

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

ТОЛСТИХ Єлизавета Геннадіївна



УДК 621.396.96: 551.51: 621.391.8

**УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ
РАДІОАКУСТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Карташов Володимир Михайлович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри медіаінженерії та
інформаційних радіоелектронних систем

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Баришев Ігор Володимирович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
МОН України, професор кафедри аерокосмічних
радіоелектронних систем

кандидат фізико-математичних наук, с.н.с.,
Сфімов Валентин Борисович,
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
НАН України, старший науковий співробітник відділу
дистанційного зондування Землі

Захист відбудеться «27» грудня 2018 року о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

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

Автореферат розісланий «26» листопада 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Погода і клімат планети Земля визначаються динамічними процесами, які відбуваються в атмосфері, і безпосередньо впливають на життя і діяльність людини. Отримання інформації про розподіл метеорологічних параметрів в атмосфері можливе за допомогою контактних та дистанційних методів вимірювань. На даний час значного поширення набули дистанційні методи зондування, які дозволяють при малих експлуатаційних витратах вести з поверхні землі тривалі безперервні вимірювання у всьому шарі зондування і таким чином контролювати динаміку атмосферних процесів.

Метод радіоакустичного зондування (РАЗ) атмосфери дозволяє дистанційно реєструвати профілі основних метеорологічних величин – температури і вологості повітря, швидкості і напрямку вітру. Протягом тривалого часу цей метод розвивався на базі доплерівської радіолокації пакета акустичних хвиль, який поширюється в атмосфері в напрямку зондування. Однак ряд особливостей, властивих доплерівській радіолокації просторово розподілених неоднорідностей, які створюються звуковою хвилею, помітно ускладнили впровадження його в практику метеоспостережень.

Практичне використання методу і систем РАЗ при вирішенні актуальних задач стримується також відсутністю методик метрологічної атестації засобів радіоакустичного дистанційного вимірювання метеорологічних параметрів атмосфери. Існує необхідність в удосконаленні методів обробки сигналів, в розробці нових ефективних методів вимірювання швидкості вертикального і горизонтального вітру системами РАЗ і оцінки показників якості отриманих за їх допомогою характеристик.

Найбільш потужним обмеженням існуючих систем РАЗ по дальності є виніс плями розсіяних коливань з апертури приймальної антени. Час отримання температурних профілів системами РАЗ зараз складає десятки хвилин, а іноді і одиниці годин. При виконанні зондування протягом такого часу в результатах вимірювань з'являється похибка, обумовлена нестаціонарністю процесів, які протікають в атмосфері.

Таким чином, актуальною є науково-прикладна задача щодо вдосконалення моделей і методів РАЗ атмосфери, які дозволять підвищити точність вимірювання характеристик атмосфери та визначити якісні показники їх вимірювання, а також обґрунтовано використовувати системи РАЗ на практиці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження пов'язані з плановими держбюджетними НДР, що виконувались в Харківському національному університеті радіоелектроніки: «Створення технологій побудови багатофункціонального радіотехнічного комплексу для екологічного моніторингу» ДР №0114U002697 (2014-2015 роки), «Розробка нових інформаційно-вимірювальних систем і технологій координатно-часового і метеорологічного забезпечення та зв'язку» ДР №011U002541, (2016-2017 роки), у яких здобувач був виконавцем.

Мета та задачі досліджень

Метою досліджень є удосконалення моделей і методів радіоакустичного зондування атмосфери, що дозволять підвищити точність вимірювання характеристик атмосфери та визначити якісні показники їх вимірювання.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі задачі:

1. Розробити підходи і методи метрологічної атестації систем РАЗ атмосфери, що дозволить обґрунтовано використовувати їх на практиці.
2. Розробити метод вимірювання вертикальної швидкості вітру з використанням кореляційної обробки розсіяних сигналів і оцінити його методичні похибки.
3. Виконати аналіз показників якості систем РАЗ з вимірювання профілів температури і вологості повітря з використанням кореляційної обробки сигналів.
4. Розробити метод прийому розсіяних сигналів, що заснований на пасивній локації плями прийнятих коливань.
5. Розробити метод фільтрації «миттєвих» профілів температури, які одержуються системою РАЗ, з метою зменшення часу, що витрачається на отримання температурних профілів з необхідною достовірністю.

Об'єктом дослідження є процес зондування атмосфери акустичними і електромагнітними хвилями.

Предметом дослідження є моделі і методи радіоакустичного зондування атмосфери системами РАЗ і аналіз їх показників якості.

Методи дослідження. В роботі використані методи теорії статистичних рішень для синтезу оптимальних алгоритмів обробки сигналів систем РАЗ, теорії поширення хвиль у турбулентній атмосфері, методи теорії оптимальної лінійної фільтрації, числові методи аналізу, комп'ютерне моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Запропоновані нові ефективні методи вимірювання швидкості вертикального та горизонтального вітру системами РАЗ, які відрізняються від відомих методів застосуванням комбінованої обробки розсіяних сигналів – доплерівської і кореляційної, що дозволяє розширити можливості систем РАЗ по вилученню нової інформації з даних радіоакустичного зондування атмосфери.
2. Вперше запропоновано новий метод прийому та обробки сигналів у системах РАЗ атмосфери, який заснований на пасивній радіолокації плями розсіяних електромагнітних коливань, сфокусованих сферичними хвильовими фронтами акустичного пакета. Новизна методу полягає в тому, що для прийому розсіяного сигналу при зносі пакету акустичних хвиль вітром, на відмінну від відомих методів, які використовують матрицю приймальних антен, використовується одна приймальна антена. Цей метод дозволяє підвищити якість і оперативність отримання інформації.
3. Запропонована нова методика метрологічної атестації систем РАЗ, яка на відміну від відомих, ґрунтується на метрологічній атестації основних пристроїв системи, які визначають похибку вимірювання інформаційного параметра відбитого сигналу системи.

4. Удосконалено метод фільтрації «миттєвих» профілів температури, які одержуються системою РАЗ, який, на відміну від відомих, дозволяє значно зменшити час, що витрачається на отримання температурних профілів з необхідною достовірністю.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані в роботі результати можуть бути використані під час модернізації існуючих та створення нових радіоакустичних систем зондування атмосфери. Вони дозволять підвищити точність та оперативність вимірювань параметрів атмосфери.

