

Національна академія наук України
Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова

СОБОЛЯК ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ

УДК. 621.371+537.86

**МОНІТОРИНГ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І АКУСТИЧНИХ
ВИПРОМІНЮВАНЬ АНТРОПОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ**

01.04.03 – радіофізика

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків – 2019

Дисертація на правах рукопису

Робота виконана в Інституті радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова
Національної академії наук України

Науковий керівник:

доктор фізико-математичних наук, старший
науковий співробітник

Луценко Владислав Іванович,

Інститут радіофізики та електроніки
ім. О. Я. Усикова НАН України, м. Харків,
завідувач лабораторії «Моніторингу і
спектроскопії середовищ» відділу радіофізичної
інтроскопії

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор
Панченко Олександр Юрійович,

Харківський національний університет
радіоелектроніки, м. Харків, завідувач кафедри
проектування та експлуатації електронних
апаратів

доктор технічних наук, професор

Волосяк Валерій Костянтинович,

Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут», м. Харків, професор кафедри
аерокосмічних радіоелектронних систем

Захист відбудеться " 17 " жовтня 2019 р. о 14:00 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 64.157.01 Інституту радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України за адресою: 61085, м. Харків, вул. Ак. Проскури12.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту радіофізики та
електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України за адресою:
61085, м. Харків, вул. Ак. Проскури, 12.

Автореферат розісланий " 16 " вересня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

І. В. Іванченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Нині все більший інтерес проявляється до активно-пасивних засобів радіо- і акустичної розвідки. Це пов'язано з тим, що активно-пасивні системи використовують вже існуючі електромагнітні поля систем зв'язку і навігації наземного та космічного розташування, які опромінюють довкілля. Поле, що відбито об'єктами тієї, чи іншої природи несе інформацію для їх виявлення й ідентифікації. У пасивних системах для виявлення об'єктів використовують їх власні теплові або акустичні випромінювання. Тому на відміну від активних систем активно-пасивні і пасивні системи не демаскують себе, тому мають істотно більшу живучість, не забруднюють довкілля додатковими випромінюваннями, істотно дешевші у виробництві і експлуатації.

Останнім часом, більш ніж через 80 років з моменту виникнення, знову зріс інтерес до акустичних систем моніторингу довкілля. Ці системи основані на прийомі акустичних полів, які випромінюються самим об'єктом. Спочатку їх використовували в системах протиповітряної оборони (ППО) для виявлення літаків і наведення на них прожекторів і зенітних установок. Потім, через зростання швидкостей літаків і істотного зниження отримуваної при цьому точності наведення, а також у зв'язку з появою альтернативних методів, які використовують для вирішення цих завдань радіохвилі, інтерес до пасивних акустичних систем виявлення і цілевказівки зник на тривалий час. Проте зараз через більшу прихованість та живучість спостерігається черговий сплеск інтересу до них. Їх намагаються використовувати для виявлення гусеничної і колісної наземної техніки, аеродинамічних об'єктів. Робляться спроби їх застосування для виявлення окремих людей і груп, пошуку і визначення місця розташування снайпера після зробленого пострілу, у рамках антитерористичних операцій, а також для аналізу виникнення екстремальних ситуацій в місцях великого скупчення людей.

Таким чином, використання існуючих електромагнітних і акустичних випромінювань є актуальним завданням при створенні концепції глобального інформаційного поля. Нині особливої актуальності набуває не лише розширення типів фізичних полів та сенсорів, що використовуються, але і раціональне об'єднання отриманої за їх допомогою інформації, та використання смарт-грід технологій (хмарних мереж) для створення інтелектуальних просторово-розподілених систем, що забезпечують ефективне отримання і використання інформаційних потоків для вирішення завдань дистанційного зондування та моніторингу довкілля.

Ключовим завданням у вирішенні цієї проблеми є виявлення набору характерних ознак - сигнатур акустичних і вторинних електромагнітних полів об'єктів техніки, визначення параметрів фонових шумових сигналів для ефективного виділення на його фоні корисного сигналу, визначення впливу середовища поширення і стану підстильної поверхні на корисний сигнал для подальшого використання отриманої інформації в пасивних системах моніторингу довкілля.

Таким чином, актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена необхідністю виявлення сигнатур акустичних та електромагнітних випромінювань і відбиттів від природних та антропогенних об'єктів для моніторингу довкілля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. У дисертації наведено узагальнені результати досліджень, що отримані автором у період 2013 – 2018 рр., які базуються на програмах, планах і держбюджетних темах наукових досліджень Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України:

«Просторово-часові нестационарні електромагнітні та акустичні взаємодії в системі атмосфера – море – речовина; вплив стану середовища та складних відбивачів на дистанційну діагностику при локаційному і ретрансляційному зондуванні та на метеорний радіозв'язок (шифр «Обрій»), яка виконувалася в період із 01.01.2013 р. по 31.12.2017 р. на підставі Постанови Бюро ВФА НАНУ від 23.05.2012 р., протокол №5, № державної реєстрації 0113U000048 (виконавець);

«Використання випромінювань штучних супутників Землі та телевізійних центрів для дослідження атмосферних процесів», шифр «Діагностика» (2013 – 2014 рр.), № державної реєстрації 0113U002976, яка виконувалась відповідно до Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2012 – 2016 рр. за розпорядженням Президії НАН України від 01.02.13 № 56 (1-й етап) та від 04.03.14 № 140 (2-й етап) (виконавець);

«Взаємодії електромагнітних і акустичних хвиль в системі довкілля-речовина та їх використання для вирішення проблем радіолокації, енергетики, екології, медицини та зв'язку» (шифр "Обрій-2"), яка виконується в період із 01.01.2018 р. по 31.12.2022 р. на підставі Постанови Бюро ВФА НАНУ від 06.06.2017р., протокол №4, № державної реєстрації 0118U003034 (виконавець).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є визначення сигнатур електромагнітних та акустичних полів випромінювання та відбиттів об'єктами, які необхідні для розробки наукових засад створення систем моніторингу довкілля.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було розв'язати наступні задачі:

- розробити методику вимірювань і визначити вимоги до радіо та звукометричної апаратури, призначеної для вивчення особливостей випромінювання та відбиттів електромагнітних та акустичних полів природних та антропогенних об'єктів;
- створити вимірювальні комплекси;
- дослідити особливості просторово-часової структури завад, створюваних відбиттями від поверхні суші, покритої рослинністю, створити модель і визначити характеристики, що входять до її складу;
- вивчити характеристики акустичних полів наземних і повітряних об'єктів;
- встановити теоретично і експериментально підтвердити сигнатури електромагнітних та акустичних портретів об'єктів техніки;
- дослідити нестационарні завади в КХ і УКХ діапазонах радіохвиль і акустичні

шуми місцевості, створити імітаційні моделі для їх опису;

- розглянути можливість застосування нових технологій, зокрема смарт-грід, для підвищення ефективності використання об'єктів наземної техніки і створити методики оцінки їх ефективності;
- створити методики оцінки дальності дії як пасивних систем акустичної розвідки, так і активно-пасивних систем, що використовують випромінювання космічних і наземних радіосистем для моніторингу довкілля.

Об'єкт дослідження – процеси випромінювання та відбиття радіо- і акустичних хвиль об'єктами та поширення їх у неоднорідній атмосфері.

Предмет дослідження – параметри прийнятих електромагнітних та акустичних полів випромінювання і відбиттів об'єктами та їх взаємозв'язок з характеристиками довкілля.

