из участия в мониторинге общей метеорологической обстановки, что резко уменьшает количество необходимой информации, т.е. эффективность работы радиолокатора снижается. Из этого следует, что при создании достаточно редкой радиолокационной сети метеорологического мониторинга радиолокатор должен обладать свойством быстрого обзора пространства, что обеспечит выполнение функции штормового оповещения и общего обзора пространства.

2. Анализ процедур обзора пространства в существующих автоматизированных радиолокационных сетях

Наиболее подходящими для проведения анализа представителями автоматизированных метеорологических сетей являются сети МАРС ДМРЛ-С (РФ) и NEXRAD (США), поскольку они построены по единому замыслу из однотипных радиолокаторов.

Радиолокационный обзор на сети ДМРЛ-С проводится синхронно по единому регламенту на всех радиолокаторах ДМРЛ-С работающих в С-диапазоне [9]. Основные характеристики доплеровского радиолокатора ДМРЛ-С, существенные для организации обзора пространства, сведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметр	Значение параметра
Рабочий диапазон частот, МГц	5600 – 5650
<i>Зона обзора</i>	
Инструментальная дальность обнаружения, км, не менее	250
Максимальная высота обнаружения, км, не менее	20
Угол места, град	-2...+91
<i>Антенна</i>	
Тип	зеркальная параболическая
Ширина диаграммы направленности в двух плоскостях по уровню 3 дБ на каждой поляризации, град	1,0
Коэффициент усиления, дБ, не менее	45
Боковые лепестки, дБ, не, более	-29
Поляризация	линейная; гориз. + вертик.
<i>Передатчик</i>	
Тип	клистронный
Импульсная мощность, кВт, не менее	15
Длительность импульса, мкс	1,0; 25; 60
Частота зондирования, Гц	300 – 1500
Тип модуляции	МОНО/НЧМ

Цикл обзора длится 10 мин и включает производство наблюдений в режиме „Отражаемость” и в режиме „Скорость”, в каждом режиме данные наблюдений записываются в т.н. „объемный файл”. Радиус зоны радиолокационного обзора в режиме „Отражаемость” составляет 250 км. Радиолокационные наблюдения в режиме „Скорость” с высокой частотой повторения зондирующих импульсов (1 кГц) обеспечивают более точное измерение доплеровских характеристик (радиальной скорости V , ширины спектра W), однако, при этом сокращается дальность зондирования с 250 до 125 км.

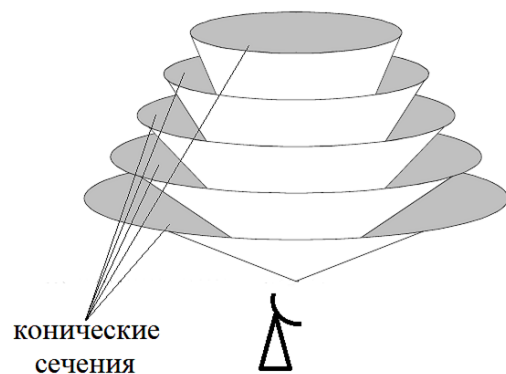


Рис. 2

В каждом обзоре радиолокатор последовательно проводит азимутальное круговое сканирование атмосферы на нескольких углах места антенны в диапазоне от 0 до 90°. В результате, в каждом режиме наблюдений радиолокационные данные записываются в выходном „объемном файле”, в котором в сферической системе координат последовательно для каждого элемента конического сечения сохраняются координаты – дальность, азимут и угол места, а также измеренные радиолокационные характеристики радиозеха, т.е. первичные данные.

Принцип радиолокационного сканирования представлен на рис. 2. Применяется комбинированная стратегия сканирования атмосферы (VCP) в диапазоне углов места антенны от 0,1 до 86°. Для увеличения количества первичных конических сечений (PPI) в VCP используются следующая методика: радиолокационное сканирование начинается с нижнего угла с низкой частотой повторения (НЧП) зондирующих импульсов на дальности до 250 км. По мере подъема антенны рабочая дистанция зондирования до верхней границы зоны обзора (20 км) сокращается и появляется возможность перейти на зондирование с высокой частотой повторения (ВЧП) на сокращенной дистанции до самого верхнего угла 86°. Информацию на этих PPI можно использовать для построения „объемных файлов” обоих режимов – „Отражаемость” и „Скорость”. Для завершения сбора данных в

доплеровском режиме необходимо в конце цикла наблюдений повторить наблюдения на низких углах сканирования с высокой частотой повторения. Подробно процедура сканирования представлена в табл. 5.

Таблица 5

Параметр	Номер обзора	Угол места	Номер обзора	Угол места	Номер обзора	Угол места	Номер обзора	Угол места	Режим	
Обзорное сканирование	1	0,1	14	9,0	18	22,0	25	7,5		
	2	0,3	15	11,2	19	28,0	26	6,0		
	3	0,7	16	14,0	20	35,5	27	4,8		
	4	1,1	17	17,5	21	45,5	28	3,8		
	5	1,5			22	58,0	29	2,9		
	6	1,9			23	72,0	30	2,2		
	7	2,3			24	86,0	31	1,6		
	8	2,8					32	1,1		
	9	3,4					33	0,7		
	10	4,0					34	0,3		
	11	5,0					35	0,1		
	12	6,0								
	13	7,5								
Fзонд	НЧП		ВЧП		ВЧП		ВЧП			
Режим	„Отражаемость”								Измерение шума	Покой
	„Скорость”									
Время операции	~8 мин							30 с	1 мин	
Общее время обзора	~10 мин									

При стандартной настройке режимов сканирования за один полный обзор в „объемные файлы” типа „lnr” поступят данные 24 конических сечений (VCP 24) в диапазоне дальностей 0 – 250 км и с радиальной дискретностью 500 м, а в объемные файлы типа „lnv” поступят данные 22 конических сечений (VCP 22) в диапазоне дальностей 0 – 125 км с радиальной дискретностью 250 м.

В последующем в результате обработки „объемных файлов” получается трехмерная модель облачной атмосферы в зоне радиолокационного обзора, с помощью которой строятся вторичные радиолокационные продукты, представляющие собой набор карт метеорологических характеристик облачности и осадков. Точность построенной модели и вторичных продуктов зависит от количества конических сечений, а также от радиального и азимутального разрешения радиолокационных наблюдений.

В нормативной документации [10] предусмотрено вместе с ДМРЛ-С (рис. 3) использовать в составе радиолокационной сети и встроенный метеорологический канал трассового радиолокационного комплекса 12А6 „Сопка-2” (рис. 4).

Этот радиолокатор S-диапазона, так же как и ДМРЛ-С, работает со сложным сигналом длительностью 84 мкс и технологией сжатия импульсов. Поэтому импульсная мощность зондирующего излучения составляет всего 40 кВт. Дальность действия по самолетам в качестве первичного радиолокатора составляет 360 км. Частоты повторения зондирующих импульсов 300 и 600 Гц. 12А6 также является доплеровским радиолокатором и обеспечивает получение в метеоканале трехмерных полей отражаемости и радиальной скорости гидрометеоров [11]. По утверждению разработчиков, достоинством метеорологического канала 12А6 является возможность получать трехмерную структуру облаков за 10 с. Это достигается благодаря быстрому электронному сканированию лучом шириной 1,15° 32 углов места в угломестном секторе 45° и вращению антенной фазированной решетки безредукторным способом по азимуту со скоростью 6 об/мин.



Рис. 3



Рис. 4

Такое высокое временное разрешение позволяет получить детальную информацию о таких скоротечных опасных явлениях как град, гроза, смерч, ураган, эволюции пространственного строения конвективных ячеек и структуры воздушных потоков в них, повысить точность измерения количества осадков из конвективных облаков, имеющих большую пространственно-временную изменчивость, осуществить раннее обнаружение потенциально градоопасных облаков, что не удастся на МРЛ-5 и ДМРЛ-С с циклами обзора 5 и 10 мин. Первичная информация в 12А6 представляет собой набор значений средней мощности радиоэха, средней доплеровской скорости и ширины спектра в 360 секторах азимута по 400 элементам дальности и 32 коническим сечениям.

В сети NEXRAD применяются доплеровские радиолокаторы WSR-88D (рис. 5), работающие в S-диапазоне [12]. Его основные технические характеристики:

- дальность действия в режиме измерения отражаемости составляет 460 км (хотя при такой дальности не приходится говорить об измерениях из-за крайне низкой разрешающей способности и большой геометрической тени), по всей видимости, только для высоких мощных гроз;

- дальность действия в режиме измерения доплеровской частоты – 230 км; ширина диаграммы направленности антенны – $0,93^\circ$;

- импульсная мощность зондирующего излучения – 750 кВт; длительность зондирующего импульса – 1,75 мкс и 4,5 мкс;

- дискретность данных по азимуту 1° , а по дальности 0,25 км; пределы измерения по азимуту $0^\circ - 360^\circ$, по углу места $0,5^\circ - 19,5^\circ$;

- максимальная скорость разворота антенны в любой из плоскостей 30 град/с или 5 об/мин;

- диапазон измерения доплеровских скоростей при разрешающей способности по доплеровской скорости $0,5$ м/с составляет ± 62 м/с (в обычных погодных условиях), а при разрешающей способности по доплеровской скорости $1,0$ м/с – ± 126 м/с (при ожидании тропического шторма ухудшают разрешающую способность по скорости, чтобы добиться большего диапазона однозначных измерений доплеровской скорости);

- режимы обзора пространства: а) измерение отражаемости при длительном времени обзора пространства – т.н. режим чистого воздуха VCR-31 длительностью 10 мин, б) измерение отражаемости, средней доплеровской скорости и ширины спектра при умеренном темпе обзора пространства – т.н. режим обнаружения осадков VCR-21 длительностью 6 мин, в) измерение отражаемости, средней доплеровской скорости и ширины спектра при малом времени



Рис. 5

- режимы обзора пространства: а) измерение отражаемости при длительном времени обзора пространства – т.н. режим чистого воздуха VCR-31 длительностью 10 мин, б) измерение отражаемости, средней доплеровской скорости и ширины спектра при умеренном темпе обзора пространства – т.н. режим обнаружения осадков VCR-21 длительностью 6 мин, в) измерение отражаемости, средней доплеровской скорости и ширины спектра при малом времени

обзора пространства – т.н. режим обнаружения опасной погоды VCR-12 длительностью 4 – 5 мин, причем во всех режимах может проводиться как азимутальное, так и угломестное сканирование пространства с указанными скоростями. Режим сканирования VCR-12 радиолокатора WSR-88D подробно представлен в табл. 6.

