

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Пашенко Сергій Васильович

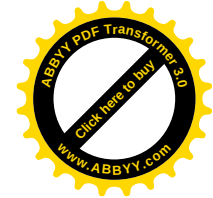
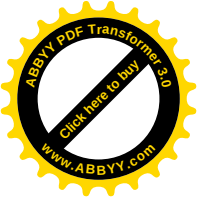
УДК 621.396.96:534.88:551.51

**МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЛОКАЦІЙНОГО КАНАЛУ
ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ СИСТЕМ РАДІОАКУСТИ-
ЧНОГО ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ**

Спеціальність 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 2013



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Карташов Володимир Михайлович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
завідувач кафедри радіоелектронних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пашенко Руслан Едуардович,
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
НАН України,
старший науковий співробітник відділу дистанційного
зондування Землі;

кандидат технічних наук, доцент
Леонов Ігор Геннадійович,
Харківський університет Повітряних Сил
ім. Івана Кожедуба,
доцент кафедри радіоелектроніки.

Захист відбудеться «26» березня 2013 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

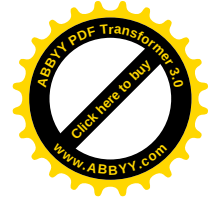
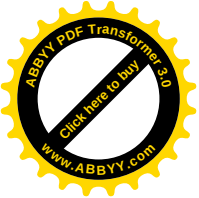
З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «25» лютого 2013 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

В.М. Безрук



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Наступний період технічної революції характеризується концентрацією зусиль і засобів практично всіх галузей науки й техніки навколо проблеми порятунку природи і людства від згубних наслідків невимірної й бездумної експлуатації ресурсів Землі, її засмічення й отруєння.

Атмосфера – найбільш складний і динамічний об'єкт спостереження серед усіх природних середовищ Землі (вода, суша, атмосфера) і вимагає для дослідження й моніторингу відповідних теоретичних та експериментальних методів. Традиційні контактні методи вимірювань не здатні повністю задовольнити зростаючі вимоги щодо обсягу метеорологічної інформації.

У системі дистанційного зондування центральне місце займають засоби, засновані на використанні електромагнітних і акустичних хвиль, завдяки таким їхнім властивостям як всепогодність, незалежність від освітленості, певне проникнення у глибину досліджуваного середовища, малі витрати на проведення повторних вимірювань.

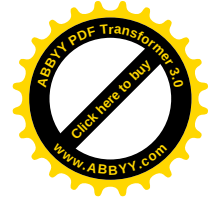
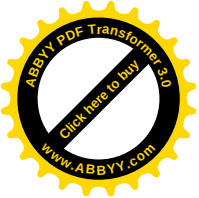
Інформативність, невисока вартість і відносна простота станцій радіоакустичного й акустичного зондування атмосфери (РАЗ, АЗ) забезпечують їм ряд істотних переваг перед іншими засобами дистанційного зондування. Ці їхні властивості пояснюються більш високим ступенем взаємодії звукових хвиль із атмосферою в порівнянні з електромагнітними хвилями більшості областей спектра.

Значний внесок у розвиток методів зондування атмосфери з використанням акустичних хвиль внесли такі вчені: О.М. Обухов, В.І. Татарський, М.О. Каллістратова, Є.Г. Прошкін, К.Г. Літл, Л.Г. Макалістер, М.П. Красненко, S.S. Bradley, G. Peters та ін.

Сучасний стан розвитку станцій радіоакустичного зондування (расдарів) характеризується як розробкою одиничних екземплярів, так й освоєнням їх промислового виробництва дрібними серіями в ряді країн, а також широким використанням при вирішенні багатьох важливих завдань наукового та прикладного змісту, серед яких: метеорологічне забезпечення транспортних систем (насамперед, авіації), дослідження й прогнозування умов поширення радіо, світлових і звукових хвиль, екологічний моніторинг у промислових районах і великих містах.

Відмінні риси систем РАЗ, обумовлені властивостями використовуваних цілей – акустичних хвильових пакетів (АХП), виділяють їх із усього різноманіття вимірювальних локаційних систем у специфічний клас. Основна проблема розвитку радіоакустичних систем – недостатній розвиток теорії, яка б адекватно описувала основні особливості расдарів, пов'язані насамперед з використанням звукових сигналів.

У зв'язку з цим актуальною є тема дисертаційних досліджень, направлених на створення адекватних моделей радіоакустичного локаційного каналу, дослідження властивостей сигналів, розсіяних на звуковій посилювачі, і вдосконалення на основі отриманих результатів методів обробки прийнятих коливань з метою підвищення ефективності систем РАЗ.



Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота пов'язана з такими науково-дослідними роботами Харківського національного університету радіоелектроніки: "Розробка принципів побудови вітчизняного комплексу інформаційно-вимірювальних систем для прогнозування і аналізу наслідків надзвичайних ситуацій", підрозділом цієї роботи "Розробка принципів побудови комплексних радіолокаційно-радіоакустичних систем для метеорологічного моніторингу атмосфери в умовах надзвичайних ситуацій" (№ДР 0109U001635, 2008-2010р.), у якій здобувач був виконавцем.

Мета дослідження

Мета роботи – дослідження властивостей радіоакустичного локаційного каналу, властивостей зондувальних сигналів і удосконалення методів обробки прийнятих коливань.

Завдання дослідження

1. Виконати аналіз систем РАЗ, моделей і методів дослідження властивостей інформаційного локаційного радіоакустичного каналу, у якому закладається основна корисна інформація у відбитий сигнал, методів дослідження властивостей зондувальних коливань, основні відмінності яких від відомих полягають у тому, що використовуються два види сигналу – акустичний та електромагнітний, а також виконати аналіз методів обробки й добування корисної метеорологічної інформації із прийнятих відбитих сигналів.

2. Розробити нові форми подання математичних моделей інформаційного локаційного радіоакустичного каналу і дослідити їх інформативність.

3. Дослідити з використанням розроблених моделей інформаційного каналу властивості різних видів зондувальних акустичних й електромагнітних коливань, використовуваних у системах РАЗ, властивостей і особливостей розсіяних сигналів, що надходять на вхід приймаючого пристрою, і, що несуть у собі корисну інформацію про параметри атмосфери.

4. Удосконалити алгоритми обробки корисних сигналів систем РАЗ для забезпечення формування оцінок максимальної правдоподібності інформативних параметрів розсіяних сигналів і підвищення точності вимірювання параметрів атмосфери.

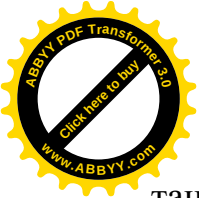
Об'єкт дослідження – процес зондування атмосфери акустичними і електромагнітними хвилями.

Предмет дослідження – моделі та методи вивчення властивостей інформаційного локаційного каналу систем РАЗ, властивостей зондувальних акустичних й електромагнітних коливань, прийому і обробки радіосигналів, розсіяних на звуковій посилювачі.

Методи дослідження. У роботі використано методи статистичної просторово-часової теорії радіосистем, теорії поширення хвиль у турбулентній атмосфері, методи акустики, чисельні методи аналізу, комп'ютерне моделювання й натурний експеримент.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Удосконалено моделі локаційного каналу та методика дослідження властивостей зондувальних сигналів систем радіоакустичного зондування з викорис-



танням функцій і тіл розсіювання шляхом використання додаткових форм подання функції розсіювання акустичних і електромагнітних сигналів.

2. Доведено ряд нових тверджень і теорем, що визначають основні властивості функції розсіювання і характерні риси розсіяних сигналів. Зокрема, теоретичним шляхом доведено, що під час виконання умови Бреґґа розсіяний сигнал не містить кутової модуляції.

3. Виявлено ряд нових властивостей сигналів, отримуваних на виході інформаційного локаційного радіоакустичного каналу, в результаті дослідження розсіяних сигналів систем РАЗ теоретичним шляхом з використанням тіл розсіювання під час використання простих і складних зондувальних акустичних і електромагнітних коливань з різними видами обвідних.

