

РАДИО- ТЕХНИКА

192/2018



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

РАДИОТЕХНИКА

**Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник**

Основан в 1965 г.

ВЫПУСК 192

Харків
Харківський національний
університет радіоелектроніки
2018

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

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

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Редакционная коллегия

Н.И. Слипченко, д-р физ.-мат наук, проф., 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
А.И. Лучанинов, д-р физ.-мат. наук, проф., ХНУРЭ (зам. главного редактора)
И.М. Неклюдов, академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук, ННЦ ХФТИ
В.И. Оборжичский, д-р. техн. наук, доц., НУ «Львовская политехника»
А.Г. Пащенко, канд. физ.-мат. наук, доц., ХНУРЭ (ответственный секретарь)
В.В. Поповский, д-р техн. наук, проф., ХНУРЭ
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
Г.И. Хлопов, д-р техн. наук, 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

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

Рекомендовано Ученым советом Харьковского национального университета радиоэлектроники, протокол № 67 от 30.03.2018.

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

СОДЕРЖАНИЕ

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

<i>Л.Я. Емельянов, В.А. Пуляев, Е.В. Рогожкин</i> Корреляционная обработка сигнала некогерентного рассеяния с помощью многоканального устройства	5
<i>О.І. Кравченко, К.О. Щербина, Є.П. Мсаллам, М.А. Вонсович</i> Просторова інтеграція навігаційних даних як ефективний метод поліпшення якості інформаційної підтримки служб регулювання руху суден	10
<i>Б.В. Перельгин</i> Обеспечение устойчивости радиолокационного поля при построении системы гидрометеорологического мониторинга	21
<i>С.В. Солонская, В.В. Жирнов</i> Интеллектуальный анализ радиолокационных данных на основе нечетких преобразований	28
<i>В.Є. Кудряшов, М.І. Рожков, А.Ю. Ткаченко, Ю.П. Червоняк</i> Умовна імовірність ураження зенітного ракетного комплексу протирадіолокаційною ракетою	34
<i>В.М. Карташов, С.И. Бабкин, Е.Г. Толстых</i> Экспериментальная оценка эффективности применения распределенного акустического излучателя в системе радиоакустического зондирования атмосферы	41
<i>Г.І. Сидоров, С.О. Шейко, С.В. Шаповалов, А.С. Полонська, А.І. Дмитренко</i> Акустичний метод вимірювання турбулентного стану атмосферного прикордонного шару	46
<i>А.А. Зарудный</i> Экспериментальные исследования характеристик излучателя лидара на основе лазера на красителе с ламповой накачкой	51
<i>А.А. Зарудный, А.И. Цопа</i> Энергетические характеристики передатчика лидара, построенного по схеме генератор-усилитель	56

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

<i>О.В. Лемешко, О.С. Невзорова</i> Дворівневий метод маршрутизації з балансуванням пріоритетного розподілу каналного ресурсу у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі	61
<i>А.С. Еременко</i> Двухуровневый метод иерархическо-координационной QoS-маршрутизации на основе резервирования ресурсов	71
<i>Л.А. Токарь, Д.И. Токарь</i> Особенности построения опорной сети на основе технологии Long Term Evolution	84
<i>И.Е. Антипов, Д.Р. Найденова, А.И. Шкарлет</i> О возможности создания гибридной метеорной системы связи	89

РАДИОФИЗИКА. ФИЗИКА СИСТЕМ, ПРИБОРОВ

<i>А.Г. Нерух, О.В. Курьжсева</i> Преобразование импульса эйри на временном скачке диэлектрической проницаемости среды	94
<i>Ю.П. Мачехин, Ю.С. Курской, А.С. Гнатенко</i> Физико-математические основы измерений в нелинейных динамических системах	102
<i>Г.Б. Халед, А.В. Кукоба, О.М. Білаш, Ю.Т. Жолудов, Д.В. Сніжко, К.М. Музика</i> Електрохемілюмінесцентна платформа для твердофазного визначення слідових концентрацій поліциклічних ароматичних вуглеводнів	106
<i>А.Б. Галат, А.І. Донченко</i> Структура резко асимметричного р-п-перехода с учетом заряда подвижных носителей	113
<i>А.В. Васянович, А.С. Гнатенко, Д.В. Пустыльников</i> Оптимизация теплового режима непрерывных CO ₂ -лазеров с диффузионным охлаждением	119

СРЕДСТВА РАДИОТЕХНИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

<i>Т.А. Цалиев, С.В. Сидень</i> Численный анализ характеристик широкополосной планарной диск-щелевой антенны	126
<i>П.Ф. Лебедев, И.А. Милотченко</i> Свойства резонансных цепей радиоэлектроники	133

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

<i>Д.С. Сальников, А.И. Цопа</i> Модель угроз безопасности для беспроводных систем связи миллиметрового диапазона волн.	140
<i>В.Д. Кукуш, А.М. Олейников, Н.О. Діброва</i> Оцінка ефективності протидії засобам фотографічної розвідки та відеозйомки методом інфрачервоного засвічення	149
<i>І.О. Милотченко, Б.В. Оношко</i> Інформаційні ресурси: аналіз категорії та класифікація	157