Методи досліджень – теоретичні методи статистичної радіофізики, радіотехніки, математичної статистики, застосування теорії статистичних рішень і експериментальні методи вивчення особливостей поширення радіо- та акустичних хвиль у тропосфері.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше показано, що при збільшенні відстані до приймача внаслідок дисперсійних властивостей атмосфери та інтерференційних явищ при віддзеркаленні від поверхні Землі відбувається звуження спектра акустичного шуму. Ефективна ширина спектра джерел акустичного шуму, що є об'єктами розвідки, може істотно (в декілька разів) звужуватись зі збільшенням дальності до джерела.
2. Вперше запропоновано методику визначення акусто-електромагнітних сигнатур за оптичними зображеннями об'єктів техніки. Показано, що частоти модуляції розсіяного сигналу несучим і рульовим гвинтами для різних типів вертольотів істотно відрізняються і можуть бути визначені за їх габаритними розмірами та акустичними шумами.
3. Вперше запропоновано імітаційну модель нестационарних акустичних шумів природних і антропогенних, а також пасивних завад від суші, покритої рослинністю, з використанням напівмарківських вкладених процесів з декількома фазовими станами, що краще ніж раніш відомі моделі описує статистичні характеристики шумів (спектри, закони розподілу, питома ефективна площа розсіяння (ПЕПР)).
4. Вперше у спектрах радіолокаційного відбиття від вертольота, отриманих при інтервалах спостереження менших за період обертання лопатей гвинта, виявлені сплески спектральної щільності у високочастотній області з частотою, кратною частоті їх обертання. Встановлено, що високочастотні компоненти спектра віддзеркалень, які обумовлені частотною модуляцією сигналу, розсіяного лопатями, що обертаються, взаємно корельовані.
5. Для різних довжин хвиль опромінюючого поля і різних поляризацій прийому вперше виявлено наявність однакових спектральних компонент, пов'язаних з вібрацією обшивки під впливом рушійної установки.
6. Розроблено методику опису і аналізу квазіперіодичних процесів, в тому числі при поширенні хвиль в середовищах з дисперсією і поглинанням. Показано, що

кепстральна обробка дозволяє виділяти періодичності, які пов'язані з обертами двигуна. Запропоновано модифіковану двовимірну кореляційну функцію, яка дозволяє порівнювати характеристики, що отримані на різних довжинах хвиль.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

1. Розроблено методику оцінки дальності виявлення джерел акустичного випромінювання в умовах впливу загасання в атмосфері та інтерференційного ослаблення його земною поверхнею для нейтрального режиму поширення в атмосфері. Показана можливість виявлення об'єктів наземної та повітряної техніки за їх акустичним випромінюванням при відсутності зовнішніх шумів на віддаленні в кілька кілометрів. Природні шуми вітру, дощу, власного двигуна можуть в значній мірі (на 1..2 порядки) знижувати дальність дії систем акустичної розвідки. Показано, що, пригнічуючи низькочастотні компоненти шуму в смузі до 1000...2000 Гц, можна підвищити контраст спостереження в умовах шуму вітру наземних об'єктів приблизно на 5...13 дБ і до 10...20 дБ для безпілотних літальних апаратів (БПЛА).
2. Акустичні шуми і оптичні зображення об'єктів техніки можуть служити основою для визначення сигнатур в радіолокаційних портретах. Акустичні портрети повітряних і наземних об'єктів техніки дозволяють за частотою модуляції лопатями (для вертольотів) і гвинтами (для літаків з пропелерами) визначити оберти двигунів, що також виявляється в віддзеркаленнях радіолокаційних сигналів, у вібраціях корпусу об'єктів техніки і пропелерній, гвинтовій і турбінній модуляціях розсіяного сигналу. Збільшення кількості обертів двигуна призводить не тільки до зростання частоти, а й рівня вібрацій, причому найбільш сильно при режимах максимальних обертів. Різке збільшення амплітуди частоти вібрації може служити ознакою роботи двигуна в режимі форсажу. Частоти модуляції сигналу, розсіяного несучим і рульовим гвинтами, можуть використовуватися для розрізнення типів вертольотів.
3. Наявність у високочастотній області широкосмугового сплеску, що з'являється з частотою обертання гвинта, можна використовувати як інформативну ознаку для виявлення вертольота в тих ситуаціях, коли відсутній доплерівський зсув частоти сигналу, відбитого від корпусу, і він не виділяється на фоні віддзеркалень від місцевості.
4. Виявлені однакові спектральні компоненти на різних поляризаціях прийому і довжинах хвиль опромінюючого поля, які пов'язані з вібрацією обшивки під впливом рушійної установки, є основою для створення методик підвищення контрастності виділення сигналів об'єкту з працюючим двигуном на фоні завад від місцевості.
5. Визначено, що у спектрах сигналів мовних станцій КХ і УКХ діапазонів, у діапазоні частот від 6 до 60 Гц відносно несучої, спектральна щільність істотно нижче на 20... 30дБ, ніж в області інформаційних частот, що є основою їх застосування для вирішення задач радіолокації і дистанційного зондування.
6. Запропоновані імітаційні моделі акустичних шумів місцевості і об'єктів, а також радіолокаційних віддзеркалень від суші, дозволяють оцінювати робочі характеристики систем акустичної розвідки (дальності дії) і активно-пасивних

систем радіолокації. Зокрема, втрати в співвідношенні сигнал-шум, які виникають при виявленні сигналів за рахунок негаусовості завад, досягають 20 дБ.

7. Показано можливість отримання інформації про навколишнє середовище з використанням вторинних полів, які створюються об'єктами техніки при віддзеркаленні сигналів підсвічування мовних станцій КХ діапазону, супутникових навігаційних систем, наземних систем телебачення і мовлення, акустичних шумів об'єктів. Також їх використання може дозволити виявляти рухомі об'єкти наземної техніки на віддаленнях в одиниці кілометрів. Використання для підсвічування довкілля випромінювань мовних КХ станцій і власних радіостанцій об'єктів може дозволити виявляти висотні повітряні цілі на віддаленнях понад 10 км. Власні акустичні шуми об'єктів техніки дозволяють здійснювати їх виявлення на відстанях до 8 км при відсутності зовнішніх завад.

8. Звернуто увагу на збіг особливостей акустичних та вторинних електромагнітних випромінювань природних та антропогенних об'єктів, що є перспективним при розробленні методик моніторингу довкілля.

Особистий внесок здобувача. У дисертаційній роботі викладено результати досліджень, виконаних автором самостійно і в співавторстві з колегами. Особистий внесок дисертанта полягає у наступному.

У роботах [5, 12, 15] він експериментально дослідив рівні шуму, діаграми і спектри випромінювання наземних (транспортні засоби, люди) і аеродинамічних (квадрокоптер, літаковий БПЛА) об'єктів. Запропонував методику оцінки впливу на рівні і спектри випромінювання дальності і азимута спостереження.

У роботах [1, 2, 8, 10, 17] запропонував методику оцінки дальності дії систем розвідки, які використовують власне випромінювання наземних (транспортних засобів, людей) і аеродинамічних (літаки і вертольоти) об'єктів. Розглянув вплив на спектри випромінювання атмосфери і підстильної поверхні. Отримав значення множника загасання при різних метеорологічних умовах для типових об'єктів розвідки.

В роботах [15, 18] запропонував методику аналізу квазіперіодичних процесів, в тому числі при поширенні хвиль в середовищах з дисперсією і поглинанням.

У роботах [7, 13, 14, 16, 22] брав участь в розробці методики отримання електромагнітних і акустичних сигнатур об'єктів техніки на основі їх оптичних зображень та проводив експериментальні дослідження в натурних і лабораторних умовах.

У роботах [4, 20] брав участь в формулюванні ідеї використання моделі нестационарних, негаусових завад від підстильних поверхонь у вигляді напівмарківських вкладених процесів, в [3, 21] запропонував підхід, що дозволяє імітувати сигнали зворотного розсіювання від суші при високій роздільній здатності РЛС по дальності і азимуту, а також оцінити робочі характеристики систем селекції і виявлення об'єктів на фоні суші.

В роботі [23] запропонував використовувати напівмарківські вкладені процеси для опису нестационарних акустичних шумів.