Застосування комбінованої обробки сигналів систем РАЗ – доплерівської і кореляційної, забезпечує реальну можливість дистанційної реєстрації висотних профілів вертикальної складової швидкості вітру. Введення в антенний пристрій системи РАЗ розподіленого акустичного випромінювача розширює можливості даного метода і дозволяє одночасно вимірювати і горизонтальну складову швидкості вітру.

Вартість створення апаратури РАЗ, в якій використовується метод пасивної радіолокації плями розсіяних сигналів і одна приймальна антена, значно нижча вартості побудови цілого антенного поля приймальних антен, що досить часто використовується при створенні систем радіоакустичного зондування.

Метод вимірювання горизонтальної швидкості вітру системою РАЗ з пасивною радіолокацією плями розсіяних сигналів перспективний при організації та проведенні екологічного моніторингу прикордонного шару атмосфери. Застосування подібних систем в практиці метеоспостережень забезпечує отримання вхідних даних – вертикальних градієнтів температури і швидкості вітру – для моделей турбулентної дифузії викидів природного та антропогенного характеру, що забруднюють атмосферу, а також прогнозування дальності їх перенесення.

Запропонована методика метрологічної атестації систем дистанційного радіоакустичного зондування дозволяє розрахунковим шляхом отримувати якісні показники систем та більш обґрунтовано і акцентовано використовувати їх при вирішенні різноманітних наукових та прикладних завдань.

Найбільш доцільним є використання таких перспективних систем РАЗ для метеорологічного забезпечення екологічного моніторингу атмосфери в районах розміщення ТЕЦ, АЕС, великих майданчиків сховищ енергоносіїв (нафти, газу та ін.), над якими заборонені будь-які польоти.

Застосування оптимального лінійного фільтра в системах РАЗ дозволяє згладжувати миттєві значення температури і отримувати оцінки вертикального профілю температури при меншій кількості вертикальних зондувань. Вимога зменшення часу осереднення профілів полягає в тому, що значний час призводить до помилки внаслідок нестационарності процесів в атмосфері.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені в ХНУРЕ при виконанні держбюджетної НДР, а також в навчальному процесі на кафедрі МІРЕС ХНУРЕ.

Особистий внесок здобувача.

Основні наукові результати, які викладені в дисертації, отримані здобувачем самостійно або за його безпосередньої участі.

В роботі [1] розглянуті підходи до проведення метрологічної атестації засобів дистанційного зондування атмосфери, які використовують електромагнітні та (або) акустичні хвилі. В [2] проведена оцінка можливості реєстрації за допомогою методу РАЗ швидкості вертикальних потоків, інформація про яку необхідна для підвищення точності дистанційної реєстрації ряду метеорологічних величин, зокрема, температури повітря в прикордонному шарі атмосфери. В роботах [3,4] виконано аналіз методичних похибок, що виникають за рахунок апріорної невизначеності висотного розподілу метеорологічних величин при реєстрації вертикальних профілів температури і вологості повітря з використанням кореляційної обробки прийнятих сигналів систем РАЗ. В роботі [5] розглянуто метод прийому розсіяних сигналів, що заснований на пасивній локації плями розсіяних коливань. В [6] розглядається можливість застосування методів оптимальної лінійної фільтрації в системах РАЗ атмосфери з урахуванням особливостей оцінюваного процесу. В роботі [7] виконано аналіз потенційної точності оцінки параметра умови Брегга при використанні кореляційного методу в системах РАЗ.

В патентах [8,9,10] здобувач брав участь в розробці способу дистанційного вимірювання вертикальної швидкості вітру радіоакустичним зондуванням атмосфери, способу визначення вологості повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери та пристрою для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури атмосферного повітря.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи були представлені, доповідались й обговорювались на міжнародних конференціях і форумах, а саме на: 18-му, 19-му, 20-му міжнародних молодіжних радіоелектронних форумах «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті» (Харків, 2014 р., 2015 р., 2016 р.); 10-й міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ-2014 року» (Севастополь, 2014 р.); Proceedings of 2015 X Anniversary International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT) (Kharkiv, 2015 p.); 14-му, 16-му міжнародних науково-технічних конференціях «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (Затока, 2015 р., 2016 р.); 8-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (Запоріжжя, 2016); 6-му міжнародному радіоелектронному форумі (МРФ-2017) «Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку» (Харків, 2017).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в 22 наукових роботах: 7 статей – у фахових виданнях України; 2 статті – в зарубіжних журналах (Scopus); 3 патенти на винаходи; 10 тез доповідей у матеріалах міжнародних форумів і конференцій, з яких 1 індексується в науковій базі Scopus.

Структура дисертаційної роботи.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновку і списку використаних джерел. Загальний обсяг становить 163 сторінок. Дисертація містить 33 рисунки і 3 таблиці. Список використаних джерел налічує 134 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та сформульовано задачі дисертаційного дослідження, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами і темами, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження. Зазначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про публікації автора за темою дисертації.

У першому розділі виконано аналіз відомих методів дистанційного зондування атмосфери: акустичного, оптичного, радіолокаційного та радіоакустичного.

Відмінною особливістю методу РАЗ є використання штучно створюваної звуковими хвилями періодичної структури щільності повітря, яка поширюється в атмосфері зі швидкістю звуку. Метод забезпечує дистанційну реєстрацію профілів основних метеовеличин – температури і вологості повітря, швидкості і напрямку вітру. Однак ряд особливостей, властивих методу, помітно ускладнили впровадження його в практику метеоспостережень.

Це, насамперед, необхідність підтримки умови Брегга при поширенні акустичного пакета по трасі зондування, що необхідно для забезпечення точності реєстрації температури повітря, а також формування при радіолокації акустичного пакета на підстилаючій поверхні плями розсіяних сигналів, розміри і положення якої визначаються шириною діаграм спрямованості радіо- і акустичного передавачів, висотою зондування і метеоумовами, в яких проводиться зондування.

Основний вплив на зниження ефективності роботи систем РАЗ з класичною схемою антенного пристрою, яка містить передавальну, приймальну антени радіолокатора і акустичний випромінювач, надає горизонтальний вітер та його поворот з висотою, що призводить до зносу пакету акустичних хвиль і відповідно плями розсіяних сигналів. Вже при швидкості горизонтального вітру 4-5 м/с вимір метеовеличин методом зондування в чотирьох напрямках стає практично неможливим. При радіоакустичному зондуванні атмосфери звичайні для радіолокації методи автосупроводу об'єктів практично непридатні через специфіку радіолокаційного супроводу акустичного пакета в реальній атмосфері.

