

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Мимріков Дмитро Олександрович



УДК 621.396.96

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ СИСТЕМ
МОНІТОРИНГУ ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСУВАННЯ ДАНИХ АКТИВНО-
ПАСИВНИХ ПАРЦІАЛЬНИХ КАНАЛІВ ЛОКАЦІЇ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: заслужений працівник освіти України,
доктор технічних наук, професор
Прудиус Іван Никифорович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
директор Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та
електронної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Семенко Анатолій Іларіонович,
Державний університет телекомунікацій,
професор кафедри телекомунікаційних систем

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Тимчук Володимир Юрійович,
Академія сухопутних військ
імені Гетьмана Петра Сагайдачного
старший науковий співробітник науково-дослідного відділу
Наукового центру Сухопутних військ

Захист відбудеться «27» червня 2014 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 218 XI корпусу.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів-13, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «22» травня 2014 р.

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., професор*



А.П. Бондарев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Багатоспектральні системи моніторингу знаходять широке застосування у народному господарстві (екології, сільському господарстві, транспорті, медицині тощо), науці та військовій техніці для виявлення, розпізнавання та ідентифікації повітряних, наземних і надводних об'єктів. Бурхливий розвиток нових технологій в галузях радіотехніки, обчислювальної техніки і програмного забезпечення призвів до можливості підвищення ефективності систем моніторингу об'єктів і сцен.

Вагомий внесок у дослідження і розвиток до побудови як активних, так і пасивних систем моніторингу об'єктів і сцен зробили українські та зарубіжні вчені: Авласенок А.В., Алексеєв Є.Г., Бистров Е.В., Волосюк В.К., Зеленський О.О., Зубков А.М., Карташов В.В., Клепфер Є.І., Кравченко В.Ф., Красюк Н.П., Прудіус І.Н., Соколов А.В., Хлопов Г.І., Ширман Я.Д., К.І. Batton, Merrill Skolnik, J.C. Wiltse та інші. У працях цих вчених показано, що інформація про об'єкти і сцени визначається результатами обробки даних кожного окремо взятого парціального каналу багатоспектральної системи. Ефективність такого підходу до одержання достовірної інформації є недостатньо високою, а крім того, значно збільшуються масо-габаритні параметри таких систем. Окрім того, спектральна область каналу спостереження визначає його переваги і недоліки при функціонуванні за різних погодних умов та часу доби, вимог до апаратурних засобів тощо.

Саме в цілях поєднання інформаційних та експлуатаційних переваг каналів спостереження різних ділянок спектру електромагнітних хвиль (ЕМХ) в єдиній інтегрованій системі доцільно розробити методи та алгоритми підвищення ефективності систем моніторингу. Зазначене поєднання є можливим через комплексування активних і пасивних каналів зондування, яке полягає у сукупності рішень на програмному та апаратному рівнях, тобто конструктивне і інформаційне комплексування.

Впровадження інтегрованих активно-пасивних систем моніторингу, які працюють у різних спектральних діапазонах, дозволить на якісно новому рівні розв'язати задачі виявлення об'єктів за довільних погодних умов (контроль руху в межах аеропортів, морських та річкових портів тощо), картографування (міських районів з метою моніторингу навколишнього середовища, водної поверхні, берегових ліній акваторій із складним рельєфом тощо), оцінювання зображень об'єктів з метою їх подальшого розпізнавання.

Таким чином, наявні підстави стверджувати, що проблеми удосконалення та розробки нових методів, алгоритмів і засобів підвищення ефективності багатоспектральних систем моніторингу, здатних ефективно працювати в довільний час доби та за складних погодних умов, є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати теоретичних і практичних досліджень, які наведені в дисертаційній роботі, виконані автором у Національному університеті «Львівська політехніка».

Дисертаційні дослідження були проведені на кафедрі «Радіоелектронні пристрої та системи» при виконанні таких держбюджетних науково-дослідних робіт:

- «Розробка методів синтезу інтегрованих інформаційних каналів багатоспектральних систем моніторингу об'єктів»; № держреєстрації 0104U002322, 2004–2006 рр.;

- «Розробка принципів побудови інтегрованих активно-пасивних засобів радіомоніторингу мікрохвильового діапазону»; № держреєстрації 0107U000827, 2007–2009 рр.;

- «Розробка методологічних основ побудови адаптивних багатоспектральних засобів спостереження в системах моніторингу і управління для розв'язку загальноінженерних і спеціальних задач»; № держреєстрації 0110U001104, 2010–2012 рр.;

- «Розробка засад застосування та обробки сигналів перспективних сенсорів для космічних апаратів і для наземних камер»; № держреєстрації 0113U001355, 2013–2014 рр.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційних досліджень є підвищення ефективності систем моніторингу (підвищення ймовірностей виявлення, точності оцінки координат об'єктів на фоні завад чи шуму, зменшення масогабаритних параметрів) на основі розробки інтегрованої активно-пасивної електродинамічної структури, розробки моделей формування зображень парціальними каналами, методів та алгоритмів формування комплексного зображення.

Для досягнення сформульованої мети в роботі розв'язано наступні задачі:

- аналіз відомих систем моніторингу об'єктів і сцен та обґрунтування доцільності і технічних вимог до побудови та удосконалення інтегрованих багатоспектральних активно-пасивних систем моніторингу мікрохвильового діапазону;

- синтез узагальненої інтегрованої структури активно-пасивної системи радіомоніторингу;

- розробка моделі процесу формування зображень об'єктів складної форми в радіометричному (РМ) та радіолокаційному (РЛ) каналах;

- розробка геометрії та математичної моделі процесу формування поля випромінювання параболоїдної антени (ПА) зі зміщеним опромінювачем при використанні методу апертурного аналізу та принципів геометричної оптики для побудови інтегрованої електродинамічної структури системи моніторингу;

- синтез інтегрованої електродинамічної структури системи моніторингу за заданою діаграмою напрямленості (ДН), що забезпечує взаємоюстування парціальних каналів локації та зменшення часу огляду;

- розробка методу та алгоритму формування комплексного зображення активно-пасивною системою радіомоніторингу.

Об'єктом дослідження є процес формування та обробки даних дистанційного зондування об'єктів і сцен в багатоканальних системах моніторингу.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби підвищення ефективності інтегрованих багатоспектральних систем моніторингу об'єктів і сцен.

Методи дослідження: методи теорії радіотехнічних систем, статистичної теорії прийому сигналів, теорії електромагнітних хвиль й антен, цифрової обробки сигналів та зображень, числового аналізу та комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Розроблено нові моделі процесу формування взаємоюстованих РЛ та РМ зображень, які враховують параметри сцен, об'єктів, середовища поширення ЕМХ і характеристики системи моніторингу;

2. Отримала подальший розвиток теорія апертурного синтезу ПА та розроблено алгоритм із застосуванням принципів геометричної оптики на основі удосконалення геометрії та математичної моделі процесу формування поля випромінювання ПА з довільно зміщеним відносно осі опромінювачем, що дозволяє синтезувати інтегровану електродинамічну структуру за заданою ДН в значно ширшій кутовій області;

3. Вперше розроблено метод, на основі якого створено алгоритм комплексування даних, отриманих РЛ та РМ каналами інтегрованої двоспектральної системи моніторингу, який забезпечує підвищення ймовірнісних характеристик виявлення об'єктів та їх розділення на фоні адитивного шуму;

4. Вперше розроблено новий метод виявлення протяжних об'єктів та їх розділення на основі зв'язності точок сцени спостереження та розраховано ймовірності хибної тривоги та правильного виявлення в залежності від відношення сигнал/шум для РМ і РЛ каналів на основі результатів числового моделювання.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено нову структуру багатоспектральної системи моніторингу об'єктів і сцен мікрохвильового діапазону з інтегрованою електродинамічною структурою для активного та пасивного каналів локації, яка покращує характеристики спостереження об'єктів на фоні завад;

2. На базі теоретичних досліджень розроблено нову структурну схему інтегрованої багатоспектральної активно-пасивної системи моніторингу з підвищеною інформативністю та завадозахищеністю;

3. Розроблено геометрію та математичну модель процесу формування РЛ та РМ зображень з урахуванням параметрів об'єктів, середовища поширення хвиль та характеристик і параметрів антени, що дозволяє з подальшою обробкою комплексувати дані та оцінити параметри систем на етапі проектування;

4. Запропоновано інтегровану схему діаграмоутворення із взаємоюстованими парціальними каналами локації мікрохвильового діапазону і розроблено для неї алгоритм синтезу, що дає можливість за заданими вимогами створювати антени з відповідними ДН та значно покращувати електричні параметри антени і масогабаритні параметри системи моніторингу в цілому;

5. Розроблено структурну схему процесорного модуля цифрової обробки сигналів, яка реалізує алгоритм комплексування даних активного і пасивного каналів, що покращує параметри виявлення об'єктів на фоні адитивного шуму.