РЕФЕРАТЫ	162
----------	-----

CONTENT

RADIO ENGINEERING SYSTEMS

<i>L.Ya. Emelyanov, V.A. Pulayev, E.V. Rogozhkin</i> Correlation processing of incoherent scattering signal using multichannel device	5
<i>O.I. Kravchenko, K.A. Shcherbina, E.P. Msallam, M.A. Vonsovich</i> Spatial integration of navigation data as efficient method to improve quality of vessel traffic services support	10
<i>B.V. Perelygin</i> Ensuring stability of radar field when creating hydrometeorological monitoring system	21
<i>S. Solonskaya, V. Zhyrnov</i> Intelligent analysis of radar data based on fuzzy transforms	28
<i>V.Ye. Kudriashov, M.I. Rozhkov, A.Yu. Tkachenko, Yu.P. Chervonyak</i> Conditional probability of hitting anti-aircraft missile system by anti-radar-guided missile	34
<i>V.M. Kartashov, S.I. Babkin, E.G. Tolstoy</i> Experimental evaluation of effectiveness of distributed acoustic radiator in the system of radio acoustic sounding of the atmosphere	41
<i>G. Sidorov, S. Sheiko, S. Shapovalov, A. Polonska, A.I. Dmytrenko</i> Acoustic method for measuring turbulent state of the atmospheric boundary layer	46
<i>A.A. Zarudnyi</i> Experimental studies of the characteristics of a lidar emitter based on a pump-dye laser	51
<i>A.A. Zarudnyi, A.I. Tsopa</i> The power characteristics of a lidar transmitter constructed according to the generator-amplifier scheme	56

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORKS

<i>O.V. Lemeshko, O.S. Nevzorova</i> Two level routing method with priority link resource allocation balancing in software defined telecommunication network	61
<i>O.S. Yeremenko</i> Two-level method of hierarchical-coordination QoS routing based on resource reservation	71
<i>L.A. Tokar, D.I. Tokar</i> Features of organization of backhaul backbone network based on LTE technology	84
<i>I.E. Antipov, D.R. Naidenova, A.I. Shkarlet</i> On the possibility of creating a hybrid meteor-burst communication system	89

RADIO PHYSICS. PHYSICS OF SYSTEMS, INSTRUMENTS

<i>A.G. Nerukh, O.V. Kuryzheva</i> Transformation of the airy pulse at temporary jump of the dielectric permittivity of the medium	94
<i>Yu.P. Machekhin, Yu.S., Kurskoy, A.S. Gnatenko</i> Physical and mathematical foundations of measurements in nonlinear dynamical systems	102
<i>G. Khaled, A. Kukoba, O. Bilash, Yu. Zoludov, D. Snizhko, K. Muzyka</i> Electroheliuminescent platform for solid phase determination of polycyclic aromatic hydrocarbons at ultra-trace level	106
<i>A.B. Galat, A.L. Donchenko</i> Structure of high asymmetric p-n-junction taking into account the charge of movable carriers	113
<i>A.V. Vasyanovich, A.S. Gnatenko, D.V. Pustyl'nikov</i> Optimization of thermal regime of continuous CO ₂ -lasers with diffusion cooling	119

MEANS OF RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

<i>T.A. Tsaliev, S.V. Siden</i> Numerical analysis of characteristics of wideband planar disk-slot antenna	126
<i>P.F. Lebedev, I.A. Milutchenko</i> Properties of resonance circuits of radio electronics	133

SYSTEMS OF INFORMATION TECHNICAL PROTECTION

<i>D. Salnykov, O. Tsopa</i> Model of security threats for wireless communication systems in millimeter wave range	140
<i>V.D. Kukush, A.N. Oleynikov, N.A. Dibrova</i> Estimation of efficiency of counteraction to photographic reconnaissance and video recording by the method of infrared hiding	149
<i>I.O. Myliutchenko, B.V. Onopko</i> Information resources: analysis and classification	157

ABSTRACTS	162
-----------	-----

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Введение

Создание радиолокационной системы гидрометеорологического мониторинга предусматривает построение радиолокационного поля необходимой конфигурации или потребного радиолокационного поля [1, 2]. Построенное радиолокационное поле должно обладать некоторыми важными свойствами. К ним относятся свойство беспровальности, т.е. поле должно быть сплошным для получения возможности извлечения информации из всего пространства наблюдений. Другим важным свойством сформированного радиолокационного поля должна быть многочастотность, необходимая для обеспечения возможности реализации двухчастотного метода индикации дождя и града [3]. Не менее важным является свойство устойчивости радиолокационного поля. Под устойчивостью в радиолокационных системах понимают сохранение показателей качества системы при нарушении работоспособности ее элементов, а именно – радиолокаторов [4]. Система радиолокаторов порождает радиолокационное поле, а значит конфигурация этого поля должна незначительно изменяться при нарушении работоспособности части элементов системы. Нарушение работоспособности радиолокаторов возможно по нескольким причинам. Одна из причин связана с электромагнитной совместимостью и, из-за этого, с невозможностью производства радиолокационных измерений из-за повышения уровня шума, вызванного помехами. Другая связана с нарушением работоспособности радиолокатора по техническим причинам, т.е. с выходом его из строя. В обоих случаях конечный эффект нарушения работоспособности приводит к нарушению работы радиолокационной системы в целом и нарушению целостности радиолокационного поля. Электромагнитная совместимость радиолокаторов обеспечивается организационными (выполнение норм и рекомендаций, регламентирующих разнос частот, ширину полосы излучения, стабильность частоты передатчиков, уровень побочных излучений, взаимное размещение близко расположенных радиолокаторов) и техническими (правильный выбор промежуточной частоты, повышение избирательности тракта приема, использование различных устройств защиты от помех, фильтрацию неосновных излучений передающих устройств экранирование элементов радиолокатора) мерами. Уменьшение количества выходов из строя радиолокаторов связано с повышением надежности функционирования элементов радиолокатора [5].