До цього часу акустичні і радіоакустичні засоби не знайшли широкого впровадження в практику метеорологічних спостережень. Це пов'язано з тим, що вони є нестандартизованими засобами вимірювань і для оцінки достовірності одержуваної з їх допомогою метеорологічної інформації (наприклад, на предмет придатності її для використання в синоптичних розрахунках), необхідно мати методики метеорологічної атестації для кожного виду вимірювальних пристроїв. Відсутність на сьогоднішній день подібних методик не дозволяє коректно порівнювати між собою результати вимірювань, виконаних різними експериментаторами, ставить під сумнів трактування і пояснення ними процесів, що відбуваються в атмосфері, не дає можливості єдиного підходу до проектування засобів дистанційного зондування того чи іншого класу.

Тому в дисертації поставлені задачі дослідження, які дозволять підвищити точність вимірювання характеристик атмосфери та визначити якісні показники їх вимірювання, а також обґрунтовано використовувати системи РАЗ на практиці.

У другому розділі розглянуто підходи до проведення метрологічної атестації засобів дистанційного зондування атмосфери, що використовують електромагнітні та (або) акустичні хвилі.

Метрологічну атестацію дистанційних засобів зондування атмосфери, як і інших засобів вимірювань, можна проводити декількома шляхами: розрахунковим шляхом, шляхом екстраполяції структурної функції за даними практичних вимірювань та шляхом порівняння (звірення) з еталоном.

Основними інформаційними параметрами відбитого сигналу в системах РАЗ є амплітуда, доплерівський зсув частоти або його фаза. Природно припустити, що метрологічні характеристики систем РАЗ повинні бути пов'язані з цими параметрами сигналу, і чим кращі будуть метрологічні характеристики системи, тим точніше вимірюються параметри сигналу, і тим точніше проводяться вимірювання. Для сертифікації апаратури РАЗ, що створена з метою вимірювання тієї чи іншої метеорологічної величини, необхідно коректно вибрати і обґрунтувати нормовану метрологічну характеристику, вирішити питання про те, як проводити атестацію: системи РАЗ в цілому або її основних пристроїв – радіопередавача, радіоприймача, генератора потужних імпульсів, вимірювача інформаційного параметра прийнятого радіосигналу, реєстратора.

У роботі визначено, що похибка вимірювання швидкості звуку доплерівським радіолокатором, яка обумовлена нестабільністю частоти радіопередавача, є найбільш суттєвою з усіх розглянутих і в основу метрологічної атестації системи РАЗ як температурного, так і температурно-вітрового зондування може бути покладено значення відносної короткочасної нестабільності частоти опорного генератора доплерівського радіолокатора. Тоді розрахована з використанням значення нестабільності похибка вимірювання доплерівського зсуву частоти відбитого сигналу, що визначає похибку вимірюваної метеорологічної величини, стає метрологічною характеристикою систем РАЗ температурного і температурно-вітрового зондування. Вимірювання відносної короткочасної нестабільності частоти опорного генератора радіолокатора можна проводити відповідно до ДСТУ 8.129-99, створеному для метрологічної атестації стандартів частоти і часу.

У способі радіоакустичного визначення вологості повітря, який засновано на вимірюванні різниці фаз двох акустичних коливань різної частоти, що виникають за рахунок дисперсії швидкості звуку у вологому атмосферному повітрі, джерелами похибки вимірювання фазового зсуву в системі РАЗ є двоканальні радіопередавач і радіоприймач, звуковий генератор і акустичні випромінювачі. Саме ці пристрої і повинні бути піддані метрологічній атестації.

Останнім часом у радіоакустичному зондуванні розроблено метод кореляційної обробки відбитих сигналів, в якому інформаційним параметром для отримання даних про метеорологічні величини з даних зондування, є параметр розстроювання умови Брегга q . Відповідно до прийнятої вище концепції, для систем РАЗ з кореляційною обробкою в якості метрологічної величини повинна

стати відносна середньоквадратична похибка вимірювання цього інформаційного параметра розсіяних сигналів. Перехід до кореляційної обробки вимагає зміни складу зондуючої апаратури, а саме, включення в її склад блоку формування сітки опорних сигналів, кореляторів, віднімаючих пристроїв і компаратора.

У **третьому розділі** розроблено метод вимірювання за допомогою систем РАЗ швидкості вертикальних потоків при використанні комбінованої обробки прийнятих сигналів, а також виконано аналіз методичних похибок, що виникають за рахунок апріорної невизначеності висотного розподілу метеорологічних величин при реєстрації вертикальних профілів температури і вологості повітря з використанням кореляційної обробки прийнятих сигналів.

Значення вертикальної швидкості вітру для обраної точки траси зондування визначається за формулою

$$W_z = C - C_\phi = \frac{f_d \lambda_e}{2} - \frac{2\pi f_n}{\frac{4\pi f_e}{c} - q}, \quad (1)$$

де C, C_ϕ – групова і фазова швидкості поширення пакету акустичних хвиль в атмосфері; f_d – частота доплерівського зсуву електромагнітних сигналів, що опромінюють акустичний пакет; λ_e, f_e, c – довжина хвилі, частота та швидкість поширення електромагнітного випромінювання; f_n – частота синусоїдального заповнення акустичного пакету.

При застосуванні розподіленого акустичного випромінювача в антенному пристрої системи РАЗ можливо провести також вимір горизонтальної швидкості вітру, використовуючи дані про часовий інтервал між появою суміжних максимумів амплітуди прийнятих сигналів і даних про просторове рознесення R акустичних передавальних модулів відповідно до виразу $W_x = R / \Delta t$, де Δt – часовий інтервал між появою сусідніх максимумів амплітуди.

Значення відносної середньоквадратичної похибки вирахування вертикальної швидкості вітру складає $\sigma W_z / W_z \approx 4 \cdot 10^{-2}$, що при швидкості вітру в атмосфері $W_z = 1 \text{ м/с}$ (це середнє значення для прикордонного шару), забезпечує середньоквадратичну похибку вимірювання вертикальної швидкості вітру $\sigma W_z = 0,04 \text{ м/с}$.

Вираз для розрахунку температури повітря при використанні кореляційної обробки даних вертикального зондування має вигляд

$$T = \left[\frac{2\pi f_n}{a \left(\frac{4\pi f_e}{c} - q \right)} \right]^2, \quad (2)$$

де a – коефіцієнт, який залежить від складу повітря (для сухого повітря $a = 20,0789_{\text{м}} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{К}^{-1/2}$).