У роботах [6, 9, 19] запропонував можливість побудови інтелектуальних мереж з окремих об'єктів наземної техніки і за рахунок цього підвищення ефективності їх застосування та живучості.

В роботі [11] брав участь в розробці способу побудови і алгоритму синтезу двовимірних антен на основі магічних квадратів, що забезпечують, при високому ступені розрідження, досить мале бічне випромінювання.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідалися на міжнародних конференціях і симпозіумах (усього 14 доповідей), в тому числі:

1. 5-й Междунар. радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (Харків, Україна, 2014) – 1 доповідь;

2. 8-я Междунар. научно-техническая конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (Суздаль, Росія, 2015) – 3 доповіді;

3. International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves Millimeter and Submillimeter Waves (Kharkov, Ukraine, 2016) – 2 доповіді;

4. IV Міжнар. науково-практична конференція «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки» (Київ, Україна, 2016) – 3 доповіді;

5. VI Міжнар. науково-практична конференція «Обробка сигналів і негауссівських процесів» (Черкаси, Україна, 2017) – 3 доповіді;

6. II Всероссийская научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» (Муром, Росія, 2018) – 1 доповідь;

7. VIII Всероссийские Армандовские чтения IX научно-практический семинар «Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике» (Муром, Росія, 2018) – 1 доповідь.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано у 8 статтях у наукових вітчизняних і закордонних виданнях, 1 патенті України про винахід та в 14 тезах міжнародних наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із анотації, переліку умовних позначень, вступу, 5-ти розділів, висновків, списку використаних джерел і 6-ти додатків. Обсяг основного тексту - 143 сторінки, повний обсяг становить 234 сторінки. Дисертація містить 50 рисунків (з них 25 на окремих сторінках) і 3 таблиці на окремих сторінках. Список використаних джерел на 20 сторінках містить 170 найменувань. Додаток А займає 4 сторінки. Додаток Б займає 4 сторінки. Додаток В займає 5 сторінок. Додаток Г займає 8 сторінок. Додаток Д займає 14 сторінок. Додаток Є займає 4 сторінки.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету й задачі, об'єкт, методи і предмет дисертаційного дослідження. Викладено зв'язок роботи з науковими програмами і темами. Подано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок автора в роботах,

виконаних у співавторстві, проведено апробацію результатів і наведено відомості про публікації за темою дисертації.

У **розділі 1** дисертації проведено огляд акустичних шумів об'єктів техніки і місцевості та аналіз робіт, присвячених дослідженню особливостей вторинних електромагнітних випромінювань мобільних об'єктів техніки в оптичному, КХ і УКХ діапазонах. Проаналізовано існуючі системи акустичної розвідки, КХ і УКХ радіолокації, їх можливості по виявленню наземних і повітряних об'єктів. Розглянуто перспективи використання смарт-грід технології. Сформульовано задачі, які необхідно вирішити для моніторингу обстановки з використанням акустичних і вторинних електромагнітних випромінювань антропогенних об'єктів.

У **розділі 2** викладено результати експериментальних досліджень акустичних шумів об'єктів техніки, впливу на них атмосфери і підстильної поверхні. Розроблено методики їх оцінки, що дозволяють визначати дальності дії пасивних акустичних систем. Показано, що наземні і повітряні об'єкти випромінюють звук в досить широкій смузі, в спектрах присутні характерні спектральні компоненти, які пов'язані з роботою рушійної установки. Характер сигналу квазістаціонарний. Для апроксимації спектра в високочастотній області можна використовувати фрактальні залежності $S(F) \approx F^{-n}$. Аналіз показує, що для більшості об'єктів (наземна техніка, звук пострілу) швидкість убуття спектральної щільності близька до $n \approx 2$.

Для оцінки дальності дії акустичних систем розвідки необхідно знати значення ослаблення шуму джерела розвідки за рахунок атмосфери і підстильної поверхні. Для цього було введено поняття інтегрального множника ослаблення.

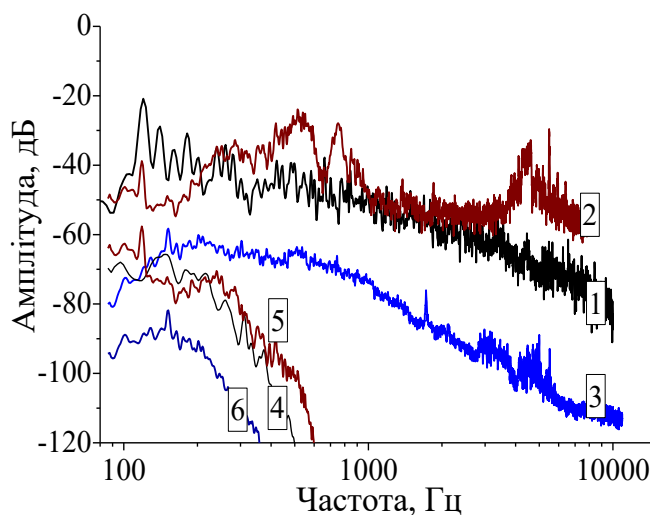


Рисунок 1 – Спектри акустичних сигналів на різних віддаленнях від джерел при поширенні в атмосфері: 1, 2, 3- біля джерела; 4, 5, 6- дальність 8 км; 1, 4- дизельний двигун 800 об./хв; 2, 5- літак Jet; 3, 6- вертоліт Мі-24

Спектри випромінювання на різних віддаленнях при температурі повітря 15° С і вологості 20% без врахування впливу поверхні розподілу, показані на рис. 1. Видно, що сильніше трансформуються спектри більш широкосмугових джерел звуку. Із зростанням дальності знижуються відмінності в спектрах випромінювання різних джерел. Крім зниження інтегральної інтенсивності випромінювання, спектри випромінювання для всіх джерел при цьому звужуються і на великих віддаленнях від джерела шуму вони стають схожі (рис. 1, криві 4, 5, 6). У той же час, поблизу джерела випромінювання відмінності між ними суттєво більші (рис. 1 криві 1, 2, 3). На дистанціях в 1...2 км ефективна ширина спектра за рівнем 50% зменшується для більшості об'єктів в 1,5...2 рази.

Оцінено множник ослаблення поверхні на різних дистанціях від джерела звуку для різних частот в залежності від ступеня шорсткості поверхні. Показано, що інтерференційне ослаблення звуку поверхнею землі необхідно враховувати для наземної техніки і маловисотних літальних апаратів (з висотами 50...100 м). При великих висотах польоту ослабленням можна знехтувати для дистанцій, на яких може здійснюватися акустичне виявлення. Зростання середньоквадратичної висоти нерівностей призводить до більш раннього руйнування інтерференційної структури поля. В силу істотно більшої широкосмуговості джерел акустичного шуму, в порівнянні з об'єктами радіолокаційного спостереження, значно відрізняється і вплив поверхні розділу на різні частки спектра випромінюваного шуму. Сильніше, за рахунок поверхні, придушуються низькочастотні компоненти і менше високочастотні. Це необхідно враховувати при оцінці інтегрального множника ослаблення для кожного конкретного джерела шуму. Результати оцінки інтегральних значень множника ослаблення поверхні для різних джерел шуму і середньоквадратичної висоти нерівності поверхні $\sigma_h \approx 0,3\text{ м}$ показані на рис. 2.