Однако обеспечить системную устойчивость радиолокационного поля и сделать эту устойчивость менее зависимой от указанных выше причин можно на этапе проектирования радиолокационной системы гидрометеорологического мониторинга, соответствующим образом размещая радиолокаторы на местности. В предлагаемой статье рассматривается вопрос обеспечения устойчивости радиолокационного поля при построении радиолокационной системы гидрометеорологического мониторинга вне зависимости от причин нарушения работоспособности радиолокаторов. Объектом исследования в этом случае является процесс радиолокационного гидрометеорологического мониторинга, а предметом исследования – устойчивость радиолокационного поля, образуемого системой радиолокационного гидрометеорологического мониторинга. Постановка и решение этой задачи являются актуальными, поскольку радиолокационная система гидрометеорологического мониторинга должна быть правильно построена с точки зрения системологии, что обеспечит ее длительную успешную эксплуатацию.

Цель и метод исследования

Цель исследования – обеспечение устойчивости радиолокационного поля при построении системы гидрометеорологического мониторинга – достигается на основе применения метода сравнительного анализа и количественной оценки параметров моделей различных вариантов построения радиолокационного поля.

Описание исследования и анализ его результатов

Одна радиолокационная станция образует зону обзора или зону наблюдения (рис. 1,*а* – трехмерное изображение зоны обзора, рис. 1,*б* – вертикальная проекция горизонтального сечения зоны обзора на определенной высоте). А множество радиолокационных станций образуют радиолокационное поле (рис. 2,*а* – трехмерное изображение радиолокационного поля, рис. 2,*б* – вертикальная проекция горизонтального сечения радиолокационного поля на определенной высоте).



Рис. 1

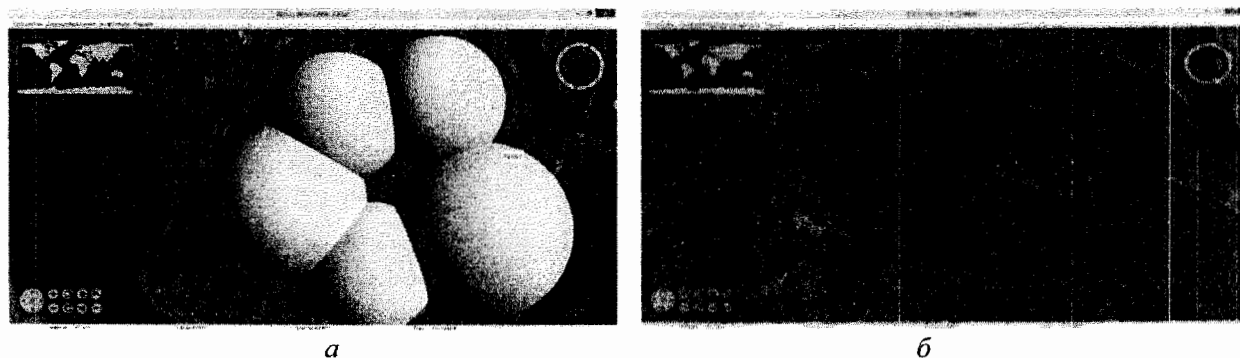


Рис. 2

Устойчивость радиолокационного поля оценим следующим образом. Расположим некоторое количество радиолокаторов (для примера – 16) в вершинах стыкованной системы трех геометрических фигур: равносторонних треугольников, квадратов и шестиугольников (рис. 3). Рассчитаем размеры обслуживаемой площади, т.е. площади, занимаемой вертикальной проекцией горизонтального сечения радиолокационного поля на определенной высоте для системы из 16 радиолокаторов. Результаты этих расчетов дадут возможность оценить площадь, приходящуюся на один радиолокатор, количество радиолокаторов, приходящихся на единицу обслуживаемой площади и относительное изменение размеров обслуживаемых площадей при различном расположении радиолокаторов. Затем симитируем выход из строя в произвольном порядке некоторой части (двух, четырех, шести, восьми, десяти) имеющихся в системе радиолокаторов. После чего оценим размеры обслуживаемых площадей при получившемся прореживании радиолокационного поля. Полученные данные

позволят оценить относительное уменьшение обслуживаемой площади при выходе из строя некоторой части радиолокаторов в зависимости от их размещения. В целом результаты исследования дадут возможность оценить степень устойчивости радиолокационного поля системы гидрометеорологического мониторинга при различных вариантах размещения радиолокаторов и сделать вывод о предпочтительном способе обеспечения устойчивости радиолокационного поля.

