

Прим. № \_\_\_\_\_

Заст. голови спеціалізованої  
вченої ради Д 64.052.03 при  
Харківському національному  
університеті радіоелектроніки  
Гордієнку Ю. Є.  
61166, м. Харків, пр. Науки, 14

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Кулі Дмитра Миколайовича** на тему:

«Удосконалення слідкувальних методів обробки сигналів систем  
радіоакустичного зондування атмосфери», подану на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

### Актуальність теми досліджень

Приземні шари атмосфери чинять вирішальний вплив майже на усі сфери життєдіяльності людини. Велика кількість наукових, екологічних, технічних та господарських проблем вирішується за допомогою приладів безперервного моніторингу стану природних середовищ. Такий моніторинг природних та антропогенних явищ в атмосфері дозволяє попереджати населення про надзвичайні події та катастрофи, здійснювати безпечне керування польотами літаків тощо. Серед значної кількості різноманітних методів та технічних систем для визначення основних параметрів і характеристик атмосфери окремим напрямком є системи радіоакустичного зондування. Слід зазначити, що впродовж останніх років число публікацій у науковій періодиці та кількість міжнародних симпозіумів за цією тематикою зростає в геометричній прогресії. Вочевидь, це обумовлено тим, що чутливість акустичної хвилі до змін стану повітряної маси та порівняно низькі втрати енергії електромагнітної хвилі при розповсюдженні в



атмосфері роблять метод радіоакустичного зондування найбільш перспективним серед інших.

Методи й алгоритми оброблення сигналів радіоакустичних систем зондування атмосфери – це науковий напрямок, який останнім часом визнано найбільш перспективним стосовно отримання інформації про стан, параметри та динаміку повітряних мас у приземному шарі. Так, наприклад, у зонах злітно-посадкових смуг аеропортів дані про поведінку турбулентних потоків повітря можна отримувати завдяки слідкувальним системам спостереження. Сучасна тенденція побудови таких систем полягає в тому, що спотворені під час розповсюдження в локаційному радіоакустичному каналі інформаційні сигнали з зони спостереження підлягають адаптивній обробці. Тому пошук закономірностей, що можуть бути використані для визначення параметрів, які викривлюють сигнали, та врахування їх у алгоритмах обробки є актуальною задачею. Саме цій проблематиці присвячені дисертаційні дослідження здобувача.

### **Стислий зміст дисертаційного дослідження**

Робота містить вступ, п'ять розділів, висновки, додатки та список джерел.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, показано її актуальність. Наведено інформацію про участь автора в науковій роботі кафедри радіоелектронних систем Харківського національного університету радіоелектроніки. Сформульовано цілі дисертаційних досліджень, наукову новизну та практичну значущість, розкрито особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячено аналізу методів та моделей інформаційних сигналів. Здійснено огляд існуючих радіоакустичних систем дистанційного зондування, викладено історію розвитку, розглянуто їх основні характеристики та сфери використання. Радіоакустичне зондування атмосфери засноване на радіолокації звукової хвилі, що розповсюджується в атмосфері. Отримання відбитого сигналу можливо в силу неповного відбиття радіохвилі від

неоднорідностей діелектричної проникності, які виникають у результаті модуляції акустичними коливаннями густини повітря в атмосфері.

Результатом першого розділу є постановка задач дослідження в рамках теми дисертаційних досліджень, які є актуальними та невирішеними.

У другому розділі синтезовано та проаналізовано оптимальний алгоритм обробки сигналів систем зондування атмосфери, що оцінює енергетичний параметр розстроювання за Брегом та використовує функцію розсіяння в якості моделі радіоакустичного локаційного каналу. Проведено дослідження властивостей зондувальних сигналів таких систем і показано вплив виду сигналів на якість оцінок параметрів атмосфери, одержуваних системами радіоакустичного зондування.

Третій розділ містить опис синтезованого в роботі слідкувального методу обробки сигналів систем радіоакустичного зондування атмосфери. Проведено аналіз роботи дискримінатора при використанні різних видів зондувальних сигналів. Надано структуру та описано принципи функціонування слідкувального алгоритму обробки сигналів систем радіоакустичного зондування. Розраховано характеристики дискримінатора при використанні сигналів з прямокутною обвідною.