В разі існування в прикордонному шарі тільки динамічної турбулентності методична похибка реєстрації температури повітря 10-см системою РАЗ з кореляційною обробкою прийнятих сигналів при частоті зонduючого звуку $f_n = 6,8$ кГц, частоті електромагнітних хвиль $f_e = 3$ ГГц на висоті 300 м складе близько 0,08 К.

Отримані результати показують, що при кореляційній обробці радіосигналів вплив турбулентності атмосфери на методичну похибку вимірювань температури повітря менше, ніж при доплерівській обробці.

Методична похибка вимірювання температури повітря, що виникає за рахунок вітрової рефракції для 10-сантиметрової системи РАЗ, складе приблизно 0,11 К.

Формула для визначення вологості за даними двочастотного радіоакустичного зондування з кореляційною обробкою даних амплітудних вимірювань має вигляд

$$e = P \cdot \left\{ k \exp \left[0,385 \cdot \ln \frac{(C_\infty^2 - C_0^2)(f_2^2 - f_1^2)}{2C \cdot \Delta C} - 7,947 \right] \right\}, \quad (3)$$

де $k = 0,375$ – коефіцієнт для коригування, e – парціальний тиск водяної пари, ГПа; P – повний тиск повітря, ГПа; C_0 – швидкість звуку при дуже малих частотах, м/с; C_∞ – швидкість звуку при дуже великих частотах, м/с; f_1 та f_2 – частоти зонduючого звуку, Гц; ΔC – різниця швидкостей звуку цих частот C_1 та C_2 відповідно, м/с; а $C = \frac{C_1 + C_2}{2}$.

При проведенні вимірювань вологості повітря за допомогою двочастотної системи РАЗ та застосуванні кореляційної обробки амплітуди прийнятих радіосигналів для мінімізації методичної похибки вимірювань вологості у заданих метеорологічних умовах звукові частоти необхідно вибирати так, щоб вони розташовувались на верхній та нижній межах дисперсійного виступу.

Одним з метеорологічних факторів, який впливає на похибку вимірювання вологості повітря, є горизонтальний вітер. Умови, при яких вплив даного чинника при вимірюванні вологості повітря двочастотними РАЗ і використанні в якості інформаційного параметра прийнятих радіосигналів їх амплітуд виключається, а методична похибка мінімізується, мають вид

$$\frac{\Theta_1}{\Theta_2} = \frac{\lambda_{e_1}}{\lambda_{e_2}}, \quad (4)$$

де Θ_1, Θ_2 – ширина діаграм спрямованості антен обох радіоканалів, $\lambda_{e_1}, \lambda_{e_2}$ – робочі довжини хвиль цих каналів.

Іншою важливою умовою вибору оптимального режиму роботи двочастотної системи РАЗ є використання однакової кількості довжин хвиль у акустичних пакетах обох каналів $N_1 = N_2$. При виконанні цієї умови забезпечується рівність значень ширин головних пелюстків залежності потужності розсіювання Брегга на обох частотах

$$p_1^2 = f_1 \left(\frac{\lambda_{e_1}}{\lambda_{n_1}} \right) \quad \text{та} \quad p_2^2 = f_2 \left(\frac{\lambda_{e_2}}{\lambda_{n_2}} \right). \quad (5)$$

Звуження (або розширення) діаграм спрямованості обох акустичних випромінювачів під дією вертикального градієнту температури повітря відбувається синхронно і однаково, а розворот їх фазових фронтів під дією вертикального градієнта швидкості вітру виявиться рівним. У такому випадку додаткової різниці втрат потужності прийнятих радіосигналів в обох каналах не спостерігається, і поява методичної похибки вимірювання вологості повітря за рахунок існування вертикальних градієнтів метеорологічних величин не відбувається.

У четвертому розділі розглянуто метод прийому розсіяних сигналів в системах РАЗ, що заснований на пасивній локації плями розсіяних коливань.

Можлива схема реалізації системи РАЗ з антенним пристроєм, який передбачає розбіжність фокальної плями розсіяних сигналів з апертурою приймальної радіоантени, представлено на рис. 1. Пошук місця розташування цієї плями здійснюється за допомогою приймальної радіоантени шляхом поєднання максимуму її діаграми спрямованості з центром фокальної плями (точніше, з центром тяжіння фігури проєкції плями на підстилаючу поверхню). Таке поєднання забезпечить максимальну амплітуду вихідних сигналів приймача при застосуванні гостроспрямованої радіоантени.

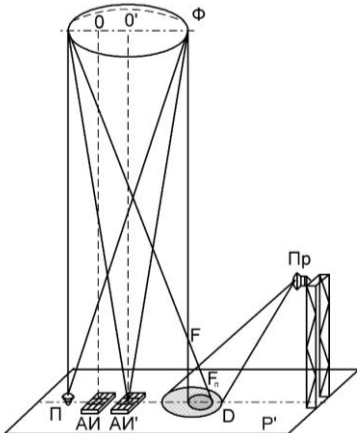


Рисунок 1 – Схема реалізації антенного пристрою системи радіоакустичного зондування

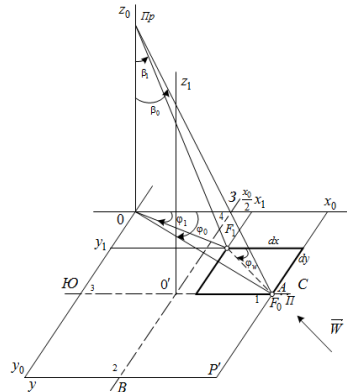


Рисунок 2 – Геометричні співвідношення, що пояснюють методику вимірювання параметрів вітру системою РАЗ при пасивній радіолокації фокальної плями

Під впливом горизонтальної швидкості вітру (рис. 2) акустичний хвильовий пакет переноситься вітром по горизонталі над підстилаючою поверхнею, внаслідок чого проєкція фокальної плями F на площину P' мігрує по цій площині від початкового положення в залежності від швидкості і напрямку вітру. Для вирішення задачі вимірювання параметрів вітру, досить відслідковувати стан плями на підстилаючій поверхні (площині P) за допомогою гостроспрямованої антени, реєструючи таким чином годограф вітру; для визначення температури та вологості повітря, як і зазвичай, необхідно виміряти параметри прийнятих радіосигналів: доплерівський зсув частоти, амплітуду або фазу.