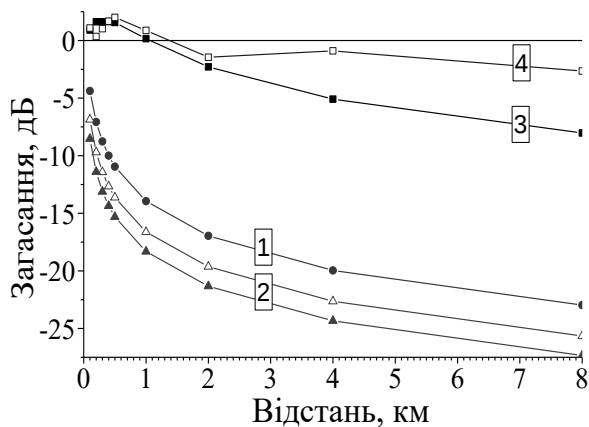


Рисунок 2 – Вплив поверхні розділу на загасання звуку: 1- постріл гармати, 2- дизельний двигун (Δ -2000 об./хв., $\blacktriangle$ - 800 об./хв.), 3- вертоліт Мі-24, 4- літак Jet

З використанням даних про рівень шумів різних джерел і значень інтегральних множників ослаблення атмосфери і підстильної поверхні оцінено дальності виявлення об'єктів акустичного випромінювання для різних станів атмосфери та рівнів зовнішніх завад. Встановлено, що повітряні об'єкти можуть виявлятися при відсутності завад на відстанях понад 8 км, при низькій температурі і вологості дальність знижується до 5 км. При значних завадах дальність виявлення може бути менше 1 км. Звуки пострілу при слабких завадах можуть бути виявлені на віддаленнях більше 8 км, при сильних шумах - на відстанях 6 ... 7 км, а при наявності сильного дощу та вітру

можуть знизитися до 3 км. Об'єкти наземної техніки при відсутності завад можуть виявлятися на віддаленнях в 4...6 км, а при сильному вітрі і дощі - менше 0,5 км.

У розділі 3 розглянуто розпізнавання типів антропогенних об'єктів, яке пов'язано з вирішенням завдань вибору принципів класифікації і складання словників ознак. При створенні ознакових просторів для розпізнавання повітряних цілей типу вертоліт на перший план виступають розрахункові методи і методики формування поляризаційно-спектральних портретів.

Резонансні частоти розсіяння для великих літаків становлять 3...6 МГц, для вертольотів (10...20 МГц) і для винищувачів (10...17 МГц). При аналізі розрахункових значень ефективної площі розсіяння (ЕПР) різних типів вертольотів визначено, що різниця ЕПР корпусу на вертикальній поляризації може досягати 10 дБ. На горизонтальній поляризації відмінності не перевищують 3 дБ. Різниця ЕПР в резонансній і короткохвильовій областях частот для більшості вертольотів

різних типів менш 6 дБ. У той же час частоти модуляції несучим гвинтом для різних типів вертольотів можуть відрізнятися в 3...4 рази. Ще більші відмінності в частотах модуляції рульовим гвинтом, які можуть досягати 10...15 разів. Для вирішення задачі розпізнавання більш інформативними є частоти модуляції, ніж інтенсивність розсіяного сигналу. Використання кепстральної обробки для виділення модуляційних частот, пов'язаних з обертанням гвинтів вертольоту, ілюструє рис. 3. В спектрах акустичних шумів різних типів вертольотів простежуються гармоніки модулюючої частоти обертання гвинтів. Порівняння частот модуляції, отриманих розрахунковим методом, з частотами акустичного і радіолокаційного портретів показує на їх задовільну відповідність. Дослідження радіолокаційних віддзеркалень від турбореактивних двигунів в сантиметровому та міліметровому діапазонах хвиль дозволили встановити наявність в їх спектрі дискретних ліній.

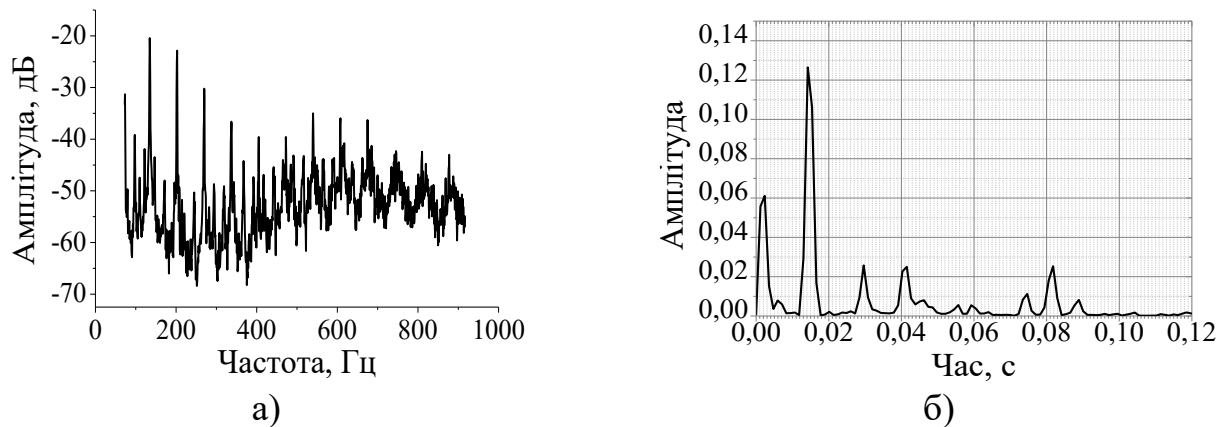


Рисунок 3 – Спектр (а), кепстр (б) для вертольоту KB3-АНСАТ

Необхідно відзначити збіг частот спектральних ліній, які відповідають частоті обертання валу двигуна на горизонтальній і вертикальній поляризаціях в обох діапазонах хвиль, в той час як спектри відбиття від місцевості істотно відрізняються на різних хвилях і поляризаціях. Цю обставину можна використовувати для виділення співпадаючих спектральних компонент в розсіяному сигналі на різних поляризаціях або різних діапазонах хвиль.

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки:

- в спектрах сигналів, розсіяних об'єктами з працюючою турбореактивною рушійною установкою, як в сантиметровому, так і міліметровому діапазонах на обох поляризаціях (горизонтальній і вертикальній) виявлено дискретні лінії на частотах обертання валу двигуна, які обумовлені фазовою модуляцією відбитого сигналу, що викликано вібрацією обшивки корпусу;

- в акустичному сигналі дискретні лінії спостерігаються на частотах, кратних добутку частоти обертання валу двигуна на кількість лопаток турбіни.

Вивчення коефіцієнтів взаємної кореляції різних спектральних компонент дозволили виявити наявність високорельованої області у спектрі відбитого від вертольоту сигналу.

Наявність в високочастотній області широкосмугового сплеску, що з'являється з частотою обертання гвинта, можна використовувати як інформативну ознаку для розпізнавання вертольоту на фоні місцевості.

У розділі 4 наведено результати експериментального вивчення характеристик нестационарних завад для активних і активно-пасивних радіосистем, а також систем акустичної розвідки. Запропоновано методи їх опису на основі використання вкладених напівмарківських процесів, визначено основні параметри, що входять до складу моделі, а також оцінено втрати в співвідношенні сигнал/шум при виявленні сигналів, що виникають за рахунок негаусових характеристик завад.