Таблица 6

Номер обзора	Угол места, град	$F_{\text{зонд}}$, Гц	Однозначная дальность, км	Однозначная скорость, м/с	Примечания
1	0,5	322	466		Измерение отражаемости
2	0,5	1014	148	25,4	Измерение скорости (пульсарный метод)
3	0,9	322	466		Измерение отражаемости
4	0,9	1014	148	25,4	Измерение скорости (пульсарный метод)
5	1,3	322	466		Измерение отражаемости
6	1,3	1014	148	25,4	Измерение скорости (пульсарный метод)
7	1,8	1014	148	25,4	Измерение скорости (метод чередования малой и большой частоты повторения, т.е. межимпульсных интервалов, зондирующих импульсов на каждом радиусе за время одного полного оборота на каждом угле места – вобуляция)
8	2,4	1014	148	25,4	
9	3,1	1014	148	25,4	
10	4,0	1014	148	25,4	
11	5,1	1014	148	25,4	
12	6,4	1014	148	32,1	
13	8,0	1905	137	27,4	Измерение скорости (пульсарный метод)
14	10,0	1811	127	29,6	
15	12,5	1282	117	32,1	
16	15,6	1282	117	32,1	
17	19,5	1282	117	32,1	
Скорость вращения антенны переменная – средняя скорость вращения антенны составляет 4,1 об/мин.					
Общее время сканирования составляет 4,2 мин.					

Режим работы радиолокатора и собираемая информация зависят от метеорологической ситуации. Сканирование обеспечивает получение до 20 конических сечений – РРІ – с количеством данных об отражаемости в каждом коническом сечении $360^\circ \times 460\text{км}$ или выраженное в элементах разрешения 360×1840 , и с количеством данных о радиальной скорости в каждом коническом сечении $360^\circ \times 230\text{км}$ или выраженное в элементах разрешения 360×920 .

Анализ показал, что в автоматизированных радиолокационных сетях используются только доплеровские радиолокаторы. Для измерения доплеровской частоты требуется, чтобы в элементе разрешения была получена пачка отраженных от объекта импульсов. Размер пачки, в зависимости от применяемого метода измерения доплеровской частоты, меняется от двух импульсов при комплексном автоковариационном методе (иначе – пульсарном методе) и при методе вобуляции до 12 – 16 импульсов и более при спектральном методе для обеспечения требуемой точности измерения. С целью уменьшения дисперсии ошибок измерения количество импульсов в пачке может быть доведено до 50 и более. На примере WSR-88D определим размер получающейся пачки импульсов при работе в режиме VCR-12. Рабочая длина волны этого радиолокатора примерно 10 см, частоту зондирующих импульсов для простоты расчетов примем равной 1000 Гц, скорость вращения антенны полагаем 3 об/мин и угол места антенны $\varepsilon=0^\circ$. Время одного оборота антенны (360°) составит 20 с. Значит, за это время будет проведено $20 \cdot 1000 = 20000$ радиальных зондирований. При этом на ширину диаграммы направленности антенны ($0,93^\circ$) придется $20000 / (360^\circ / 0,93^\circ) = 52$ зондирования, т.е. в пачке будет 52 отсчета в выборке для оценки. В пачке осуществляется когерентное накопление сигнала для повышения отношения сигнал/шум, оценивается доплеровская скорость и ширина спектра доплеровских частот, а большое количество отсчетов уменьшает дисперсию измеренных значений. Однако необходимость накопления пачки отраженных импульсов приводит к необходимости замедления темпа обзора, и степень снижения темпа обзора пропорциональна требуемому количеству импульсов в пачке. Поэтому данные табл. 1 и 2 легко могут быть пересчитаны для доплеровских радиолокаторов. В табл. 7 представлены данные (по табл. 1 и 2) при применении в радиолокаторе комплекс-

ного автоковариационного метода измерения доплеровской частоты. Для ДМРЛ-С наблюдается аналогичная картина.

Таблица 7

Параметр	Для R=300 км	Для R=250 км	Для R=100 км
$T_{\text{ПОТРЕБ.ЗОНД}}, \text{ с}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$3,334 \cdot 10^{-3}$	$1,334 \cdot 10^{-3}$
$T_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}, \text{ с}$ при $\varepsilon=0^\circ$ и $\beta_{05P} = 1^\circ$	1,440	1,202	0,482
$T_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}, \text{ с}$ при $\varepsilon=0^\circ$ и $\beta_{05P} = 1,5^\circ$	0,960	0,800	0,320
$T_{\text{ПОТРЕБ.ЗН}}, \text{ с}$ при $\Omega_{\text{ДНА}} = 1$ кв. градус	82,506	68,892	27,640
$T_{\text{ПОТРЕБ.ЗН}}, \text{ с}$ при $\Omega_{\text{ДНА}} = 1,5$ кв. градуса	55,004	45,846	18,344
$F_{\text{ПОТРЕБ.ЗОНД}}, \text{ Гц}$	500	600	1500
$n_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}, \text{ об/с, [об/мин]}$ при $\varepsilon=0^\circ$ и $\beta_{05P} = 1^\circ$	0,70 [41,7]	0,83 [49,8]	2,08 [124,5]
$n_{\text{ПОТРЕБ.ОБЗ}}, \text{ об/с, [об/мин]}$ при $\varepsilon=0^\circ$ и $\beta_{05P} = 1,5^\circ$	1,04 [62,5]	1,25 [75,0]	3,13 [187,5]

В качестве вывода можно отметить, что применение доплеровской обработки в радиолокаторе приводит к уменьшению потребного темпа обзора пространства (табл. 1, 2, 7). И даже при увеличении потребного времени на обзор пространства существующие радиолокаторы имеют на порядок большее время обзора, чем требуется, что ухудшает качество получаемой радиолокационной информации. Желание увеличить темп выдачи данных приводит конструкторов к реализации сложной схемы сканирования с изменением частот повторения зондирующих импульсов и к многорежимности радиолокаторов, что их усложняет и удорожает, и приводит к пропуску информации в обзоре, которую приходится восстанавливать за счет интерполирования и экстраполирования недостающих данных, что также ухудшает их качество. Применение электронных способов сканирования в значительной степени может улучшить временные показатели обзора пространства.

3. Обоснование процедур обзора пространства наблюдения при системном подходе к построению метеорологической радиолокационной системы мониторинга

Системный подход к построению метеорологической радиолокационной системы мониторинга позволяет не выделять одну или несколько главных задач мониторинга, а решать все возможные задачи по всей охваченной наблюдениями территории. При этом круг задач будет ограничен только потенциальными возможностями радиолокаторов, поскольку вся возможная радиолокационная информация заключена в эхо-сигналах на выходе антенной системы радиолокационной станции, а вся последующая обработка может, в идеальном случае, сохранить, но не увеличить количество радиолокационной информации [3]. Кроме того, применение системного подхода к созданию метеорологической радиолокационной системы мониторинга позволяет получить системный эффект в виде экономного расходования энергии зондирующего излучения, оптимального покрытия радиолокационным полем пространства наблюдений без ухудшения при этом показателей качества информации. При системном построении системы мониторинга исчезает понятие радиогоризонта, уменьшается влияние крупномасштабного рельефа местности, снижается воздействие осадков на возможности мониторинга. Уменьшение потребной дальности действия метеорологической радиолокационной станции улучшает пространственную разрешающую способность внутри системы и позволяет резко понизить импульсную мощность зондирующего излучения, что уменьшит опасность системы для человека, т.е. системный подход в значительной мере позволяет ослабить ограничения, присущие радиолокационному методу получения метеорологической информации.

Чтобы реализовать указанные преимущества, необходимо соответствующим образом провести обзор пространства наблюдения.

Из отмеченного следует, что потребная нижняя граница радиолокационного поля достигается при дальности действия радиолокатора 100 км [13]. Кроме того, достоверное измерение осадков производится в радиусе до 100 км, а за пределами 100 км измеренная отражае-

мость Z_1 может трактоваться как осадки или как облачность, т.е. неоднозначно [9]. Поэтому нет необходимости делать дальность видимости радиолокатора более 100 км. Достигнутая в современных радиолокаторах ширина диаграммы направленности антенн в 1° также обеспечивает потребные разрешающую способность и точность измерений. Дальнейшее уменьшение ширины диаграммы направленности антенн приводит к увеличению габаритных размеров антенн с последующими техническими и финансовыми трудностями. При достаточном энергетическом потенциале радиолокатора можно достичь отношения сигнал/шум, превышающего 10 дБ, при котором измерения переходят в разряд регулярных, а не статистических. В этом случае нет необходимости осуществлять длительное накопление пачки принимаемых импульсов для уменьшения дисперсии ошибки измерения. Поэтому вполне естественной будет пачка из 15 – 16 импульсов, которая позволит применить для измерения доплеровской частоты самый затратный по времени накопления данных спектральный метод. Во избежание необходимости применять методы восстановления информации сканирование предусматривается осуществлять без пропусков.

Оценим средства обзора пространства радиолокатором с характеристиками, описанными в предыдущем абзаце.

Обзор может проводиться с применением ставших классическими в радиометеорологии антенн с параболическими отражателями или с применением фазированных антенных решеток (ФАР). Антенны могут быть как однолучевыми, так и многолучевыми. Следует отметить, что применение многолучевых систем предусматривает параллельный прием сигналов и для этого требуется излучать зондирующие импульсы либо в каждом луче, что потребует увеличения числа передающих устройств, либо отдельным слабонаправленным излучателем с большой единичной мощностью [14]. Все это усложнит и удорожит радиолокатор, особенно с ФАР, поскольку для него понадобится сложная диаграммообразующая схема (ДОС). Наличие ДОС потребует увеличения мощности передающего устройства из-за увеличения потерь.

Таким образом, учитывая, что и у зеркальных антенн, и у ФАР есть свои достоинства и недостатки, рассмотрим организацию обзора обоими типами антенных систем. Рассмотрим

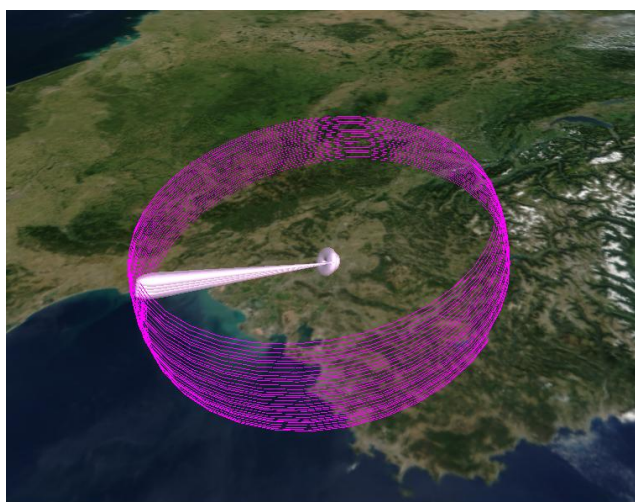


Рис. 6

организацию обзора пространства наблюдения с применением четырехлучевой зеркальной антенны по типу ПОРЛ-17 [15] (рис. 6). Среди ФАР рассмотрим организацию обзора с помощью антенны, осуществляющей механическое вращение в азимутальной плоскости и быстрое угломестное сканирование луча диаграммы направленности аналогично 12А6 (рис. 7), а также антенны, осуществляющей электронное сканирование по азимуту и углу места (рис. 8). Проанализируем два варианта построения радиолокационной системы мониторинга: а) при размещении радиолокаторов в вершинах наложенной на местность треугольной сетки с незначительным перекрытием зон наблюдения соседних радиолокаторов [16], что соответствует или очень близко к существующим радиолокационным сетям – назовем этот вариант построения прореженной радиолокационной сетью; б) при размещении радиолокаторов в вершинах наложенной на местность шестиугольной сетки на расстоянии дальности действия радиолокаторов – назовем этот вариант построения плотной или устойчивой радиолокационной сетью, в которой сформированное радиолокационное поле будет устойчивым по отношению к внешним воздействиям и к техническому состоянию радиолокаторов [17].