У точці O з координатами $(O; O)$ розміщена щогла висотою Z_0 зверху якої встановлюється приймальна гостроспрямована радіоантена Pr (дзеркальна поворотна або у вигляді фазованої решітки). На площині P' розмірами $OX_0 \times OY_0$ фокусується пляма розсіяних сигналів.

Осі системи координат направлені так, що ось OX_0 збігається з напрямком на північ, ось OY_0 – з напрямком на схід. Залежно від напрямку вітру для формування фокальної плями на площині P' використовуються передавальна акустична антена A і радіоантена Pr , які розміщені по нормалі до сторони квадрату в точках 1,2,3 і 4 так, щоб при відсутності вітру фокальна пляма знаходилася в точці F_0 (при знаходженні зондуючого акустичного пакета на висоті найнижчої точки вимірювання параметрів вітру). Центр підстилаючої поверхні, який використовується для перевіддзеркалення, розташовується в точці O_1 з координатами $(X_0/2; Y_0/2)$. Припустимо, що напрямок вітру такий, як позначено на рис. 4.3 стрілкою \vec{W} . В цьому випадку зміщення плями F_1 по осі x складе $d_x = X_0 - X_1$, а по осі y – $d_y = Y_0/2 - Y_1$. Представимо координати точок F_0 і F_1 через азимуті цих точок φ_0 і φ_1 та через кути візування β_0 і β_1 . Для цього випадку вирази для визначення модуля горизонтальної швидкості вітру і його напрямку мають вигляд

$$W = \frac{Z_0}{\Delta t} \sqrt{(tg\beta_0 \cos \varphi_0 - tg\beta_1 \cos \varphi_1)^2 + (tg\beta_0 \sin \varphi_0 - tg\beta_1 \sin \varphi_1)^2}, \quad (6)$$

$$\varphi_w = \arctg \frac{tg\beta_0 \sin \varphi_0 - tg\beta_1 \sin \varphi_1}{tg\beta_0 \cos \varphi_0 - tg\beta_1 \cos \varphi_1}. \quad (7)$$

Можуть бути запропоновані й інші варіанти взаємного розміщення щогли, антенних пристроїв та підстилаючої поверхні. Наприклад, можлива побудова системи РАЗ з вихідним положенням фокальної плями в центрі координатної сітки робочого поля підстилаючої поверхні.

У п'ятому розділі виконано аналіз потенційної точності оцінки параметрів атмосфери кореляційним методом в системах РАЗ, розглядається можливість застосування методів оптимальної лінійної фільтрації в системах РАЗ для згладжування «миттєвих» температурних профілів з урахуванням особливостей оцінюваного процесу.

Аналіз потенційної точності вимірювання інформаційного параметру сигналу, параметру розстроювання умови Брегга q (який є енергетичним параметром, оскільки його значення впливає на енергію сигналу), виконувався шляхом моделювання сигнальної радіоакустичної функції, що являє собою функцію взаємної кореляції вхідного корисного сигналу $F(t, q_1)$ і опорного сигналу $F(t, q_2)$ систем кореляційної обробки систем РАЗ. Зазначені сигнали мають різні значення параметрів q_1 і q_2 .

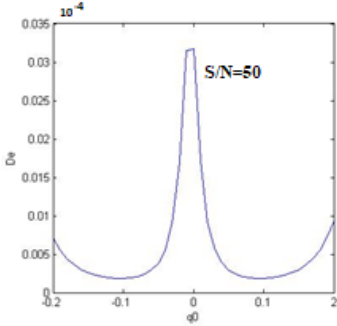


Рисунок 3– Дисперсія $D_E(q_0)$ оцінки інформаційного енергетичного параметра при використанні зондуючих сигналів $E(t)$ з прямокутною і $S_1(t)$ з куполоподібною обвідними

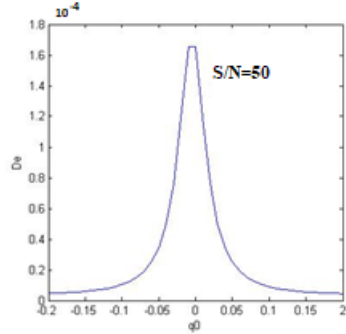


Рисунок 4 – Залежність $D_E(q_0)$ при використанні сигналів $E(t)$ з прямокутною і $S_2(t)$ з куполоподібною обвідними ($\Delta S_2(t) < \Delta S_1(t)$)

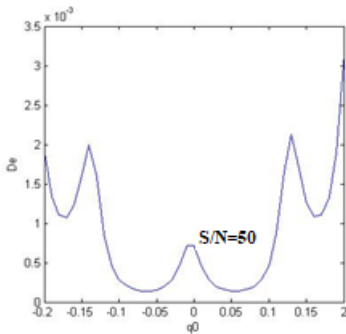


Рисунок 5 – Залежність $D_E(q_0)$ при використанні сигналів $E_2(t)$ з куполоподібною і $S_6(t)$ прямокутною обвідними ($\Delta S_6(t) < \Delta S_5(t)$)

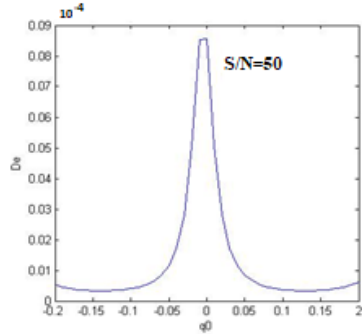


Рисунок 6– Залежність $D_E(q_0)$ при використанні сигналів $E_2(t)$ з куполоподібною і $S_7(t)$ прямокутною обвідними ($\Delta S_7(t) < \Delta S_6(t)$)

На рис. 3-6 показані графіки залежностей дисперсії оцінки інформаційного параметра $D_E(q_0)$ від значення самого параметра при використанні різних комбінацій зонduючих акустичних і електромагнітних сигналів.

Залежності $D_E(q_0)$ на рис. 3-4, являють собою криві з єдиним піком в точці $q_0 = 0$. При збільшенні параметра розстроювання умови Брегга q_0 дисперсія D_E поступово зменшується. На рис. 3, де тривалість акустичного зонduючого сигналу є найбільшою з розглянутих, на краях обраного діапазону значень параметра q_0 функція зростає.