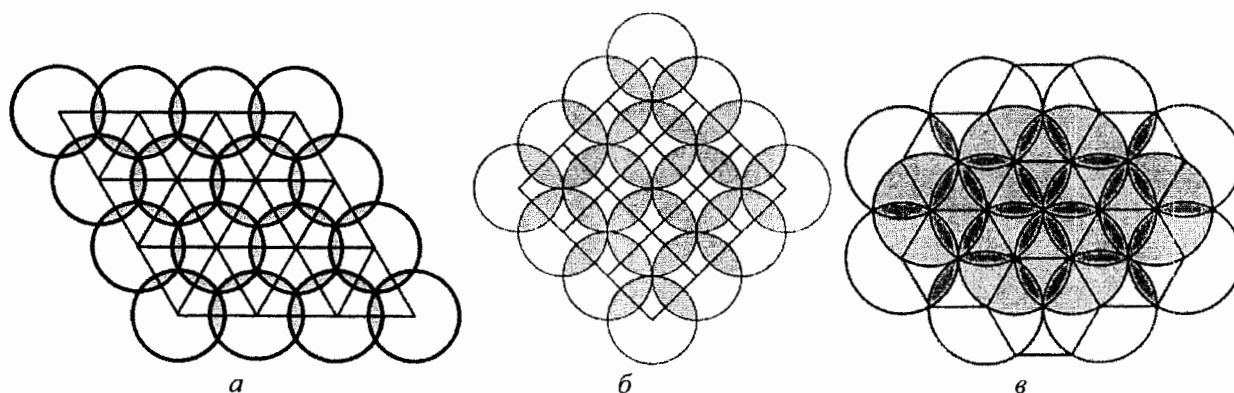


Рис. 3

При вычислении обслуживаемой площади для пары радиолокаторов $S_{\text{обсл } 2}$ (рис. 4,а) нужно учесть то обстоятельство, что зоны наблюдения отдельных радиолокаторов накладываются и обслуживаемая ими площадь будет состоять из суммы площадей зон наблюдения отдельных радиолокаторов $S_{\text{обсл } 1}$ без площади получившихся в результате наложения двух сегментов с площадью $S_{\text{сегм}}$ каждый (светло-серый сегмент принадлежит зоне наблюдения правого радиолокатора, а темно-серый сегмент принадлежит зоне наблюдения левого радиолокатора), как показано на рис. 4,б.

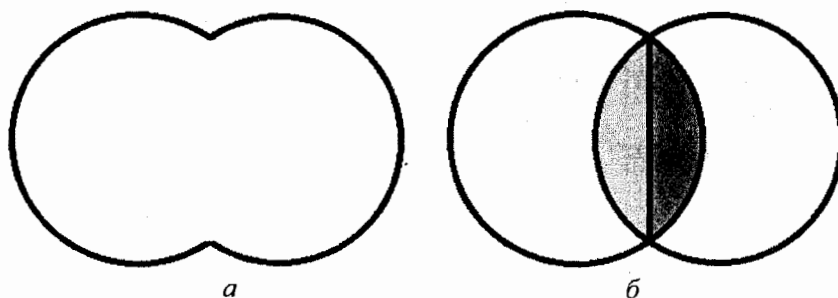


Рис. 4

Эти рассуждения можно распространить и на произвольное число радиолокаторов с пересекающимися зонами наблюдения. В результате получим:

$$S_{\text{обсл } k} = \sum_{i=1}^k S_{\text{обсл } i} - \sum_{j=1}^l S_{\text{сегм } j}, \quad (1)$$

где $S_{\text{обсл } k}$ – площадь, обслуживаемая k радиолокаторами, $S_{\text{обсл } i}$ – площадь, обслуживаемая отдельным i -м радиолокатором из k , $S_{\text{сегм } j}$ – площадь j -го сегмента пересечения из l .

Следует отметить, что второй член в правой части выражения существует только при наличии сегментов пересечений зон наблюдения и количество сегментов пересечений не равно количеству радиолокаторов. Кроме того, площадь сегмента пересечения зависит от количества вершин многоугольника (его порядка – n) в которых размещаются радиолокаторы, поскольку перекрытие в этих случаях будет разным.

При расположении радиолокаторов в вершинах равносторонних треугольников (рис. 3, а) обслуживаемая площадь, как было отмечено выше, будет состоять из суммы площадей зон наблюдения шестнадцати радиолокаторов без 33 элементов пересечения или

66 сегментов пересечения. Поскольку зоны наблюдения всех радиолокаторов одинаковы с радиусом R , то сегменты пересечения тоже будут одинаковыми. Площадь круга и сегмента находится несложно. Из [6] они соответственно равны: $S_{кр} = \pi R^2$ и $S_{сегм} = \frac{R^2}{2} \left(\pi \frac{\alpha^2}{180^2} - \sin \alpha^{\circ} \right)$. Здесь R – дальность действия радиолокатора, α – центральный угол, который опирается на сегмент, образующийся при пересечении двух зон наблюдения радиолокаторов. Расчеты для α были проведены в [7] и дали результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Расположение радиолокаторов в вершинах		
равностороннего треугольника	квадрата	правильного шестиугольника
$\alpha = 60^{\circ}$	$\alpha = 90^{\circ}$	$\alpha = 120^{\circ}$

При расчете получаем сумму всех шестнадцати площадей зон наблюдения равной $50,27 \cdot R^2$, и сумму всех 66 сегментов пересечения равной $5,97 \cdot R^2$. В результате при размещении радиолокаторов в вершинах треугольников получим значение обслуживаемой площади $S_{обсл\ 16тр} = 44,3 \cdot R^2$.

