

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Колеснікова Дениса Вікторовича

на тему «Метод статичного синтезу апертури в задачах дистанційного

зондування та неруйнівного контролю»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»,

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Актуальність теми дисертації.

Більшість сучасних супутників мають на борту одну або декілька систем, що використовуються у задачах дистанційного зондування Землі. Такі системи оперують у одному з діапазонів – оптичному, інфрачервоному або радіодіапазоні. До переваг систем, що працюють у радіодіапазоні належать можливість проведення спостережень у різний час доби, а також низька залежність від метеорологічних умов та пори року. Окрім цього, розсіяні поверхнею радіохвилі є інформаційно багатими та можуть містити додаткову інформацію, наприклад про вологість чи діелектричну проникність поверхні, підповерхневі структури, стан зрілості агрокультур тощо. Особливого поширення системи радіобачення набули з середини минулого століття, коли було розроблено метод синтезування розкриву антени. Цей метод дав змогу отримувати радіозображення з просторовою роздільною здатністю, співставною з якісними показниками оптичних систем, що вивело радіосистеми на принципово новий рівень. Сьогодні радіолокатори з синтезованою апертурою використовуються на носіях авіаційного та космічного базування й ефективно вирішують завдання глобального радіобачення. Тим не менш, до сьогодні зберігається гостра нестача тестових радіолокаційних зображень, а також методів і підходів для формування радіозображень у дослідженнях локального типу – у лабораторіях та безмісячних камерах, на спеціально обладнаних полігонах та тестових майданчиках формування радіозображень поверхонь, споруд, повітряних суден та різноманітної техніки або ж для проведення неруйнівного контролю об'єктів. Отже, дисертаційне дослідження Колеснікова Д. В., присвячене розробленню методу формування радіозображень статичних сцен з високою роздільною здатністю, а також розгляданню принципів їх практичної реалізації у системах дистанційного зондування та неруйнівного контролю є дуже актуальним та необхідним.

У роботі Колеснікова Д. В. підвищення роздільної здатності радіолокаційних зображень тестових поверхонь та об'єктів досягається за рахунок статистичної оптимізації методу радіобачення в системах з синтезуванням апертури, що рухаються над статичною сценою за

непрямолінійною траєкторією. Отримані результати дозволяють підвищити роздільну здатність радіозображень та відкривають перспективний напрямок створення нових методів високоточного радіобачення з БПЛА, вертольотів чи сканерів з сенсорами, що визначаються програмно.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Розрахунки оптимального методу відновлення питомої ефективної площі розсіювання в радіотехнічних системах, що рухаються за непрямолінійними траєкторіями є обґрунтованими, адже базуються на статистичній теорії синтезу методів оптимального оброблення сигналів у радіолокаційних системах. Отримані математичні результати розробленого оптимального методу формування радіозображень пройшли перевірку шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання та можуть вважатися достовірними.

Частково наукові результати здобувача були перевірені в рамках НДР «Основи теорії проектування аерокосмічних когнітивних радарів з оптимальною просторово-часовою обробкою сигналів, розширеною зоною огляду і високою просторовою роздільною здатністю» (№ДР 0120U102082, 2020-2022 рр.) та «Малогабаритний бортовий радар з синтезуванням апертури антени для БПЛА та вертольотів» (№ДР 0224U002816, 2023-2024 рр.), що виконувалися на кафедрі аерокосмічних радіоелектронних систем Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Наукова новизна результатів, отриманих у роботі, полягає у наступному:

1) отримали подальшого розвитку математичні моделі опису когерентних та некогерентних радіолокаційних зображень, що формуються в радіолокаційних системах з синтезуванням апертури при довільній траєкторії руху носія. На відміну від існуючих моделей, представлені нові аналітичні вирази з одного боку ґрунтуються на точній теорії дифракції, теоремах Кірхгофа і Релея-Зоммерфельда, а з іншого – враховують особливості побудови радіозображень в зонах Френеля і Фраунгофера, що дозволяє визначати фізичну сутність формування радіолокаційних зображень при довільній траєкторії руху, змінних кутах візування, заданих розмірах несинтезованих бортових антен та параметрах електродинамічних моделей підстильної поверхні;

2) вперше отримано метод оптимального формування когерентних радіолокаційних зображень поверхонь з технологією статичного синтезу апертури, який, на відміну від існуючих, дозволяє формувати зображення фіксованої ділянки місцевості з високою роздільною здатністю за дальністю та азимутом за рахунок когерентної просторово-часової обробки безперервних

сигналів без модуляції при складних непрямолінійних траєкторіях руху радіолокаційного сенсору;

3) удосконалено принципи побудови радіолокаційних систем формування когерентних зображень поверхонь з рухомих носіїв, запропоновано структурну схему радіотехнічної вимірювальної системи з технологією статичного синтезування апертури, яка відповідає новому синтезованому оптимальному методу високоточного радіобачення фіксованої сцени огляду;