Вивчення здійснювалося за результатами радіолокаційного картографування ділянок місцевості із застосуванням макетів імпульсних вимірювальних РЛС з довжинами хвиль 2 см і 8 мм. Доведено, що, незважаючи на різнотипність досліджуваних ділянок, спостерігається стійкість значень ймовірностей наявності в них зон з високою інтенсивністю відбитого сигналу (викидів завад) і відношення інтенсивностей компонент (викидів та пауз) в розсіяному сигналі. Найбільший перепад інтенсивностей компонент спостерігається для забудованих ділянок (до 30 дБ). Для лісового масиву з ділянками луки, пагорба з травостоєм, сільгоспугідь з зонами посадок перепад інтенсивності становить 23...27 дБ. Ймовірність наявності в межах однотипної ділянки зон інтенсивного віддзеркалення сигналу становить від 0,15 до 0,3. Найбільші просторові радіуси кореляції характерні для відбиттів від лісового масиву. Для зони забудови, поля і луки характерна більш вузька просторова кореляція. Для зон забудови і лісового масиву можна виділити ділянки спектра, що мають різний нахил. Це означає, що всередині цих зон можуть бути присутні ділянки з різними характерними масштабами неоднорідностей. Практично для всіх типів місцевості в низькочастотній області

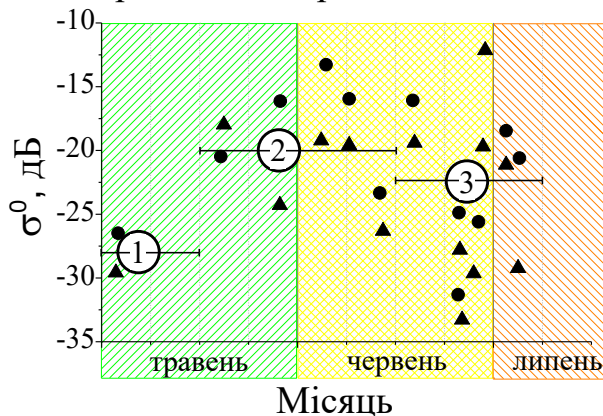


Рисунок 4 – Сезонна зміна ПЕПР ділянок суші, покритих рослинністю:

- 1- відсутність листя і трави; 2-
нарастання біомаси; 3- період
стабільного стану біомаси;
режим роботи РЛС: ▲ - когерентний;
● - некогерентний

просторових чисел швидкість убуття спектральної щільності приблизно така ж або трохи менша, ніж спектра експоненційної кореляційної функції.

На рис. 4 представлено середні значення питомої ЕПР суші з рослинністю впродовж всього періоду спостережень. Для опису процесу наростання біомаси, від об'єму якої залежить ПЕПР в період вегетації, можна використовувати атомарні функції Кравченка, які дозволяють добре описувати фінітні процеси. Швидкість вітру практично не впливає на ЕПР рослинності. Проте вона значно впливає на ширину спектра. Форма спектра розсіяного рослинністю сигналу залежить від швидкості вітру і типу місцевості.

Проведено лабораторні експерименти по визначенню характеристик радіолокаційних віддзеркалень від фрагментів рослин на хвилях 8 мм і 10 см при різних швидкостях вітру. Показано, що для кожного з типів рослинності існує певна швидкість вітру, починаючи з якої відбувається різке зростання ширини спектра розсіяних сигналів. Основний внесок у відбитий рослинними об'єктами сигнал, особливо в його флуктуаційну компоненту, вносять трава і листя дерев (до 8 дБ).

Залежності коефіцієнтів віддзеркалення та поглинання сигналу різними елементами рослин від вмісту вологи представлено на рис. 5. Показано, що наявність двох конкуруючих механізмів зниження загасання і коефіцієнта віддзеркалення при зменшенні вологості, при яких в процес розсіювання залучаються не тільки поверхневі, але і більш глибокі шари листя, призводить до зниження діапазону зміни ПЕПР. Якщо для коефіцієнта відбиття при зміні вологості перепад може становити 8...9 дБ, то для ПЕПР він близько 5...6 дБ, що узгоджується з експериментальними даними. Визначено характеристики завад активно-пасивним системам радіолокації, що створюються випромінюваннями мовних станцій КХ і УКХ діапазонів.

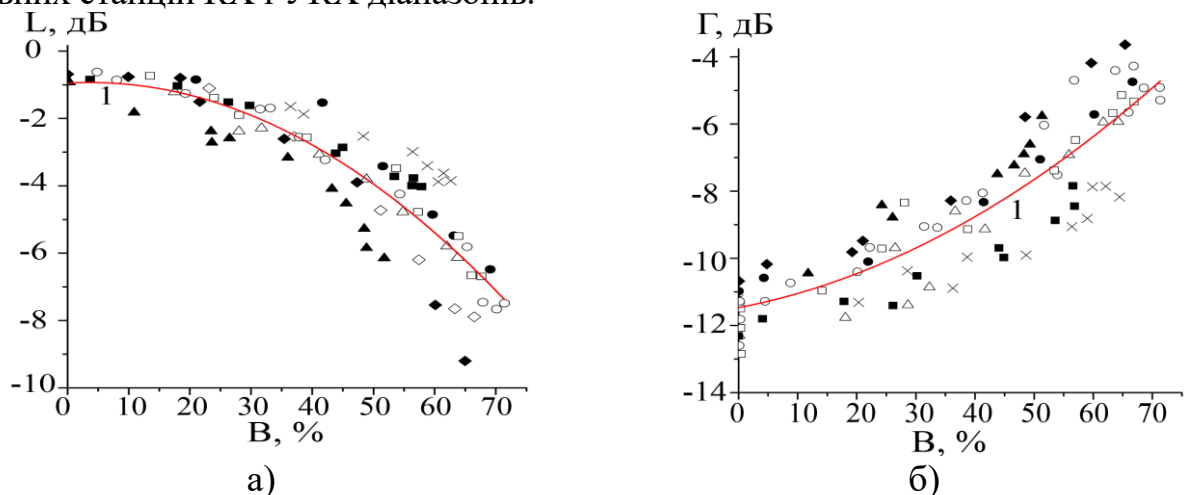


Рисунок 5 – Коефіцієнти поглинання і віддзеркалення від листя дерев та трави в залежності від вологості $V\%$: 27 ... 85 ГГц; $\triangle$ - осика; $\circ$ - верба; $\bullet$ - трава; $\blacktriangle$ - береза; $\blacklozenge$ - очерет; $\diamond$ - тополя; $\square$ - клен; $\blacksquare$ - дуб; $\times$ - клен платаноподібний;
а) коефіцієнт поглинання, б) коефіцієнт віддзеркалення

В якості завад активно-пасивних систем, що користуються відбитим від об'єктів полем мовних станцій КХ і УКХ діапазонів, виступають спектральні компоненти переданих інформаційних повідомлень в доплерівській смузі частот. Встановлена наявність провалу спектральної щільності на частотах 6...60 Гц (щодо несучої в спектрах випромінювання мовних станцій) дозволяє здійснювати виявлення вторинних полів від повітряних об'єктів в цій частині спектру. Показано можливість використання для опису нестаціонарних акустичних шумів природного та антропогенного походження моделей на базі вкладених напівмарківських процесів.

У розділі 5 розглянуто наукові основи побудови хмарних інтелектуальних мереж з об'єктів наземної техніки, комплексування сенсорів, що використовують поля різних діапазонів довжин хвиль і фізичної природи (електромагнітні та акустичні), запропоновано методики оцінки їх ефективності.

Розглянуто підсвічування довкілля з використанням випромінювань мовних КХ станцій. Особливістю є використання іоносферної хвилі мовної КХ станції. Забезпечивши придушення прямого сигналу підсвічування не менше ніж на 40 дБ, можна отримати дальності виявлення в одиниці кілометрів для цілей з ЕПР більше 10 м^2 (рис. 6 а). Запропоновано методику використання власних засобів радіозв'язку для освітлення довкілля, та оцінено дальність дії (рис. 6 б). Показано, що для висотних повітряних об'єктів дальності виявлення можуть становити десятки кілометрів. У той же час наземні і маловисотні об'єкти можуть виявлятися лише на невеликих відстанях в одиниці кілометрів. Для освітлення повітряної обстановки можуть використовуватися випромінювання глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) як існуючих в даний час російської і американської (ГЛОНАСС, GPS), так і тих, що створюються - європейської та китайської (Galileo, BeiDou). Отримано оцінки ефективності комплексування різного типу сенсорів та систем.