4. Вперше з позицій теорії статистичних рішень дано аналіз методів обробки сигналів і виміру інформативних параметрів у системах РАЗ. Показано, що застосовувані алгоритми обробки сигналів – це евристичні пошукові методи оцінювання енергетичного параметра сигналу, що містить інформацію про швидкість поширення в атмосфері звукової посилки.

5. Удосконалено алгоритм обробки розсіяних сигналів систем РАЗ атмосфери. Показано, що багатоканальна схема вимірювань для забезпечення формування оцінок максимальної правдоподібності інформаційного параметру розсіяних сигналів має бути доповнена схемою корекції амплітуд сигналів у каналах.

Цікава особливість запропонованого оптимального методу обробки полягає в тому, що оцінки швидкості поширення звуку в атмосфері в цьому випадку реалізуються за схемою оцінювання енергетичного параметра радіосигналу, розсіяного на звуковій посилці, а не за схемою оцінювання неенергетичного параметра сигналу – доплерівської частоти, як це прийнято.

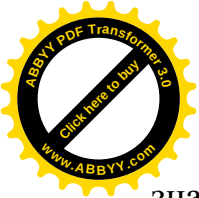
Практичне значення отриманих результатів

1. Використання найбільш інформативних і зручних форм подання функції розсіювання дозволить здійснювати ефективний аналіз властивостей зондувальних векторних – акустичних і електромагнітних сигналів систем РАЗ атмосфери. При вирішенні конкретних завдань необхідно застосовувати адекватну й найбільш зручну форму подання функції розсіювання. Значні можливості під час дослідження властивостей зондувальних сигналів відкриваються в ході використання спектральної форми подання тіл розсіювання.

2. Ряд нових властивостей тіл розсіювання досліджуваних сигналів і теорем, доведених у роботі, мають певний фізичний зміст і визначають як досить загальні, так і конкретні властивості розсіяних сигналів, які можуть бути використані під час дослідження властивостей зондувальних сигналів, синтезу сигналів, або синтезу алгоритмів обробки розсіяних коливань.

3. Властивості розсіяних сигналів систем РАЗ, отримані теоретичним шляхом з використанням тіл розсіювання, можуть бути використані під час вибору конкретних видів зондувальних сигналів у процесі проектування станцій, під час синтезу алгоритмів обробки розсіяних коливань.

Співвідношення й графічні залежності, що визначають додаткове зміщення частоти й часу запізнювання розсіяного сигналу, дозволяють робити розрахунок



значень отримуваних помилок у різних режимах виконання вимірювань і при використанні різних видів зондувальних сигналів.

Математичні моделі сигналів, що надходять на вхід реально функціонуючих расдарів, дозволяють створювати імітатори розсіяних сигналів, які необхідні в ході проектування, налагодження й контролю станцій РАЗ, а також їхньої метрологічної атестації та визначення якісних показників.

4. Застосування на практиці синтезованого алгоритму обробки прийнятих сигналів дозволить істотно підвищити якість отримуваних оцінок інформативних параметрів сигналів і метеорологічних параметрів атмосфери, а також усунути систематичні похибки вимірів, наявні в результатах вимірювань існуючих систем РАЗ.

Розроблені методи, моделі, алгоритми та програмні продукти впроваджено у ХНУРЕ під час виконання держбюджетної НДР (№ДР 0109U001635, 2008-2010р.), у навчальному процесі кафедри "Радіоелектронні системи" ХНУРЕ, під час виконання дипломних і магістерських дослідницьких робіт, про що свідчать Акти впровадження.

Обґрунтованість результатів роботи забезпечується коректною постановкою завдань дослідження, коректним використанням сучасного апробованого математичного апарата, обґрунтованим вибором адекватних математичних моделей, що описують взаємодію в атмосфері зондувальних акустичних й електромагнітних сигналів.

Вірогідність результатів роботи підтверджується збігом результатів математичного моделювання й натурних експериментів. Запропоновані в роботі алгоритми обробки сигналів і моделі розсіювання хвиль є узагальненням раніше відомих моделей й алгоритмів, які виходять із них як окремий випадок.

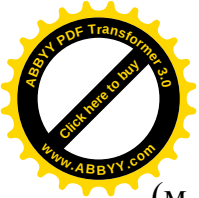
Особистий внесок здобувача

Основні наукові результати дисертації отримано автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий вклад здобувача такий.

У [1, 19] запропоновано нові форми подання функції розсіювання і досліджено їх інформативність. В [2, 8] виконано моделювання і аналіз властивостей радіосигналів, розсіяних простими і складними АХП. В [3, 5, 7, 14, 21, 22] виконано аналіз існуючих методів обробки сигналів систем РАЗ і запропоновано оптимальний алгоритм обробки. В [6] виконано моделювання алгоритмів обробки сигналів. У [16, 17] методом моделювання показана можливість підвищення точності вимірювання параметрів сигналу. В [4, 15, 18, 20] виконано аналіз методів обробки коливань при вимірюванні температури і вологості повітря, показано їх недоліки. В [12] запропоновано використання ЛЧМ АХП для передачі сигналів, в [9] – спосіб використання АХП з рівномірним спектром, в [13] – спосіб корекції оцінок параметрів сигналу, в [10, 11] виконано аналіз і моделювання методів.

Апробація результатів дисертації

Основні результати досліджень за темою дисертації були представлені й обговорювалися на 15-му (м. Париж, Франція, 2010 р.) Міжнародному симпозіумі з дистанційних методів зондування атмосфери, на 18-й, 19-й, 20-й Міжнародній Кримській конференції "Свч-техніка і телекомунікаційні технології" КримМіКо,



(м. Севастополь, 2008 р., 2009 р., 2010 р.), на 3-му і 4-му Міжнародному радіоелектронному форумі "Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку" (м. Харків, 2008 р., 2011 р.), на 2-й Міжнародній науковій конференції "Електронна компонентна база. Стан і перспективи розвитку" (Харків-Кацивелі, 2009 р.), на 14-му й 15-му Міжнародному молодіжному радіоелектронному форумі "Радіоелектроніка та молодь" (м. Харків, 2010 р., 2011 р.).

Публікації

Результати дисертації опубліковані в 22 наукових працях, із них – 7 статей надруковані у вітчизняних виданнях, що входять до переліку, затвердженого МОНМС, 1 стаття, опублікована в науковому журналі в Росії. Результати роботи опубліковані також у матеріалах одного Міжнародного симпозіуму, восьми Міжнародних науково-технічних конференцій, в 5 патентах на винаходи.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи 167 сторінок, містить 65 ілюстрацій, перелік використаних літературних джерел має 125 найменувань на 13 сторінках, додатки на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність вирішуваних завдань, сформульовано мету й задачі дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи. Наведено відомості про особистий внесок автора, апробації, публікації, впровадження, зв'язки з науковими програмами.

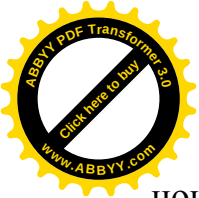
Перший розділ містить огляд літературних джерел за темою дисертації. Розглянуто фізичні основи методу РАЗ, його місце серед інших методів дистанційного зондування середовища, відомі методики визначення метеопараметрів, існуючі системи радіоакустичного зондування, моделі та методи, які використовуються в ході їхнього дослідження й проектування. Вибрано та обґрунтовано напрямок досліджень.

Методи та засоби дистанційного неконтактного вимірювання характеристик атмосфери, що використовують для цього випромінювання звукових та електромагнітних хвиль, сьогодні інтенсивно розвиваються.

Рядом закордонних фірм уже серійно випускаються станції радіоакустичного, акустичного і вертикального радіолокаційного зондування атмосфери. Одиночні станції, а також станції, об'єднані в метеорологічні мережі, широко використовуються для вирішення різноманітних актуальних завдань.

Однак сучасний стан теорії і техніки радіоакустичних систем не забезпечує повною мірою використання наявних інформаційних можливостей методу, а практика також вимагає поліпшення ряду показників якості систем зондування.

Постановка завдання досліджень безпосередньо пов'язана з історією розвитку методу. Метод РАЗ був запропонований в 1959 році відразу як практичний для вимірювання метеопараметрів (як зазначалося в перших публікаціях) до висот у кілька десятків кілометрів. Однак перші практичні досвіди були невтішними: дальність зондування не перевищила декількох десятків метрів. Зі значними труд-



нощами зіштовхувалися експериментатори й надалі в ході розвитку методу, і до сьогодні метод не виправдав покладених на нього серйозних й оптимістичних надій.