Четвертий розділ містить опис результатів імітаційного моделювання. Автором роботи проведено аналіз і вибір моделей мінливого інформаційного параметра для використання в алгоритмах оптимальної лінійної фільтрації стосовно до розглянутих систем. Досліджено параметричну і структурну чутливість оптимального лінійного фільтра системи радіоакустичного зондування атмосфери. Показано, що оптимальна лінійна фільтрація інформаційного процесу системи зондування полягає в послідовному згладжуванні оцінок вектора стану на поточному кроці вимірювання з використанням прогнозованої на поточний крок оцінки, де правило прогнозування визначається обраною моделлю зміни оцінюваного параметра.

У п'ятому розділі запропоновано методику оцінки потенційної якості результатів вимірювання параметрів сигналів та атмосфери слідкувальним

методом. Розроблено рекомендації щодо обчислення похибок за умов, коли параметр розстроювання за Брегом відрізняється від нуля. Показано, що в цьому випадку дисперсія оцінки температури повітря при використанні відомих методів стає більшою, виникає систематична похибка в оцінці температури повітря.

Додатки підтверджують практичну значущість розроблених методів.

### **Наукова новизна дисертації**

Зміст дисертації та автореферату дає можливість зробити висновок, що Куля Д. М. виконав поставлену в роботі мету розв'язання задачі вдосконалення слідкувальних методів обробки сигналів систем радіоакустичного зондування атмосфери, що враховують перетворення, яким піддається радіосигнал при поширенні в локаційному радіоакустичному каналі, і забезпечують підвищення точності та оперативності вимірювання параметрів атмосфери.

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень автором особисто отримано такі нові наукові результати:

— Вперше запропоновано адаптивний метод обробки радіосигналів радіоакустичних систем, який дозволяє усунути систематичні похибки вимірювань метеопараметрів, що обумовлені перетворенням радіосигналу при його поширенні в локаційному радіоакустичному каналі. Метод базується на кореляційній обробці прийнятих сигналів, де в якості опорних сигналів виступає пара коливань, сформованих з використанням функції розсіяння.

— Вперше показано, що в якості моделі мінливого параметра оптимального лінійного фільтра системи радіоакустичного зондування атмосфери доцільно використовувати стохастичну модель з незалежними першими приростами, що дозволило підвищити якість та оперативність отримання оцінок інформаційних параметрів.

— Набув подальшого розвитку метод оцінювання потенційної точності результатів вимірювань метеопараметрів нижніх шарів атмосфери при використанні різних класів зондувальних сигналів. Новизна запропонованого

підходу полягає у формуванні та аналізі тіла сигнальної функції радіоакустичних сигналів. Розроблено рекомендації щодо використання зондувальних сигналів з прямокутними та гауссівськими обвідними.

### **Практична значущість результатів дисертації**

У результаті дисертаційних досліджень розроблено математичну модель інформаційного процесу та слідкувальний алгоритм на її основі, який дозволяє обчислювати кореляційні інтеграли вхідного сигналу системи радіоакустичного зондування атмосфери лише з двома опорними сигналами, що значно знижує обчислювальну потужність у порівнянні з існуючими багатокореляційними методами.

Результати досліджень впроваджено в системі спостереження за метеопараметрами атмосфери в рамках науково-дослідної роботи «Дослідження потенційних можливостей ефективного функціонування мережевих реконфігурованих інформаційно-вимірювальних систем екологічного моніторингу» (державна реєстрація № 0111U002903, 2011–2013 рр.).

### **Достовірність і обґрунтованість результатів, отриманих в дисертації**

Отримані в дисертації нові положення і рекомендації обґрунтовані математично і підтверджені комп'ютерним моделюванням.

Основні методи досліджень – теоретичні методи статистичної радіофізики, елементи теорії оптимізації, обчислювальні методи та імітаційне моделювання. Комплексне використання цих методів є обґрунтованим. Теоретичні результати достатньою мірою підтверджено в ході практичних досліджень.

### **Відповідність дисертації та автореферату вимогам ВАК**

Зміст дисертації та автореферату відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Мова дисертації ясна, термінологія загальноприйнята для обраної галузі знань.

Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертації і не містить даних, яких немає в дисертації.

Куля Д.М. опублікував 27 наукових праць, у тому числі 7 статей, які входять до переліку фахових видань, що затверджені ВАК України; 4 статті опубліковані у закордонних наукових періодичних виданнях. Дисертація пройшла апробацію на 12 міжнародних наукових конференціях. Серед публікацій є 1 монографія, 3 патенти на винаходи та 5 статей, що знаходяться у науковій базі Scopus.

Таким чином, структура та обсяг публікацій відповідають вимогам ВАК.

Дослідження виконувались у відповідності з науковими роботами, планами та темами, зокрема держбюджетною темою № 0111U002903 «Дослідження потенційних можливостей ефективного функціонування мережевих реконфігурованих інформаційно-вимірювальних систем екологічного моніторингу». Результати роботи використані для побудови навчального процесу на кафедрі радіоелектронних систем при підготовці кваліфікаційних магістерських робіт.

Дисертаційна робота має завершений характер; в ній вирішено наукову задачу створення адаптивних алгоритмів і систем дистанційного зондування приземних шарів атмосфери радіоакустичними методами.

Дисертація Кулі Д. М. «Удосконалення слідкувальних методів обробки сигналів систем радіоакустичного зондування атмосфери» повністю відповідає вимогам ВАК України.

### **Недоліки дисертації**

1. Стор. 41, розділ 2. Автор декларує, що буде виконувати синтез «оптимального» алгоритму. При цьому ніде не вказано критерій оптимальності. Можна лише здогадуватися, виходячи з формули (2.2), що критерій є макси-

мум апостеріорної густини ймовірності, але надалі обговорення ведеться фактично щодо критерію максимуму правдоподібності.

2. Стор. 42, формула (2.2). У показнику експоненти записано різницю між спостережуваною реалізацією і квадратом сигналу, що є помилкою, адже не можна алгебраїчно додавати амплітуду і потужність. До того ж формула (2.3) не може бути отримана з формули (2.2).

3. Автор не додержується єдиної системи позначень. Так, у другому розділі  $x$  – це параметр,  $y$  – реалізація, а у третьому розділі (стор. 65)  $x$  у функції правдоподібності – реалізація, а  $y$  – різниця параметрів  $q_m - q_0$ . Також густина ймовірності у другому розділі є  $P$ , а у четвертому розділі –  $\omega$ .

4. Зовсім незрозуміло, як схема слідкувального пристрою (рис. 3.6) могла бути побудована з формул (3.6) і (3.7) (стор. 69-70), адже у цих формулах немає ні температури, ні алгоритму корекції. Яким чином формуються сигнали корекції і що вони корегують?

5. У роботі не вказані технічні характеристики пристрою, який формує опорні сигнали з використанням функції розсіювання, та характеристики чутливості дискримінаційного пристрою.

6. У розділі 5 використовується термін «точність» вимірювання параметрів, але доцільно було б говорити про похибку вимірювання, адже саме похибки характеризуються дисперсією.


7. Якщо результати досліджень впроваджені в діючу систему зондування, то чому в роботі немає експериментального підтвердження теоретичних результатів?

Наявність зазначених недоліків обумовлена складним характером задачі, яку розв'язував здобувач, деякими труднощами аналітичного опису моделей та бажанням охопити якнайширше коло цікавих з наукової точки зору питань, тому вважаю, що ці недоліки не зменшують наукової та практичної цінності роботи.

### Висновок

Таким чином, дисертаційна робота здобувача Кулі Дмитра Миколайовича «Удосконалення слідкувальних методів обробки сигналів систем радіоакустичного зондування атмосфери» відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» ВАК України, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент,  
 провідний науковий співробітник  
 відділу радіофізичної інтроскопії Інституту радіофізики  
 та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України,  
 доктор фізико-математичних наук,  
 професор

 /О.В. Ситнік/  
 16.11.2016

Підпис доктора фізико-математичних наук,  
 провідного наукового співробітника О.В. Ситніка засвідчую.  
 Вчений секретар Інституту радіофізики  
 та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України,  
 кандидат фізико-математичних наук