Залежність $D_E(q_0)$ на рис. 5 являє собою криву з численними піками, а на рис. 6 з єдиним піком в точці $q_0 = 0$. При збільшенні параметра розстроювання умови Брегга q_0 дисперсія D_E поступово зменшується, а потім має тенденцію до зростання. Навколо точки $q_0 = 0$ зменшення значення дисперсії D_E пояснюється тим, що зі збільшенням значень параметра розстроювання умови Брегга в атмосфері спостерігається ускладнення структури відбитого сигналу та має місце кутова модуляція сигналу. З аналізу рис. 5 видно, що збільшення дисперсії починається після деяких значень параметра q_0 (0,07). Це пояснюється тим, що q є енергетичним параметром, і коли енергія опорного і відбитого сигналів стають досить малими, флуктуаційна помилка при формуванні кореляційних інтегралів відбитого і опорних сигналів стає значною.

З рис. 3-6 варто відмітити, що має місце залежність D_E від тривалості акустичного імпульсу. Зі зменшенням тривалості акустичного сигналу при інших рівних умовах значення D_E зростає, що означає погіршення потенційної точності. Така поведінка пояснюється впливом двох факторів: по-перше, енергія відбитого сигналу зі зменшенням тривалості акустичного сигналу зменшується повільніше при великих значеннях параметра розстроювання умови Брегга q_0 ; по-друге, зі зменшенням тривалості акустичного зонduючого сигналу має місце тенденція спрощення структури відбитих від нього радіосигналів.

Одна з найважливіших задач вимірювальних радіосистем – задача фільтрації, полягає в тому, щоб найкращим чином вилучити інформацію про процес, який досліджується у послідовності вимірювань деяких його характеристик, проведених з певними похибками. У системах РАЗ атмосфери інформаційний процес, який необхідно оцінити – це насамперед процес зміни швидкості звуку в залежності від висоти, якій, в силу турбулентних процесів, що відбуваються в атмосфері, є випадковим процесом.

Оптимальний лінійний фільтр дозволяє здійснювати фільтрацію не тільки шумових помилок, але і випадкових варіацій самого випадкового процесу. Тому, застосування оптимального лінійного фільтра дозволяє згладжувати миттєві значення температури і отримувати оцінки вертикального профілю середньої температури при меншій кількості вертикальних зондувань, тобто використання такого алгоритму дозволяє значно скоротити загальний час, який витрачається на отримання профілю.

В якості моделі зміни інформаційного параметра α використовувалась модель, що описується лінійним рівнянням

$$\alpha_{\kappa+1} = c\alpha_{\kappa} + \mu_{\kappa}, \quad (8)$$

де μ_{κ} – випадкова величина. Ця модель, як показано, адекватно характеризує процес зміни швидкості звуку і її доцільно використовувати для лінійної фільтрації оцінок швидкості звуку в атмосфері.

Рівняння, відповідно до яких проводиться лінійна фільтрація інформаційних процесів в системі РАЗ, при використанні випадкової моделі зміни параметра (8), мають вигляд

$$\hat{c}_{s(\kappa+1)} = \hat{c}_{se(\kappa+1)} + (D_{\kappa+1} / D_{y(\kappa+1)}) (\hat{c}_{sy(\kappa+1)} - \hat{c}_{se(\kappa+1)}), \quad (9)$$

$$1/D_{\kappa+1} = 1/(D_{e(\kappa+1)} + D_{\mu(\kappa+1)}) + 1/D_{y(\kappa+1)}, \quad (10)$$

де $\hat{c}_{s(\kappa+1)}$ – результуюча оцінка швидкості звуку; $\hat{c}_{se(\kappa+1)}$ – прогнозована швидкість звуку; $\hat{c}_{sy(\kappa+1)}$ – швидкість звуку на поточному кроці вимірювання; $D_{\kappa+1}$, $D_{e(\kappa+1)}$, $D_{y(\kappa+1)}$, $D_{\mu(\kappa+1)}$ – відповідно дисперсії результуючої оцінки швидкості звуку, прогнозованої та поточної оцінки швидкості звуку і маневру μ_{κ} .

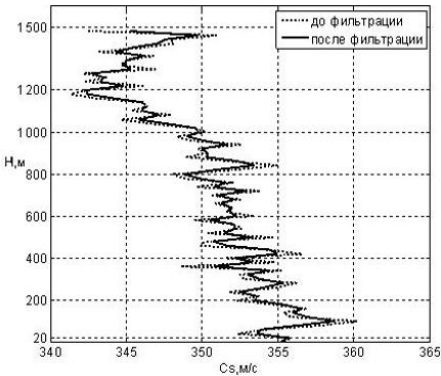


Рисунок 7 – Профілі швидкості звуку до і після фільтрації

На рис.7 показано порівняння вихідного профілю оцінок швидкості звуку з профілем, отриманим після фільтрації, в припущенні, що дисперсія маневру швидкості звуку складає $D_{\mu} = 1,5 \text{ м/с}^2$.

Як бачимо, профілі, отримані після фільтрації, характеризуються меншою дисперсією, що свідчить про згладжування флуктуацій швидкості звуку, які викликані турбулентними процесами в атмосфері. Це дозволить зменшити загальний час вимірювань, що витрачається на отримання функцій і профілів метеопараметрів та зменшити помилки, які викликані нестационарністю процесів в атмосфері.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача вдосконалення моделей і методів радіоакустичного зондування атмосфери, які дозволяють розширити перелік вимірюваних характеристик атмосфери, підвищити точність їх вимірювання, визначати якісні показники вимірювання, що дозволить більш обґрунтовано використовувати системи РАЗ на практиці.

1. Розроблено підходи до проведення метрологічної атестації засобів дистанційного зондування атмосфери, які використовують електромагнітні та акустичні хвилі. Показано, що метрологічну атестацію дистанційних засобів зондування атмосфери можна проводити декількома шляхами: розрахунковим шляхом, шляхом екстраполяції структурної функції за даними практичних вимірювань і шляхом порівняння (звірення) з еталоном. На даний час відсутні технічні засоби вимірювань, які могли б бути використаними в якості еталонів.

Тому метрологічну атестацію дистанційних засобів доцільно проводити шляхом метрологічної атестації основних пристроїв системи, що визначають похибку вимірювання інформаційного параметра відбитого сигналу системи, з урахуванням того, що сумарна похибка вимірювань метеорологічної величини, яка визначається похибками окремих пристроїв, в цілому не повинна перевищувати заданої для даного засобу.