Основна причина в тому, що радіофізичні й системні (сигнальні) основи методу в початковий період його розвитку були відсутні. Необхідно було ще кілька десятків років тривалої й наполегливої праці експериментаторів і теоретиків, перш ніж була розроблена радіофізична сторона методу – питання поширення й взаємодії акустичної та електромагнітної хвиль в атмосфері.

Системні й сигнальні питання методу до сьогодні ґрунтовно не розроблені і публікацій у цьому напрямку в літературі порівняно мало. Досить гостро сьогодні стоять такі питання теорії радіоакустичних систем:

1. Створення і дослідження конструктивних математичних моделей інформаційних локаційних каналів розглянутих систем.

2. Розробка наукових методів дослідження властивостей зондувальних сигналів, проведення досліджень і накопичення певного матеріалу теоретичного й експериментального характеру.

3. Синтез і аналіз алгоритмів обробки розсіяних сигналів.

У другому розділі розглянуто різні форми подання функції розсіювання зондувальних акустичних й електромагнітних сигналів систем РАЗ атмосфери. Оцінено їхню інформативність і можливості використання при вирішенні різних завдань.

Модель інформаційного локаційного каналу (функція розсіювання зондувальних сигналів) систем РАЗ записується у такому вигляді:

$$F(r, q) = \int_{-\infty}^{\infty} E(2r'-r) S^*(r') e^{jqr'} dr', \quad (1)$$

де $E(r', r)$, $S(r')$ – комплексні обвідні електромагнітного й акустичного сигналів відповідно; $q = 2k_e - k_s$ – параметр розладу умови Брегга; k_e, k_s – хвильові числа електромагнітного й акустичного коливань; r – зміщення сигналів по координаті "дальність".

Вираз (1) дозволяє визначати вид і параметри розсіяного сигналу при різних видах функцій $E(r')$, $S(r')$ і різних станах атмосфери. Вплив середовища виявляється інтегральним чином через параметр q .

Використання просторового подання сигналів і, відповідно, двовимірної функції $F(r, q)$ забезпечує адекватний опис їхньої взаємодії в середовищі. Наприклад, електромагнітна хвиля із частотою $f_e = 1760$ МГц й акустична хвиля із частотою $f_s = 4$ КГц мають довжини хвиль відповідно $\lambda_e = 17$ см й $\lambda_s = 8,5$ см, відповідають умові Брегга $q = 0$ і ефективно взаємодіють в атмосфері, формуючи розсіяний радіосигнал. Отримані за допомогою функції розсіювання просторові характеристики розсіяних сигналів досить просто перетворюються у часові характеристики.

Функція $F(r, q)$ містить інформацію про обвідну й фазову структуру радіосигналу, розсіяного звуковою хвилею, і може бути подана модулем

$Z(r, q) = |F(r, q)|$ і аргументом $\varphi(r, q) = \arg F(r, q)$. Простір між поверхнею $Z(r, q)$ при графічному поданні функції і площиною r, q названо тілом розсіювання.

Введено різні форми подання функції розсіювання шляхом заміни використовуваних параметрів у функції $F(r, q)$ просторовими або частотними змінними в результаті перетворення Фур'є: $F(k, q)$, $F(k, l)$, $F(r, l)$, де l - просторова, k - частотна змінні (рис. 1).

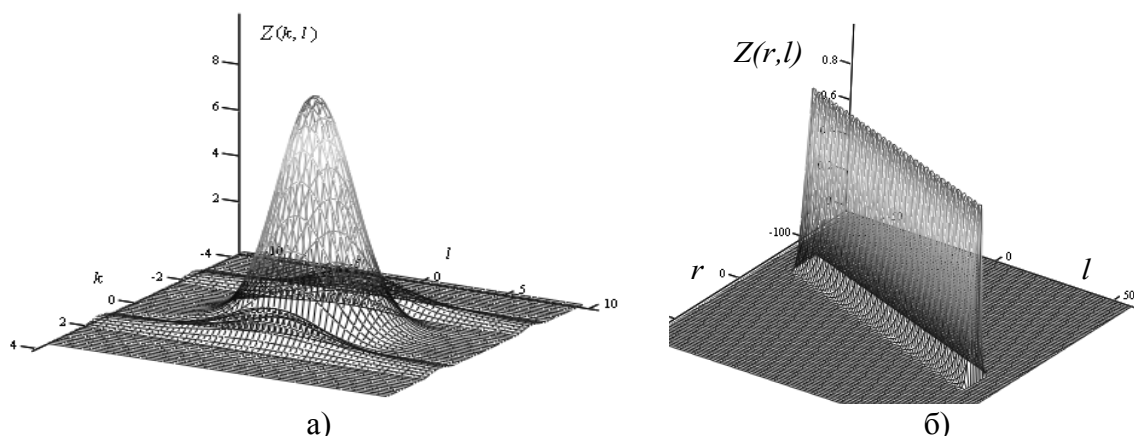


Рис. 1 – Тіла розсіювання простих сигналів – акустичного імпульсу з гауссівською обвідною і радіоімпульсу із прямокутною обвідною у координатах: а) $Z(k, l)$; б) $Z(r, l)$

Доведено теорему, що має важливе значення для теорії й практики РАЗ.

Теорема. Розсіяний сигнал не отримує кутової модуляції, якщо зондувальні електромагнітний і акустичний сигнали є простими за структурою, а умова Брегга виконана ($q=0$).

Для фіксованого значення параметра q функція $F(k, q)$ визначає просторовий спектр розсіяного сигналу, що відповідає часовому спектру, отриманому при $q = \text{const}$. Перетин поверхні площиною $k = \text{const}$ характеризує область значень розладу параметра Брегга q , у якій можливе одержання розсіяного сигналу.

Доведено ряд нових властивостей функції розсіювання.

Властивість 1. Значення функції $F(k, q)$ уздовж координати k при фіксованому значенні параметра q визначаються як добутки просторових спектрів електромагнітного та стислого вдвічі акустичного сигналів, зміщених у просторі хвильових частот на величину q . Інакше кажучи, просторовий спектр розсіяного радіосигналу є взаємним енергетичним спектром зондувальних коливань.

Властивість 2. Значення функції $F(k, q)$ уздовж координати q при фіксованому значенні параметра k є просторовими спектрами звукового сигналу, помноженими на значення спектральної щільності електромагнітного сигналу в точці k . При $k=0$ функція $F(0, q)$ визначає область хвильових чисел або діапазон розсіювання, у яких спостерігається розсіювання. Відповідний перетин показує, як змінюється амплітуда розсіяного сигналу залежно від значення параметра q . Перетини функції $F(r, q)$ при $r=0$ і $F(k, q)$ при $k=0$ збігаються.

У третьому розділі проаналізовано різні види зондувальних акустичних й електромагнітних сигналів систем РАЗ із використанням функцій і тіл розсіювання.

Перетини тіла $Z(r, q)$ (рис. 2а) при $q = const$ є обвідними розсіяного сигналу. Перетин $Z(0, q)$ тіла характеризує зв'язок амплітуди розсіяного сигналу й значень параметра q .