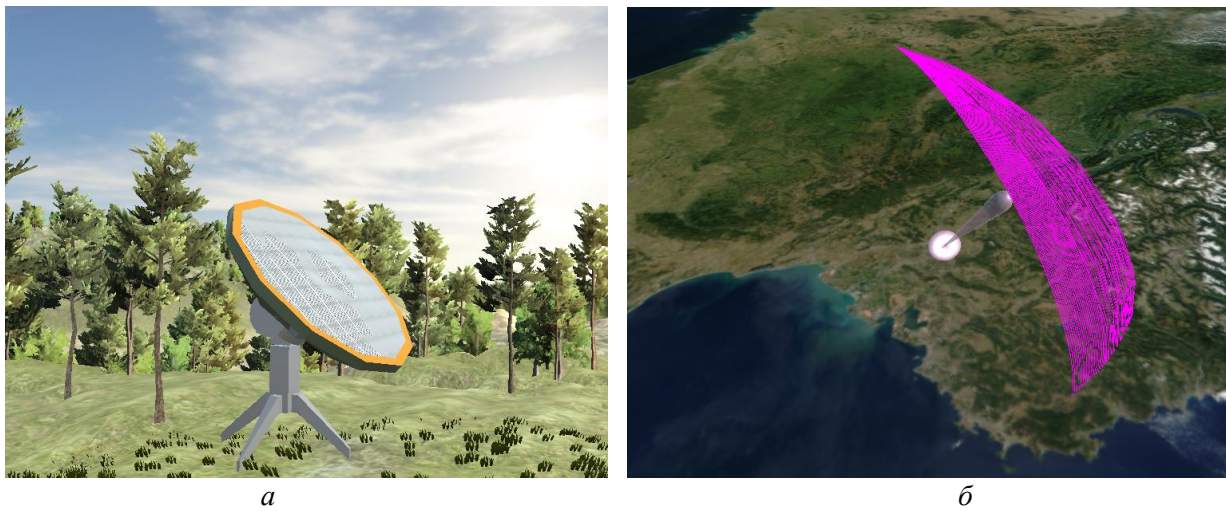


Рис. 7

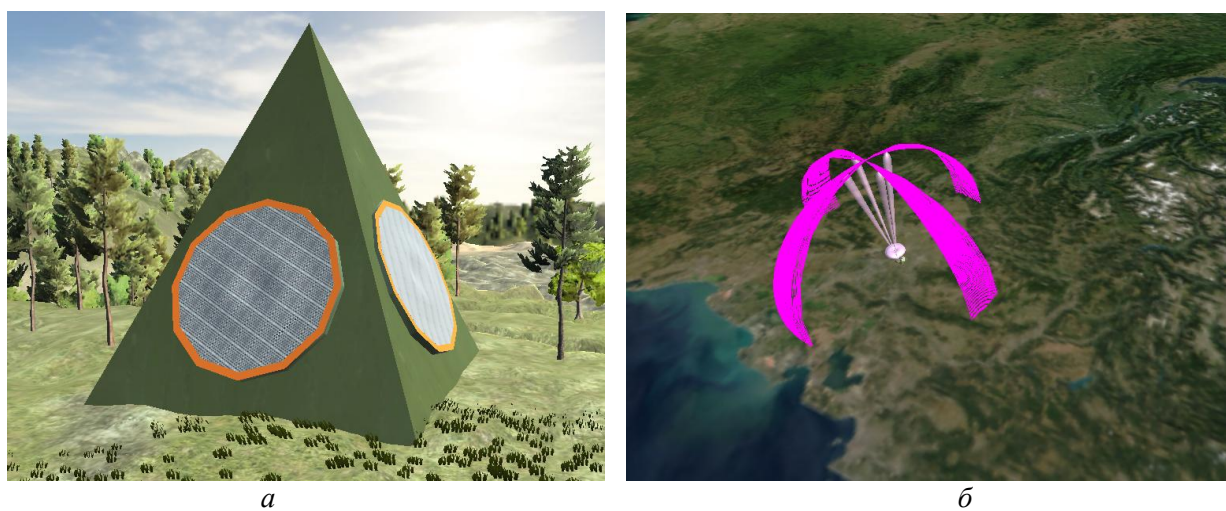


Рис. 8

В обоих случаях при одинаковой дальности действия радиолокаторов будут обеспечены требования к покрытию радиолокационным полем пространства наблюдения, к пространственной разрешающей способности и точности измерения. Отличие будет во временных параметрах обзора, поскольку сканировать придется существенно отличающиеся по размерам зоны наблюдения. Для варианта прореженной сети это будет все полушарие, а для варианта плотной сети это будет часть полушария, образованного круговым вращением двух радиусов, одного под углом места 0° , а другого под углом места 27° , ограниченного внешним сферическим поясом [5]. То есть максимальный угол места диаграмм направленности радиолокаторов не будет превышать 27° , в этом случае обеспечивается достижение верхней границы безразрывного радиолокационного поля. Для обоих вариантов построения следует оценить степень приближения временных параметров обзора к оптимальным, рассчитанным на основе соображений, по которым построены табл. 1 и 2.

С учетом изложенного были проведены расчеты и определены временные характеристики обзора для прореженной и плотной (устойчивой) радиолокационных сетей.

В табл. 8 представлены результаты для прореженной радиолокационной сети для всех четырех указанных вариантов беспровального сканирования при условии однозначного определения дальности до метеорологических объектов на расстоянии до 100 км. Ширина диаграммы направленности антенны полагалась равной 1° , измерения полагались регулярными. При этом расчеты проведены при использовании для измерения доплеровской частоты самого затратного по времени накопления данных спектрального метода. Этот метод выбран по-

тому, что при его использовании все-таки формируется некоторая пачка принятых отраженных импульсов, что позволяет обрабатывать данные при снижении отношения сигнал/шум. Применение пульсарного метода измерения даст иные результаты, о которых будет сказано ниже.

Таблица 8

Прореженная радиолокационная сеть				
Тип антенны, вариант сканирования	Зеркальная, механическое вращение по азимуту одного луча с медленным подъемом его по углу места (рис. 1)	Зеркальная, механическое вращение по азимуту четырех лучей с медленным подъемом их по углу места (рис. 6)	ФАР, механическое вращение по азимуту одного луча с быстрым электронным сканированием его по углу места (рис. 7)	ФАР, быстрое электронное сканирование одного луча по азимуту и по углу места (рис. 8)
Минимальное потребное время (в секундах)	I	II	III	IV
	потребное значение параметра ----- реализуемое значение параметра			
необходимое для однократного зондирования в луче диаграммы направленности антенны, $T_{\text{ПОТРЕБ. ЗОНД}}$	$0,667 \cdot 10^{-3}$			
	$0,667 \cdot 10^{-3}$	$0,667 \cdot 10^{-3}$	$0,667 \cdot 10^{-3}$	$0,667 \cdot 10^{-3}$
необходимое для многократного зондирования в луче диаграммы направленности антенны для накопления 15-ти импульсов пачки, $T_{\text{ПОТРЕБ. ПАЧ}}$	$10 \cdot 10^{-3}$			
	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$
необходимое для однократного кругового обзора при угле места диаграммы направленности антенны $\varepsilon=0^\circ$, $T_{\text{ПОТРЕБ. ОБЗ}}$	3,6			0,9
	3,6	3,6	3,6	0,9
необходимое для сканирования телесного угла всей полусферы зоны наблюдения $\Omega_{\text{ЗН ПР}} = 20626, 480625$ кв. градусов, $T_{\text{ПОТРЕБ. ЗН ПР}}$, [мин]	206 [3,43]			51,5 [0,86]
	324 [5,4]	81 [1,35]	324 [5,4]	18 [0,3]
потребная максимальная частота повторения зондирующих импульсов, $F_{\text{ПОТРЕБ. ЗОНД}}$, Гц	1500			
	1500	1500	1500	1500
потребная минимальная скорость вращения антенны при угле места диаграммы направленности антенны $\varepsilon=0^\circ$, $n_{\text{ПОТРЕБ. ОБЗ}}$, об/с, [об/мин]	0,28 [16,7]			-
	0,28 [16,7]	0,28 [16,7]	0,28 [16,7]	-

В табл. 9 представлены результаты для плотной (устойчивой) радиолокационной сети для всех четырех указанных вариантов беспровального сканирования пространства при всех условиях, соблюденных для табл. 8.

Проанализируем полученные результаты.

Для обоих типов сетей и для всех четырех вариантов сканирования пространства время однократного сканирования в луче диаграммы направленности антенны будет одинаковым ввиду применения во всех случаях радиолокационного метода зондирования. Это время автоматически задает частоту повторения зондирующих импульсов. Одинаковым будет и время накопления пачки отраженных сигналов. Оба эти параметра легко реализуемы. Для случая прореженной радиолокационной сети время, необходимое для однократного кругового обзора при нулевом угле места диаграммы направленности антенны, обуславливает потребную минимальную скорость вращения антенны. При увеличении угла места антенны

уменьшается величина обзореваемого телесного угла, поэтому и так немалую для механических антенных систем скорость вращения в 16,7 об/мин надо увеличивать, чтобы сохранить параметры пачки импульсов.