2. Розроблено новий метод вимірювання вертикальної швидкості вітру і проведена оцінка його методичної похибки. Показано, що застосування комбінованої обробки сигналів систем РАЗ – доплерівської та кореляційної, забезпечує можливість дистанційної реєстрації висотних профілів вертикальної складової швидкості вітру. Введення в антенний пристрій системи РАЗ розподіленого акустичного випромінювача розширює можливості даного методу і дозволяє одночасно вимірювати і горизонтальну складову швидкості вітру.

Отримані результати показують, що при кореляційній обробці вплив турбулентності атмосфери на похибку вимірювань температури і вологості менше, ніж при доплерівській обробці. У двочастотних системах РАЗ, призначених для вимірювання вологості повітря, необхідно так вибирати звукові частоти зондувальних коливань, щоб вони розташовувались на верхній та нижній межах дисперсійного виступу.

4. Запропоновано новий метод прийому і обробки сигналів в системах радіоакустичного зондування атмосфери, що заснований на пасивній радіолокації плями розсіяних електромагнітних коливань, сфокусованих сферичними хвильовими фронтами акустичного пакету. На основі запропонованого методу прийому сигналів розроблений метод вимірювання швидкості горизонтального вітру і його напрямку.

Метод вимірювання горизонтальної швидкості вітру системою РАЗ з пасивною радіолокацією плями розсіяних сигналів перспективний при організації та проведенні екологічного моніторингу прикордонного шару атмосфери. Застосування подібних систем в практиці метеоспостережень забезпечує отримання вхідних даних – вертикальних градієнтів температури і швидкості вітру – для моделей турбулентної дифузії викидів природного та антропогенного характеру, що забруднюють атмосферу, а також прогнозування дальності їх перенесення.

5. Виконано аналіз впливу видів зондуючих електромагнітного і акустичного сигналів на потенційну точність оцінки параметрів атмосфери. Показано, що дисперсія оцінки значень параметрів атмосфери залежить від значення параметра розстроювання умови Брегга, при якому формується приймальний радіосигнал. Зі збільшенням значень параметра розстроювання умови Брегга в атмосфері

спостерігається ускладнення структури відбитого сигналу та має місце кутова модуляція сигналу. Параметр розстроювання умови Брегга є енергетичним параметром, і коли енергія опорного і відбитого сигналів стають досить малими, флюктуаційна помилка при використанні кореляційних інтегралів відбитого сигналу і опорних сигналів стає значною.

Зі зменшенням тривалості акустичного сигналу при інших рівних умовах значення D_E зростає, що означає погіршення потенційної точності. Така поведінка пояснюється впливом двох факторів: по-перше, енергія відбитого сигналу зі зменшенням тривалості акустичного сигналу зменшується повільніше при великих значеннях параметра розстроювання умови Брегга q_0 ; по-друге, зі зменшенням тривалості акустичного зондуючого сигналу має місце тенденція спрощення структури відбитих від нього радіосигналів.

6. Розроблено метод фільтрації миттєвих профілів температури, одержуваних системою РАЗ, що дозволяє зменшити час, який витрачається на отримання температурних профілів атмосфери з необхідною достовірністю, і дозволить виключити з результатів вимірювань похибки, які обумовлені нестационарним характером протікання атмосферних процесів. Застосування в системах РАЗ фільтрації миттєвих профілів, дозволить згладжувати миттєві значення температури і отримувати оцінки вертикального профілю температури при меншій кількості вертикальних зондувань.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Карташов В.М., Бабкин С.И., Толстых Е.Г. Проблемы метрологической аттестации средств дистанционного зондирования атмосферы // Системы обработки информации: сб. науч. трудов. Х.: Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, 2015. вып. 6(131). С.88-91.

2. Карташов В.М., Бабкин С.И., Толстых Е.Г. Расширение возможностей систем радиоакустического зондирования атмосферы // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч. техн. сб. Х.: ХНУРЭ, 2014. №179. С. 5–9.

3. Карташов В.М. Бабкин С.И., Толстых Е.Г. Методические погрешности измерения метеовеличин при корреляционной обработке сигналов систем радиоакустического зондирования. Сообщение 2 // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч. техн. сб. Харьков, 2017. №189. С. 136-140.

4. Kartashov V.M., Babkin S.I., Tolstykh Y.G., Lepeha N.G. Systematic errors in measurement of meteorological variables in correlation processing of signal of radio acoustic sounding systems // Telecommunications and Radio Engineering New York, 2016. Vol. 75(9). P. 835-843.

5. Карташов В.М. Бабкин С.И., Толстых Е.Г. Пассивная локация пятна рассеянных сигналов при радиоакустическом зондировании атмосферы // Прикладная радиоэлектроника. Науч. техн. журнал. Х.: ХНУРЭ, 2015. Том 14, №1. С. 59-63.

6. Kartashov V.M., Kulia D.M., Kushnir M.V., Tolstykh E.G. Selection of the Model for Varying Speed of Sound for the Optimal Linear Filter of Atmosphere Radio

Acoustic Sounding Systems // Telecommunications and Radio Engineering. New York, 2014. Vol. 73(9). P. 803-812.

7. Карташов В.М., Куля Д.Н., Толстых Е.Г. Потенциальная точность оценки информационного энергетического параметра сигнала в системах радиоакустического зондирования атмосферы // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч. техн. сб. Харьков, 2015. №182. С. 13-18.

8. Патент на винахід № 110446 «Спосіб дистанційного вимірювання вертикальної швидкості вітру радіоакустичним зондуванням атмосфери» Зареєстровано 25.12.2015. МПК G01S 13/95 (2006.1). Винахідники: Бабкін С.І., Карташов В.М., Толстих Є.Г.

9. Патент на винахід № 110858 «Пристрій для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури атмосферного повітря». Зареєстровано 25.02.2016. МПК G01S 13/95 (2006.1). Винахідники: Бабкін С.І., Карташов В.М., Кушнір М.В., Толстих Є.Г.

10. Патент на винахід № 115725 «Спосіб визначення вологості повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери» Зареєстровано 11.12.2017. МПК G01S 13/95 (2006.1). Винахідники: Бабкін С.І., Карташов В.М., Толстих Є.Г.

11. Толстых Е.Г. Обоснование выбора модели полезного сигнала при использовании алгоритмов оптимальной линейной фильтрации // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2014): материалы 10-й междунар. молодёжной науч.-техн. конф., 12-17 мая 2014 г. Севастополь: СевНТУ, 2014. С. 51.