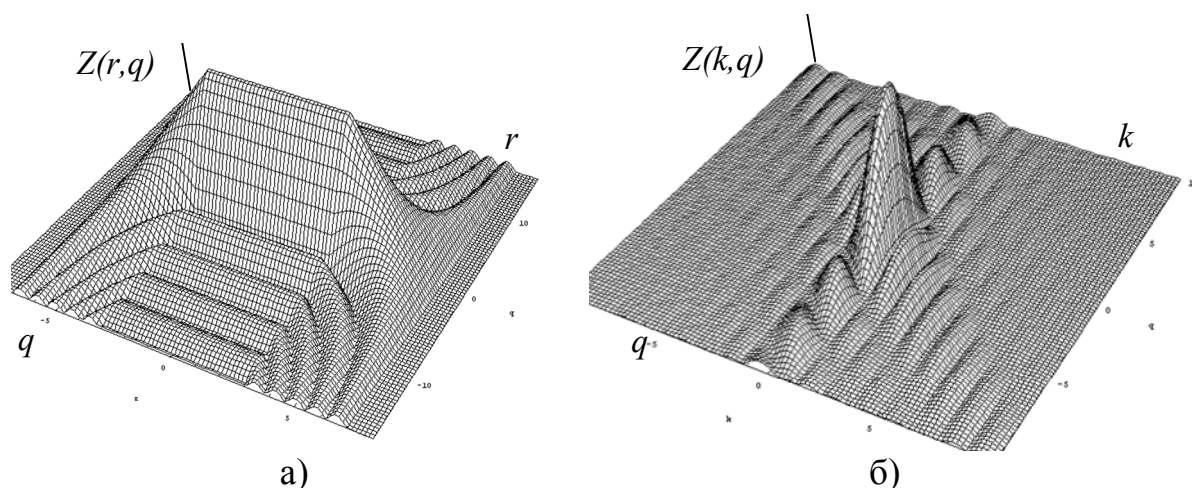


Рис. 2 – Тіла розсіювання простих електромагнітного та акустичного імпульсів, що мають прямокутні обвідні, у формах: а) $Z(r, q)$, б) $Z(k, q)$

Спектральне тіло розсіювання аналізованих сигналів (рис.2 б) має, як видно, подвійне пасмо бічних піків, і розгорнуту на деякий кут основну пелюстку. Перетини тіла площинами $q = const$ є просторовими спектрами розсіяних сигналів, що відповідають певним станам атмосфери (рис. 3).

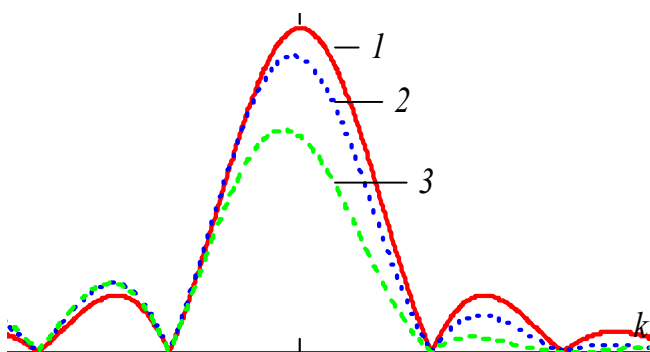


Рис. 3 – Перетини тіла розсіювання (рис.2 б) площинами $q=const$:
1 - $q_1=0$; 2 - $q_2>0$; 3 - $q_3>q_2>0$

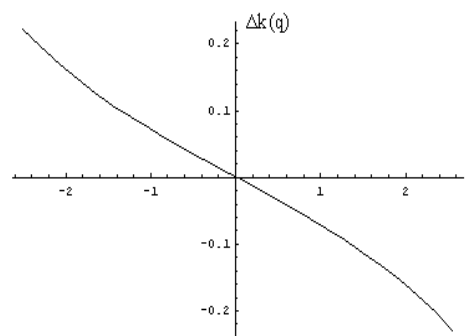


Рис. 4 – Графік залежності зміщення просторової частоти максимуму спектра від параметра q для тіл розсіювання, наведених на рис.2

Як видно, просторовий спектр розсіяного сигналу при $q = 0$ є симетричним, а при $q \neq 0$ несиметричним і характеризується зсувом максимуму (а також центру ваги) Δk відносно точки $k = 0$. Додатковий неінформативний зсув максимуму спектральної функції (рис. 4) при розсіюванні радіосигналу на звуковій посилю

додається до доплерівського зсуву частоти й проявляється при оцінюванні частоти сигналу, а, отже, оцінюванні швидкості звуку, як похибка при використанні традиційних методів обробки.

Рельєф тіл розсіювання з гауссівськими обвідними (рис.5), як видно, не має бічних піків, у силу особливостей використовуваних коливань.

Тіла розсіювання більшості сигналів у спектральному поданні мають характерну рису – їхні піки повернені на деякий кут, що характерно і для тіла на рис. 5б.

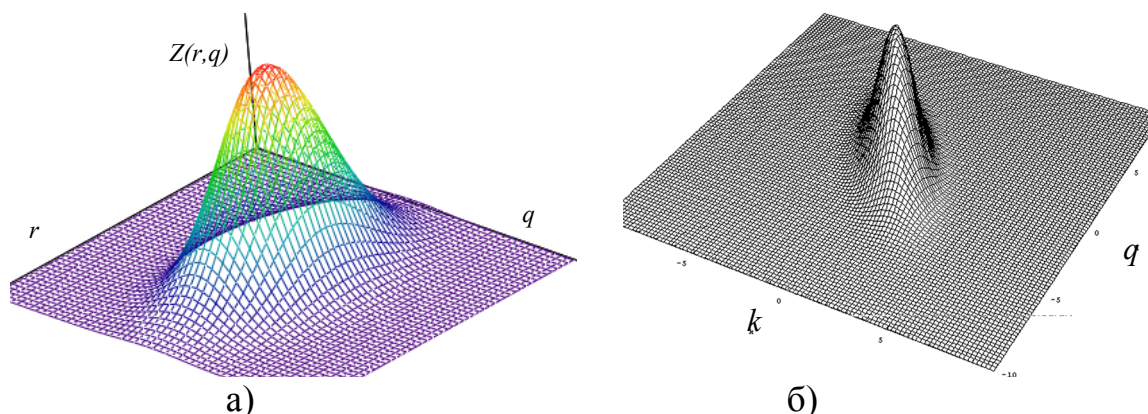


Рис.5 – Тіла розсіювання простих акустичного й радіоімпульсів, що мають гауссівські обвідні, у поданнях: а) $Z(r, q)$, б) $Z(k, q)$

Вираз, що описує неінформативне зміщення просторової частоти максимуму спектра розсіяного радіосигналу для тіл, наведених на рис. 5, має вигляд

$$\Delta k = -\frac{2v_e^2}{4v_e^2 + v_s^2} \cdot q, \quad (2)$$

де v_e , v_s - параметри, що характеризують просторові тривалості радіо- та акустичного сигналів.

Як показують результати розрахунків за допомогою (2), для значень $\lambda_e = 0,68$ м ($f_e = 440$ МГц), $\lambda_s = 0,34$ м ($f_s = 1$ КГц) зміна температури атмосфери з висотою всього на один градус призводить до неінформативного зсуву частоти на $\Delta f \approx 0,3$ Гц, що відповідає систематичній похибці визначення швидкості звуку $\Delta c \approx 0,1$ м/с і похибці температури $\Delta T \approx 0,17$ С. У реальних умовах зондування величина систематичної похибки вимірів температури досягає одиниць градусів.

Виконано дослідження особливостей використання складних за структурою акустичних сигналів у расдарів. Зі збільшенням девіації просторової частоти Δk_s акустичного імпульсу з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) головна пелюстка тіла розсіювання розширюється уздовж осі q , відбувається також поворот тіла на деякий кут, що росте зі збільшенням Δk_s (рис. 6). Поворот тіла спричиняє додаткове зміщення у просторі розсіяного радіосигналу при зміні параметра q , має місце також зменшення тривалості розсіяного радіосигналу (рис. 7).

