

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Інкарбаєвої Ольги Сергіївни

на тему «Оптимізація методу оброблення сигналів у радіотехнічних системах картографування місцевості з борта вертольоту»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації, спеціальність  
за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

### **Актуальність теми дисертації.**

За прогнозами консалтингової компанії Markets and Markets щорічне зростання світового ринку вертольотів у період з 2022 по 2027 роки становитиме понад 6%. Причинами такого зростання є підвищений попит на військові, санітарні вертольоти та вертольоти для правоохоронних органів, а також зростаючі транспортні потреби для нафтогазових операцій. При цьому вимоги щодо безпеки польотів є навіть жорсткішими, ніж вимоги щодо ефективності використання вертольотів або ж готовності їх до застосування. Забезпечення безпеки польотів є актуальним та складним завданням, від успішного вирішення якого залежить життя екіпажу та ефективність виконання польотного завдання. Сучасність цієї проблеми обумовлюється збільшенням швидкостей, значним ускладненням конструкції, зростанням вимог до використання парку вертольотів. Найскладнішим етапом польоту є посадка, особливо – посадка на непідготовлений майданчик, саме вона пов'язана з підвищеним ризиком аварії та людських жертв. Необхідність у посадці на непідготовлені майданчики виникає насамперед при пошуково-рятувальних роботах, а також в умовах воєнних дій. При такій посадці окрім подолання умов недостатньої видимості безпосередньо під час приземлення, вже на етапі підльоту до зони посадки виникає необхідність точного визначення типу рельєфу та характеристик підстильної поверхні. Наприклад, нерівності висотою 0,5 м і більше і ухили поверхні більше 15° вже становлять небезпеку для посадки вертольоту, особливо при сильному вітрі. Тому велика роль у забезпеченні регулярності та безпеки польотів відводиться радіотехнічним системам посадки, призначеним для забезпечення заходу на посадку та посадки вертольоту. При проектуванні таких систем необхідно враховувати, що використання інтерферометричних систем картографування місцевості на борту вертольоту не є доцільним внаслідок ускладненого оброблення сигналів при нелінійній траєкторії руху носія. Геометричні розміри вертольоту також

накладають обмеження на параметри антенної системи, що суттєво зменшує точність вимірювань. Таким чином, синтезування методу та алгоритму некогерентного оброблення сигналів у бортових двоантенних радіолокаційних систем задля підвищення точності вимірювань висоти поверхні та визначення безпечних ділянок для приземлення навіть в умовах обмеженої видимості є важливим науково-практичним завданням. Саме на вирішення цього завдання і спрямовано дисертаційну роботу Інкарбаєвої О. С.

Таким чином, тематика дисертаційної роботи є *актуальною*.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Розроблені автором і викладені у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації мають достатній рівень обґрунтованості. Дисертантом опрацьовано і проаналізовано значну кількість літературних джерел як вітчизняних, так і зарубіжних вчених, фахівців у галузях статистичної теорії радіотехнічних систем дистанційного зондування та радіолокації, оптимального оброблення сигналів та синтетичного зору. При дослідженні застосовано загальнонаукові та спеціальні прийоми і методи пізнання; їх використання дозволило дисертанту науково обґрунтувати теоретичні та практичні аспекти формування та застосування запропонованого методу оброблення сигналів у радіотехнічних системах картографування місцевості з борта вертольоту.

Достовірність висунутих припущень та отриманих математичних моделей підтверджується коректною постановкою мети та часткових наукових завдань дослідження, застосуванням відповідного математичного апарату, порівняльним аналізом результатів імітаційного моделювання системи вимірювання висот рельєфу за допомогою запропонованого методу та за існуючим однопроменевим методом.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження, наукових положень та рекомендацій дисертанта підтверджено їх апробацією на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях. Окрім цього, деякі наукові результати здобувача було перевірено в рамках НДР «Вітчизняний радіолокаційний комплекс малих висот і швидкостей польоту для вертольотів АТ "Мотор Січ"» (№ ДР 0122U200469, 2022-2023pp.) та «Розроблення поляризаційно-двоканального радара для безпеки польотів вертольотів на малих висотах» (№ ДР 0123U104309, 2023-2024 pp.), 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:

- отримала подальший розвиток теорія статистичної оптимізації радіотехнічних систем дистанційного зондування та радіолокації за рахунок вирішення варіаційної задачі оптимізації в рамках критерію максимуму функції правдоподібності методу оцінювання висоти рельєфу поверхні, як функції просторових координат;

- вперше синтезовано та досліджено метод оптимального оброблення сигналів у двоантенній сумарно-різницевій радіотехнічній системі оцінювання висоти рельєфу поверхні, який за рахунок використання двох каналів дозволяє підвищити показники точності вимірювань;

- удосконалено принципи побудови радіотехнічних вимірювальних систем, запропоновано нову структуру бортового вертольотного радару, яка відповідає новому синтезованому оптимальному методу оцінювання рельєфу місцевості дозволяє вимірювати рельєф з більш високими показниками точності;