Таблица 9

Плотная или устойчивая радиолокационная сеть				
Тип антенны, вариант сканирования	Зеркальная, механическое вращение по азимуту одного луча с медленным подъемом его по углу места (рис. 1)	Зеркальная, механическое вращение по азимуту четырех лучей с медленным подъемом их по углу места (рис. 6)	ФАР, механическое вращение по азимуту одного луча с быстрым электронным сканированием его по углу места (рис. 7)	ФАР, быстрое электронное сканирование одного луча по азимуту и по углу места (рис. 8)
Минимальное потребное время (в секундах)	I	II	III	IV
	потребное значение параметра ----- реализуемое значение параметра			
необходимое для однократного зондирования в луче диаграммы направленности антенны, $T_{\text{ПОТРЕБ. ЗОНД}}$	$0,667 \cdot 10^{-3}$			
	$0,667 \cdot 10^{-3}$	$0,667 \cdot 10^{-3}$	$0,667 \cdot 10^{-3}$	$0,667 \cdot 10^{-3}$
необходимое для многократного зондирования в луче диаграммы направленности антенны для накопления 15-ти импульсов пачки, $T_{\text{ПОТРЕБ. ПАЧ}}$	$10 \cdot 10^{-3}$			
	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$
необходимое для однократного кругового обзора при угле места диаграммы направленности антенны $\varepsilon=0^\circ$, $T_{\text{ПОТРЕБ. ОБЗ}}$	3,6			0,9
	3,6	3,6	3,6	0,9
необходимое для сканирования телесного угла части полушария, образованного круговым вращением двух радиусов, одного под углом места 0° , а другого под углом места 27° , ограниченного внешним сферическим поясом, $\Omega_{\text{ЗН ПЛ}} = 9282$ кв. градусов, $T_{\text{ПОТРЕБ. ЗН ПЛ}}$, [мин]	93 [1,55]			23,2 [0,39]
	97 [1,62]	24 [0,4]	97 [1,62]	18 [0,3]
потребная максимальная частота повторения зондирующих импульсов, $F_{\text{ПОТРЕБ. ЗОНД}}$, Гц	1500			
	1500	1500	1500	1500
потребная минимальная скорость вращения антенны при угле места диаграммы направленности антенны $\varepsilon=0^\circ$, $n_{\text{ПОТРЕБ. ОБЗ}}$, об/с, [об/мин]	0,28 [16,7]			-
	0,28 [16,7]	0,28 [16,7]	0,28 [16,7]	-

Процесс увеличения скорости вращения в зависимости от угла места антенны представлен на рис. 9. Для удобства отображения график построен до угла 80° , поскольку увеличение угла до 90° обусловит увеличение скорости до 2000 об/мин, что неудобно отображать в представленном масштабе. Подобные скорости вращения антенных систем при существующих их массогабаритных характеристиках мало реальны, поскольку потребуются сложные меры безопасности, балансировка вращающихся масс при изменении их угла места и прочие мероприятия, усложняющие и удорожающие антенные системы.

Для случая прореженной радиолокационной сети с однолучевым медленным сканированием по углу места (варианты сканирования I и III) минимальное потребное время, необходимое для сканирования телесного угла всей полусферы зоны наблюдения, реализовать не

получится по той причине, что приходится сканировать в телесном угле полусферы все 20626,480625 кв. градусов без потребного увеличения скорости вращения антенны, а без

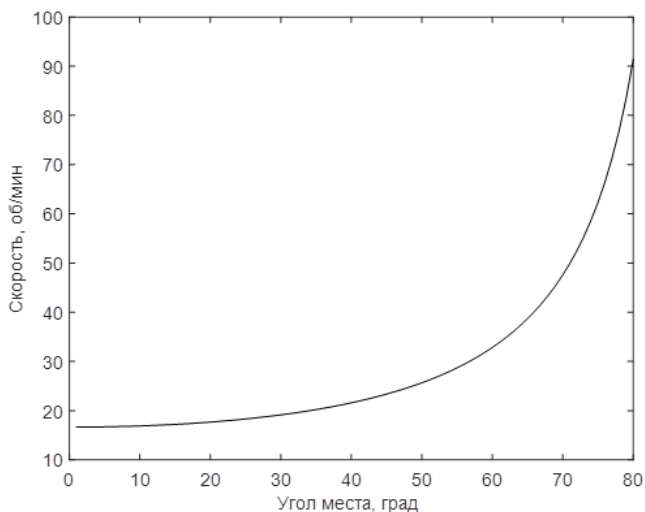


Рис. 9

Для случая плотной или устойчивой радиолокационной сети время, необходимое для однократного кругового обзора при нулевом угле места диаграммы направленности антенны, также обуславливает потребную минимальную скорость вращения антенны. Но сканировать в этом случае нужно уже не всю полусферу, а только ее часть, а именно 9282 кв. градусов. Но даже для этого случая варианты сканирования I и III не обеспечивают реализацию потребного времени сканирования зоны наблюдения, а варианты сканирования II и IV обеспечивают реализацию потребного времени сканирования зоны наблюдения. Однако, как и для рассмотренного выше варианта построения сети, при применении I, II и III способов сканирования время обзора невозможно сделать менее 93 с, или 1,55 мин. А вариант сканирования IV при всех вариантах построения сети позволяет уложиться с обзором зоны наблюдения в 18 с.

Следует отметить, что применение пульпарного метода измерения доплеровской частоты при достаточно большом отношении сигнал/шум изменит параметры сканирования. Время накопления пачки составит $1,334 \cdot 10^{-3}$ с, и тогда минимальное потребное время, необходимое для однократного кругового обзора при нулевом угле места диаграммы направленности антенны, составит 0,48 с, что задаст минимальную скорость вращения антенны в 125 об/мин. Потребное время сканирования полусферы составит 28 с. Из табл. 8 и 9 понятно, что такие параметры обзора могут быть обеспечены только сканированием по варианту IV, поскольку применение механических систем вращения при таких требованиях к скорости вращения антенны затруднено.

Выводы

При построении системы мониторинга, как на основе системного подхода, так и без его применения, наилучшее качество обзора пространства обеспечит применение фазированных антенных решеток с быстрым электронным сканированием, причем при автономной работе радиолокатора только этот способ обзора обеспечит требуемое качество данных. При снижении требований потребителя радиолокационной информации к времени полного обзора пространства до 2 – 3 мин становится возможным проводить обзор пространства с применением фазированных антенных решеток с механическим сканированием по азимуту и многолучевых зеркальных антенн. При снижении заказчиком требований к времени полного обзора и допущению провалов в обзоре допустимо применение всех описанных вариантов обзора.

Заключение

На основе проведенных исследований представляется целесообразным провести работу по анализу выдаваемого информационного потока от метеорологического радиолокатора и, в

увеличения скорости вращения эквивалентное количество сканируемых кв. градусов возрастает до 32400. Применение вариантов сканирования II (многолучевое сканирование) и IV (ФАР с электронным сканированием) позволяет реализовать потребное значение параметра. Для случая прореженной радиолокационной сети надо помнить, что при применении I, II и III способов сканирования время обзора невозможно сделать менее 206 с, или 3,43 мин. А для быстроразвивающихся опасных процессов вертикального развития это может оказаться очень много и при необходимости активного воздействия на него время может быть упущено.

дальнейшем, – по обоснованию тактико-технических требований к метеорологическому радиолокатору, на основе которого можно строить радиолокационную систему гидрометеорологического мониторинга атмосферы.

Список литературы:

1. Принципы построения автоматизированных систем метеорологического обеспечения авиации: Монография ГГО им. А.И. Воейкова ; под ред. Г.Г. Шукина. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1991. 373 с.
2. Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Брылев Г.Б. [и др.] Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети : монография ИРАМ ; под редакцией Г.Б. Брылева. С.-Петербург : Гидрометиздат, 2002. 332 с.
3. Perelygin B.V. Implementation of systematic approach in the creation of radar systems of meteorological monitoring // Telecommunications and radio engineering. 2018. Vol. 77. № 3. P. 199–209. Doi: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i3.20.
4. Перельгин Б.В., Лужбин А.М. Построение сплошного радиолокационного поля системы гидрометеорологического мониторинга на основе геометрического подхода // Радиотехника. 2017. № 191. С. 173–180.
5. Перельгин Б.В. Рациональное распределение энергии зондирующего излучения в пространстве наблюдения системы гидрометеорологического мониторинга // Радиотехника. 2018. № 194. С. 12–18.
6. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2 и МРЛ-5: Руководящий документ РД 52.04.320-91. С.-Петербург : Гидрометеоиздат, 1993. 358 с.
7. Метеорологический радиолокатор МРЛ-5. Техническое описание 1 230 032 ТО. Москва : ЛЭМЗ, 1983. 26 с.
8. Поморцева А.А., Калинин Н.А. Аналитический обзор современного состояния исследований шквалов: условия возникновения, методы диагноза и прогноза // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. № 3(38). С. 90–104. Doi 10.17072/2079-7877-2016-3-90-104
9. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. Вторая редакция. Режим доступа: <http://www.meteorad.ru/static/VMU-DMRL-180503.pdf> Дата доступа: 01.03.2019. Нормативный документ.
10. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Баркова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. Нальчик : Печатный двор, 2014. 508 с.
11. Ефремов В.С., Вылегжанин И.С., Соловьев А.Е., Оприков Е.М., Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Тезадов С.М. Метеорологический канал трехкоординатного трассового радиолокационного комплекса двойного назначения „Сопка-2” // Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля природной среды. Труды II Всерос. конф. Т. I. С.-Петербург, 24–26 апреля 2012 года. С.-Петербург : ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. С. 381–386.
12. Weather Radar Technology Beyond NEXRAD (2002). Chapter: APPENDIX A: Front Matter NEXRAD WSR-88D System Characteristics. Режим доступа: <https://www.nap.edu/read/10394/chapter/11> Дата доступа: 05.03.2019.
13. Perelygin, B.V. Reasonable deployment of radar field for environmental monitoring system // Telecommunications and radio engineering. 2016. Vol. 75. № 9. P. 823–833. Doi: 10.1615/TelecomRadEng.v75.i9.70.
14. Шишлов А.В., Левитан Б.А., Топчиев С.А., Анпилогов В.Р., Денисенко В.В. Многолучевые антенны для систем радиолокации и связи // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul18/6/text.pdf> Дата доступа: 13.03.2019.
15. Литвинов В.В., Клименко В.И., Зюкин В.Ф. Об использовании основных ресурсов в отечественных обзорных радиолокаторах S и L диапазонов волн // Прикладная радиоэлектроника. 2010. Т. 9. № 4. С. 497–506.
16. Перельгин Б.В. Способ создания радиолокационной сети для гидрометеорологического мониторинга атмосферы // Радиотехника. 2019. № 196. С. 38–45.
17. Перельгин Б.В. Обеспечение устойчивости радиолокационного поля при построении системы гидрометеорологического мониторинга // Радиотехника. 2018. № 192. С. 21–27.

*Одесский государственный
экологический университет*

Поступила в редколлегию 23.05.2019

РЕФЕРАТЫ РЕФЕРАТИ ABSTRACTS

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РАДІОТЕХНІЧНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

УДК 621.396

Многофункциональный сканирующий радиометр K_a диапазона с аддитивно-шумовым пилот-сигналом / О.А. Войтович, А.М. Линкова, А.А. Могила, В.П. Мальцев, Г.А. Руднев, Г.И. Хлопов, О.П. Грибский, С.В. Маковенко, С.Б. Мальцев, С.В. Миронюк, В.Д. Павленко // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 5 -15.

Рассматривается вариант построения радиометра со стохастическим пилот-сигналом, в котором вместо квадратичного используется логарифмический детектор среднеквадратических значений, что позволило получить динамический диапазон радиометра более 60 дБ. Экспериментально показано, что разработанный сканирующий радиометр K_a -диапазона на расстоянии порядка 200 м имеет разрешающую способность по полю изображения порядка 4 м и в режиме растрового сканирования в угловых координатах позволяет получать радиотепловые изображения наблюдаемого участка небосвода или подстилающей поверхности.