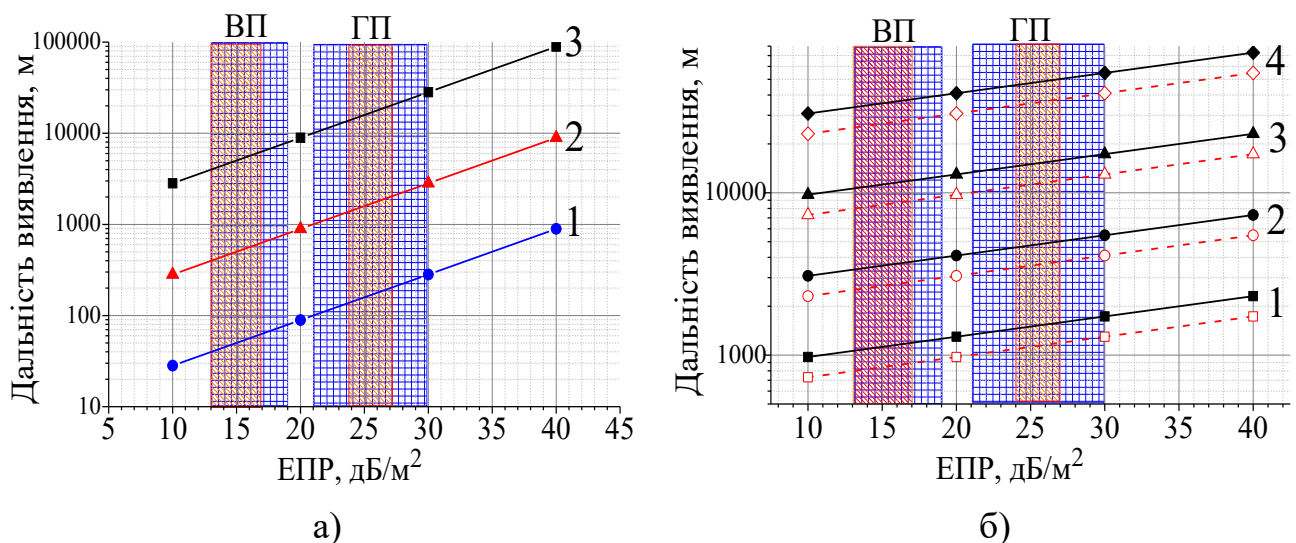


Рисунок 6 – Дальности виявлення об'єктів при використанні для підсвічування: а) мовних станцій КХ діапазону (глибина провалу діаграми спрямованості антени в напрямку підсвічування: 1- 0 дБ, 2- 20 дБ, 3- 40 дБ); б) власних бортових радіостанцій КХ діапазону ($\lambda = 20 \text{ м}$; полоси частот: — 0,1 Гц, --- 1 Гц; висоти об'єктів: 1- 10 м, 2- 100 м, 3- 1 км, 4- 10 км ; ГП, ВП- горизонтальна та вертикальна поляризації; - наземні об'єкти, -повітряні об'єкти

У ДОДАТКУ А наведено наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації.

У ДОДАТКУ Б наведено рівні шуму, коефіцієнти апроксимацій та розрахункові значення дальності виявлення різних об'єктів.

У ДОДАТКУ В представлено апаратуру, методику, проміжні результати досліджень.

У ДОДАТКУ Г наведено характеристики об'єктів техніки.

У ДОДАТКУ Д показано додаткові результати досліджень відбиттів від місцевості, характеристики вимірювальних систем і акустичних шумів.

У ДОДАТКУ Є наведено основні технічні характеристики об'єктів дослідження та дальності дії датчиків виявлення об'єктів.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено задачу створення методики виявлення сигнатур електромагнітних і акустичних портретів антропогенних об'єктів, розроблено модель для опису їх нестаціонарної структури, запропоновано способи оцінки дальності дії активно-пасивних систем стеження, що використовують електромагнітні випромінювання систем наземного і космічного базування, а також власні акустичні шуми, показано ефективність застосування смарт-технології об'єднання інформації сенсорів, що використовують фізичні поля різної природи, для підвищення ефективності моніторингу довкілля.

I. Вивчено просторово-часові характеристики електромагнітних і акустичних полів, що випромінюються природними та антропогенними об'єктами, а також джерел підсвічування.

1. Отримано дані за рівнями акустичних шумів наземної техніки і малорозмірних повітряних об'єктів (типу БПЛА) для різної дальності спостереження. Так, рівень шуму поряд з легковим автомобілем становить приблизно 55...70 дБ, а для БПЛА – 92 дБ. Зміна обертів двигуна від холостого ходу до максимальних призводить до зростання рівня шуму більш ніж на порядок.

2. У спектрах сигналів мовних станцій КХ і УКХ діапазонів, які можуть виступати як сигнали підсвічування для активно-пасивних систем радіолокації в діапазоні частот від 6 до 60 Гц відносно несучої, якому відповідають доплерівські зсуви частоти віддзеркалень від повітряних об'єктів, спектральна щільність істотно нижча (на 20...30 дБ), ніж в області інформаційних частот, чим і забезпечується можливість їх застосування для вирішення задач радіолокації і дистанційного зондування.

3. Встановлено, що просторові спектри радіолокаційних віддзеркалень від ділянок суші, спектри акустичних шумів природних і антропогенних об'єктів описуються фрактальними залежностями $S(F) \approx F^{-n}$ з показником ступеня на крилах спектра, який для більшості випадків не перевищує $n \approx 2$.

II. Встановлено невідомі раніше особливості випромінювання вторинних електромагнітних і акустичних полів наземними і повітряними об'єктами.

1. Істотне (в декілька разів) звуження ширини спектра акустичного випромінювання зі збільшенням дальності до джерела через дисперсійні властивості атмосфери. Зменшення інтерференційного впливу поверхні на інтенсивність сигналу на високих (понад 1 кГц) частотах внаслідок впливу шорсткості поверхні. Найбільший вплив інтерференційних явищ при віддзеркаленні звуку від поверхні Землі на низьких частотах, що знижує інтенсивність прийнятого шуму.

2. Встановлено теоретично і підтверджено експериментально зв'язок між розмірами лопатей вертольоту і частотою їх обертання, яка є сигнатурою для розпізнавання типу вертольоту і може бути оцінена по оптичним портретам і акустичним шумам.

3. Виявлено сплески зі змінною шириною спектра високочастотних компонент віддзеркалень, що обумовлені частотною модуляцією розсіяного

сигналу обертовими лопатями гвинтів вертольоту. Наявність у високочастотній області широкосмугового сплеску, який з'являється з частотою обертання гвинта, що обумовлено зміною куту між лопаттю та фронтом електромагнітної хвилі, може використовуватися як інформативна ознака при виявленні нерухомого вертольоту на фоні місцевості і його розпізнавання. Встановлено можливість виділення інформації про частоту обертання гвинтів вертольоту або частоти обертання колінчастого валу двигунів внутрішнього згоряння за допомогою кепстральної обробки їх акустичних шумів або радіолокаційних віддзеркалень.

4. Вперше показана можливість використання корельованих спектральних компонент, отриманих на різних поляризаціях прийому і довжинах хвиль опромінюючого поля, пов'язаних з вібрацією обшивки під впливом рушійної установки, для підвищення контрастності виділення сигналів об'єкта з працюючим двигуном на фоні завад від місцевості.

III. Розвинені статистичні методи опису та проведено оцінку характеристик пасивних і активно-пасивних радіотехнічних систем в умовах впливу на них негаусових нестаціонарних завад, утворених віддзеркаленнями від місцевості, сигналами підсвічування, акустичними шумами.

1. Отримала подальший розвиток теорія опису негаусових шумів: в класі напівмарківських вкладених процесів запропоновано багатовимірну статистичну модель негаусового сигналу, розсіяного сушею, з використанням експериментальних даних визначено параметри, що входять до її складу, вивчено вплив на характеристики віддзеркалення сезону і погодних умов. Показано можливість використання запропонованої моделі для опису нестаціонарних акустичних шумів вітру, кроків людини і пострілів.