Теоретичні положення та розроблені в дисертації пропозиції є важливим внеском у систему знань про процеси формування та обробки сигналів в інтегрованих системах моніторингу об'єктів і сцен. Розроблені моделі, алгоритми та прикладні програми формування і обробки зображень можуть бути використані для оцінки параметрів виявлення об'єктів та покладені в методологію створення інтегрованих систем з комплексуванням даних парціальних каналів. Результати проведених досліджень використовувалися в навчальному процесі при підготовці фа-

хівців з напрямку «Радіотехніка» у Національному університеті «Львівська політехніка», при створенні систем моніторингу у Державному науково-дослідному центрі надпровідникової радіоелектроніки «Айсберг» (Київ) і Державному підприємстві «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут», вони можуть знайти практичне застосування в Інституті радіофізики та електроніки імені О.Я. Усикова НАН України, Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного (Львів) та в інших наукових і проектних організаціях.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, що становлять основу дисертаційної роботи, були сформульовані та одержані автором самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належать:

- [11, 18, 19, 26, 27] – розробка структурної схеми інтегрованої активно-пасивної системи моніторингу;
- [3, 4, 5, 20, 23] – створення моделі процесу формування РЛ і РМ зображень системи моніторингу та виявлення об'єктів на фоні адитивної завади;
- [1] – побудова геометрії та розробка математичної моделі формування поля випромінювання ПА зі зміщеним опромінювачем;
- [9, 10, 13, 17] – розробка алгоритму синтезу інтегрованої електродинамічної структури діаграмоутворення системи моніторингу;
- [16, 21, 22, 24, 25] – синтез алгоритму комплексування даних РЛ і РМ каналів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень, представлені у дисертаційній роботі, були апробовані на наступних заходах: Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций», Севастополь, 2007 р., 2008 р., 2009 р., 2011 р., 2013 р.; Міжнародній конференції «Antenna Theory and Techniques», Львів, 2009 р., Київ, 2011 р.; Міжнародній Кримській конференції «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Севастополь, 2010 р., 2011 р., 2012 р., 2013 р.; Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті», Харків, 2010 р., 2011 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science», с. Славсько Львівської області, 2010 р., 2012 р.; Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», Харків, 2011 р.; Міжнародній конференції «Metrologia Wspomagana Komputerowo», Ваплево, Польща, 2011 р.; Міжнародному радіолокаційному симпозиуму (IRS), Варшава, Польща, 2012 р.; Міжнародному семінарі «Computational Problems of Electrical Engineering», Грибов, Польща, 2012 р.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 28 друкованих праць: 4 – у фахових наукових виданнях [1–4], 1 – у науковому періодичному виданні [5] включеному до міжнародних науково-метричних баз, 21 є матеріалами і тезами на міжнародних науково-технічних конференціях, симпозиумах та форумах [6–26], 2 – матеріалах патентів України на винахід [27, 28].

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 164 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 215 сторінок, із них 150

сторінок – основний текст, в тексті наведено 94 рисунки та 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, відображено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також наведено відомості про особистий внесок здобувача і апробацію результатів дисертації, показано структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** – «Аналіз систем моніторингу об'єктів і сцен» – проведено аналіз та класифікацію систем моніторингу об'єктів і сцен в різних спектральних діапазонах. На основі огляду вітчизняних та зарубіжних джерел проведено порівняльний аналіз параметрів різних спектральних каналів спостереження та виділено переваги і недоліки кожного з каналів. Так, для спостереження за об'єктами за різних погодних умов актуально використовувати активні (радіолокаційні) системи, які дозволяють визначити дальнісні координати об'єкта, його швидкість руху, однак, у них відсутня скритність роботи та є необхідність забезпечувати відповідну енергетику сигналу випромінювання. Пасивна система моніторингу через відсутність джерел випромінювання є скритною в роботі, хоча не дозволяє вимірювати дальнісні і швидкісні характеристики об'єктів.

Поєднання активної і пасивної системи, тобто створення інтегрованої системи з активними і пасивними каналами різного спектрального діапазону, суттєво підвищить ефективність моніторингу в цілому, особливо при спостереженні в різний час доби та за різних погодних умов, і підвищить завадозахищеність системи в цілому.

В аналізі показано, що час огляду існуючих пасивних локаційних систем є значно більшим за час огляду активних. Збільшити швидкість огляду пасивного каналу можна використовуючи багатоканальні системи при змішаному типі огляду, наприклад, при багатоканальному одночасному огляді за кутом місця з послідовним оглядом за азимутом.

Показано, що одним із напрямків підвищення ефективності, а саме покращення точності вимірювання просторових координат, підвищення ймовірності виявлення та розпізнавання об'єктів, підвищення завадостійкості і скритності роботи та зменшення масогабаритних характеристик, є створення інтегрованих багатоспектральних систем, які працюють у мікрохвильовому діапазоні. Для створення таких систем необхідно:

- як основний канал вибрати активний, який дає можливість формувати поперечні і дальнісні «портрети» та визначати швидкість руху об'єкта;
- активний канал вибрати більш високочастотним для забезпечення високої роздільної здатності за віддаллю та доплерівської чутливості;
- передбачити як додаткові канали спостереження РМ, оптичний або інфрачервоний канали, або їх одночасне поєднання;
- забезпечити взаємоюстування активного і пасивного каналів локації за кутовими координатами, для чого необхідно використати єдину електродинамічну структуру діаграмоутворення з єдиним оптичним центром;
- забезпечити форматне і масштабне суміщення при сумірному часі форму-

вання зображень;

- розробити моделі, методи та алгоритми формування і обробки сигналів в парціальних каналах;
- розробити метод, алгоритм та програмні засоби комплексування сигналів парціальних каналів.

У **другому розділі** – «Формування зображень об'єктів і сцен парціальними каналами інтегрованої активно-пасивної системи» – представлено нові структурні схеми інтегрованих систем радіомоніторингу та нова математична модель формування зображень об'єктів і сцен активними та пасивними каналами системи радіомоніторингу.

Синтезована в роботі узагальнена структура інтегрованої активно-пасивної системи радіомоніторингу зображена на рис. 1.

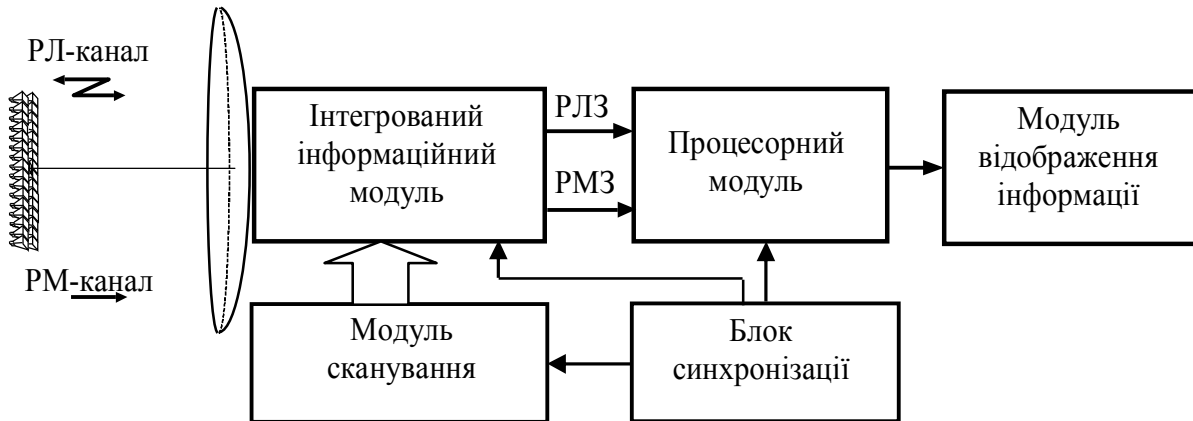


Рис. 1. Узагальнена структурна схема інтегрованої активно-пасивної системи радіомоніторингу (РЛЗ і РМЗ – РЛ і РМ зображення відповідно)

Інтегрований інформаційний модуль містить: єдиний діаграмоутворюючий пристрій РЛ і РМ каналів, когерентно-імпульсний передавач/приймач РЛ каналу, багатоканальний радіометр.

Основними вимогами до інтегрованих схем діаграмоутворення (антен) є забезпечення сумірності високих кутових роздільних здатностей, сумірності часу формування та одержання кінцевого зображення об'єктів і сцен, юстування парціальних каналів та синхронізації сканування, оптимальні економічні та масогабаритні показники при заданих енергетичних параметрах.

Процесорний модуль реалізує алгоритми комплексної обробки РЛЗ і РМЗ, який в загальному випадку включає: форматне й масштабне суміщення РЛЗ і РМЗ, фільтрацію шумів, компенсацію відносного дрейфу оптичних осей РЛ і РМ каналів та комплексування – одержання із РЛЗ й РМЗ інтегрованого зображення.

На основі зображеної на рис. 1 узагальненої структури запропонована структурна схема інтегрованої системи радіомоніторингу описана у заявці на винахід (патент України № 91299, 2010 р.), яка забезпечує прийняття сигналів, первинну обробку, формування та обробку зображень парціальними активним і пасивним каналами (рис. 2).