- отримали подальшого розвитку імітаційні моделі апробації алгоритмів оцінювання параметрів поверхні за результатами прийому та оброблення розсіяних поверхнею сигналів, що на відміну від існуючих враховують наявність двох каналів прийому, форми діаграм спрямованості антен у кожному каналі, електрофізичні властивості та геометричні характеристики поверхні, статистичні характеристики шумів приймачів, форми зондуючих сигналів та частоту дискретизації прийнятих сигналів.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання з синтезування методу високоточного та всепогодного вимірювання висоти рельєфу ділянки місцевості, що обрана для посадки вертольоту, за допомогою бортової двоантенної радіолокаційної системи 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 Інкарбаєвої О. С. 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 Інкарбаєвої Ольги Сергіївни 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.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Розділи та підрозділи мають продуману та логічну структуру, а матеріал викладено послідовно з дотриманням наукового стилю та загальноприйнятої фахової та загальнонаукової термінології. У роботі досягнуті тематична повнота та повне розкриття головних наукових ідей здобувача

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертації 190 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, зазначено, в чому полягають наукова новизна та практична значимість отриманих результатів. Наведено дані про апробацію матеріалів дисертації, особистий внесок здобувача, структуру та обсяг дисертаційної роботи.

**Перший** розділ роботи присвячений огляду існуючих технологічних рішень безпечної посадки вертольоту, зазначені їх переваги та недоліки. Проаналізовано особливості приземлення вертольотів та причини їх аварій, вимоги до вертольотних систем картографування місцевості. Розглянуто амплітудні та фазові радіолокаційні системи та принципи їх роботи. Сформульовано перелік завдань, які необхідно вирішити у дослідженні.

У **другому** розділі розглянуто математичний апарат статистичного синтезу оптимальних методів оброблення сигналів у моноімпульсних радіолокаційних системах. Наведено математичні моделі зондувальних і прийнятих сигналів, рівняння спостереження в двох каналах, основні теоретичні положення щодо

вирішення задачі оптимального синтезу радіолокаційних систем в рамках методу максимальної правдоподібності.

У третьому розділі представлено результати статистичного синтезу системи вимірювання висот рельєфу. Наведено геометрію зондування Земної поверхні з борта вертольоту. Методом максимуму функціоналу правдоподібності вирішено оптимізаційна задача оцінювання розташування центру лінійної ділянки різницевої діаграми спрямованості двох антен, що відповідає часу затримки сигналу, дальності до кожної точки поверхні та відхилення від рівносигнального напрямку, які перераховуються в кути візування. У результаті вирішення задачі синтезовано математичні моделі алгоритму вимірювання висоти поверхні у бортовій двоантенній радіолокаційній системі. На основі розробленого алгоритму запропоновано загальну структуру системи та описано принципи її роботи.

Четвертий розділ присвячено імітаційному моделюванню запропонованого оптимального алгоритму, яке виконано у двох варіантах. Перше моделювання демонструє роботу алгоритму в ідеальних умовах вимірювання, тобто з ідеальними діаграмами спрямованості, постійними значеннями коефіцієнту віддзеркалення і ефективної площі розсіювання (ЕПР). Друге моделювання враховує розсіювання сигналів шорсткою поверхнею з неоднорідною ЕПР. Наведено результати порівняння оцінок висоти поверхні, одержаних за допомогою двох підходів: розробленого оптимального алгоритму та існуючого однопроменевого методу. Показано, що двоантена вертолїтна радіолокаційна система порівняно з однопроменевою має більшу точність вимірювання висоти рельєфу підстильної поверхні.

У висновках узагальнено основні наукові результати дисертаційного дослідження та надано пропозиції стосовно їх практичного застосування із метою вирішення поставленої задачі.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

#### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлено у 3-х наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у науковому фаховому виданні України категорії «Б»; 2 статі у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus, що віднесені до третього квартиля (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank. Також здобувач має 1 патент

України на винахід, що пройшов кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосується наукових результатів дисертації.

Результати дисертації також було апробовано на 3-х міжнародних наукових фахових конференціях, а саме:

– «IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering» (2022 рік, Львів-Славське, Україна);

– «IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics» (2023 рік, Київ, Україна);

– «Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering» (2023 рік, Харків, Україна).

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

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У роботі не досліджено залежності ефективної площі розсіювання від характеру нерівностей для різних типів підстильної поверхні та вплив просторового розподілу ЕПР на точність вимірювання висоти рельєфу.

2. У дослідженні не показано як впливають складні метеоумови (дощ, туман, хуртовина тощо) на показники точності вимірювання висоти рельєфу запропонованою бортовою двоантенною системою.

3. Імітаційне моделювання у роботі виконувалось за припущення, що діаграми спрямованості антен є гаусівськими, тобто без врахування бокових пелюсток, що не відображає повною мірою процесів оброблення сигналів у запропонованій системі.

4. У роботі зазначено, що алгоритм вимірювання висоти поверхні за рахунок некогерентної обробки дозволяє зменшити обчислювальну складність системи, проте не наводяться кількісні показники цього зменшення.

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 дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Інкарбаєвої Ольги Сергіївни на тему «Оптимізація методу оброблення сигналів у радіотехнічних системах картографування місцевості з борта вертольоту» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної

добročесності 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 Інкарбаєва Ольга Сергіївна 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, доцент

 Ірина ВАСИЛЬЄВА

Підпис доцента Васильєвої Ірини Карлівни засвідчую

Вчений секретар  
Національного аерокосмічного  
університету ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»,  
кандидат технічних наук, доцент



Тетяна БОНДАРЄВА