2. Різниця в інтенсивності і спектрах сигналів (шуму кроків людини, звуку пострілів) для різних фазових станів може служити інформативним критерієм для виявлення дефектів ходи і зброї. Відмінності в спектрах, темпі стрільби (зміни періоду стрільби) можуть бути інформативними ознаками для виявлення дефектних зразків.

3. Розроблено методику оцінки дальності виявлення джерел акустичного випромінювання в умовах впливу загасання в атмосфері і інтерференційного послаблення земною поверхнею для нейтрального режиму поширення у атмосфері. Теоретично показано можливість виявлення об'єктів наземної та повітряної техніки за акустичним випромінюванням при відсутності зовнішніх шумів на віддаленнях в кілька кілометрів. Природні шуми вітру, дощу, власного двигуна можуть в значній мірі (на 1...2 порядки) знижувати дальність дії систем акустичної розвідки. Експериментально показано, що, пригнічуючи низькочастотні компоненти шуму в смузі до 1000...2000 Гц, можна підвищити контраст спостереження в умовах шуму вітру наземних об'єктів приблизно на 5...13 дБ і до 10...20 дБ для БПЛА. Шум вітру є суттєво нестаціонарним процесом. В поривах інтенсивність шуму може зростати на 30 дБ. Тому система акустичної розвідки повинна будуватися як адаптивна, що дозволить забезпечити виявлення об'єктів на інтервалах часу між поривами вітру.

IV. Запропоновано технології створення просторово-розподілених смарт-грід мереж для підвищення ефективності застосування об'єктів техніки.

1. Запропоновано функціонали якості, що дозволяють проводити порівняльний аналіз ефективності застосування об'єктів наземної техніки при використанні різних сполучень сенсорів. Комплексування систем виявлення, що використовують фізичні поля різних діапазонів і природи, та побудова роботизованих комплексів, вбудованих в смарт- грід систему розподіленого інтелекту, дозволять підвищити їх живучість і ефективність застосування об'єктів техніки.

2. Показано можливість отримання інформації про навколишнє середовище з використанням вторинних полів, що створюються об'єктами техніки, при віддзеркаленні сигналів підсвічування мовних станцій КХ діапазону, супутникових навігаційних систем, наземних систем телебачення і мовлення, акустичних шумів об'єктів. Їх використання може дозволити виявляти рухомі об'єкти наземної техніки на віддаленнях в одиниці кілометрів. Використання для підсвічування довкілля випромінювань мовних КХ станцій і власних радіостанцій, встановлених на об'єктах, може дозволити виявляти висотні повітряні цілі на віддальх понад 10 км. Власні акустичні шуми об'єктів техніки дозволяють здійснювати їх виявлення при відсутності зовнішніх завад на відстанях до 8 км і істотно знижуються через шуми вітру та дощу.

Список основних публікацій за темою дисертації

1. Використання випромінювань штучних супутників Землі та телевізійних центрів для дослідження атмосферних процесів / О. В. Кривенко, А. Г. Лауш, В. І. Луценко, І. В. Луценко, Д. О. Попов, І. В. Попов, О. В. Соболяк // Космічна наука і технологія. - 2015.- Т. 21, № 3.- С.83-90.
2. Луценко В.И. Дальность действия систем акустической разведки / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк // Прикладная радиоэлектроника.- 2015.- Т. 14, № 2.- С.125-136.
3. Имитационная модель сигнала обратного рассеяния от суши / В.Ф. Кравченко, В.И. Луценко, И.В. Луценко, Е.В. Кривенко, А.В. Соболяк // Физические основы приборостроения.- 2015.- Т.4, №4(17). –С.3-29.
4. Обнаружение сигналов на фоне нестационарных негауссовых помех от подстилающей поверхности / В.Ф. Кравченко О.В. Кравченко В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк. // Физические основы приборостроения.- 2016.- Т.5, №4(21). –С.23-39.
5. Характеристики акустических полей наземных и малоразмерных воздушных объектов акустической разведки / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Мазуренко, А.В. Соболяк // Прикладная радиоэлектроника.- 2017.- Т.16, №1, 2.- С.18-22.
6. Луценко В.И. Использование смарт-грид технологий для повышения эффективности применения объектов наземной техники / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк // Прикладная радиоэлектроника.- 2017.- Т16, №3, 4.- С.134-145.

7. The Acousto-Electromagnetic Portrait Signatures For The Aerodynamic And Ground Technology Objects / V. Lutsenko, I. Lutsenko, A. Sobolyak, Y. Luo, Q. Guo, & Y. Zheng // Telecommunication and Radio Engineering.- 2018.- Vol.77, №11. – P.971-993.
8. Луценко В.И. Пассивные акустические системы разведки, дальность их действия и разрешающая способность / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк // Інтегровані технології та енергозбереження, щоквартальний науково-технічний журнал. Харків: НТУ «ХПІ».- 2014.- № 3.- С. 60-64.
9. Пат. Україна №111262, МПК H03B 7/14 (2006.01), H03B 7/06 (2006.01) Відкрита випромінююча система / Кривенко О. В., Луценко В. І., Соболяк О.В. // Заявник і власник Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова НАН України.- № а 2014 08410, заявл. 27.04.2014, опубл. дані заявки 21.05.2016, Бюл.№2, опубл. дані про патент 11.04.2016, Бюл.№7.
10. Луценко В.И. Дальность действия и разрешающая способность пассивных акустических систем разведки / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк // 5-й Международный Радиоэлектронный Форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ-2014), Межд. конф. «Интегрированные информационные радиоэлектронные системы и технологии», 14-17-октября: сб. научн. тр. – Харьков, 2014.- Т.1.- С. 41-44.
11. Использование свойств магических квадратов для апертурного синтеза / В.И. Луценко, И.В. Луценко, И.В. Попов, А.В. Соболяк, Иян Ло // 8-я Междунар. научно-техн. конф. «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации», 20-23 сентября: сб. научн. тр.– Российское НТОРЭС им. А.С. Попова. Суздаль. Россия, 2015.- С.215-219.
12. Методика оценки уровня акустических шумов объектов на местности / В.Ф. Кравченко, В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк // 8-я Междунар. научно-техн. конф. «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации», 20-23 сентября: сб. научн. тр.– Российское НТОРЭС им. А.С. Попова. Суздаль. Россия, 2015.- С.220-225.
13. Луценко В.И. Сигнатуры акусто-электромагнитных портретов аэродинамических и наземных объектов техники / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк // 8-я Междунар научно-техн. конф. «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации», 20-23 сентября: сб. научн. тр.– Российское НТОРЭС им. А.С. Попова. Суздаль. Россия, 2015.- С.226-230.
14. Signatures of Acousto-Electromagnetic Portraits of Aerodynamic and Terrestrial Mechanical Objects / V.I. Lutsenko, I.V. Lutsenko, I.V. Popov, A.V. Sobolyak // Proceedings 2016 International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves. -Kharkov, Ukraine, June 21-24, 2016 – 1 електрон. опт. диск (CD – ROM).
15. Optimal Reception of Signals Propagating in Media with Absorption and Dispersion / V.I. Lutsenko, I.V. Lutsenko, I.V. Popov, A.V. Sobolyak // Proceedings 2016 International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves,