Ключевые слова: сканирующий радиометр, радиотепловое изображение, флуктуационная чувствительность, радиояркостный контраст, антенна Кассегрена, микроконтроллер, шаговый двигатель, растровое сканирование.

Ил. 7. Библиогр.: 15 назв.

УДК 621.396

Багатофункціональний сканувальний радіометр K_a -діапазону з адитивно-шумовим пілот-сигналом / О.А. Войтович, А.М. Лінкова, А.А. Могила, В.П. Мальцев, Г.О. Руднев, Г.І. Хлопов, О.П. Грибський, С.В. Маковенко, С.Б. Мальцев, С.В. Миронюк, В.Д. Павленко // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 5 -15.

Розглядається варіант побудови радіометра з стохастичним пілот-сигналом, у якому замість квадратичного використовується логарифмічний детектор середньоквадратичних значень, що дозволило отримати динамічний діапазон радіометра більше 60 дБ. Експериментально показано, що розроблений сканувальний радіометр K_a -діапазону на відстані близько 200 м має роздільну здатність по полю зображення близько 4 м і в режимі растрового сканування в кутових координатах дозволяє отримувати радіотеплове зображення спостережуваної ділянки небосхилу або підстильної поверхні.

Ключові слова: сканувальний радіометр, радіотеплове зображення, флуктуаційна чутливість, радіояскравісний контраст, антена Кассегрена, мікроконтролер, кроковий двигун, растрове сканування.

Іл. 7. Бібліогр.: 15 назв.

UDC 621.396

Multifunctional K-band scanning radiometer with an additive noise pilot signal / O.A. Voitovich, A.M. Linkova, A.A. Mogyla, V.P. Maltsev, G.A. Rudnev, G.I. Khlopov, O.P. Gribsky, S.V. Makovenko, S.B. Maltsev, S.V. Mironyuk, V.D. Pavlenko // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 5 -15.

A variant of the construction of a radiometer with a stochastic pilot signal is considered, in which a logarithmic detector of root-mean-square values is used instead of a quadratic one, which made it possible to obtain a dynamic range of the radiometer over 60 dB. It was experimentally shown that the developed K_a -band scanning radiometer at a distance of about 200 m has a resolution of about 4 m in field images and in the raster scan mode in angular coordinates it allows to obtain radio-thermal images of the observed sky section or underlying surface.

Key words: scanning radiometer, thermal image, fluctuation sensitivity, radiobrightness contrast, Cassegrain antenna, microcontroller, stepper motor, raster scanning.

7 fig. Ref.: 15 items.

УДК 621.396.96:504.064.3

Обоснование процедур обзора пространства наблюдения при системном подходе к построению радиолокационной системы мониторинга атмосферы / Б.В. Перельгин, Г.А. Боровская, А.В. Глушков // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 16-30.

При построении радиолокационной системы мониторинга атмосферы на основе системного подхода предлагаются способ и технические средства обзора пространства наблюдения, обеспечивающие высокое качество данных мониторинга, включая временные параметры обзора, приближающееся к потенциально возможному. Рассматривается оптимизация процедуры обзора пространства при отступлении от системного подхода при создании системы радиолокационного мониторинга атмосферы.

Ключевые слова: радиолокационная система мониторинга атмосферы, системный подход, радиолокационный обзор пространства.

Табл. 9. Ил. 9. Библиогр.: 17 назв.

УДК 621.396.96:504.064.3

Обґрунтування процедур огляду простору спостереження при системному підході до побудови радіолокаційної системи моніторингу атмосфери / Б.В. Перелигін, Г.О. Боровська, А.В. Глушков // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 16-30.

При побудові радіолокаційної системи моніторингу атмосфери на основі системного підходу пропонуються спосіб і технічні засоби огляду простору спостереження, які забезпечують високу якість даних моніторингу, включаючи часові параметри огляду, і яка наближається до потенційно можливої. Розглядаються питання оптимізації процедури огляду простору при відступі від системного підходу при створенні системи радіолокаційного моніторингу атмосфери.

Ключові слова: радіолокаційна система моніторингу атмосфери, системний підхід, радіолокаційний огляд простору.

Табл. 9. Іл. 9. Бібліогр.: 17 назв.

UDC 621.396.96:504.064.3

Substantiation of survey procedures of the observation space in a systematic approach to the construction of a atmospheric monitoring radar system / B.V. Perelygin, H.O. Borovska, A.V. Glushkov // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 16-30.

When constructing a radar system for monitoring the atmosphere on the basis of a systematic approach, a method and technical means for the observation space survey are proposed to ensure high quality monitoring data, including the timing of the survey approaching the potential. Consideration is given to optimizing procedures of the observation space survey when deviating from the system approach when creating a system for radar monitoring of the atmosphere.

Keywords: atmospheric monitoring radar system, systems approach, space radar survey.

9 tab. 9 fig. Ref.: 17 items.

УДК 621.391

Модель безопасной маршрутизации на основе определения максимального количества непересекающихся путей для минимизации вероятности компрометации конфиденциальных сообщений / А.В. Лемешко, А.С. Еременко, А.В. Персіков, Б. Слейман // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 31-37.

Предлагается модель безопасной маршрутизации на основе определения максимального количества непересекающихся путей с целью минимизации вероятности компрометации конфиденциальных сообщений, передающихся в инфокоммуникационной сети. Модель основана на решении оптимизационной задачи целочисленного линейного программирования при наличии линейных ограничений, булевых маршрутных переменных, а также переменных, определяющих количество используемых маршрутов, которые принимают целые значения. Установлено, что модель обеспечивает повышение уровня безопасности сети по показателю вероятности компрометации передаваемых сообщений при ее использовании для расчета максимального количества непересекающихся путей при реализации безопасной маршрутизации.

Ключевые слова: безопасная маршрутизация; вероятность компрометации; многопутевая маршрутизация; непересекающиеся пути.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр.: 20 назв.

УДК 621.391

Модель безпечної маршрутизації на основі визначення максимальної кількості шляхів, що не перетинаються, для мінімізації ймовірності компрометації конфіденційних повідомлень / О.В. Лемешко, О.С. Єременко, А.В. Персіков, Б. Слейман // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 31-37.

Пропонується модель безпечної маршрутизації на основі визначення максимальної кількості шляхів, що не перетинаються, з метою мінімізації ймовірності компрометації конфіденційних повідомлень, що передаються в інфокомунікаційній мережі. Модель заснована на розв'язанні оптимізаційної задачі цілочисельного лінійного програмування при наявності лінійних обмежень, булевих маршрутних змінних, а також змінних, що визначають кількість використовуваних маршрутів, які приймають цілі значення. Встановлено, що модель забезпечує підвищення рівня безпеки мережі за показником ймовірності компрометації переданих повідомлень при її використанні для розрахунку максимальної кількості шляхів, що не перетинаються, при реалізації безпечної маршрутизації.

Ключові слова: безпечна маршрутизація; ймовірність компрометації; багатошляхова маршрутизація; шляхи, що не перетинаються.

Табл. 2. Іл. 3. Бібліогр.: 20 назв.

UDC 621.391

Model of secure routing based on determining the maximum number of disjoint paths to minimize the probability of compromise the confidential messages / O.V. Lemeshko, O.S. Yeremenko, A.V. Persikov, B. Sleiman // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 31-37.

The paper proposes a model of secure routing based on determining the maximum number of disjoint paths in order to minimize the probability of compromise the confidential messages transmitted in the infocommunication network. The proposed model is based on solving the optimization problem of Integer Linear Programming in the presence

of linear constraints, Boolean routing variables, and variables determining the number of used routes that take integer values. It has been established that the model provides an increase in the level of network security in terms of the probability of compromise of transmitted messages when it is used to calculate the maximum number of disjoint paths when implementing secure routing.

Key words: secure routing; probability of compromise; multipath routing; disjoint paths.

2 tab. 3 fig. Ref: 20 items.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА, АНТЕННЫ, МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА, АНТЕНИ, МІКРОХВИЛЬОВІ ПРИСТРОЇ ELECTRODYNAMICS, ANTENNAS, MICROWAVE DEVICES

УДК 537.874.6

Дифракция H -поляризованной волны на плоской графеновой решетке типа жалюзи / М.Е. Калиберда, Л.Н. Литвиненко, С.А. Погарский // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 38-42.

Рассматривается задача дифракции плоской H -поляризованной электромагнитной волны на конечной графеновой решетке типа жалюзи. Представлены операторные уравнения относительно спектральных функций рассеянного поля. Оператор отражения одиночной графеновой ленты найден методом сингулярных интегральных уравнений. Приведены зависимости полного поперечного сечения рассеяния и поглощения от частоты.

Ключевые слова: графен, решетка типа жалюзи, операторные уравнения.

Ил. 3. Библиогр.: 15 назв.

Дифракція H -поляризованої хвилі на плоскій графеновій решітці типу жалюзі / М.Є. Калиберда, Л.М. Литвиненко, С.О. Погарський // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 38-42.

Розглянуто задачу дифракції плоскої H -поляризованої електромагнітної хвилі на скінченній графеновій решітці типу жалюзі. Представлено операторні рівняння відносно спектральних функцій розсіяного поля. Оператор відбиття поодинокі графенової стрічки знайдено методом сингулярних інтегральних рівнянь. Наведено залежності повного перетину розсіяння та поглинання від частоти.

Ключові слова: графен, решітка типу жалюзі, операторні рівняння.

Л. 3. Бібліогр.: 15 назв.

Diffraction of H -polarized wave by planar venetian-blind type grating / М.Е. Kaliberda, L.M. Lytvynenko, S.A. Pogarsky // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 38-42.

Diffraction of the plane H - polarized electromagnetic wave by finite graphene venetian-blind type grating is considered. The operator equations with respect to the spectral functions of the scattered field are presented. The reflection operator of a single graphene strip is obtained with the use of the method of singular integral equations. The dependencies of the total scattering and absorption cross section vs. frequency are represented.

Key words: graphene, venetian-blind type grating, operator equations.

3 fig. Ref.: 15 items.

УДК 535.4

Дифракция H -поляризованных фотонов на бесконечной решетке металлических лент / А.В. Безуглий, О.М. Петченко // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 43-49.

Решена задача о дифракции H -поляризованных фотонов при нормальном падении потока на решетку, образованную неограниченной последовательностью бесконечно тонких металлических лент. Задача об определении Ψ -функции фотона над и под решеткой сводится к краевой задаче Римана – Гильберта. Получено точное решение задачи в виде бесконечной системы линейных алгебраических уравнений. Для некоторых значений параметров проведены вычисления по приближенным формулам.

Ключевые слова: фотон, решетка, квант, вероятность, потенциальная яма, пси-функция, дифракционная картина.

Ил. 2 . Библиогр.: 12 назв.

УДК 535.4

Дифракція H -поляризованих фотонів на нескінченній ґратці металевих стрічок / А.В. Безуглий, О.М. Петченко // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 43-49.