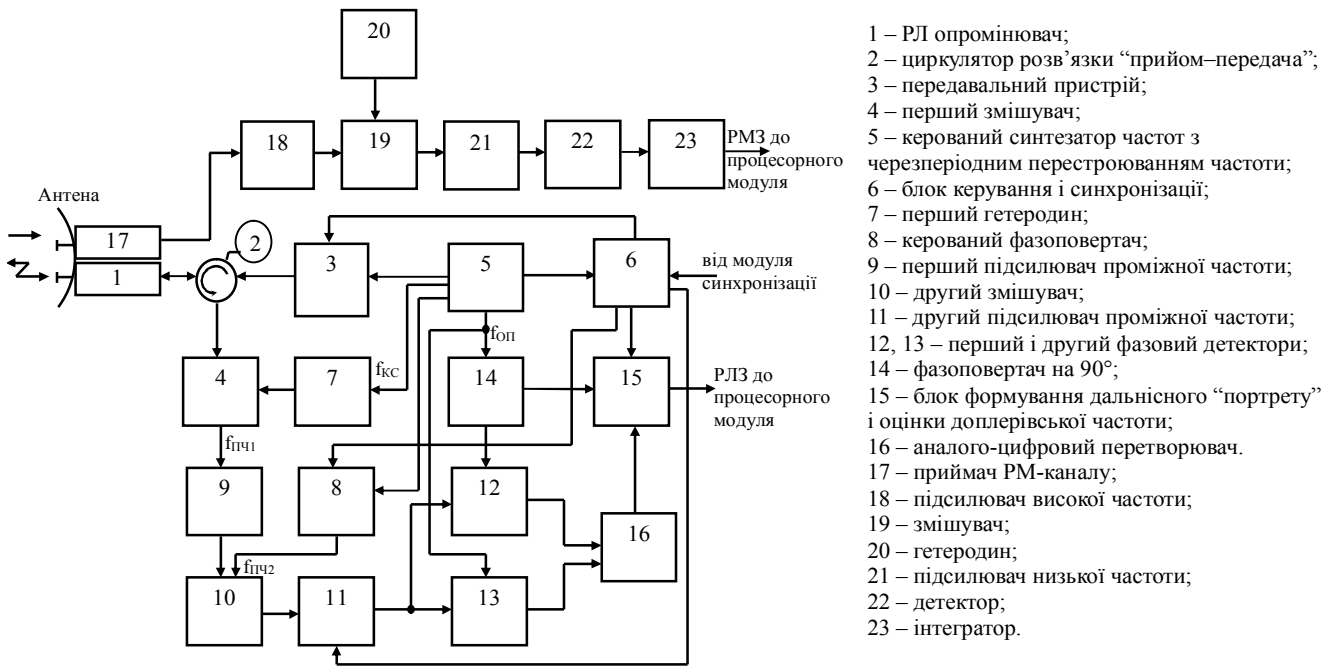


Рис. 2. Структурна схема інтегрованої системи радіомоніторингу

Також в розділі описані нові дискретні моделі процесу формування та створення взаємоюстованих зображень об'єктів складної форми різними спектральними каналами системи моніторингу, які розроблені з використанням методу розбиття поверхні об'єкта на елементарні трикутники, що дає можливість використати єдину базу даних при числовому моделюванні.

Відомо, що фізичним джерелом для РЛЗ та РМЗ є частина плоского фронту ЕМХ, яка приймається антеною системи радіомоніторингу. Однак фізичні процеси для РЛ і РМ каналів є суттєво різними.

Так, у РМ каналі приймається поле, створене безпосередньо формоутворювальною поверхнею об'єкта спостереження, яка має фізичну температуру більшу за 0°К. У цьому випадку параметри ЕМХ визначаються тільки фізичними та геометричними властивостями об'єкта спостереження.

$$I_{\text{РМ}}(\Omega_{\text{СК}}) = \int_0^{\tau_{\text{нак}}} \int_{\Omega_{\text{сцен}}} |\dot{F}_{\text{сист}}(\Omega - \Omega_{\text{СК}}, t)|^2 [T_{\text{сцен}}(\Omega) - T_{\text{ф}}(\Omega)] d\Omega dt + n(\Omega_{\text{СК}}), \quad (1)$$

де $\Omega_{\text{СК}}$ – просторовий тілесний кут, за яким проводиться сканування головною пелюсткою ДН антени; $\tau_{\text{нак}}$ – час накопичення сигналу; $\Omega_{\text{сцен}}$ – просторовий тілесний кут, в межах якого проводиться сканування; Ω – просторовий тілесний кут сцени; $\dot{F}_{\text{сист}}(\Omega - \Omega_{\text{СК}}, t)$ – функція системи РМ каналу, яка враховує ДН, час накопичення тощо; $T_{\text{сцен}}(\Omega)$, $T_{\text{ф}}(\Omega)$ – розподіли радіояскравісної температури сцени і фону відповідно; $n(\Omega_{\text{СК}})$ – розподіл адитивних завад в приймальній частині системи.

Натомість, радіолокаційним каналом приймається ЕМХ, яка є частиною розсіяного поля формоутворювальною поверхнею спостережуваного об'єкта. При цьому параметри прийнятої ЕМХ, окрім фізичних та конструктивних (геометричних) властивостей формоутворювальної поверхні об'єкта, значною мірою визна-

чаються видом, параметрами та характеристиками зондуєного сигналу.

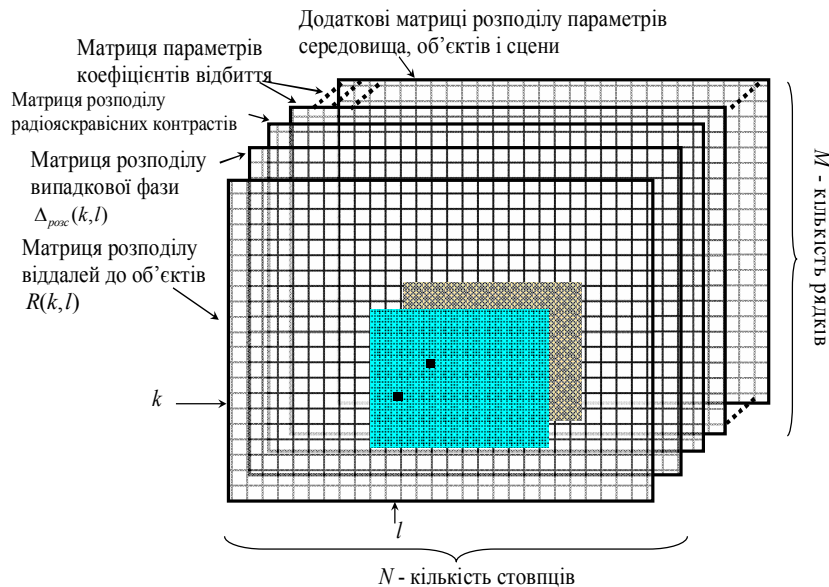
Інтенсивність сигналу РЛЗ (пікселя) $\dot{I}_{РЛ}(\Omega_{ск})$ визначається результатом підсумовування сигналів від багатьох точок в межах одного елемента розрізнення:

$$\dot{I}_{РЛ}(\Omega_{ск}) = \int_{\Omega_{сцен}} \dot{F}(\Omega - \Omega_{ск}) \cdot \frac{1}{2R(\Omega)} \cdot [\dot{k}_{відб}(\Omega, \Omega_{ск}) \cdot \dot{F}_{відб}(\Omega, \Omega_{ск}) \cdot e^{-2j \cdot \beta \cdot R(\Omega)} + (1 - \dot{k}_{відб}(\Omega, \Omega_{ск})) \cdot \dot{F}_{диф}(\Omega) \cdot e^{-2j \cdot \beta \cdot R(\Omega) + \Delta_{розс}(\Omega)}] d\Omega + n(\Omega_{ск}), \quad (2)$$

де $R(\Omega)$ – віддаль від точки спостереження до кожної точки на сцені; $\dot{k}_{відб}(\Omega, \Omega_{ск})$ – комплексний коефіцієнт відбиття для кожної точки сканування, який залежить від напрямку сканування, параметрів та структури поверхні об'єкта і сцени, довжини хвилі і виду її поляризації; $\dot{F}(\Omega - \Omega_{ск})$ – комплексна ДН антени; $\dot{F}_{відб}(\Omega, \Omega_{ск})$ – функція відбиття поверхні об'єктів, яка залежить від розподілу поля на поверхні об'єкту в напрямі сканування; $\dot{F}_{диф}(\Omega)$ – діаграма дифузного розсіювання об'єктів на сцені; $\Delta_{розс}(\Omega)$ – випадкова зміна фази сигналу, спричинена неоднорідністю об'єкта розсіювання, похибкою встановлення головного напрямку; $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ – фазовий коефіцієнт; λ_0 – робоча довжина хвилі.

Для моделювання процесу формування зображень розроблено тестову модель (рис. 3), яка є сукупністю матриць $Z_i[N \times M]$ (де N – кількість стовпців, M – кількість рядків), кожна з яких представляє собою набір значень i -тих параметрів в дискретному вигляді, що входять в (1) і (2). Загальна кількість елементів кожної матриці $S=N \times M$.

Методи математичного моделювання стали сьогодні невід'ємною складовою досліджень електромагнітних полів, в тому числі розсіяних складними об'єктами.



В нашій задачі моделювання пропонується поверхню об'єкта складної форми розбити на окремі елементи – трикутники, що дозволяє розташувати об'єкт довільним чином (під будь-яким кутом) відносно системи моніторингу. Іншою важливою перевагою такого представлення поверхні об'єкту є відсутність обмежень на геометрію модельованого

Рис. 3. Модель формування параметрів вхідного зображення

об'єкту – ступінь адекватності моделі до реального об'єкта і його деталізація визначається кількістю трикутників. Однак, максимальну кількість трикутників не-

обхідно вибирати враховуючи обчислювальні можливості комп'ютерної системи, а мінімальну – необхідну точність формування зображень в РЛ і РМ каналах.