12. Tolstykh Y. G. Babkin S. I. Antenna device for radio acoustic sensing with passive radiolocation // Proceedings of 2015 X Anniversary International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT), April 21 – 24, 2015 Kharkiv, Ukraine. P. 249-250.

13. Карташов В.М., Бабкин С.И., Толстых Е.Г. Измерение метеопараметров с использованием пассивной радиолокации пятна в системах РАЗ // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Матеріали 16 міжнар. наук.-техн. конференції (10-15 червня 2016 р.). Одес. нац. акад. зв'язку ім. О.С. Попова. Одеса, Хмельницький : ХНУ, 2016. С. 57-58.

14. Толстых Е.Г., Карташов В.М., Исследование качественных характеристик измерения параметров сигнала в системах РАЗ // 6-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», МРФ-2017. Конференция «Радиолокация. Спутниковая навигация. Радиомониторинг». Сборник научных трудов. Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, Издательство «Точка», 2017. С. 174-177.

АНОТАЦІЯ

Толстих Є.Г. Удосконалення моделей та методів 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, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі вдосконалення моделей і методів радіоакустичного зондування атмосфери (РАЗ), які дозволять підвищити точність вимірювання характеристик атмосфери та визначити якісні показники їх вимірювання, а також обґрунтовано використовувати системи РАЗ на практиці.

Застосування комбінованої обробки сигналів систем РАЗ – доплерівської та кореляційної, забезпечує можливість дистанційної реєстрації висотних профілів вертикальної складової швидкості вітру. Введення в антенний пристрій системи РАЗ розподіленого акустичного випромінювача дозволяє одночасно вимірювати і горизонтальну складову швидкості вітру. Нова методика метрологічної атестації систем РАЗ, ґрунтується на метрологічній атестації основних пристроїв системи, що визначають похибку вимірювання інформаційного параметра відбитого сигналу системи. Запропоновано метод прийому, який заснований на пасивній радіолокації плями розсіяних електромагнітних коливань, сфокусованих сферичними хвильовими фронтами акустичного пакету. Проведена оцінка впливу видів зондуючих електромагнітного і акустичного сигналів на потенційну точність оцінки параметрів атмосфери. Розроблено метод фільтрації миттєвих профілів температури, одержуваних системою РАЗ, що дозволяє зменшити час, який витрачається на отримання температурних профілів атмосфери з необхідною достовірністю, і дозволить виключити з результатів вимірювань похибки, які обумовлені нестационарним характером протікання атмосферних процесів.

Отримані в роботі моделі і методи можуть бути використані для вдосконалення існуючих і створення нових систем радіоакустичного зондування.

Ключові слова: радіоакустичне зондування, атмосфера, кореляційна обробка, пасивна радіолокація.

АННОТАЦИЯ

Толстых Е.Г. Совершенствование моделей и методов 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, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи совершенствования моделей и методов радиоакустического зондирования атмосферы (РАЗ), которые позволят повысить точность измерения характеристик атмосферы и определить качественные показатели их измерения, а также обоснованно использовать системы РАЗ на практике.

Применение комбинированной обработки сигналов систем РАЗ – доплеровской и корреляционной, обеспечивает возможность дистанционной регистрации высотных профилей вертикальной составляющей скорости ветра. Введение в антенное устройство системы РАЗ распределенного акустического излучателя позволяет одновременно измерять и горизонтальную составляющую скорости ветра. Новая методика метрологической атестации систем РАЗ,

основывается на метрологической аттестации основных устройств системы, определяющей погрешность измерения информационного параметра отраженного сигнала системы. Предложен метод приема, который основан на пассивной радиолокации пятна рассеянных электромагнитных колебаний, сфокусированных сферическими волновыми фронтами акустического пакета. На основе этого метода приема сигналов разработан метод измерения скорости горизонтального ветра и его направления.

Проведена оценка влияния вида зондирующих электромагнитного и акустического сигналов на потенциальную точность оценки параметров атмосферы. С увеличением значений параметра расстройки условия Брэгга в атмосфере наблюдается усложнение структуры отраженного сигнала и имеет место угловая модуляция сигнала. Такое поведение объясняется влиянием двух факторов: во-первых, энергия отраженного сигнала с уменьшением продолжительности акустического сигнала уменьшается медленнее при больших значениях параметра расстройки условия Брэгга; во-вторых, с уменьшением продолжительности акустического зондирующего сигнала имеет место тенденция упрощения структуры отраженных от него радиосигналов.

Разработан метод фильтрации мгновенных профилей температуры, получаемых системой РАЗ, что позволяет уменьшить время, затрачиваемое на получение температурных профилей атмосферы с необходимой достоверностью, и позволит исключить из результатов измерений погрешности, обусловленные нестационарным характером протекания атмосферных процессов.

Полученные в работе модели и методы могут быть использованы для совершенствования существующих и создания новых систем радиоакустического зондирования.

Ключевые слова: радиоакустического зондирования, атмосфера, корреляционная обработка, пассивная радиолокация.

ABSTRACT

Tolstykh Yelyzaveta. Improvement of models and methods of radio acoustic sensing of the atmosphere. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical science by specialty 05.12.17 – Radio Engineering and Television Systems. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2018.

Dissertation is devoted to solving a relevant scientific problem related to the improvement of models and methods of radio-acoustic sounding (RAS) the atmosphere, which will increase the accuracy of atmospheric characteristics measurement and determine the qualitative factors of their measurement, as well as substantiate the use of the RAS systems in practice.

The application of the combined Doppler and correlation signal processing in RAS systems provides the possibility of remote registration of wind velocity's vertical component high-altitude profiles. Usage in the RAS system's antenna of the distributed acoustic emitter also allows measuring simultaneously the horizontal component of the

wind velocity. The new method of system RAS metrological certification is based on the metrological certification of the system's main devices which determine the measurement error in the information parameter of the system reflected signal. The method of reception based on passive radar location of scattered electromagnetic oscillations spots and focused by spherical wave fronts of the acoustic package is proposed. The estimation of probing electromagnetic and acoustic signals waveforms influence on the potential accuracy of atmospheric parameters is carried out. The method of filtering the instantaneous temperature profiles obtained by the RAS system is developed. It allows reduce the time spent on obtaining the atmosphere temperature profiles with the required reliability, and allow exclude errors from the measurement results

The obtained models and caused by the unsteady nature of atmospheric processes methods can be used to improve the existing and to create new radio acoustic sounding system.

Keywords: radio acoustic sounding, atmosphere, correlation processing, passive radar location.