Розв'язано задачу щодо дифракції H -поляризованих фотонів при нормальному падінні потоку на ґратку, утворену необмеженою послідовністю нескінченно тонких металевих стрічок. Задача про визначення Ψ -функції фотона над та поза ґраткою зводиться до крайової задачі Рімана – Гільберта. Отримано точні вирази для Ψ -функції у вигляді нескінченної системи алгебраїчних рівнянь. Для деяких значень параметрів проведені обчислення за наближеними формулами.

Ключові слова: фотон, ґратка, квант, імовірність, потенціальна яма, пси-функція, дифракційна картина.

Л. 2 . Бібліогр.: 12 назв.

UDC 535.4

Diffraction of H -polarised photons on the infinite grating of metallic ribbons / A.V. Bezougly, O.M. Petchenko // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 43-49.

The problem of diffraction of H -polarized photons at the normal incidence of a stream on a grate, formed by an unlimited sequence of infinitely thin metallic ribbons, was solved in the given paper. A problem about determination of Ψ -function of a photon before and behind the grating is reduced to the boundary value problem of Reiman-Gilbert. Exact expressions are obtained for Ψ -function as the solution of an endless system of algebraic equations. Calculations are performed using approximate formulas for some values of the parameters.

Keywords: photon, grating, quantum, probability, potential hole, ψ -function, diffraction pattern.

2 Fig. Ref.: 12 items.

УДК 621.372.542

Синтез компактного фильтра нижних частот на гантелеподобных щелевых резонаторах / В.Ф. Комаров, Ю.В. Рассохина, В.Г. Крыжановский // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 50-55.

Рассмотрена конструкция фильтра нижних частот с использованием щелевых резонаторов в виде двух гантелей, расположенных в экранирующем слое микрополосковой линии передачи. Исследованы зависимости коэффициента передачи и годограф входного импеданса с целью получения широкой полосы заграждения и необходимых значений импеданса на гармониках рабочей частоты. В эксперименте получено подавление на частотах со второй до четвертой гармоник на уровне более 20 и 30 дБ для разных образцов фильтра. Входной импеданс изменяется от значений, близких к бесконечности на четных гармониках до нуля на нечетных. Предложенная конструкция может быть использована в усилителях СВЧ с высоким КПД.

Ключевые слова: фильтр низких частот, микрополосковая линия, щелевой резонатор, высокоэффективный усилитель мощности, согласующая цепь.

Ил. 8. Библиогр.: 16 назв.

УДК 621.372.542

Синтез компактного фільтра нижніх частот на гантелеподібних щілинних резонаторах / В.Ф. Комаров, Ю.В. Рассохина, В.Г. Крижановський // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 50-55.

Розглянуто конструкцію фільтра нижніх частот з використанням щілинних резонаторів у вигляді «гантелі» і розміщених у екрануючому шарі мікросмужкової лінії передачі. Були досліджені залежності коефіцієнту передачі та годограф вхідного імпедансу з метою отримання широкої смуги загородження та потрібного імпедансу на гармоніках робочої частоти. Експериментально отримано придушення з другої по четверту гармоніки основної частоти на рівні більше 20 та 30 дБ для різних зразків. Вхідний імпеданс змінюється від значень, близьких до нескінченності на парних гармоніках, до близьких до нуля на непарних гармоніках. Запропонована конструкція може бути використана у підсилювачах НВЧ з високим ККД.

Ключові слова: фільтр низьких частот, мікросмужкова лінія, щілинний резонатор, високоефективний підсилювач потужності, узгоджувальна ланка.

Ил. 8. Библиогр.: 16 назв.

UDC 621.372.542

Synthesis of the compact low pass filter using dumbbell-shaped slot resonators / V.F. Komarov, Yu.V. Rassokhina, V.G. Krizhanovski // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 50-55.

The design of the low pass filter using dumbbell-shaped slot resonators placed in the grounding layer of the microstrip transmission line was considered. Dependences of the transmission coefficient and the input impedance hodo-graph were investigated; the aim was to obtain a wide stop band and the required impedance on the harmonics of the operating frequency. Suppression was obtained experimentally from the second to fourth harmonic of the fundamental frequency at the level of more than 20 dB and 30 dB for prototypes. The input impedance varies from values close to infinity on even harmonics to close to zero on the odd harmonics. The proposed design can be used in microwave high efficiency power amplifiers.

Key words: low-pass filter, microstrip line, slot-line resonator, high efficiency power amplifier, matching network. 8 fig. Ref.: 16 items.

УДК 621.385

Спектральные модели СВЧ-приборов с продольным взаимодействием / А.В. Грицунов, И.Н. Бондаренко, А.В. Бородин, М.А. Копоть, Л.И. Свищерская // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 56-63.

Сделана попытка распространить спектральный подход, реализованный ранее для приборов М-типа, на приборы с продольным взаимодействием наподобие однолучевых пролетных клистронов и ламп бегущей волны. Модели предназначены для инженерного анализа и оптимизации широкого класса СВЧ-приборов О-типа. Описаны общие особенности спектральных моделей и использованные алгоритмы вычислительного эксперимента. Приведены предварительные результаты моделирования.

Ключевые слова: прибор О-типа, спектр, сверхширокополосный сигнал, вычислительный эксперимент.

Ил. 4. Библиогр.: 11 назв.

УДК 621.385

Спектральні моделі НВЧ-приладів з поздовжньою взаємодією / О.В. Грицунов, І.М. Бондаренко, О.В. Бородін, М.А. Копоть, Л.І. Свідерська // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 56-63.

Зроблено спробу розширити спектральний підхід, реалізований раніше для приладів М-типу, на прилади з поздовжньою взаємодією на зразок однопроменевих пролітних клістронів та ламп біжучої хвилі. Моделі призначено для інженерного аналізу та оптимізації широкого класу НВЧ-приладів О-типу. Описано загальні особливості спектральних моделей та застосовані алгоритми обчислювального експерименту. Наведено попередні результати моделювання.

Ключові слова: прилад О-типу, спектр, надширокосмуговий сигнал, обчислювальний експеримент.

Іл. 4. Бібліогр.: 11 назв.

UDC 621.385

Spectral models of microwave devices with longitudinal interaction / A.V. Gritsunov, I.N. Bondarenko, A.V. Borodin, M.A. Kopot, L.I. Sviderska // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 56-63.

An attempt is made to expand the spectral approach, implemented formerly for the M-type devices, onto devices with longitudinal interaction like one-beam floating-drift klystrons and travelling-wave tubes. The models are intended for engineering analysis and optimization of wide class of the O-type microwave devices. The general features of the spectral models and applied algorithms of the numerical experiment are described. Preliminary results of the simulations are quoted.

Key words: O-type device, spectrum, ultra wideband signal, numerical experiment.

4 fig. Ref.: 11 items.

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ОБРОБКА СИГНАЛІВ SIGNAL PROCESSING

УДК 621.396:681.33

Результаты компьютерного моделирования тестовых сигнальных моделей пассивных помех при аналого-цифровом преобразовании / И.В. Барышев, К.А. Щербина, Е.П. Мсаллам, К.Н. Нежальская, М.А. Вонсович, О.С. Инкарбаева // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 64-71.

Проанализирована возможность практической реализации упрощенной тестовой модели радиолокационного зондирования морской поверхности реальной береговой РЛС; разработаны тестовые сигнальные цифровые модели, учитывающие особенности аналого-цифрового преобразования видеосигнала; предложены упрощенные цифровые тестовые модели радиолокационных отражений от морской поверхности. Результаты исследований в дальнейшем будут использованы при решении задачи определения координат местоположения протяженных морских объектов, а также при решении аналогичных задач при разработке цифровой радиолокационной техники.

Ключевые слова: радиолокационная станция, пассивная помеха, частота, цифровая модель.

Ил. 9. Библіогр.: 12 назв.

УДК 621.396:681.33

Результати комп'ютерного моделювання тестових сигнальних моделей пасивних завад при аналого-цифровому перетворенні / І.В. Барышев, К.О. Щербина, Є.П. Мсаллам, К.М. Нежальська, М.А. Вонсович, О.С. Инкарбаева // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 64-71.

Проаналізовано можливість практичної реалізації спрощеної тестової моделі радіолокаційного зондування морської поверхні реальною береговою РЛС; розроблено тестові сигнальні цифрові моделі, що враховують особливості аналого-цифрового перетворення видеосигналу; запропоновано спрощені цифрові тестові моделі радіолокаційних відбиттів від морської поверхні. Результати досліджень надалі будуть використані при розв'язанні задачі визначення координат місця розташування протяжних морських об'єктів, а також при вирішенні аналогічних задач при розробці цифрової радіолокаційної техніки.

Ключові слова: радіолокаційна станція, пасивна перешкода, частота, цифрова модель.

Іл. 9. Бібліогр.: 12 назв.

UDC 621.396:681.33

Results of computer simulation for test signal models of passive interferences within analog-to-digital conversion / I.V. Baryshev, K.A. Scherbina, E.P. Msallam, K.N. Nezhalskaya, M.A. Vonsovitch, O.S. Inkarbaeva // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 64-71.

This work includes analysis of the possibility for practical implementation of a simplified test model for the sea surface remote sensing by a real coastal radar; digital models of the test signal have been developed taking into account the features of the analog-to-digital video signal conversion; simplified digital test models of radar reflections from the sea surface are proposed. The results of the research will be further used for solving the problem of determining the coordinates of the extended marine objects location, as well as in solving similar problems of digital radar technology design.

Key words: radar, passive interference, frequency, digital model.

9 fig. Ref.: 12 items.

УДК 551.508.8

Оценка частоты сигнала при адаптивном подавлении помех в системах акустического зондирования атмосферы / В.М. Карташов, В.А. Тихонов, В.В. Воронин, А.А. Супрун // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 72-77.

Рассмотрены вопросы математического моделирования акустических помех с использованием моделей авторегрессии и синтеза авторегрессионных фильтров предсказания для обеления и адаптивного подавления помех. Показано, что применение адаптивных режекторных фильтров значительно снижает влияние акустических помех на оценку частоты пика полезного сигнала в системах акустического зондирования и существенно уменьшает его среднеквадратическое отклонение.

Ключевые слова: акустическое зондирование, атмосфера, помеха, авторегрессия, адаптивный фильтр, частота.

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр.: 10 назв.

УДК 551.508.8

Оцінка частоти сигналу при адаптивному придушенні перешкод в системах акустичного зондування атмосфери / В.М. Карташов, В.А. Тихонов, В.В. Воронін, О.О. Супрун // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 72-77.

Розглянуто питання математичного моделювання акустичних перешкод з використанням моделей авторегресії і синтезу авторегресійних фільтрів передбачення для відбілювання та адаптивного придушення перешкод. Показано, що застосування адаптивних режекторних фільтрів значно знижує вплив акустичних перешкод на оцінку частоти піку корисного сигналу в системах акустичного зондування і суттєво зменшує його середньо-квадратичне відхилення.