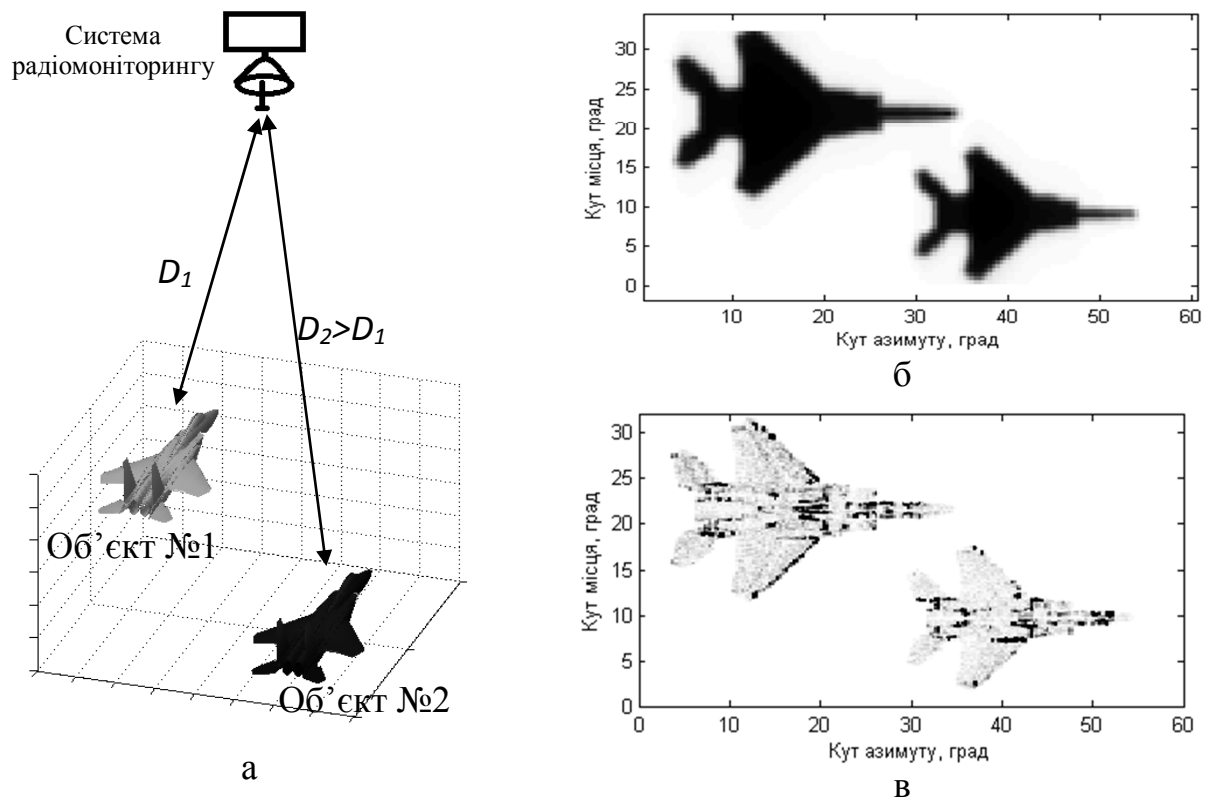


Рис. 4: а – тестова сцена; б – зображення сформоване РМ каналом;
в – зображення сформоване РЛ каналом

Для прикладу на рис. 4, а представлено зображення двох літаків, яке в подальшому використовувалося для побудови РМЗ (рис. 4, б) і РЛЗ (рис. 4, в). Для моделювання приймається, що об'єкти №1 і №2 розташовані на різних відстанях від точки спостереження ($D_2 > D_1$), підстилаюча поверхня є однорідною, зображення формується шляхом сканування антени з однієї точки спостереження, ширина ДН антени РМ каналу в площині кута місця – 1° , а в азимутальній площині – $0,8^\circ$, РЛЗ об'єкта формується шляхом когерентного підсумовування складових поля, відбитих від елементів об'єкту і сцени згідно (2), ширина ДН РЛ каналу – $0,33^\circ \times 0,66^\circ$ відповідно.

Як видно з рис. 4, в, РЛЗ представляє собою окремі точки відбиття сигналу, розташування яких значною мірою залежить від положення і розташування об'єкта.

Отже, використання дискретної моделі та розбиття поверхні об'єкта на елементарні трикутники підвищують достовірність виявлення об'єктів та відновлення їх форми при формуванні взаємоюстованих радіозображень, що підтверджено числовим моделюванням.

У третьому розділі – «Інтегрована електродинамічна структура діаграмоутворення системи радіомоніторингу мікрохвильового діапазону» – удосконалено геометрію та математичну модель формування поля випромінювання ПА з опромінювачем зміщеним з фокальної осі та проведено синтез антени за заданою ДН.

Для формування просторово-часових сигналів РМ і РЛ каналів в роботі за-

пропонована інтегрована електродинамічна структура діаграмоутворення системи радіомоніторингу, яка складається з параболоїдного дзеркала та системи опромінювачів, розташованих вздовж осі x (рис. 5). Центральний опромінювач даної системи є опромінювач активного (РЛ) каналу (ОРЛ), а решта – опромінювачі пасивного (РМ) каналу (ОРМ). Для зменшення часу огляду сканування та спостереження зони огляду в N разів пропонується РМ канал побудувати із N парціальних каналів, що відповідає N ОРМ, зміщених відносно осі параболоїда.

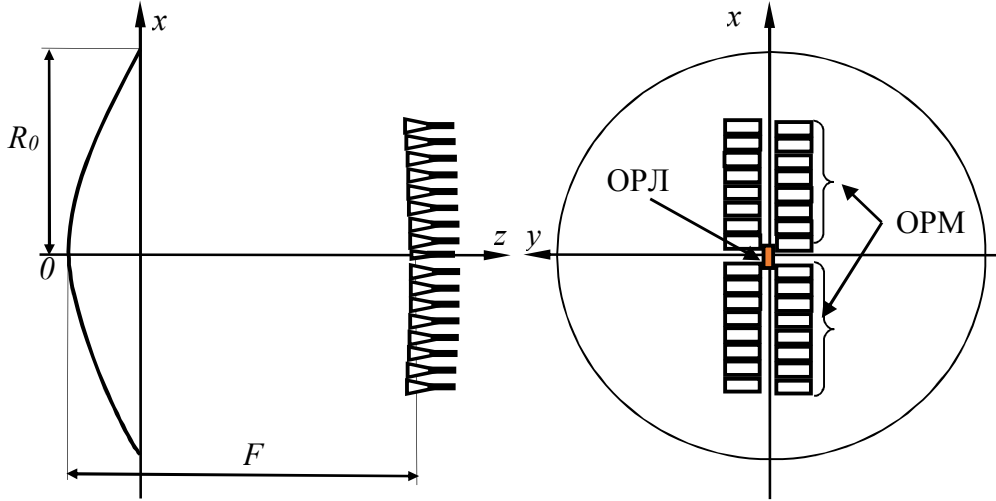


Рис. 5. Інтегрована схема діаграмоутворення системи радіомоніторингу з активно-пасивними каналами

У випадку зміщеного з фокусу дзеркала опромінювача необхідно точно розраховувати відстань від апертури опромінювача до поверхні параболоїда ρ^* та відстань від поверхні параболоїда до її апертури Δl . Для цього була розроблена геометрія (рис. 6) та математична модель (3) розрахунку поля випромінювання ПА зі зміщеним пірамідальним рупорним опромінювачем на основі апертурного методу та принципів геометричної оптики.

$$\begin{aligned} \text{ДН}(\theta) = K \cdot \int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} \int_{-\frac{A_p}{2}}^{\frac{A_p}{2}} \int_{-\frac{B_p}{2}}^{\frac{B_p}{2}} \cos(\vartheta_1) \cdot \frac{1 + \cos(\psi_p)}{\rho^* + \Delta l} \cdot e^{-j\beta \cdot (\rho^* + \Delta l)} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot y_{20}}{A_p}\right) \cdot e^{-j\frac{\pi}{\lambda_p} \cdot \frac{(y_{20})^2}{R_H}} \times \\ \times e^{-j\frac{\pi}{\lambda_p} \cdot \frac{(x_{20})^2}{R_E}} \cdot e^{j\beta \cdot R' \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\phi - \Delta)} \cdot R' dx_{20} dy_{20} dR' d\phi, \end{aligned} \quad (3)$$

де K – добуток сталих множників; R_0 – радіус параболоїдного дзеркала; A_p , B_p , R_H , R_E – параметри опромінювача; $\cos(\vartheta_1) = \frac{\zeta}{\Delta l}$; $\zeta = z_1 = \frac{R^2}{4 \cdot F}$; $R = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$; F – фокусна відстань параболоїда; $\rho^* = \sqrt{(x_1 - x')^2 + (y_1 - y')^2 + (z_1 - D)^2}$; $\Delta l = \sqrt{(x_1 - x_{20})^2 + (y_1 - y_{20})^2 + (z_1 - \zeta_0)^2}$; $\text{tg}(\psi_p) = \frac{\sqrt{(x_1 - x_{20})^2 + (y_1 - y_{20})^2}}{z_{20} - z_1}$; $\zeta_0 = \frac{R_0^2}{4 \cdot F}$;

$\lambda_p = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2 \cdot A_p}\right)^2}}$. Координати на поверхні параболоїда (x_1, y_1, z_1) , в її апертурі

(x'_1, y'_1, ζ_0) , в апертурі рупора (x', y', D) , кути падіння φ_n і відбиття φ_θ й інші складові геометрії формування поля випромінювання параболоїдної антени з опромінювачем зміщеним з осі параболоїда представлені на рис. 6.