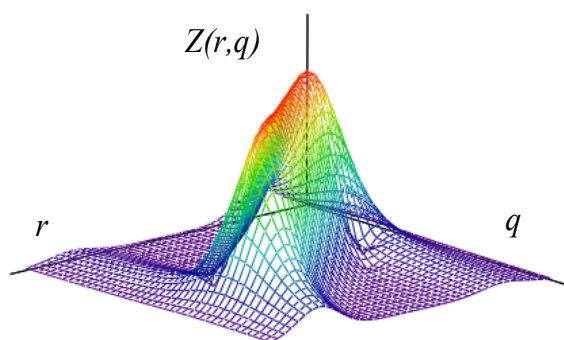


Рис. 6 – Тіло розсіювання акустичного імпульсу із ЛЧМ і простого радіоімпульсу, що мають прямокутні обвідні, у формі $Z(r, q)$

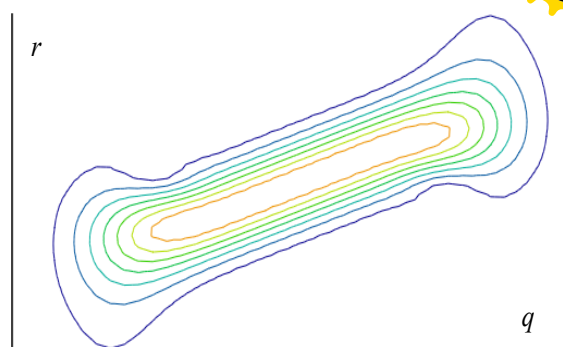


Рис. 7 – Топографічне подання тіла (рис.6) у вигляді ліній однакового рівня

Таким чином, вимірювання часу затримки сигналу або дальності до АХП при $q \neq 0$ супроводжується додатковою похибкою, визваною особливостями розсіювання радіохвилі на ЛЧМ звуковому пакеті. Аналогічний ефект спостерігається в радіолокації, коли при використанні ЛЧМ радіоімпульсу має місце швидкісна похибка вимірювання часу затримки внаслідок розвороту тіла невизначеності такого сигналу.

Фізичною причиною зменшення тривалості розсіяного радіосигналу є зменшення довжини просторової області ефективної взаємодії акустичного й електромагнітного коливань внаслідок наявності модуляції параметрів середовища у просторі. У той же час, модуляція середовища звуковим пакетом не є настільки критичною в плані зменшення амплітуди розсіяного сигналу, як це має місце при використанні вузькосмугових акустичних сигналів, оскільки радіосигнал все-таки знаходить резонансні області взаємодії в складномодульованій просторовій області.

Спектральне тіло розсіювання аналізованих сигналів (рис.8) характеризується істотним розширенням головної пелюстки уздовж осі q в порівнянні з тілами простих сигналів.

Таким чином, використання складних, зокрема ЛЧМ і ФКМ зондувальних звукових коливань, дозволяє істотно розширити область хвильових чисел ефективної взаємодії випромінюваних сигналів систем РАЗ й отримувати достатній по амплітуді відбитий радіосигнал із всіх висот зондування від однієї акустичної посилки без підстроювання частот сигналів під умову Брегга, дозволяє підвищити оперативність расдарів при вимірюванні вертикальних профілів метеопараметрів, але вимагає збільшення енергетичного потенціалу станції.

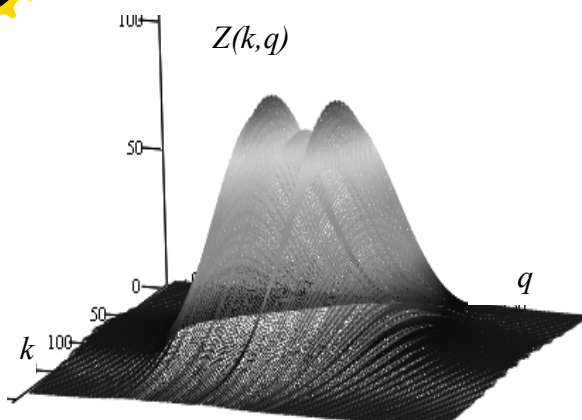


Рис. 8 – Спектральне тіло розсіювання

Аналіз тіл розсіювання, отриманих для складних акустичних сигналів, показує, що для них також характерна наявність несиметричності спектра розсіяного сигналу і специфічної похибки оцінювання швидкості звуку (рис.9).

При значенні параметра розладу умови Брегга $q=0$ обидва спектри взаємодіючих сигналів розташовуються симетрично один до одного і щодо осі $k=0$. Як впливає з виразу

$$F(r, q) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_E(k) S_S^*(2k + q) e^{-jrk} dk, \quad (3)$$

розсіяний на звуці радіосигнал визначається взаємним енергетичним просторовим спектром взаємодіючих коливань, тобто добутком спектрів, наведених на рис. 9.

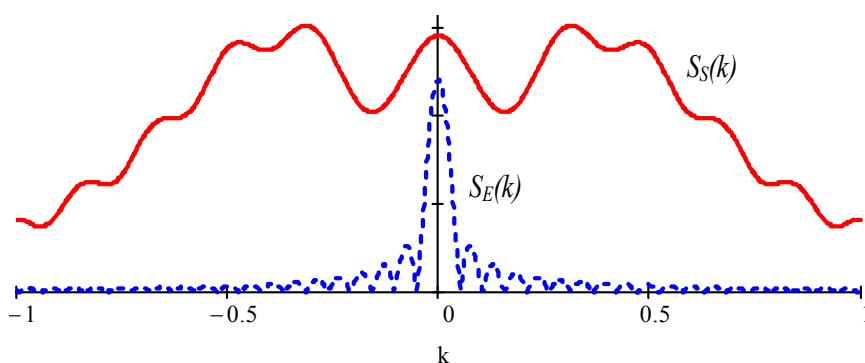
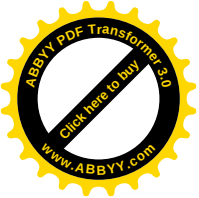


Рис. 9 –Просторові спектри взаємодіючих імпульсного ЛЧМ акустичного сигналу $S_S(k)$, що має значення бази $D=64$, і простого зондувального радіоімпульсу $S_E(k)$

Зі зміною по трасі зондування метеопараметрів змінюється значення параметра розладу q , що призводить до переміщення по горизонтальній осі просторового спектра звукового сигналу. Відповідно до цього, за наявності розладу умови Брегга, максимум або центр ваги просторового спектра розсіяного сигналу зміщується додатково при розсіюванні на величину Δk внаслідок нерівномірності спектральної функції звукового сигналу $|S_S(k)|$ в діапазоні перекриття спектрів. Цей фактор і призводить до зсуву максимуму спектра часових частот розсіяного сигналу додатково на величину Δf і відмінності отримуваного частотного зсуву від чисто доплерівського.

У четвертому розділі виконано аналіз відомих методів обробки сигналів системою РАЗ і синтез оптимального алгоритму витягу корисної інформації із прийнятих коливань. Завдання обробки – вимірювання швидкості переміщення в атмосфері звукового пакета.



Суміш корисного сигналу й завади на вході пристрою обробки й оцінки інформативного параметра q подано у вигляді

$$y(t) = u_c(t, q) + u_{uu}(t), \quad (4)$$

де $u_c(t, q)$ - сигнал довільної форми, відомий у місці прийому точно, за винятком невідомого інформативного параметра q з апіорним розподілом $P(q)$; завада $u_{uu}(t)$ є адитивним нормальним білим шумом з відомою спектральною щільністю N_0 . Вид корисного сигналу u_c при заданих формах зондувальних акустичних й електромагнітних коливань і стані середовища (значенні параметра q) визначається відповідно до функції розсіювання.

Для заданих умов апостеріорний розподіл параметра q записується у вигляді

$$P(q|y) = cP(q) \exp \left[-\frac{1}{N_0} \int_0^T y(t) u_c(t, q) dt \right] \exp \left[-\frac{Q}{N_0} \right], \quad (5)$$

де c – константа, що визначає масштаб по осі ординат, $Q = \int_0^T u_c^2(t, q) dt$ – енергія сигналу при даному значенні повідомлення q . Для широкого класу локаційних завдань (у тому числі завдань вимірювання швидкості об'єктів по доплерівській частоті) величина Q припускається не залежною від інформативного параметра, у процесі формування шуканої оцінки не враховується і включається в константу c . Аналогічні процедури обробки реалізуються сьогодні і при оцінюванні швидкості звуку в системах РАЗ по доплерівській частоті.

Однак у дійсності в системах РАЗ атмосфери зазначена умова не виконується, оскільки розсіювання електромагнітного сигналу на акустичній хвильовій посиленні є частотозалежним. Енергія прийнятого радіосигналу залежить від швидкості звукової послідовності і від значення інформативного параметра q , тобто має місце функціональна залежність $Q(q)$. Крім того, слід враховувати, що при розсіюванні на звуковій посиленні змінюється комплексна обвідна радіосигналу, спектр його стає асиметричним, тому опорний сигнал в (5) не є копією зондувального сигналу, його треба визначати відповідно до (1).