Аналогично проводим расчеты при размещении радиолокаторов в вершинах квадратов (рис. 3,б). Отличием от предыдущего варианта расположения является то, что количество сегментов пересечения равно 48 и угол $\alpha = 90^{\circ}$ (из табл. 1). При расчете получаем сумму всех шестнадцати площадей зон наблюдения, равную $50,27 \cdot R^2$, и сумму всех 48 сегментов пересечения, равную $13,68 \cdot R^2$. В результате при размещении радиолокаторов в вершинах квадратов получим значение обслуживаемой площади $S_{обсл\ 16кв} = 36,6 \cdot R^2$.

Похожим образом проводим расчеты при размещении радиолокаторов в вершинах шестиугольников (рис. 3,в). Отличие от предыдущих вариантов расположения заключается в том, что количество сегментов пересечения зон наблюдения радиолокаторов, находящихся в вершинах одного и того же ребра шестиугольника, равно 32 (на рис. 3,в – светло-серый тон) и угол $\alpha = 120^{\circ}$. Это большие сегменты. Но в этом варианте расположения присутствуют сегменты пересечения зон наблюдения радиолокаторов, которые не находятся на одном ребре шестиугольника. Это малые сегменты. Таких сегментов 56 (выделены на рис. 3,в более темным тоном) и для них угол $\alpha = 60^{\circ}$, т.к. они оказываются в вершинах вписанных в шестиугольник равносторонних треугольников. Причем, часть из них попадает внутрь 32 больших сегментов (таких малых сегментов 48 – на рис. 3,в это более темные сегменты, находящиеся на фоне больших более светлых сегментов) и их площадь не нужно вычитать из общей площади, поскольку она будет вычтена за счет большого сегмента. А часть малых сегментов не накладывается на большие сегменты (таких малых сегментов 8), поэтому их площадь нужно вычитать из общей площади. С учетом приведенных рассуждений при расчете получаем сумму всех шестнадцати площадей зон наблюдения, равную $50,27 \cdot R^2$, сумму площадей всех 32 больших сегментов пересечения, равную $19,65 \cdot R^2$, сумму площадей 8 малых сегментов пересечения, равную $0,72 \cdot R^2$. В результате при размещении радиолокаторов в вершинах шестиугольников получим значение обслуживаемой площади $S_{обсл\ 16шш} = 29,9 \cdot R^2$.

Полученные результаты и дополнительно рассчитанные параметры сведем в табл. 2.

Таблица 2

Параметры	Расположение радиолокаторов в вершинах		
	равностороннего треугольника	квадрата	правильного шестиугольника
Обслуживаемая площадь	$44,3 \cdot R^2$	$36,6 \cdot R^2$	$29,9 \cdot R^2$
Площадь, приходящаяся на один радиолокатор	$2,77 \cdot R^2$	$2,29 \cdot R^2$	$1,87 \cdot R^2$
Количество радиолокаторов, приходящихся на единицу площади	$0,36 \cdot R^{-2}$	$0,44 \cdot R^{-2}$	$0,54 \cdot R^{-2}$

Задав значение дальности действия радиолокатора, легко получить значения параметров, приведенных в табл. 2, и использовать их для дальнейших расчетов. Например, задавшись дальностью действия радиолокатора в 100 км, получим количество радиолокаторов на единицу площади. Оно будет равно $0,36 \cdot 10^{-4} \text{ км}^{-2}$ при расположении радиолокаторов в вершинах треугольников и $0,54 \cdot 10^{-4} \text{ км}^{-2}$ – при расположении радиолокаторов в вершинах шестиугольников. Для обслуживания территории размером примерно 580 тыс. км² в первом случае понадобится 21 радиолокатор, а во втором – 32 радиолокатора. Эти показатели оценочные, поскольку при подобных расчетах нужно учитывать следующие обстоятельства. При построении реальных систем радиолокационного мониторинга местоположение радиолокатора определяется местностью и не удастся расположить их геометрически правильно. Кроме того, форма контролируемой территории, как правило, является неправильной, с выступами и впадинами, которые дополнительно и еще более существенно нарушают геометрическую правильность построения системы. Поэтому, на основе проведенного полунатурного моделирования [8] можно сказать, что полученные значения для количества радиолокаторов нужно умножать на коэффициент 1,4 – 1,43 в зависимости от степени нарушения правильности геометрии расположения радиолокаторов.

Представляет интерес, с экономической точки зрения, знание относительного изменения обслуживаемой площади при различных вариантах расположения радиолокаторов, определяемых порядком многоугольника n . При вычислении относительных изменений площадей в качестве опорной примем площадь, обслуживаемую системой с радиолокаторами, расположенными в вершинах треугольников ($n=3$). Результат представлен на рис. 5.

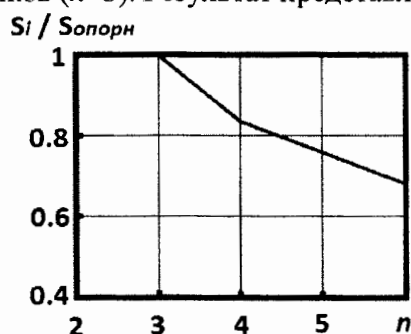


Рис. 5

Видно, что при увеличении порядка многоугольника, в вершинах которого расположены радиолокаторы, происходит уменьшение размера обслуживаемой площади. Так, при $n=4$ обслуживаемая площадь составляет 83 % от площади, обслуживаемой при $n=3$, а при $n=6$ обслуживаемая площадь составляет уже 68 % от опорной.