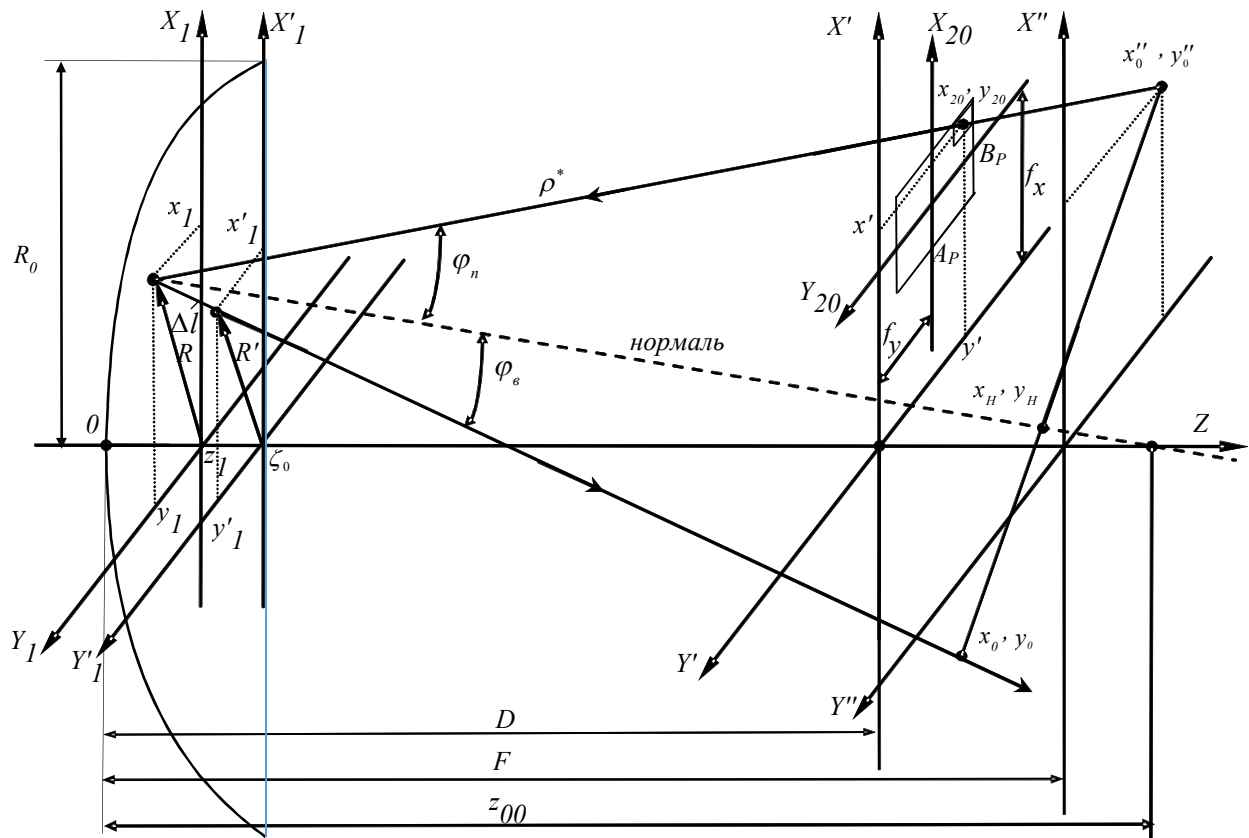


Рис. 6. Геометрія схеми діаграмоутворення ПА зі зміщеним опромінювачем

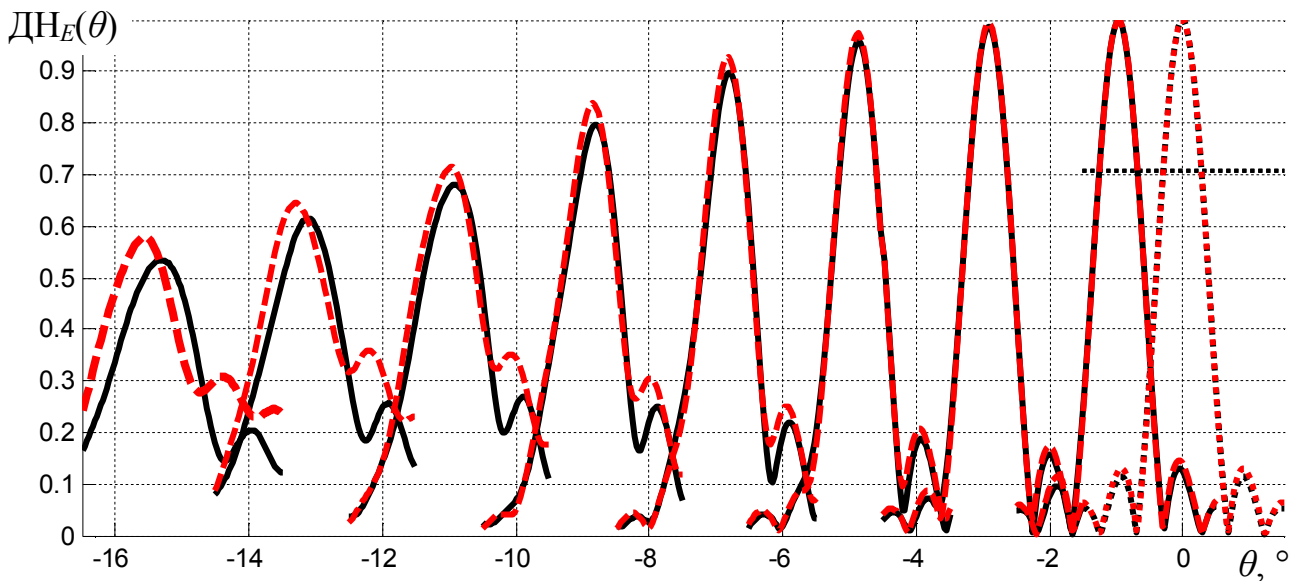


Рис. 7. Порівняння ДН ПА в E -площині (суцільна крива розрахована у відповідності з (3), пунктирна – згідно відомих виразів)

На рис. 7 показано порівняння результатів розрахунку ДН, які отриманні для запропонованої моделі (суцільна крива), з відомими з літератури за наближе-

ними виразами (пунктирна крива) при зміщенні опромінювача з осі ПА. Розрахунки за відомими виразами (наприклад за Jacob W. M. Baars. The paraboloidal reflector antenna in radio astronomy and communication. Theory and Practice. Springer Science+Business Media, LLC., 2007.– 269 p.) збігаються з розрахунком згідно (3) тільки для кутів зміщення $\alpha_0 \leq 7^\circ \div 9^\circ$. Таким чином, запропоновані моделі формування ДН дають можливість розраховувати ДН з урахуванням фазового набігу, що не враховано у відомих виразах для значних зміщень апертур (кутів зміщення $\alpha_0 \sim 15^\circ$).

В роботі розроблено алгоритм синтезу довгофокусної ПА міліметрового діапазону хвиль для формування заданої ДН віялоподібного типу, в його основі – розрахунок параметрів опромінювачів (пірамідальних рупорів) та геометрії їх розташування. При цьому враховується корекція розташування рупора, щоб середина ширини ДН ($\pm \theta_{0,5}$) збігалася із заданим кутом випромінювання і перетиналася на рівні 0,707 із сусідньою ДН, а також визначено розміри апертури (A_P, B_P).

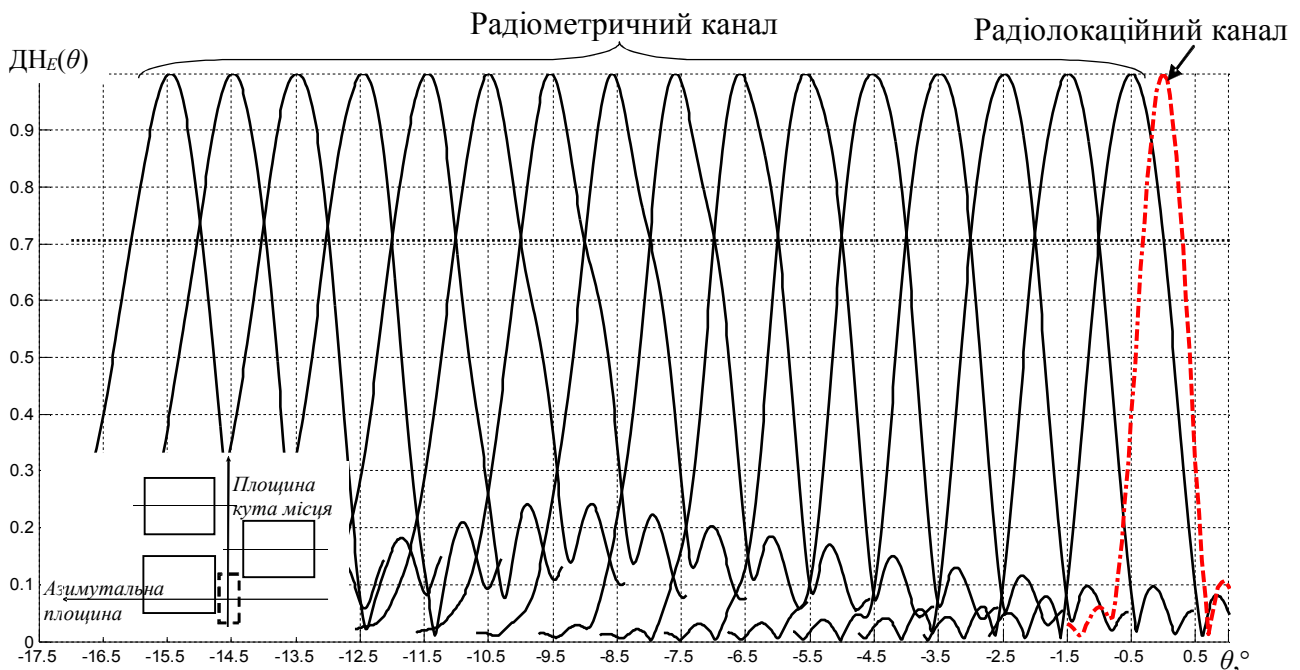


Рис. 8. Нормовані ДН параболоїдної антени

Використовуючи методику обчислення ДН ПА і розроблений автором алгоритм синтезу, було вибрано розміри опромінювачів РМ каналу ($\lambda_{PM}=8$ мм) і їхнє розташування у такий спосіб, щоб утворити 32 ДН, які перекривають кут 32° між максимумами ДН крайніх опромінювачів, а ширина кожної ДН на рівні -3 дБ становила б $2\theta_{0,5E} = 1^\circ$ в площині кута місця та $2\theta_{0,5H} = 0,8^\circ$ в азимутальній площині. На рис. 8 представлено в нормованому вигляді ДН ПА для половини системи опромінювачів (16 опромінювачів) РМ каналу (суцільні криві), та для РЛ каналу (пунктирна крива).