Ключові слова: акустичне зондування, атмосфера, перешкода, авторегресія, адаптивний фільтр, частота

Табл. 1. Іл. 5. Бібліогр. : 10 назв.

UDC 551.508.8

Evaluation of the signal frequency with adaptive noise suppression in systems of acoustic sounding of the atmosphere / V.M. Kartashov, V.A. Tikhonov, V.V. Voronin, A.A. Suprun // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 72-77.

The paper deals with the mathematical modeling of acoustic noise using models of autoregression and synthesis of autoregressive prediction filters for whitening and adaptive noise suppression. It is shown that the use of adaptive notch filters significantly reduces the effect of acoustic interference on the estimated peak frequency of the useful signal in acoustic sounding systems and significantly reduces its standard deviation.

Key words: acoustic sounding, atmosphere, noise, autoregression, adaptive filter, frequency.

1 tab. 5 fig. Ref.: 10 items.

УДК 621.369:534

Исследование статистических свойств клавиатурного почерка для решения задач аутентификации пользователей компьютерных сетей / Д.Ю. Горелов, В.О. Алексеев, В.М. Бублик, Д.В. Маслий // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 78-85.

Проведен анализ статистических особенностей клавиатурного почерка. Гистограммы абсолютных значений временных параметров диграфов (времена нажатий и паузы между нажатиями) не соответствуют нормальному закону. Гистограммы отношений временных параметров диграфов свидетельствуют о близком к нормальному закону распределения, то есть «случайность» изменения параметров клавиатурного почерка с течением времени уменьшается. Предложены подходы к построению комплексных алгоритмов аутентификации, учитывающих статистические особенности клавиатурного почерка.

Ключевые слова: информационная безопасность, клавиатурный почерк, диграф клавиатуры, парольная аутентификация, непрерывная аутентификация.

Ил. 8. Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.369:534

Дослідження статистичних властивостей клавіатурного почерку для вирішення задач аутентифікації користувачів комп'ютерних мереж / Д.Ю. Горелов, В.О. Алексеев, В.М. Бублик, Д.В. Маслий // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 78-85.

Проведено аналіз статистичних особливостей клавіатурного почерку. Гістограми абсолютних значень часових параметрів диграфів (час натискання та час паузи між натисканнями) не відповідають нормальному закону. Гістограми відношень часових параметрів диграфів свідчать про близький до нормального закон розподілу, тобто «випадковість» зміни параметрів клавіатурного почерку з плином часу зменшується. Запропоновано підходи до побудови комплексних алгоритмів аутентифікації, що враховують статистичні особливості клавіатурного почерку.

Ключові слова: інформаційна безпека, клавіатурний почерк, диграф клавіатури, парольна аутентифікація, безперервна аутентифікація.

Іл. 8. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 621.369:534

Statistical analysis of keystroke for solving the computer networks users authenticating problems / D.Y. Gorelov, V.A. Aliksieiev, V.M. Bublyk, D.V. Masliy // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. № 197. P. 78-85.

The analysis of the statistical features of keyboard writing is carried out. The histograms of the absolute values of the digraph time parameters (times of pressing and pause between pressing) do not correspond to the Gaussian distribution. The histograms of the relations of the temporal parameters of digraphs indicate a close to Gaussian distribution, that is, the “randomness” of changes in the parameters of keystroke decreases. Approaches to the construction of complex authentication algorithms that take into account the statistical features of keystroke are proposed.

Key words: information security, keystroke, keystroke digraph, password authentication, continuous authentication.

8 fig. Ref.: 4 items.

УДК 621.373.826:53.088.23

Теоретическая модель измерения параметров лазерного излучения / Ю.С. Курской // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 86-92.

Цель работы – создание теоретической модели измерения параметров излучения лазера как нелинейной динамической системы. Модель предусматривает измерение параметров в стационарном и хаотическом режимах. Модель может быть использована как для обеспечения стабильности параметров излучения лазера, так и для управления хаотическим излучением.

Ключевые слова: лазер, хаос, модель измерения.

Ил. 1. Библиогр.: 19 назв.

УДК 621.373.826: 53.088.23

Теоретична модель вимірювання параметрів лазерного випромінювання / Ю.С. Курський // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 86-92.

Мета роботи – створення теоретичної моделі вимірювання параметрів випромінювання лазера, як нелінійної динамічної системи. Модель передбачає вимірювання параметрів в стаціонарному та хаотичному режимах. Модель може бути використана як для забезпечення стабільності параметрів випромінювання лазера, так і для управління хаотичним випромінюванням.

Ключові слова: лазер, хаос, модель вимірювання.

Ил. 1. Библиогр.: 19 назв.

UDC 621.373.826: 53.088.23

Theoretical model for measuring parameters of laser radiation / Yu.S. Kurskoy // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 86-92.

The task of the work is creation of a theoretical model for measuring of the laser radiation parameter as a nonlinear dynamical system. The model provides for the measurement of the parameters in stationary and chaotic modes. The model can be used for ensuring the stability of the laser radiation parameters, and for controlling the chaotic radiation.

Keywords: laser, chaos, measurement model.

1 fig. Ref.: 19 items.

УДК 551.501.7

Особенности амплитудно-временной структуры помех в системах акустического зондирования атмосферы / В.В. Семенец, В.И. Леонидов // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 93-99.

Акустические помехи являются основным фактором, ограничивающим функциональную надежность систем акустического зондирования атмосферы. Частотно-временная структура акустических помех существенно зависит от места расположения акустической системы. Наиболее сложным является случай возникновения комбинационных помех, которые генерируются сложными механическими системами или комплексами систем. В работе выдвигается и подтверждается гипотеза, состоящая в том, что частотно-временная структура сложных помех создается некоторым конечным набором источников вынуждающих (основных) колебательных процессов, например, вращением электродвигателей, и вынужденных колебаний, которые обусловлены резонансными свойствами элементов конструкции. Из этого следует, что частоты комбинационных и основных гармоник имеют функциональную зависимость, а вынужденные колебания имеют амплитудную зависимость от частоты вынуждающего колебания, при этом частота вынуждающего колебания по условиям функционирования системы, изменяется случайным образом. Из этого следует, что при увеличении длительности анализируемой выборки ее амплитудно-частотный спектр приближается к сплошному виду. Следовательно, правила обнаружения сигналов, базирующиеся на частотной селекции, при рассматриваемом виде помех оказываются не эффективными. Приводятся результаты анализа другого подхода к анализу комбинационных помех, основанного на временном анализе спектрограмм периодов исследуемого процесса, который, как показано, имеет дискретный вид, что создает необходимую теоретическую основу для проектирования и оптимизации адаптивной системы обнаружения сигналов в условиях комбинационных акустических помех.

Ключевые слова: акустическое зондирование, атмосфера, помехи, модель.

Ил. 5. Библиогр.: 8 назв.

УДК 551.501.7

Особливості амплітудно-часової структури поміх у системах акустичного зондування атмосфери / В.І. Леонідов, В.В. Семенець // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 93- 99.

Акустичні перешкоди є основним чинником, що обмежує функціональну надійність систем акустичного зондування атмосфери. Частотно-тимчасова структура акустичних перешкод істотно залежить від місця розташування акустичної системи. Найбільш складним є випадок виникнення комбінаційних перешкод, які генеруються складними механічними системами або комплексами систем. В роботі висувається і підтверджується гіпотеза, яка полягає в тому, що частотно-тимчасова структура складних перешкод створюється деяким кінцевим набором джерел змушують (основних) коливальних процесів, наприклад обертанням електродвигунів, і вимушених коливань, які обумовлені резонансними властивостями елементів конструкції. З цього випливає, що частоти комбінаційних і основних гармонік мають функціональну залежність, а вимушені коливання мають амплітудну залежність від частоти змушує коливання, при цьому частота змушує коливання за умовами функціонування системи, змінюється випадковим чином. При збільшенні тривалості аналізованої вибірки її амплітудно-частотний спектр наближається до суцільного виду. Отже, правила виявлення сигналів, що базуються на частотної селекції, при розглянутому вигляді перешкод виявляються неефективними. Наводяться результати аналізу іншого підходу до аналізу комбінаційних перешкод, заснованого на тимчасовому аналізі спектрограм періодів досліджуваного процесу, який, як показано, має дискретний вигляд, що створює необхідну теоретичну основу для проектування та оптимізації адаптивної системи виявлення сигналів в умовах комбінаційних акустичних перешкод.

Ключові слова: акустичне зондування, атмосфера, перешкоди, модель.

Ил. 5. Библиогр.: 8 назв.

UDC 551.501.7

Particularities of the amplitude-time structure of the hindrances in the acoustic sounding system of the atmosphere / V.V. Semenetz, V.I. Leonidov // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 93-99.

Acoustic interference is the main factor limiting the functional reliability of the systems of acoustic sounding of the atmosphere. The time frequency acoustic interference structure essentially depends on the location of the acoustic system. The case of the occurrence of combinational noise, generated by complex mechanical systems or systems complexes is the most difficult one. The hypothesis that the time-frequency structure of complex interference is created by some finite set of sources of forcing (main) oscillatory processes, for example, rotation of electric motors, and forced oscillations, caused by the resonant properties of structural elements, is put forward and confirmed. It follows from this that the frequencies of the combinational and fundamental harmonics have a functional dependence, and the forced oscillations have an amplitude dependence on the frequency of the forcing oscillation, while the frequency of the forcing oscillation under the conditions of the functioning of the system varies randomly. It follows from this that with an increase in the duration of the analyzed sample, its amplitude-frequency spectrum approaches a continuous shape. Consequently, the rules for detecting signals based on frequency selection are not effective for the type of interference under consideration. The paper presents the results of the analysis of a different approach to the analysis of combinational noise, based on a temporal analysis of the spectrograms of the periods of the process under study, which, as shown, has a discrete appearance, which creates the necessary theoretical basis for designing and optimizing an adaptive signal detection system under conditions of combination acoustic noise.

Key words: acoustic sounding, atmosphere, interference, model.

5 fig. Ref.: 8 items.

УДК 621.372(075)

Использование эффекта стохастического резонанса для анализа спектров акустического излучения малых беспилотных летательных аппаратов / В.М. Карташов, О.И. Харченко, В.И. Чумаков // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 100-106.

Рассмотрена стохастическая фильтрация акустического излучения малых беспилотных летательных аппаратов. Приведены результаты выделения информационного сигнала при различных уровнях шума. Рассчитаны значения уровня шума, при которых обеспечивается эффективное выделение информационного сигнала.

Показано, что нелинейный фильтр на основе эффекта стохастического резонанса при определенном уровне шума обеспечивает выделение акустического излучения малых беспилотных летательных аппаратов.

Разработана модель регулирования полосы пропускания нелинейного стохастического фильтра путем изменения коэффициента пересчета частоты.

Ключевые слова: стохастический резонанс, беспилотный летательный аппарат, акустический канал, гауссов шум.

Ил. 7. Библиогр.: 25 назв.