Оценим относительное уменьшение обслуживаемой площади при выходе из строя по любым причинам части радиолокаторов. Для этого выполним расчеты для всех вариантов расположения радиолокаторов, рассчитав значения обслуживаемых площадей, получающихся в системе из 16 радиолокаторов при уменьшении в произвольном порядке их количества на два, четыре, шесть, восемь, десять (рис. 6, 7, 8). При расчетах будем учитывать все соображения, приведенные выше, а результаты расчетов сведем в табл. 3.

Таблица 3

Расположение радиолокаторов в вершинах	Обслуживаемая площадь при указанном количестве радиолокаторов /Доля обслуживаемой площади при указанном количестве радиолокаторов в сравнении с площадью, обслуживаемой всеми радиолокаторами					
	16	14	12	10	8	6
равностороннего треугольника	$44,3 \cdot R^2$ /1	$39,8 \cdot R^2$ /0,9	$35,0 \cdot R^2$ /0,79	$29,6 \cdot R^2$ /0,67	$24,2 \cdot R^2$ /0,55	$18,9 \cdot R^2$ /0,43
квадрата	$36,6 \cdot R^2$ /1	$33,2 \cdot R^2$ /0,91	$30,3 \cdot R^2$ /0,83	$27,4 \cdot R^2$ /0,75	$24,6 \cdot R^2$ /0,67	$18,9 \cdot R^2$ /0,52
правильного шестиугольника	$29,9 \cdot R^2$ /1	$28,2 \cdot R^2$ /0,94	$24,7 \cdot R^2$ /0,83	$23,8 \cdot R^2$ /0,8	$22,5 \cdot R^2$ /0,75	$18,3 \cdot R^2$ /0,61