Розроблений алгоритм синтезу використаний при створенні інтегрованої електродинамічної структури діаграмоутворення мікрохвильового діапазону, яка складається з параболоїдного дзеркала, опромінювача РЛ каналу та N опромінювачів РМ каналу, розв'язує задачі забезпечення широкого кута сканування сцени з

майже незмінними ДН, взаємоюстування активного і пасивного каналів, що включає одну із похибок, а також зменшення останнім в N разів часу огляду, при функціонуванні активно-пасивної системи радіомоніторингу.

У **четвертому розділі** – «Дослідження процесу виявлення об'єктів в інтегрованої активно-пасивній системі радіомоніторингу» – представлено новий двоетапний метод та алгоритм обробки даних парціальних каналів інтегрованої активно-пасивної системи радіомоніторингу, який дозволяє покращити ймовірність хибної тривоги та правильного виявлення при комплексуванні порівняно з будь-яким окремо діючим каналом спостереження.

Для прийняття рішення про наявність або відсутність сигналу на фоні шумів (завад) зручно використати ймовірнісні характеристики: ймовірність хибної тривоги ($P_{ХТ}$) та ймовірність правильного виявлення ($P_{ПВ}$):

$$P_{ХТ} = \int_{u_{п}}^{\infty} p_{ш}(u) du ; P_{ПВ} = \int_{u_{п}}^{\infty} p_{сш}(u) du , \quad (4)$$

де $p_{ш}(u)$, $p_{сш}(u)$ – густини ймовірностей шумової напруги та суміші сигнал/шум відповідно (функції $p_{ш}$ і $p_{сш}$ залежать від відношення сигнал/шум, від статистичних характеристик сигналу і шуму, характеристик вузлів); $u_{п}$ – поріг напруги на виході приймача.

Моделювання процесу виділення об'єктів на основі РМ зображень реалізовано в середовищі Matlab. При виділенні об'єктів приймаємо, що на систему формування зображень діють лише адитивні завади і їх вплив на процес виділення об'єктів оцінюється шляхом визначення ймовірностей хибної тривоги та правильного виявлення.

З метою зменшення часу обчислень при виявленні протяжних об'єктів та їх розділення на основі даних радіолокаційного моніторингу розроблено алгоритм об'єднання блискучих точок радіолокаційного зображення сцени спостереження, який полягає у заміні кожної блискучої точки поверхнею шляхом дії функції розмиття. Оскільки радіолокаційне зображення містить інформацію про віддаль, то пропонується вибирати функцію розмиття у вигляді сфери із заданим радіусом, що відповідає максимальній відстані між блискучими точками в межах об'єкта на заданій віддалі і визначає мінімальну віддаль для розділення об'єктів.

Як видно з узагальненої структурної схеми системи моніторингу (рис. 1) сформовані зображення РЛ і РМ каналів надходять на входи процесорного модуля, в якому, згідно розробленого методу, відбувається комплексування даних. Розроблений метод комплексування реалізується в два етапи. На першому етапі методу комплексування відбувається первинна обробка даних парціальних каналів: РМ зображення масштабується до зображення РЛ каналу, а зображення РЛ каналу розширюється, відбувається фільтрація зображень осесиметричним гаусівським фільтром нижніх частот. На другому етапі одержані парціальні зображення комплексуються на піксельному рівні з адаптивно вибраними ваговими коефіцієнтами каналів. Піксельне комплексування з'юстованих і змасштабованих зображень, після первинної обробки, здійснюється наступним чином:

$$\dot{I}_{рез} = h_{PM} \cdot \dot{I}_{PM}(k, l) + h_{PL} \cdot \dot{I}_{PL}(k, l), \quad (5)$$

де h_{PM} , h_{PL} – вагові коефіцієнти РМ і РЛ каналу системи моніторингу, що характеризують внесок вхідних інтенсивностей РЛ і РМ каналів. Вагові коефіцієнти ви-

бираються на основі відношення сигнал/шум в кожному каналі. Отже, чим більше відношення сигнал/шум, тим більш значущим є канал при комплексуванні.

Для оцінювання ефективності алгоритму комплексування побудовано залежності $P_{ХТ}$ та $P_{ПВ}$ від відношення сигнал/шум для комплексної системи, які порівнюються із ймовірнісними значеннями для окремих каналів (рис. 9). При комплексуванні відношення сигнал/шум в РЛ і в РМ каналах приймається однаковим.

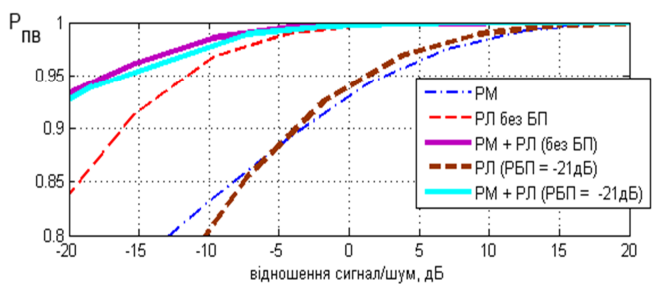
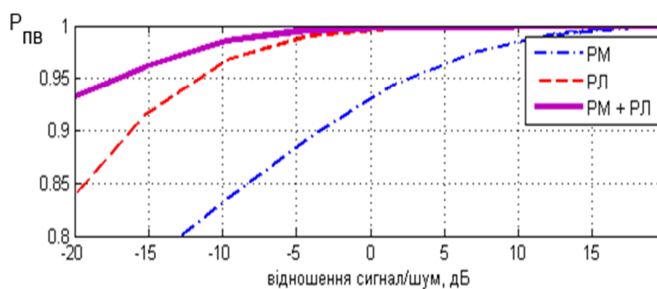
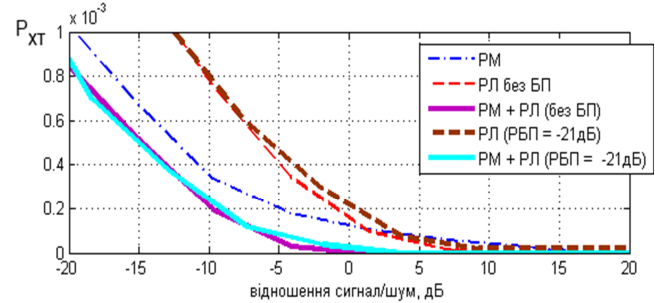
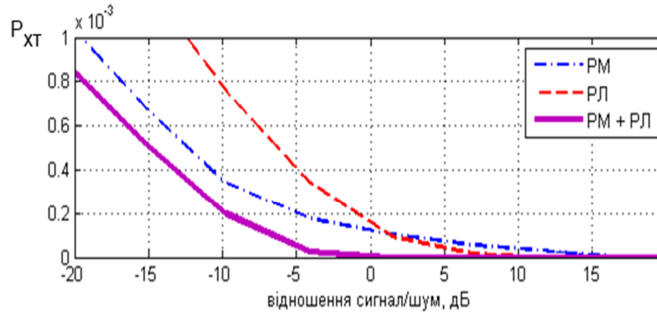


Рис. 9. Ймовірності хибної тривоги та правильного виявлення від відношення сигнал/шум для окремих РМ і РЛ каналів та для комплексної системи

Рис. 10. Ймовірності хибної тривоги та правильного виявлення від відношення сигнал/шум для окремих РМ і РЛ каналів при відсутності та наявності БП ДН і для комплексної системи

Очевидно, що на параметри системи моніторингу впливають параметри ДН антени: ширина ДН, напрямленість та рівень бічних пелюсток (БП). Рівень першої БП ДН синтезованої антени РЛ каналу із урахуванням тіньового ефекту 32 опромінювачів РМ каналу становить -21 дБ.