УДК 621.372(075)

Використання ефекту стохастичного резонансу для аналізу спектрів акустичного випромінювання малих безпілотних літальних апаратів / В.М. Карташов, О.І. Харченко, В.І. Чумаков // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 100-106.

Розглянуто стохастичну фільтрацію акустичного випромінювання малих безпілотних літальних апаратів. Наведено результати виділення інформаційного сигналу при різних рівнях шуму. Розраховано значення рівня шуму, при яких забезпечується ефективно виділення інформаційного сигналу.

Показано, що нелінійний фільтр на основі ефекту стохастичного резонансу при певному рівні шуму забезпечує виділення акустичного випромінювання малих безпілотних літальних апаратів.

Розроблено модель регулювання смуги пропускання нелінійного стохастичного фільтра шляхом зміни коефіцієнта перерахунку частоти.

Ключові слова: стохастичний резонанс, безпілотний літальний апарат, акустичний канал, Гаусів шум.

Іл. 7. Бібліогр.: 25 назв.

UDC 621.372(075)

Use of stochastic resonance effect for analysis of acoustic radiation spectrum of small unmanned aerial vehicles / V.M. Kartashov, O.I. Kharchenko, V.I. Chumakov // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 100-106.

Stochastic filtering of acoustic radiation of small unmanned aerial vehicles is considered. Calculation results of an information signal at different noise levels are given. Noise level values are calculated, which ensure the effective selection of the information signal.

It is shown that the nonlinear filter based on the effect of a stochastic resonance at a certain noise level provides selection of acoustic radiation of acoustic radiation of small unmanned aerial vehicles.

The model of the nonlinear stochastic filter bandwidth regulation by changing coefficient of frequency recalculation is developed.

Key word: astochastic resonance, unmanned aerial vehicle, acoustic channel, Gaussian noise.

fig. 7 Ref.: 25 items.

ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ РАДИОТЕХНИКИ ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ РАДІОТЕХНІКИ APPLIED QUESTIONS OF RADIO ENGINEERING

УДК 631.371

Определение параметров прямоугольного волновода для передачи электромагнитной энергии в призматический резонатор с шерстью / О.Г. Аврунин, В.В. Семенец, Н.Г. Косулина, В.С. Попрядухин, С.В. Кускова // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 107-116.

Статья посвящена решению теоретической задачи из определения параметров прямоугольного волновода для эффективной передачи электромагнитной энергии мм диапазона в призматический резонатор с параметрами: ширина 800 мм; высота 600 мм; длина 300 мм. Длина возбуждающей волны $\lambda = 8,333$ мм ($f = 36$ ГГц). В результате теоретических исследований было установлено, что для получения максимальной величины эффективности возбуждения η электромагнитных колебаний в призматическом резонаторе необходимо равенство поперечных размеров резонатора и питательного волновода.

Ключевые слова: резонатор, возбуждение колебаний, прямоугольный волновод.

Ил. 6. Библиогр.: 24 назв.

УДК 631.371

Визначення параметрів прямокутного хвильоводу для передачі електромагнітної енергії в призматичний резонатор з вовною / О.Г. Аврунін, В.В. Семенець, Н.Г. Косуліна, В.С. Попрядухін, С.В. Кускова // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 107-116.

Стаття присвячена вирішенню теоретичної задачі з визначення параметрів прямокутного хвильоводу для ефективної передачі електромагнітної енергії мм діапазону в призматичний резонатор з параметрами: ширина 800 мм; висота 600 мм; довжина 300 мм. Довжина збуджуючої хвилі $\lambda = 8,333$ мм ($f = 36$ ГГц). В результаті теоретичних досліджень було встановлено, що для отримання максимальної величини ефективності збудження η електромагнітних коливань в призматичному резонаторі необхідна рівність поперечних розмірів резонатора та живлячого хвильоводу.

Ключові слова: резонатор, збудження коливань, прямокутний хвильовід.

Іл. 6. Бібліогр.: 24 назв.

UDC 631.371

Determination of direct wave parameters for transmission of electromagnetic energy in a prismatic resonator with wool / O. Avrunin, V. Semenets, N. Kosulina, V. Popryaduhin, S. Kuskova // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 107-116.

The article is devoted to solving the theoretical problem of determining the parameters of a rectangular waveguide for efficient transfer of mm range electromagnetic energy to the prismatic resonator with the following parameters: width 800 mm; height 600 mm; length 300 mm. The length of the stimulating wave is $\lambda = 8,333$ mm ($f = 36$ GHz). As a result of theoretical studies, it has been found that the equality of transverse dimensions of the resonator and the feeding waveguide is required to obtain the maximum size of the stimulation (η) of electromagnetic oscillations in a prismatic resonator.

Key words: resonator, stimulation of oscillations, rectangular waveguide.

6 fig. Ref.: 24 items.

УДК 621.375

Методика калибровки радиометрического приёмника для дистанционной диагностики заболеваний животных / В.В. Семенец, О.Г. Аврунин, Н.Г. Косулина, Т.Д. Гуцол, Г.А. Ляшенко // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 117-122.

Одной из особенностей современного этапа развития сельского хозяйства в Украине является рост экономических и совершенствование алогических предпосылок до уровня потребностей промышленного животноводства, слияние ветеринарной и зоотехнических наук, усиление их влияния непосредственно на процессы производства.

На основе теоретических и экспериментальных исследований была создана радиометрическая система для дистанционного измерения электромагнитных излучений органов животных с параметрами: чувствительность $10^{-15} - 10^{-17}$ Вт, диапазон частот 30 – 40 ГГц, быстродействие 2 – 4 с, точность измерений 0,1 °С. Чтобы обеспечить необходимые для диагностики животных параметры радиометрического приёмника, был разработан метод его калибровки.

Ключевые слова: животные, радиометрическая система, тепловое электромагнитное излучение, калибровка радиометрической системы.

Ил. 2. Библиогр.: 15 назв.

УДК 621.375

Методика калібрування радіометричного приймача для дистанційного діагностування захворювань тварин / В.В. Семенець, О.Г. Аврунін, Н.Г. Косуліна, Т.Д. Гуцол, Г.А. Ляшенко // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 117-122.

Однією з особливостей сучасного етапу розвитку сільського господарства в Україні є зростання економічних та вдосконалення алогічних передумов до рівня потреб промислового тваринництва, поєднання ветеринарної та зоотехнічних наук, підсилення їх впливу безпосередньо на процеси виробництва.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень була створена радіометрична система для дистанційного вимірювання електромагнітних випромінювань органів тварин з параметрами: чутливість $10^{-15} - 10^{-17}$ Вт, діапазон частот 30 – 40 ГГц, швидкодія 2 – 4 с, точність вимірювання 0,1 °С. Для забезпечення необхідних для діагностування параметрів радіометричного приймача було розроблено методику його калібрування.

Ключові слова: тварини, радіометрична система, теплове електромагнітне випромінювання, калібрування радіометричної системи.

Іл. 2. Бібліогр.: 15 назв.

UDC 621.375

Methods for calibration of radiometric receiver for remote diagnostics of animals diseases / V. Semenets, O. Avrunin, N. Kosulina, T. Gutsol, G. Lyashenko // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 117-122.

One of the features of the modern stage of agricultural development in Ukraine is the growth of economic basics and improvement of illogical prerequisites to the level of the needs of industrial animal husbandry, the merger of veterinary and zootechnical sciences and increasing their influence directly on production processes.

Based on theoretical and experimental studies, a radiometric system was created for remote measurement of electromagnetic radiation of animal organs with the following parameters: sensitivity $10^{-15} - 10^{-17}$ Wt, frequency range 30 – 40 GHz, speed 2 – 4 s, measurement accuracy 0.1 °C. A calibration method has been developed to provide the necessary parameters of a radiometric receiver for the diagnosis of animals.

Key words: animals, radiometric system, thermal electromagnetic radiation, calibration of radiometric system.

2 fig. Ref.: 15 items.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

ТЕХНОЛОГІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ TECHNOLOGY OF EQUIPMENT AND PRODUCTION OF ELECTRONIC TECHNIQUE

УДК 621.383.51

Новые подходы к созданию высокоэффективных приемников излучения для концентраторных солнечных модулей / В.Н. Борщев, А.М. Листратенко, М.А. Проценко, И.Т. Тымчук, А.В. Кравченко, Н.И. Слипченко // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. 197. С. 123-136.

Рассмотрено современное состояние и тенденции развития солнечной энергетики, в том числе технологии концентраторных солнечных модулей на линзах Френеля и зеркальных концентраторах. Предложены новые подходы к созданию высокоэффективных приемников концентрированного солнечного излучения на основе алюминий-полиимидной Chip-On-Flex (COF) технологии сборки и арсенид-галлиевых солнечных элементов с КПД 46-48%. Изготовлены и исследованы экспериментальные образцы инновационных приемников солнечного излучения для точечных концентраторных модулей на линзах Френеля.

Ключевые слова: концентраторная солнечная энергетика, арсенид-галлиевые солнечные элементы, приемники излучения, конструктивно-технологические решения.

Табл. 2. Ил. 12. Библиогр.: 15 назв.

УДК 621.383.51

Нові підходи до створення високоефективних приймачів випромінювання для концентраторних сонячних модулів / В.М. Борщов, О.М. Лістратенко, М.А. Проценко, І.Т. Тимчук, О.В. Кравченко, М.І. Сліпченко // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. 197. С. 123-136.

Розглянуто сучасний стан і тенденції розвитку сонячної енергетики, в тому числі технології концентраторних сонячних модулів на лінзах Френеля і дзеркальних концентраторах. Запропоновано нові підходи до створення високоефективних приймачів концентрованого сонячного випромінювання на основі алюміній-поліімідної Chip-On-Flex (COF) технології складання і арсенид-галієвих сонячних елементів з ККД 46-48 %. Виготовлені і досліджені експериментальні зразки інноваційних приймачів сонячного випромінювання для точкових концентраторних модулів на лінзах Френеля.

Ключові слова: концентраторна сонячна енергетика, арсенид-галієві сонячні елементи, приймачі випромінювання, конструктивно-технологічні рішення.

Табл. 2. Ил. 12. Библиогр.: 15 назв.

UDC 621.383.51

New approaches to the creation of high-performance radiation detectors for concentrator solar modules / V.N. Borshchev, A.M. Listratenko, M.A. Protsenko, I.T. Tymchuk, A.V. Kravchenko, N.I. Slipchenko // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №197. P. 123-136.

Current state and trends in the development of solar photovoltaics, including technology of concentrator solar modules on Fresnel lenses and mirror concentrators, are considered. New approaches to creation of high-performance receivers of concentrated solar radiation based on aluminum-polyimide Chip-On-Flex (COF) assembly technology and gallium arsenide solar cells with efficiency of 46-48% have been proposed. Experimental samples of innovative solar radiation receivers for point concentrator modules on Fresnel lenses were manufactured and investigated.

Key words: concentrator solar energy, gallium-arsenide solar cells, radiation receivers, design-technological solutions.

2 tab. 12 fig. Ref: 15 items.