Для того щоб у системах РАЗ формувати оцінки максимальної правдоподібності інформативного параметра в (5) необхідно брати до уваги не тільки член, що містить кореляційний інтеграл, але й член, що містить енергію прийнятого сигналу $\exp(-Q/N_0)$. Вираз, що визначає формування вирішальної функції $Y(q)$, після логарифмування і спрощення (5) має вигляд

$$Y(q) = \left| \int y(t) F(t, q) dt \right| - Q(q). \quad (6)$$

Внаслідок цього оптимальна багатоканальна схема вимірювань, що формує оцінки максимальної правдоподібності інформаційного параметра сигналу, якій містить інформацію про швидкість переміщення об'єкта, що побудована на основі кореляторів або узгоджених фільтрів, має включати елементи корекції амплітуд сигналів у каналах (рис. 10).

Наведена схема є схемою оцінювання енергетичного параметра сигналу, і в цьому є її відмінність, оскільки в радіолокації вимір швидкості руху об'єкта здійснюється за допомогою оцінювання неенергетичного параметра сигналу – доплерівської частоти.

Значення швидкості звуку c_s і метеопараметрів далі визначаються за сформованими оцінками параметра $\hat{q}$ по відомим формулам.

Алгоритм формування оцінок існуючих систем РАЗ не повністю відповідає виразу (5), а отримувані оцінки не є оцінками максимуму апостеріорної щільності ймовірності або оцінками максимальної правдоподібності, оскільки містять систематичну похибку, тобто є зміщеними.

Причина наявності в результатах вимірів систематичної похибки полягає в неврахуванні при формуванні оцінки члена $\exp(-Q(q)/N_0)$, що міститься у виразі (5), якій зміщує максимум формованої системами РАЗ достатньої статистики вздовж осі абсцис. Величина зміщення максимуму вирішальної функції залежить, насамперед, від виду функції розсіювання зондувальних акустичних і електромагнітних сигналів, використовуваних у конкретній радіоакустичній станції. Чим різкіше спадає функція розсіювання уздовж осі q , тим сильніше залежність $Q(q)$ і більше значення формувальної систематичної похибки вимірювань.

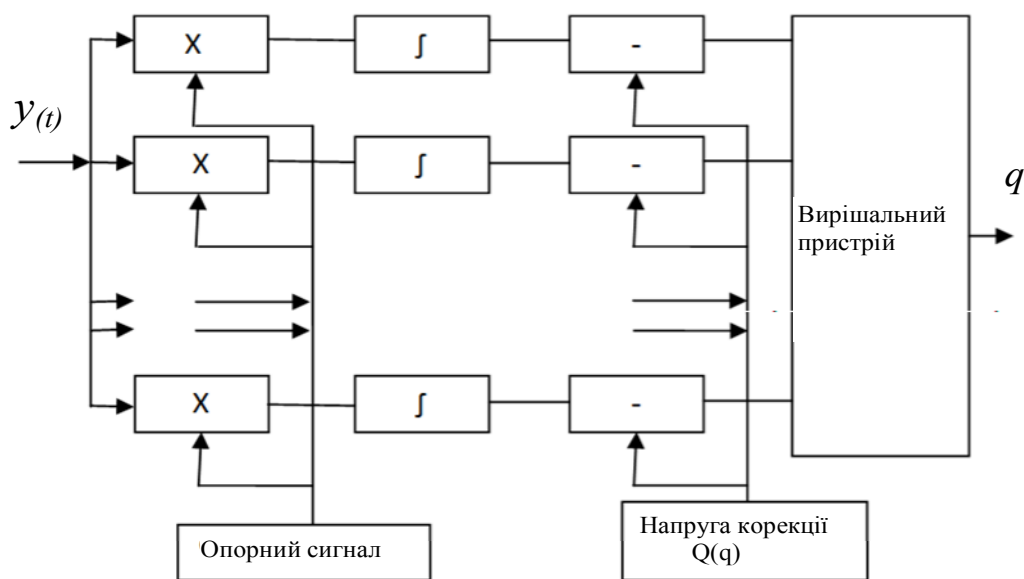


Рис. 10 – Структурна схема пристрою оцінювання швидкості звуку в системах РАЗ

На сьогодні у системах РАЗ використовуються також евристичні пошукові методи оцінювання енергетичного параметра сигналу, що містить інформацію про швидкість поширення в атмосфері звукової посилки.

На практиці застосовують два алгоритми, обидва з яких спрямовані на пошук точки $q=0$ на осі значень параметра розладу умови Брегга q . При цьому використовуються такі підходи: точці $q=0$ відповідає максимум амплітуди відбитого сигналу; у точці $q=0$ доплерівський зсув частоти розсіяного радіосигналу збігається із частотою випромінюваної звукової посилки. Зі знаходженням точки $q=0$ одно-

значно визначається доплерівська частота розсіяного сигналу і можливість знаходження швидкості звуку й температури середовища.

Обидва використовувані алгоритми обробки сигналів містять у собі зміну частоти звукового випромінювання (найбільш часто вручну): при зміні значення частоти звукового випромінювання й незмінному значенні частоти радіосигналу змінюються значення параметра $q = 2k_e - k_s$. У першому алгоритмі знаходиться глобальний максимум вихідної функції (максимум амплітуди розсіяного сигналу або максимум модуля функції розсіювання) (рис. 11). Оскільки до уваги під час аналізу приймається тільки обвідна розсіяного сигналу, а фазова структура при цьому ігнорується, то цей метод названий методом некогерентного послідовного оцінювання інформаційного параметра.

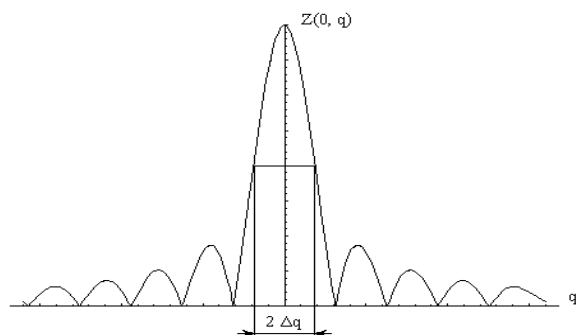


Рис. 11 – Пошук глобального максимуму функції розсіювання при послідовному методі оцінювання

У другому методі оцінювання також послідовно змінюється частота звукового випромінювання, тобто параметр розладу умови Брегга q , а точкова оцінка знаходиться не за максимумом вихідного сигналу, а шляхом виміру доплерівської частоти розсіяного сигналу, при цьому домагаються збігу частот розсіяного сигналу й несучої частоти звукової посилення. Зазначимо, що цей метод не є коректним, оскільки за наявності

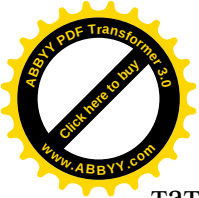
розладу по q розсіяний сигнал, що формується, за структурою не є монохроматичним. Цей метод названий методом когерентного послідовного оцінювання інформаційного параметра.

І перший і другий методи – це методи послідовного оцінювання інформаційного параметра сигналу з використанням дискримінатора, у першому випадку амплітудного, у другому – частотного. Якщо перебудова частоти здійснюється вручну, то функції дискримінатора частково або повністю виконує оператор, причому замість частотного дискримінатора має бути використаний структурний дискримінатор.

Використання послідовних методів обробки ускладнює систему і процес зондування, значно знижує оперативність зондування, оскільки адаптація здійснюється, як правило, у ручному режимі. Застосування запропонованого метода обробки сигналів дозволить суттєво підвищити вказані характеристики систем.

ВИСНОВКИ

Дисертація містить теоретичне узагальнення і нове вирішення актуального науково-прикладного завдання, що полягає в удосконаленні моделей локаційного каналу систем радіоакустичного зондування, дослідженні властивостей інформаційних сигналів на виході цього каналу і оптимізації на основі отриманих резуль-



татів методів обробки прийнятих коливань, що дозволяє підвищити якісні показники вимірювання характеристик атмосфери.