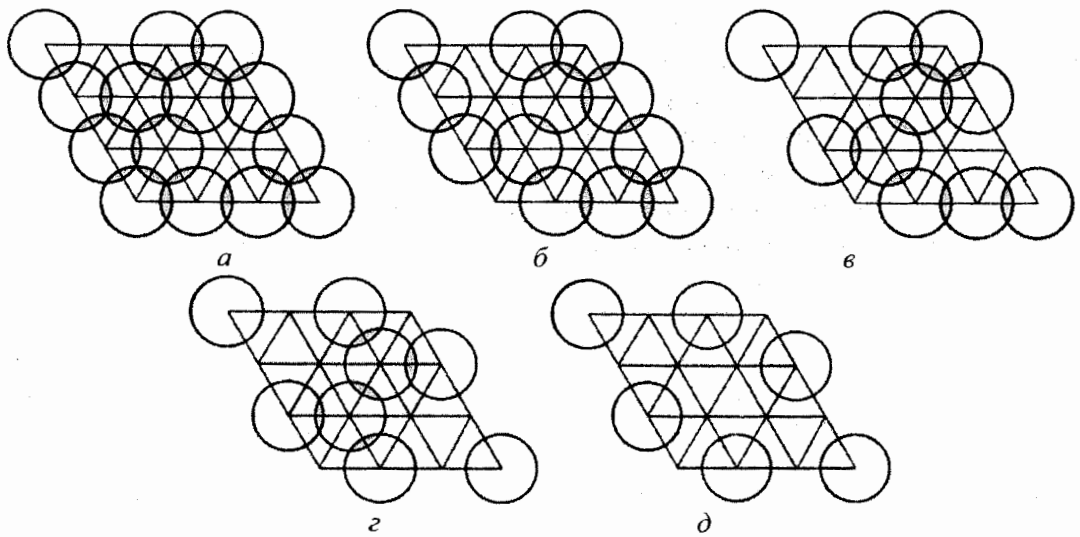


Рис. 6

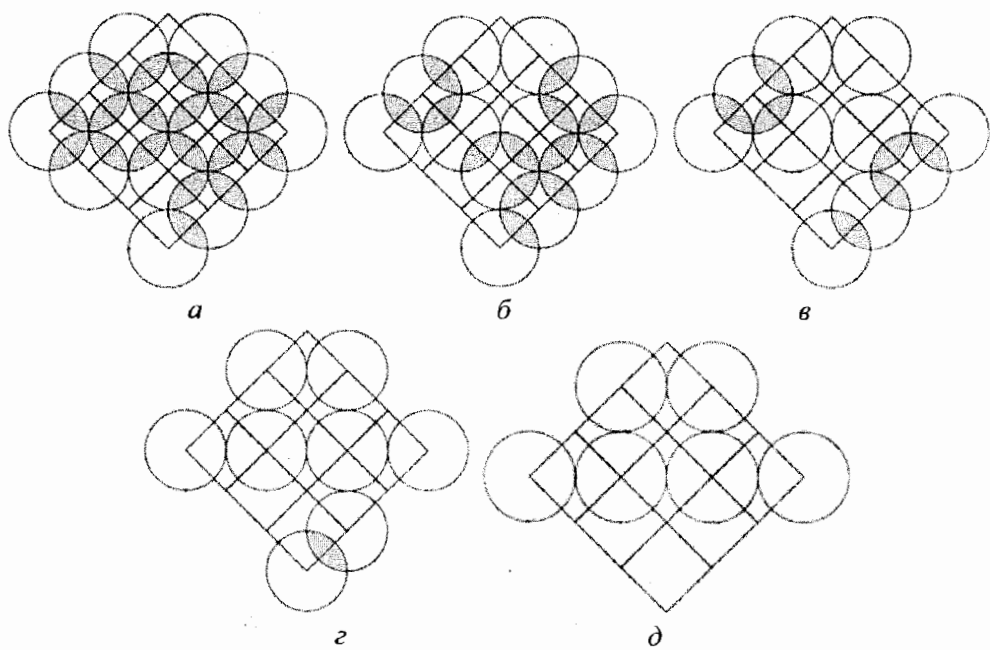


Рис. 7

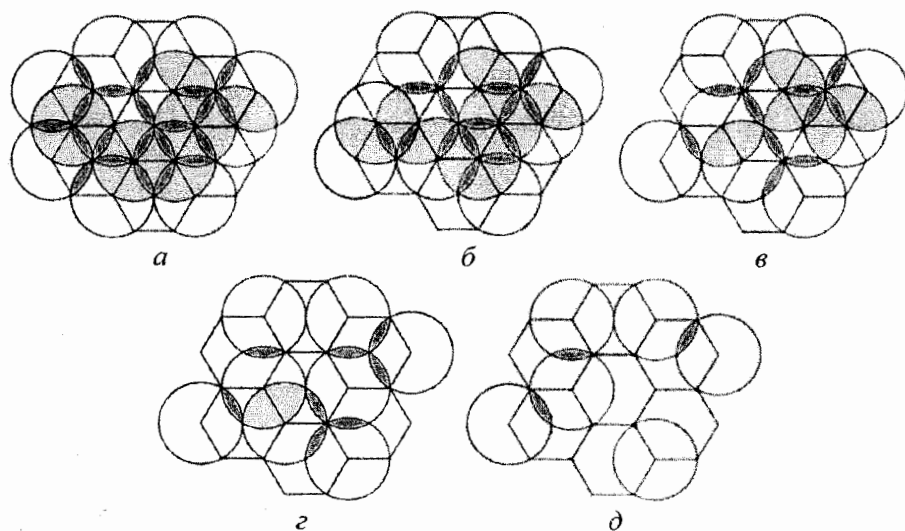


Рис. 8

На основании данных из табл. 3 графически отобразим относительное уменьшение обслуживаемой площади при выходе из строя некоторой части радиолокаторов в зависимости от их размещения. Результат представлен на рис. 9.

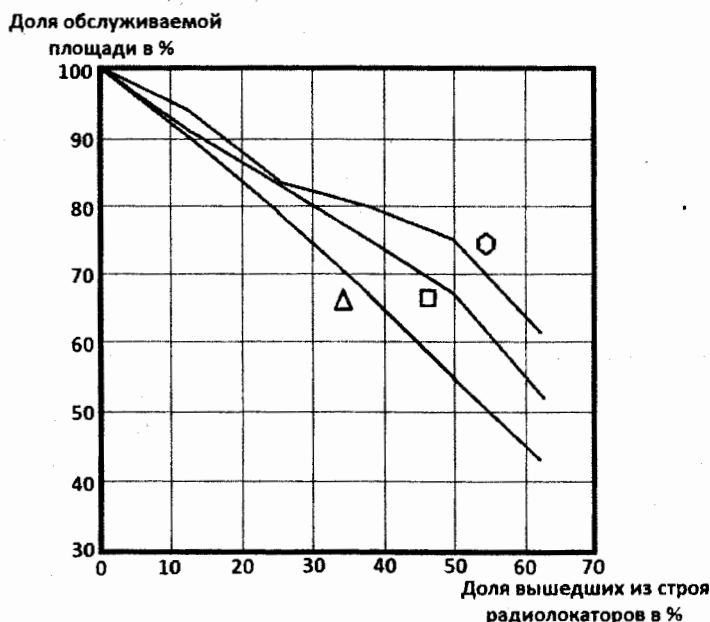


Рис. 9

Некоторая неровность хода графиков определяется случайностью выбора вышедших из строя радиолокаторов. Анализ графика показывает, что при потере 50 % радиолокаторов доля обслуживаемой площади при расположении радиолокаторов в вершинах шестиугольника будет на 20 % больше по сравнению с расположением в вершинах треугольников.

Выводы

Таким образом, результаты проведенных исследований дали возможность оценить степень устойчивости радиолокационного поля системы гидрометеорологического мониторинга при различных вариантах размещения радиолокаторов. Наибольшая системная устойчивость достигается при построении системы мониторинга с размещением радиолокаторов в вершинах шестиугольника. Поэтому при наличии требования высокой устойчивости такой способ построения системы является предпочтительным.