- Millimeter and Submillimeter Waves. -Kharkov, Ukraine, June 21-24, 2016 – 1 електрон. опт. диск (CD – ROM).
16. Луценко В.І. Акусто-електромагнітні портрети об'єктів наземної та повітряної техніки / В.І. Луценко, І.В. Луценко, О.В. Соболяк // IV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки», 12–13 жовтня: зб. наук. праць.- Київ, 2016. – С.137-138.
 17. Луценко В.І. Застосування систем акустичної розвідки для підвищення живучості об'єктів наземної техніки / В.І. Луценко, І.В. Луценко, О.В. Соболяк // IV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки», 12–13 жовтня: зб. наук. праць.- Київ, 2016. – С.139-141.
 18. Описание и анализ квазипериодических сигналов распространяющихся в средах с поглощением и дисперсией / В.И. Луценко, И.В. Луценко, Иян Ло, А.В. Соболяк // VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Обработка сигналов і негауссівських процесів» (ОСНП-17) пам'яті професора Ю.П. Кунченка, 24-26 травня: зб. наук. праць. – Черкаси, 2017. – С. 29-31.
 19. Луценко В.І. Використання смарт-грід технологій для підвищення ефективності використання об'єктів наземної техніки / В.І. Луценко, І.В. Луценко, О.В. Соболяк. // IV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки», 12–13 жовтня: зб. наук. праць.- Київ, 2016. – С.141-143.
 20. Оптимальное обнаружение сигналов на фоне стационарных негауссовых помех / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк, И.В. Попов // VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Обработка сигналов і негауссівських процесів» (ОСНП-17) пам'яті професора Ю.П. Кунченка, 24-26 травня: зб. наук. праць. – Черкаси, 2017. – С.121-123.
 21. Разрешение – обнаружение - измерение параметров сигналов в негауссовых шумах / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк, И.В. Попов // VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Обработка сигналов і негауссівських процесів» (ОСНП-17) пам'яті професора Ю.П. Кунченка, 24-26 травня: зб. наук. праць. – Черкаси, 2017. – С.118-120.
 22. Определение сигнатур акусто-электромагнитных портретов объектов техники на основе их оптических портретов / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк, Ло Иян, Гоу Цян, Джин Юн. // II Всероссийская научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн», 26-28 июня: сб. научн. тр.– Муром, 2018.- С.703-710.
 23. Использование полумарковских вложенных процессов для описания нестационарных акустических шумов. / В.И. Луценко, И.В. Луценко, Ло Иян, А.В. Соболяк // VIII Всероссийские Армандовские чтения, IX научно-практический семинар «Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике», 26-28 июня: сб. научн. тр.– Муром, 2018. –С.25-27.

АНОТАЦІЯ

Соболяк О.В. Моніторинг електромагнітних і акустичних випромінювань антропогенних об'єктів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика. Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, м. Харків, 2019.

Дисертацію присвячено вирішенню завдання розробки методик виявлення набору характерних ознак - сигнатур акустичних і вторинних електромагнітних полів антропогенних об'єктів, визначенню параметрів фонових шумових сигналів для ефективного виділення на його фоні корисного сигналу, визначенню впливу середовища поширення і стану підстильної поверхні на корисний сигнал і подальшого використання отриманої інформації в системах моніторингу довкілля.

Звернуто увагу на збіг особливостей акустичних та вторинних електромагнітних випромінювань природних та антропогенних об'єктів, що є перспективним при розробленні методик моніторингу довкілля.

Розроблено методику оцінки дальності виявлення джерел акустичного випромінювання в умовах впливу його загасання в атмосфері і інтерференційного ослаблення земною поверхнею. Теоретично обґрунтовано можливість виявлення об'єктів наземної та повітряної техніки за їх акустичним випромінюванням на віддаленнях в кілька кілометрів. Показано можливість опису спектрів джерел шуму фрактальними залежностями.

Запропоновано спосіб визначення сигнатур в радіолокаційних портретах на основі акустичних портретів і оптичних зображень об'єктів техніки. Запропоновано використання вкладених напівмарківських процесів при описі просторово-часової нестаціонарності сигналу, розсіяного ділянками суші, що вкриті рослинністю. Створено імітаційні моделі акустичних шумів місцевості і об'єктів, а також радіолокаційних відбиттів від суші, які дозволяють здійснювати оцінку робочих характеристик систем акустичної розвідки і активно-пасивних систем радіолокації. Показано можливість використання систем виявлення, що використовують фізичні поля різних діапазонів частот і природи, при створенні роботизованих комплексів, вбудованих в смарт-гріди систем розподіленого інтелекту, для підвищення їх живучості та ефективності застосування.

Ключові слова: розсіювання радіохвиль, акустичне випромінювання, коефіцієнт поглинання, радіолокаційні характеристики, активно-пасивні системи, підстильна поверхня, сигнатура, смарт-гріди.

АННОТАЦИЯ

Соболяк А.В. Мониторинг электромагнитных и акустических излучений антропогенных объектов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика. Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины, г. Харьков, 2019.

Диссертация посвящена решению задачи разработки методик выявления набора характерных признаков - сигнатур акустических и вторичных электромагнитных полей антропогенных объектов, определению параметров фоновое шумового сигнала для эффективного выделения на его фоне полезного сигнала, определению влияния среды распространения и состояния подстилающей поверхности на полезный сигнал и дальнейшего использования полученной информации в системах мониторинга окружающей среды.

Обращено внимание на совпадение особенностей акустических и вторичных электромагнитных излучений природных и антропогенных объектов, что является перспективным при разработке методик мониторинга окружающей среды.

Разработана методика оценки дальности обнаружения источников акустического излучения в условиях влияния затухания в атмосфере и интерференционного ослабления земной поверхностью. Теоретически обоснована возможность обнаружения объектов наземной и воздушной техники по их акустическому излучению на удалениях в несколько километров. Показана возможность описания спектров источников шума фрактальными зависимостями.

Предложен способ определения сигнатур в радиолокационных портретах на основе акустических портретов и оптических изображений объектов техники. Предложено использование вложенных полумарковских процессов при описании пространственно-временной нестационарности сигнала, рассеянного участками суши, покрытыми растительностью. Созданы имитационные модели акустических шумов местности и объектов, а также радиолокационных отражений от суши, которые позволяют осуществлять оценку рабочих характеристик систем акустической разведки и активно-пассивных систем радиолокации. Показана возможность использования систем обнаружения, использующих физические поля различных диапазонов частот и природы, при создании роботизированных комплексов, встроенных в смарт-грид систему распределенного интеллекта, для повышения их живучести и эффективности применения.

Ключевые слова: рассеяние радиоволн, акустическое излучение, коэффициент поглощения, радиолокационные характеристики, активно-пассивные системы, подстилающая поверхность, сигнатура, смарт-грид.

ABSTRACT

Sobolyak A.V. Monitoring of electromagnetic and acoustic radiation of anthropogenic objects. - The manuscript.

Thesis for a candidate of physical and mathematical sciences by speciality 01.04.03 – radiophysics. – O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to solving the problem of developing methods for identifying a set of characteristic signs - signatures of acoustic and secondary electromagnetic fields of anthropogenic objects and determining the parameters of the background noise signal to effectively extract the useful signal on its background and determining the influence of the propagation environment and the underlying surface state on the useful signal and further use of the received information in the environmental monitoring systems.

Attention is drawn to the coincidence of the features of acoustic and secondary electromagnetic emissions of natural and anthropogenic objects, which is promising when developing methods for monitoring of the environment.

A technique has been developed for estimating the range of detection of acoustic radiation sources under the influence of attenuation in the atmosphere and interference attenuation by the earth's surface. Theoretically justified the possibility of detecting objects of ground and air equipment by their acoustic radiation at distances of several kilometers. The possibility of describing the spectra of noise sources by fractal dependences is shown.

A method for determining signatures in radar portraits based on acoustic portraits and optical images of objects of technology is proposed. The proposed use of nested semi-Markov processes when describing the space-time nonstationarity of the signal scattered by land areas covered with vegetation. Simulation models of acoustic noise of the terrain and objects, as well as radar scattering from land, have been created, which allow the performance evaluation of acoustic reconnaissance systems and active-passive radar systems. The possibility of using detection systems that use the physical fields of different frequency ranges and nature when creating robotic systems embedded in a smart grid system of distributed intelligence, to increase their survivability and application efficiency is shown.

Keywords: radio wave scattering, acoustic radiation, absorption coefficient, radar characteristics, active-passive systems, underlying surface, signature, smart grid.