Вплив рівня БП на ймовірнісні характеристики виявлення об'єктів ілюструється на рис. 10. Показано, що комплексування даних парціальних каналів значно зменшує вплив БП ДН активного каналу системи радіомоніторингу. Наприклад, ймовірність правильного виявлення в РЛ каналі при відношенні сигнал/шум 0 дБ зменшується з $0,9965$ за відсутності БП до $0,9401$ за наявності БП (рівень першої БП дорівнює -21 дБ). В той самий час при комплексуванні РЛ і РМ каналів вплив БП є незначним і ймовірність правильного виявлення зменшується з $0,9990$ до $0,9974$.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання – підвищити ефективність радіосистем моніторингу об'єктів і сцен при роботі у довільний час доби та за складних погодних умов. Для цього запропоновані нові структурні схеми інтегрованих багатоспектральних систем радіомоніторингу мікрохвильово-

го діапазону, нові моделі формування сигналів парціальних каналів та метод формування і оброблення комплексних зображень. Всі положення, подані в роботі, обґрунтовані на основі відомих положень електродинаміки, теорії систем та статистичних рішень, підтверджено числовими експериментами та порівняно із результатами, одержаними іншими авторами.

У дисертації отримані такі основні результати:

1. Розроблено нові, підтвержені патентами України, структурні схеми систем радіомоніторингу та інтегрованих електродинамічних структур єдиного діаграмоутворення парціальних каналів мікрохвильового діапазону, які забезпечують можливість використання спільних вузлів просторово-часового формування зображень, що зменшує габарити та вагу системи, а також забезпечує просторове взаємоюстування активного і пасивного каналів, чим виключається похибка взаємоюстування, а відповідно, підвищується точність визначення кутових координат системи.

2. Розроблено нову узагальнену дискретну модель процесу формування та дискретного представлення просторових сигналів у вигляді сукупності матриць елементів параметрів сцени, середовища поширення ЕМХ та системи моніторингу у РЛ та РМ каналах, які є спільними для оцінки якості виявлення об'єктів, відновлення їх форми та визначення параметрів, що зменшує похибки і час обробки інформації.

3. Обґрунтовано доцільність і методику створення інтегрованої електродинамічної структури діаграмоутворення мікрохвильового діапазону, яка складається з параболоїдного дзеркала, опромінювача РЛ каналу та N опромінювачів РМ каналу, що вирішує такі важливі проблеми при створенні активно-пасивної системи радіомоніторингу як взаємоюстування активного і пасивного каналів, а також зменшення в N разів часу огляду пасивним каналом.

4. Надано подальшого розвитку теорії апертурного синтезу параболоїдної антени зі зміщеними з осі опромінювачами із застосуванням принципів геометричної оптики, в якій на відміну від відомої, враховано фазові набіги поля в площині апертури параболоїда та вплив тіньового ефекту. Проведений числовий експеримент по розрахунку ДН (ширини головного пелюстка, рівня БП, рівня максимуму, її положення) на частоті $f=35$ ГГц показує, що запропоновані математичні моделі є достатньо точними для кутів огляду $\pm 16^\circ$, що є у 2 рази більшими у порівнянні з відомими результатами.

5. Розроблено новий метод синтезу ПА зі зміщеними з фокальної осі опромінювачами за заданими постійною шириною та положенням середини ширини парціальних ДН в межах кутів спостереження та з урахуванням впливу тіньового ефекту. На основі даного методу проведено:

- числовий розрахунок апертур 32 опромінювачів РМ каналу і їх розташування, кожен з яких на частоті $f=35$ ГГц забезпечує формування ДН ПА з шириною головної пелюстки $2\theta_{0,5E} = 1^\circ$ в площині кута місця та $2\theta_{0,5H} = 0,8^\circ$ в азимутальній площині; таким чином в площині кута місця перекривається просторовий кут 32° між максимумами ДН крайніх опромінювачів. Як наслідок, це дозволяє зменшити час огляду РМ каналами в 32 рази.

- числовий розрахунок апертури опромінювача ПА РЛ каналу на частоті $f=94 \text{ ГГц}$ з шириною ДН ПА $2\theta_{0.5E} = 0,33^\circ$ і $2\theta_{0.5H} = 0,66^\circ$, що забезпечує високу роздільну здатність системи.

6. Розроблено алгоритм виявлення протяжних об'єктів та їх розділення на основі зв'язності точок сцени спостереження, а також розраховано ймовірності хибної тривоги та правильного виявлення в залежності від відношення сигнал/шум для РМ і РЛ каналів на основі результатів числового моделювання.

7. Розроблено двоетапний метод та алгоритм обробки даних парціальних каналів інтегрованої активно-пасивної системи радіомоніторингу, в якій, на відміну від звичайних методів обробки, на першому етапі проводиться масштабування РМ та розширення РЛ зображень з'юстованих каналів, а на другому етапі проводиться піксельне комплексування вказаних зображень з ваговими коефіцієнтами, які адаптивно визначаються на основі відношення сигнал/шум. При цьому, для прикладу, при відношенні сигнал/шум (-5 дБ) ймовірність хибної тривоги при комплексуванні зменшується більше ніж у 2 рази, а ймовірність правильного виявлення, яка по окремо для РМ каналу складає 0,8846, для РЛ каналу – 0,9877, збільшується при комплексуванні до 0,9952.

8. Вперше за результатами числових експериментів показано, що внаслідок комплексування даних парціальних каналів в запропонованій інтегрованій системі радіомоніторингу знижуються вимоги до антенної системи, оскільки зменшується вплив рівня бічних пелюсток ДН на визначення ймовірнісних характеристик системи радіомоніторингу: при РБП $=-21 \text{ дБ}$ ймовірність хибної тривоги $4,111 \cdot 10^{-4}$ РЛ каналу при відношенні сигнал/шум (-5 дБ) зменшується до $0,859 \cdot 10^{-4}$ комплексної системи, а ймовірність правильного виявлення збільшується відповідно з 0,8845 до 0,9928.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Прудюс І.Н. Метод розрахунку діаграми напрямленості дзеркальної параболоїдної антени з довільно розташованою апертурою опромінювача / І.Н. Прудюс, Й.А. Захарія, Д.О. Мимріков // Радіотехніка. – Х., 2009. – № 157. – С. 80–86.
2. Мимріков Д.О. Порівняльний аналіз дальності дії та часу огляду активних і пасивних локаційних систем / Д.О. Мимріков // Вісник «Радіоелектроніка та телекомунікації». – 2010. – № 680. – С. 89–94.
3. Прудюс І.Н. Моделювання процесу формування радіолокаційного зображення системи моніторингу / І.Н. Прудюс, Л.В. Лазько, Д.О. Мимріков // Вісник «Радіоелектроніка та телекомунікації». – 2011. – № 705. – С. 190–193.
4. Прудюс І.Н. Моделювання та дослідження процесу побудови радіометричних зображень та виділення об'єктів / І.Н. Прудюс, Л.В. Лазько, Д.О. Мимріков // Вісник «Радіоелектроніка та телекомунікації». – 2012. – № 738. – С. 5–10.
5. Prudyus I. Complex Objects Separation Approach Based On Radar Data / Ivan Prudyus, Leonid Lazko, Dmytro Mymrikov // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review). – 2013. – № 6. – P. 293–295.
6. Мимріков Д.О. Вплив площі апертури опромінювача на випромінювання параболоїдної антени / Д.О. Мимріков // Сучасні проблеми радіотехніки та телеко-

- мунікації РТ-2007: 3 міжн. молодж. наук.-практ. конф., 16–21 квіт. 2007 р.: тези доп. – Севастополь, 2007. – С. 124.
7. Мимріков Д.О. Вплив зміщення прямокутної апертури опромінювача з осі параболоїдної антени на її випромінювання / Д.О. Мимріков // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікації РТ-2008: 4 міжн. молодж. наук.-практ. конф., 21–25 квіт. 2008 р.: тези доп. – Севастополь, 2008. – С. 150.
 8. Мимріков Д.О. Аналіз впливу зміщень опромінювача у фокальній площині на діаграму напрямленості параболоїдної антени / Д.О. Мимріков // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікації РТ-2009: V міжн. молодж. наук.-практ. конф., 20–25 квіт. 2009 р.: тези доп. – Севастополь, 2009. – С. 164.
 9. Prudyus I.N. Integrated Antenna Synthesis of the Objects Monitoring Systems in the Microwave Band / I.N. Prudyus, A.M. Zubkov, Y.A. Zakharia, D.O. Mymrikov // 7th Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, Oct. 6–9, 2009: proc. – Lviv, Ukraine, 2009. – P. 244–246.
 10. Bobalo Yu.Ya. The Development of Antenna Theory and Techniques in Lviv Polytechnic National University / Yu.Ya. Bobalo, V.P. Antoniuk, V.D. Golynskyy, V.V. Hoblyk, L.V. Lazko, D.O. Mymrikov, V.G. Nikitchenko, I.N. Prudyus, G.S. Radzih, V.G. Storozh, E.I. Yakovenko, Y.A. Zakhariya, A.M. Zubkov // 7th Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, Oct. 6–9, 2009: proc. – Lviv, Ukraine, 2009. – P. 37–46.
 11. Прудюс И.Н. Построение многоканальных интегрированных систем дистанционного наблюдения на базе парциальных каналов / И.Н. Прудюс, А.Н. Зубков, М.М. Сумык, Л.В. Лазько, Д.А. Мымриков, Р.В. Янкевич // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: 20-я межд. Крымская конф., 13–17 сент. 2010 г.: материалы конф. – Севастополь, 2010. – С. 1219–1220.
 12. Мимріков Д.О. Особливості створення інтегрованих активно-пасивних систем моніторингу об'єктів і сцен / Д.О. Мимріков // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 14-й межд. молодж. форум, 18–20 бер. 2010 р.: тези доп. – Х., 2010. – С. 12.
 13. Zubkov A. Information Aspects of Multispectral Active-Passive Radio Monitoring System / Anatoliy Zubkov, Ivan Prudyus, Andriy Diakov, Dmytro Mymrikov // Modern Problems of Radioengineering, Telecommunications, and Computer Science: Intern. Conf., Feb. 23–27, 2010: proc. – Lviv-Slavske, Ukraine, 2010. – P. 96–97.
 14. Мимріков Д.О. Алгоритм синтезу антени системи моніторингу за заданою віальною діаграмою спрямованості / Д.О. Мимріков // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікації РТ-2011: VII міжн. молодж. наук.-практ. конф., 11–15 квіт. 2011 р.: тези доп. – Севастополь, 2011. – С. 254.
 15. Мимріков Д.О. Числове моделювання процесу формування локаційних зображень / Д.О. Мимріков // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке межд. 15-й молодж. форум, 18–20 бер. 2010 р.: тези доп. – Х., 2011. – С. 179–180.
 16. Прудюс И.Н. Формирование комплексированного изображения активно-пассивной системой радиомониторинга / И.Н. Прудюс, Л.В. Лазько, Д.А. Мымриков // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: 21-я межд. Крымская конф., 12–16 сент. 2011 г.: материалы конф. – Севастополь, 2011. –