Основні результати полягають у тому, що:

1. Запропоновано нові форми подання моделі інформаційного радіоакустичного локаційного каналу, виконано аналіз їх інформативності. Тіла розсіювання $Z(k, q)$ і $Z(r, q)$ серед розглянутих форм подання функції розсіювання найбільш інформативні, тому що містять необхідні відомості про розсіяний сигнал, отримуваний при використанні різних видів зондувальних коливань, і різному стані зондуючого середовища. Показано, що двовимірна взаємна кореляційна функція зондувальних акустичних і електромагнітних коливань є базовою моделлю під час дослідження системних і сигнальних особливостей радіоакустичних систем.

2. Виконано дослідження властивостей простих зондувальних векторних сигналів з використанням різних форм подання функції розсіювання методом комп'ютерного моделювання і аналітично. Показано їхню основну особливість – розсіяний сигнал має симетричний спектр тільки у випадку виконання умови Брегга, а за умови $q \neq 0$ спектр є асиметричним.

Несиметричність форми спектра розсіяного сигналу є причиною відмінності формованої частоти від чисто доплерівської, що призводить до похибки виміру температури при виконанні вимірів, коли $q \neq 0$.

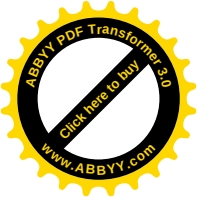
Аналітичним шляхом і методом чисельного комп'ютерного моделювання отримано співвідношення й графічні залежності, що визначають зміщення частоти розсіяного сигналу відносно доплерівського зсуву. З використанням отриманих результатів може бути зроблений розрахунок величини отримуваних похибок у режимі виконання вимірів $q \neq 0$ при використанні різних видів обвідних простих зондувальних сигналів.

3. Показано, що використання складних, зокрема ЛЧМ і ФКМ зондувальних звукових коливань, дозволяє істотно розширити область хвильових чисел ефектної взаємодії випромінюваних сигналів систем РАЗ атмосфери і дозволяє отримувати достатній за амплітудою відбитий радіосигнал з різних висот зондування від однієї акустичної посилки без підстроювання частот сигналів під умову Брегга. Це властивість складних звукових коливань дозволяє істотно підвищити оперативність станцій радіоакустичного зондування атмосфери при вимірюванні вертикальних температурних профілів атмосфери, однак вимагає значного збільшення енергетичного потенціалу станції.

Аналіз тіл розсіювання, отриманих з використанням таких сигналів, показує, що для них також характерна наявність специфічної похибки оцінювання швидкості звуку. Це пояснюється насамперед, нерівномірністю просторового спектра складних сигналів, зокрема ЛЧМ і ФКМ звукових імпульсів.

При розсіюванні радіосигналу на складному акустичному імпульсі має місце зменшення тривалості розсіяного сигналу і додаткове зміщення його в часі.

4. Застосовувані в цей час у расдарах методи обробки сигналів не адекватні процесам, що відбуваються в локаційному каналі.



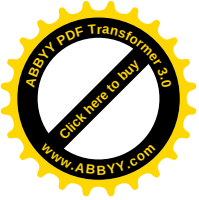
Аналіз використовуваних методів обробки з позицій сучасної теорії оцінювання показав, що ці методи або засновані на вимірюванні доплерівської частоти, або є евристичними пошуковими методами послідовного оцінювання параметра сигналу, що містить інформацію про швидкість поширення в атмосфері звукової посилки.

5. Показано, що завдання оцінювання швидкості звуку в системах РАЗ зводиться до оцінювання параметра q , який виступає як енергетичний параметр, що характеризує обидва векторні складові зондувального коливання й стан середовища. Система, що реалізує запропонований метод обробки, хоча і є когерентною, але доплерівською власне кажучи не є, оскільки вимірювань доплерівської частоти тут не здійснюється.

Відповідно до виконаної процедури синтезу оптимальна багатоканальна схема вимірювань, що формує оцінки максимальної правдоподібності, поряд з формуванням сукупності кореляційних інтегралів має містити в каналах також схеми корекції амплітуд сигналів. Використання запропонованого методу обробки сигналів дозволить усунути характерні для систем РАЗ систематичні похибки вимірювання, величина яких, як свідчать результати моделювання і натурних експериментів, досягає по температурі одиниць градусів.

ОСНОВНІ РОБОТИ, ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Карташов В.М. Исследование форм представления функции рассеяния/ В.М. Карташов, С.В. Пащенко// Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. - Харьков. - 2010.- №161.- С.163-170.
2. Карташов В.М. Анализ сигналов, рассеянных когерентными неоднородностями среды, в задачах дистанционного зондирования атмосферы/ В.М. Карташов, С.В. Пащенко// Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. - Харьков. - 2010.- №163.- С.248-255.
3. Карташов В.М. Алгоритм формирования оценок максимального правдоподобия параметров радиосигнала, рассеянного акустическим волновым пакетом/ В.М. Карташов, С.В. Пащенко // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. - Харьков. - 2011.- №164.- С.35-40.
4. Карташов В.М. Анализ методов дистанционного измерения влажности атмосферного воздуха, основанных на акустической релаксации/ В.М. Карташов, С.И. Бабкин, С.В. Пащенко, А.В. Волох// Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. - Харьков. - 2010.- №160.- С.170-176.
5. Карташов В.М. Алгоритм формирования максимально правдоподобных оценок параметров радиосигнала, рассеянного звуковой волной/ В.М. Карташов, С.В. Пащенко// Радиотехнические и телевизионные системы. Научн.-техн. журнал. – Муром (Россия). - 2011.- №4.- С.24-29.
6. Карташов В.М. Алгоритм автосопровождения изменений информационного параметра сигнала радиоакустических систем / В.М. Карташов, Д.Н. Куля, С.В. Пащенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - Харьков. - 2012.- №4/9(58)- С. 57-61.



7. Литвин-Попович А.И. Модели и методы обработки сигналов в РЛС вертикального зондирования атмосферы / А.И. Литвин-Попович, С.В. Пащенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - Харьков. - 2012.- №6/3(60)- С. 47-51.

8. Карташов В.М. Особенности рассеяния радиоволн на сложных акустических сигналах при радиоакустическом зондировании атмосферы / В.М. Карташов, С.В. Пащенко, Д.Н. Куля, М.В. Кушнир // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - Харьков. - 2012.- №6/9(60)- С. 64-68.

9. Патент на винахід №89342 України, МПК G01S13/95. Спосіб дистанційної реєстрації вертикальних профілів температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери/ Карташов В.М., Бабкін С.І., Волох А.В., Пащенко С.В., Яценко П.О. - №200906508; Заявл. 22.06.2009; Опубл. 11.01.2010, Бюл. №1 - 4 с. іл.

10. Патент на винахід №89344 України, МПК G01S13/95. Спосіб радіоакустичного зондування атмосфери для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря/ Карташов В.М., Бабкін С.І., Волох А.В., Пащенко С.В., Яценко П.О. - №200906895; Заявл. 01.07.2009; Опубл. 11.01.2010, Бюл. №1 - 4 с. іл.

11. Патент на винахід №86555 України, МПК G01S13/95. Пристрій для дистанційного визначення вологості атмосферного повітря/ Бабкін С.І., Карташов В.М., Пащенко С.В., Яценко П.О. - №200806985; Заявл. 20.05.2008; Опубл. 27.04.2009, Бюл. №8 - 4 с. іл.

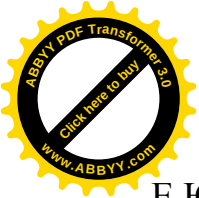
12. Патент на винахід №95137 України, МПК H04B 7/14 (2006.01). Спосіб передачі сигналів на інтервалі тропосферної радіорелейної лінії/ Карташов В.М., Бабкін С.І., Пащенко С.В., Яценко П.О., Кіпатовський А.І. - №200911409; Заявл. 09.11.2009; Опубл. 11.07.2011, Бюл. №13 - 4 с. іл.

13. Патент на винахід №97612. Україна. МПК G01S 13/95 (2006.1). Спосіб радіоакустичного зондування атмосфери для реєстрації вертикального профілю температури/ В.М. Карташов, С.І. Бабкін, С.В. Пащенко, Д.М. Куля. - №a2011 07002; Заявл. 03.06.2011; Опубл. 27.02.2012, Бюл. №4 - 5 с. іл.