Список литературы:

1. Pereygin 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.
2. Перельгин Б.В. Реализация системного подхода при создании радиолокационной системы метеорологического мониторинга // Радиотехника. 2017. № 190. С. 13–21.
3. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Ваксенбург С.И., Шевела Г.Ф. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1980. 231 с.
4. Ермак С.Н. Тактика радиотехнических войск. Минск : БГУИР, 2010. 281 с.
5. Основы построения РЛС РТВ ; под ред. Б.Ф. Бондаренко. К. : Изд. КВИРТУ ПВО, 1987. 368 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва : Наука, 1984. 832 с.
7. Перельгин Б.В., Лужбин А.М. Построение сплошного радиолокационного поля системы гидрометеорологического мониторинга на основе геометрического подхода // Радиотехника. 2017. № 191. С. 173–180.
8. Удосконалення методів побудови систем одержання і обробки вимірювальної інформації з метою моніторингу навколишнього середовища: наук.-техн. звіт (номер держ. реєстрації 0113U000164) / Одеський державний екологічний університет ; кер. Б.В. Перелигін. Одеса, 2013–2015.

Доведено практичну потребу інтеграції навігаційних даних, здобутих просторово-розосередженою мережею навігаційних систем служби регулювання руху суден у прибережних морських регіонах. Висвітлено наявність технічних передумов, потенційні можливості та концептуальні особливості практичної реалізації інтегральної обробки зазначених навігаційних даних. З позицій можливостей ефективної практичної реалізації розглянуто та співставлено різні відомі концептуальні підходи до створення таких систем. По даних навігаційних вимірювачів розроблено методику мультирадарної обробки результатів навігаційних вимірювань. Проаналізовано характеристики точності. Запропоновано метод та наведено результати експериментальних досліджень ефективності інтегральної обробки навігаційних даних вимірювальної інформації, яка належить різним вимірювачам, що підтвердило результати теоретичних досліджень. Представлені дані доводять, що поточні інтегральні оцінки розглянутого параметра мають мінімальні флуктуації, а їх середньоквадратичні похибки не перевищують аналогічні похибки кожного з парціальних каналів.

Л. 2. Бібліогр.: 20 назв.

UDC 621.396.969.18

Spatial integration of navigation data as efficient method to improve quality of vessel traffic services support / O.I. Kravchenko, K.A. Shcherbina, E.P. Msallam, M.A. Vonsovich // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2018. №192. P. 10 - 20.

Practical need for the integration of navigation data received by spatially-dispersed network of coast navigation stations of vessels traffic service in coastal regions has been proved. Technical supportability, potential and conceptual peculiarities of the integrated processing implementation of the abovementioned navigation data have been outlined. Perspectives of effective implementation of various well-known conceptual approaches to the development of such systems have been compared and analyzed. The functional scheme of the working automated radio system with a multi radar data processing subsystem has been developed. Its accuracy has been analyzed. The method has been offered and the experimental studies results have been cited to prove the effectiveness of the navigation data integrated processing to support the theoretical expectations. The presented data show that the current integral of the error parameter is considered to have minimal fluctuations, and the standard error shall not exceed the corresponding errors of each of the partial channels.

2 fig. Ref.: 20 items.

УДК 621.396.96:504.064.3

Обеспечение устойчивости радиолокационного поля при построении системы гидрометеорологического мониторинга / Б.В. Перельгин // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2018. Вып. 192. С. 21 - 27.

На примере модели радиолокационного поля, образуемого группой метеорологических радиолокаторов, рассчитываются характеристики радиолокационного поля при различных вариантах расположения радиолокаторов, основанных на геометрическом подходе. Для каждого из вариантов построения поля имитируется выход из строя части радиолокаторов и количественно оценивается степень устойчивости сплошного радиолокационного поля при выходе из строя части радиолокаторов. Даются рекомендации по построению системно устойчивого радиолокационного поля.

Ключевые слова: радиолокационная система гидрометеорологического мониторинга, радиолокационное поле, устойчивость.

Табл. 3. Ил. 9. Библиогр.: 8 назв.

УДК 621.396.96:504.064.3

Забезпечення стійкості радіолокаційного поля при побудові системи гідрометеорологічного моніторингу / Б.В. Перельгин // Радиотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2018. Вип. 192. С. 21 - 27.

На прикладі моделі радіолокаційного поля, створюваного групою метеорологічних радіолокаторів, розраховуються характеристики радіолокаційного поля при різних варіантах розташування радіолокаторів, заснованих на геометричному підході. Для кожного з варіантів побудови поля імітується вихід зі строю частини радіолокаторів і кількісно оцінюється ступінь стійкості суцільного радіолокаційного поля при виході зі строю частини радіолокаторів. Надаються рекомендації з побудови системно стійкого радіолокаційного поля.

Ключові слова: радіолокаційна система гідрометеорологічного моніторингу, радіолокаційне поле, стійкість.

Табл. 3. Іл. 9. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 621.396.96:504.064.3

Ensuring stability of radar field when creating hydrometeorological monitoring system / B.V. Perelygin // Radiotekhnika : All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2018. №192. P. 21 - 27.

Based on the model of the radar field formed by a group of meteorological radars, the radar field characteristics are calculated for different radar location variants based on a geometric approach. A failure of a part of the radar is simulated for each of the field construction variants and the degree of stability of the continuous radar field is quantitatively assessed upon the failure of a part of the radar. Recommendations are given on the construction of a systematically stable radar field.

Keywords: radar hydrometeorological monitoring system, radar field, stability.

3 tab. 9 fig. Ref.: 8 items.