4) отримав подальшого розвитку метод імітаційного моделювання радіолокаційних зображень поверхонь, який враховує умови огляду сцени, траєкторію руху носія радіовимірювача та її випадкову варіацію, алгоритми когерентного оброблення прийнятих траєкторних сигналів та внутрішні шуми системи. Новизною вирізняються методи врахування складних траєкторій руху носія та оброблення безперервних траєкторних сигналів при побудові когерентних радіолокаційних зображень.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання статистичного синтезу методу та алгоритму формування радіозображень статичних сцен з високою роздільною здатністю та розробки принципів їх практичної реалізації у системах дистанційного зондування та неруйнівного контролю виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Колеснікова Д. В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Телекомунікації та радіотехніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям 17 «Електроніка та телекомунікації».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Колеснікова Дениса Вікторовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак порушення принципів академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертацію викладено українською мовою, розділи та підрозділи мають логічну структуру. Матеріал подано послідовно, із дотриманням наукового стилю та прийнятої спеціальної та загальнонаукової термінології. У роботі

досягнуто тематичної повноти та повного розкриття основних наукових ідей здобувача.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатку. Загальний обсяг дисертації 166 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність вибраної теми дослідження, визначено основну мету та завдання, виконання яких сприятиме її досягненню. Крім того, наведено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу сучасних радіолокаційних станцій, що використовують технології синтезування апертури та апертурного синтезу. Проведено детальний аналіз розділових здатностей цих систем, який відображає поточний стан розвитку та потенційну якість отримуваних радіозображень. Визначено основні задачі наукового дослідження та викладено теоретичні основи, що слугують фундаментом подальшого розроблення оптимального алгоритму синтезування апертури.

У **другому** розділі розглянуто та визначено структуру когерентного зображення в бортових радарх. Описані можливості синтезування штучного розкриття антени та отримання радіозображень з високою просторовою розділовою здатністю для деяких видів огляду поверхні, за умови фіксування прийнятих коливань у ближній та дальній зонах. Показано принцип отримання некогерентних зображень з високою розділовою здатністю при деяких нелінійних траєкторіях носія.

У **третьому** розділі синтезовано оптимальний та квазі-оптимальний методи формування радіозображень статичних сцен у радарх з синтезуванням апертури, за умови непрямолінійного руху носія. Наведено геометрію задачі, моделі сигналів і шумів, рівняння спостереження, їх кореляційні властивості. Проведено постановку та вирішення задачі синтезу оптимального алгоритму формування радіозображень, проведено аналіз цих методів і запропоновано структурну схему системи радіобачення.

Четвертий розділ описує процес виконання та результати імітаційного моделювання отриманого у попередньому розділі оптимального алгоритму. Змодельовано отримання радіозображень за різних траєкторій руху антени та проаналізовано результати за числовими метриками якості. Оцінено якість відновлення тестового зображення при русі за ідеалізованими та неідеалізованими траєкторіями руху.

У **висновках** узагальнено матеріали, отримані автором згідно проведеним дисертаційним дослідженням. Стислі висновки також наведено після кожного розділу.

Дисертаційну роботу оформлено відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати, отримані здобувачем під час роботи над дисертацією, висвітлено у 4 наукових працях, серед яких: 1 стаття у науковому періодичному виданні України, що індексується н.м.б.д Web of Science Core Collection; 1 стаття у науковому фаховому виданні України категорії «Б»; 1 стаття у науковому періодичному виданні України, що індексується н.м.б.д Scopus та яке віднесено до третього (Q3) квартилю; 1 стаття у науковому закордонному виданні, що індексується н.м.б.д Scopus та яке віднесено до третього (Q3) квартилю.

Водночас результати дисертації були апробовані на 3 міжнародних наукових фахових конференціях, а саме:

- 2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) (Київ, Україна);

- 2023 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) (Київ, Україна)

- Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023 (Харків, Україна).

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі розроблено алгоритм статичного синтезування апертури, проте не досліджено, у якому частотному діапазоні доцільно реалізовувати радіотехнічну систему на його основі для виконання умов проведення вимірювань в зоні Френеля з малих висот та незначних за площиною статичних сцен.

2. У таблиці 4.1 наводяться результати обчислень точності відновлення зображень при різних траєкторіях руху носія із залученням різних метрик. Крім того не вказано одиниці вимірювання величин, отриманих за цими показниками, що значно впливає на фізичну інтерпретацію отриманих результатів.

3. У роботі виконано імітаційне моделювання процесу формування радіозображень в системі з технологією статичного синтезу апертури, проте отримані результати не порівнюються з класичними методами синтезування апертури.

4. У виконаному імітаційному моделюванні залучено не вичерпний перелік траєкторій руху приймача, що, у свою чергу, не дозволяє визначити найкращу траєкторію для формування радіозображень статичної сцени. Також не представлено методику вибору таких траєкторій.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційну роботу здобувача ступеня доктора філософії Колеснікова Дениса Вікторовича на тему «Метод статичного синтезу апертури в задачах дистанційного зондування та неруйнівного контролю» виконано на високому науковому рівні, вона не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Колеснікова Денис Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Рецензент:

Доцент кафедри інформаційно-комунікаційних технологій
ім. О. О. Зеленського Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,

кандидат технічних наук



Вікторія АБРАМОВА

Підпис доцента Абрамової Вікторії Валеріївни засвідчую

Проректор з НІР Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»



Андрій ГУМЕННИЙ