- C. 1067–1068.
17. Prudyus I.N. Electromagnetic structures of beam forming of microwave monitoring system / I.N. Prudyus, A.N. Zubkov, L.V. Lazko, D.A. Mymrikov // 8-th Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, Sept. 20–23, 2011: proc. – Kyiv, Ukraine, 2011. – P. 306–308.
 18. Зубков А.М. Інтегровані системи локаційного моніторингу з комплексуванням інформації сенсорів різних ділянок спектру електромагнітних хвиль / А.М. Зубков, Л.В. Лазько, Д.О. Мимріков, І.Н. Прудіус // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития: 4-й межд. радиоэлектронный форум, 18–21 окт. 2011 г.: тезисы докл. – Х., 2011. – С. 170–173.
 19. Prudyus I.N. Multilobes radiometric monitoring system / I.N. Prudyus, L.V. Lazko, D.O. Mymrikov // Metrologia Wspomagana Komputerowo: Intern. Conf., May 24–27, 2010: proc. – Waplewo, Poland, 2011. – P. 85–86.
 20. Prudyus I. Object Separation Based on The Multispectral Monitoring Data / Ivan Prudyus, Leonid Lazko, Dmytro Mymrikov // Modern Problems of Radioengineering, Telecommunications and Computer Science: Intern. Conf., Febr. 21–24, 2012: proc. – Lviv-Slavske, Ukraine, 2012. – P. 418.
 21. Прудіус І.Н. Комплексний підхід по розделенню об'єктів на основі даних радіолокаційного моніторингу / І.Н. Прудіус, Л.В. Лазько, Д.А. Мымріков // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: 22-я межд. Крымская конф., 10–14 сент. 2012 г.: материалы конф. – Севастополь, 2012. – С. 1023–1024.
 22. Prudyus I. The combining methodology of partial channels' information and operational advantages in various electromagnetic spectrum bands within one integrated monitoring system / Ivan Prudyus, Anatoliy Zubkov, Volodymyr Antonyuk, Leonid Lazko, Dmytro Mymrikov // Int. Radar Symposium, May 23–25, 2012: proc. – Warsaw, Poland, 2012. – P. 301–304.
 23. Prudyus I.N. Complex Objects Separation Approach Based On Radar Data / I.N. Prudyus, L.V. Lazko, D.O. Mymrikov // Computational Problems of Electrical Engineering: 13th Intern. Workshop, Sept. 5–8, 2012: book of abstracts. – Grybow, Poland, 2012. – P. 38.
 24. Мимріков Д.О. Інформаційне комплексування даних парціальних каналів локації / Д.О. Мимріков, С.Є. Фабіровський // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікації РТ-2013: ІХ міжн. молодж. наук.-практ. конф., 22–26 квітня 2013 г.: тези доп. – Севастополь, 2013. – С. 77.
 25. Прудіус І.Н. Повышение эффективности выявления объектов путем комплексирования данных радиомониторинга / И.Н. Прудіус, Л.В. Лазько, Д.А. Мымріков, С.Є. Фабіровський // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: 23-я межд. Крымская конф., 8–14 сент. 2013 г.: материалы конф. – Севастополь, 2013. – С. 1226–1227.
 26. Пат. 91299 UA України, МПК G 01 S 13/00, G 01 J 3/28. Спосіб визначення геометричних характеристик і параметрів руху наземних об'єктів при геомоніторингу і система для його реалізації / А.М. Зубков, І.Н. Прудіус, Л.В. Лазько, Д.О. Мимріков; заявник і власник Національний університет «Львівська політехніка». – № а200904541; заявл. 07.05.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 13.

27. Пат. 94566 UA Україна, МПК G01S 13/00, G01J 3/29. Багатоспектральний виявляч наземних об'єктів / А.М. Зубков, І.Н. Прудіус, А.В. Д'яков, С.А. Мартиненко, Д.О. Мимріков, А.А. Щерба; заявник і власник патенту Національний університет «Львівська політехніка». – № а2010158036; заявл. 28.12.10; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9.

АНОТАЦІЯ

Мимріков Д.О. Підвищення ефективності багатоспектральних систем моніторингу шляхом комплексування даних активно-пасивних парціальних каналів локації. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2014.

В дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання – підвищити ефективність багатоспектральних активно-пасивних систем моніторингу об'єктів і сцен при роботі у довільний час доби та за складних погодних умов. Для цього запропоновано нові структурні схеми інтегрованих систем радіомоніторингу та інтегрованих електродинамічних структур єдиного діаграмоутворення парціальних каналів мікрохвильового діапазону. Розроблено нові моделі дискретного представлення сигналів парціальних каналів та метод і алгоритм формування та обробки комплексних зображень системи радіомоніторингу.

Розроблено двоетапний метод та алгоритм обробки даних парціальних каналів інтегрованої активно-пасивної системи радіомоніторингу, в якому проводиться піксельне комплексування радіолокаційного та радіометричного зображень з ваговими коефіцієнтами, які адаптивно визначаються на основі відношення сигнал/шум. Розроблена методика реалізована у вигляді програмного засобу з використанням програмного забезпечення Matlab.

Ключові слова: комплексування, інтегрована система моніторингу, параболоїдна антена, радіолокація, радіометрія.

АННОТАЦИЯ

Мымриков Д.А. Повышение эффективности многоспектральных систем мониторинга путем комплексирования данных активно - пассивных парциальных каналов локации. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2014.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача – повысить эффективность многоспектральных активно-пассивных систем мониторинга объектов и сцен при работе в произвольное время суток и сложных погодных условиях. Для этого предложены новые структурные схемы интегрированных систем радиомониторинга и интегрированных электродинамических структур единого диаграммообразования парциальных каналов микроволнового диапазона.

Разработаны новые модели дискретного представления сигналов парциальных каналов в виде совокупности матриц параметров сцены, среды распространения электромагнитных волн и системы мониторинга в радиолокационном и радиометрическом каналах, которые являются общими для оценки качества обнаружения объектов и определения их параметров.

Получила дальнейшее развитие теория апертурного синтеза параболоидной антенны со смещенными с оси облучателями с применением принципов геометрической оптики, в которой в отличие от известной, учтены фазовые набеги поля в плоскости апертуры параболоида и влияние теневого эффекта. Представлен метод синтеза параболоидной антенны со смещенными с фокальной оси облучателями по заданным постоянной ширине и положению ее середины парциальных диаграмм направленностей в пределах углов наблюдения и с учетом влияния теневого эффекта.

Разработан двухэтапный метод и алгоритм обработки данных парциальных каналов интегрированной активно-пассивной системы радиомониторинга, в котором проводится пиксельное комплексирование радиолокационного и радиометрического изображений с весовыми коэффициентами, которые адаптивно определяются на основе отношения сигнал/шум. Разработанная методика реализована в виде программного средства с использованием программного обеспечения Matlab.

Ключевые слова: комплексирование, интегрированная система мониторинга, параболоидная антенна, радиолокация, радиометрия.

ANNOTATION

Mymrikov D.O. Improving the Effectiveness of Monitoring Multispectral Systems by Data Integration of the Active and Passive Partial Location Channels. – On the manuscript.

Dissertation for the Ph.D. degree (candidate of science) in specialty 05.12.17 – radio and television systems. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2014.

The actual scientific problem of increasing the efficiency of the multispectral active-passive monitoring systems of objects and scenes that operates in an arbitrary time and inclement weather conditions is solved in this thesis. Therefore a new structural scheme of integrated radio monitoring and integrated unified electrodynamic structures of partial channels beamforming in the microwave range are proposed. New models of digital signal representation of partial channels and method of complex images spectrum formation and processing in monitoring system are developed.

A two-step method and data processing algorithm of partial channels in integrated active-passive radio monitoring system are developed, which provides pixel complexification of radiometric and radar images with weights, which are adaptively determined based on the signal/noise ratio. The developed technique is implemented as a software tool using the MATLAB software.

Keywords: complexification, integrated monitoring system, paraboloidal antenna, radar, radiometry.

Здано в набір 15.05.2014 р. Підписано до друку 21.05.2014 р.
Формат 60x90 1/16. Зам. №17
Тираж 120 прим. Обсяг 0,88 друк. арк.
Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO
у друкарні ПП «Арк-Сервіс»
79005, Львів, вул. Драгоманова, 16