14. Карташов В.М. Алгоритм обработки сигналов в системах радиоакустического зондирования атмосферы/ В.М. Карташов, С.В. Пащенко, П.А. Яценко// 18 Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо-2008: материалы конф. -Севастополь(Украина), 2008. - С. 923-924.

15. Карташов В.М. Анализ современного состояния теории и практики систем радиоакустического зондирования/ В.М. Карташов., С.И. Бабкин, А.В. Волох, С.В. Пащенко, П.А. Яценко// 3-й Междунар. радиоэлектронный форум “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития.” МРФ-2008. Сб. науч. трудов. Том 1. Междунар. конференция “Современные и перспективные системы радиолокации, радиоастрономии и спутниковой навигации”. Ч.1.- Харьков, АН ПРЭ, ХНУРЕ, 2008. – С. 79-82.

16. Карташов В.М. Анализ тел неопределенности простых зондирующих сигналов радиоакустических систем/ В.М. Карташов, А.В. Волох, С.В. Пащенко,



Е.Ю. Маньков// 19 Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрымМиКо-2009: материалы конф. –Севастополь (Украина), 2009. - С. 963-964.

17. Карташов В.М. Анализ тел неопределенности векторных зондирующих сигналов/ В.М. Карташов., А.В. Волох, С.В. Пащенко, С.И. Бабкин//Сб. научн. трудов 2-й Междунар. научн. конференции «Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития».-Харьков-Кацивели, 2009 - С. 258-260.

18. Карташов В.М. Анализ фазовых методов дистанционного измерения влажности атмосферного воздуха/ В.М. Карташов, С.И. Бабкин, С.В. Пащенко// 20 Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрымМиКо-2010: материалы конф. – Севастополь (Украина), 2010. - С. 1193-1194.

19. Пащенко С.В. Информативность форм представления функции рассеяния/ С.В. Пащенко, С.В. Петренко// 14-й Международный молодежный радиоэлектронный форум «Радиоэлектроника и молодежь»: тезисы докл.- Харьков, ХНУРЭ, 2010.-с.53.

20. Kartashov V.M. Analysis of Remote Atmospheric Air Humidity Measurement Methods Based on Acoustic Relaxation Phenomena/ V.M. Kartashov, S.I. Babkin, S.V. Pashcenko, A.V. Volokh// Proc. 15th Int. Symposium for the Advancement of Boundary Layer Remote Sensing. –Paris (France), 2010. - P.123-126.

21. Пащенко С.В. Анализ оптимального алгоритма обработки сигналов/ С.В. Пащенко, А.В. Жолтко// 15-й Международный молодежный радиоэлектронный форум «Радиоэлектроника и молодежь»: тезисы докл. -Харьков, ХНУРЭ, 2011.-с.195-196.

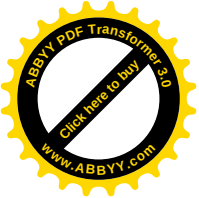
22. Карташов В.М. Анализ методов обработки сигналов систем радиоакустического зондирования атмосферы/ В.М. Карташов, С.И. Бабкин, С.В. Пащенко, Д.Н. Куля// 4-й Междунар. радиоэлектронный форум "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития." Т.1. Конференция «Интегрированные информационные радиоэлектронные системы и технологии" . -Харьков. -2011.-с. 241-243.

АНОТАЦІЯ

Пащенко С.В. Моделі інформаційного локаційного каналу і методи обробки сигналів систем радіоакустичного зондування атмосфери. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 - радіотехнічні та телевізійні системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2013.

Дисертація містить теоретичне узагальнення й нове вирішення актуального науково-прикладного завдання, що полягає в удосконаленні моделей і методів дослідження взаємодії зондувальних сигналів радіоакустичних систем із середовищем, вивченні властивостей використовуваних зондувальних коливань й оптимізації на основі отриманих результатів методів обробки прийнятих сигналів.



Теоретичним шляхом з використанням тіл розсіювання досліджено властивості інформаційного локаційного каналу, основні особливості розсіяних сигналів, отримуваних у системах РАЗ при випромінюванні простих і складних зондувальних акустичних й електромагнітних сигналів.

Показано, що багатоканальна схема вимірювань параметрів розсіяних сигналів, побудована на основі кореляторів або узгоджених фільтрів, має бути доповнена схемою корекції амплітуд сигналів у каналах.

Отримані результати дозволять правильно вибирати види зондувальних сигналів при проектуванні станцій, створювати імітатори розсіяних сигналів, поліпшити показники якості методів обробки сигналів.

Ключові слова: зондування атмосфери, температура, зондувальний сигнал, функція розсіювання, система, канал, модель, аналіз, синтез.

АННОТАЦІЯ

Пащенко С.В. Модели информационного локационного канала и методы обработки сигналов систем радиоакустического зондирования атмосферы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2013.

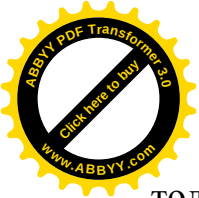
Диссертация содержит теоретическое обобщение и новое решение актуальной научно-прикладной задачи, которая заключается в усовершенствовании моделей и методов исследования взаимодействия зондирующих сигналов радиоакустических систем со средой, изучении свойств используемых зондирующих колебаний и оптимизации на основе полученных результатов алгоритмов обработки принимаемых сигналов.

Аналитическим путем и методом компьютерного моделирования с использованием адекватных математических моделей исследованы свойства информационного локационного канала систем радиоакустического зондирования. Доказан ряд новых утверждений и теорем, определяющих свойства функции рассеяния и характерные особенности рассеянных сигналов.

Теоретическим путем с использованием тел рассеяния исследованы основные особенности рассеянных сигналов, получаемых в системах РАЗ при излучении простых и сложных зондирующих акустических и электромагнитных сигналов.

Получены соотношения и графические зависимости, определяющие смещение частоты рассеянного сигнала относительно доплеровского сдвига, которое является основной причиной ошибок при измерении температуры.

С позиций теории статистических решений дан анализ методов обработки сигналов и измерения информативных параметров в системах РАЗ. Показано, что применяемые алгоритмы обработки сигналов – это эвристические поисковые ме-



тоды оценивания энергетического параметра сигнала, содержащего информацию о скорости распространения в атмосфере звуковой посылки.

Усовершенствован алгоритм обработки рассеянных сигналов систем радио-акустического зондирования атмосферы. Показано, что оптимальная многоканальная схема измерений, построенная на основе корреляторов или согласованных фильтров, должна быть дополнена схемой коррекции амплитуд сигналов в каналах.

Полученные в работе результаты позволят правильно выбирать виды зондирующих сигналов при проектировании станций, создавать имитаторы рассеянных сигналов, улучшить показатели качества алгоритмов обработки сигналов и свойств получаемых оценок.

Ключевые слова: зондирование атмосферы, температура, зондирующий сигнал, функция рассеяния, система, канал, модель, анализ, синтез.

ABSTRACT

Pashenko S.V. Models of information radar channel and methods for processing signals of the atmosphere sounding radio acoustic systems. - Manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technscal Sciences, specialty 05.12.17 – radio engineering and television systems. – Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, 2013.

The thesis contains theoretical generalization and new solution of the urgent scientific – applied problem which consists in perfection of models and methods for studying interaction of sounding signals of radio acoustic systems with the medium, investigation into properties of the sounding oscillation being used and optimization based on the obtained results of the received signals processing algorithms.

Properties of information radar channel, the main features of the scattered signals received in the RAS systems at radiating simple and complex sounding acoustic and electromagnetic signals are studied using theoretical way with the scattering bodies.

It is shown that the multichannel scheme for measuring parameters of the scattered signals built on the basis of correlators or matched filters should be added with the scheme of correction of signals amplitudes in channels.

The obtained results make it possible to select properly the types of sounding signals when designing the stations, to create the scattered signals simulators, to perfect the indices of signals processing algorithms quality and the received estimates properties.

Key words: atmosphere sounding, temperature, sounding signals, scattering function, system, channel, model, analysis, synthesis.