

## **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.**

Посадка на непідготовлений майданчик - один із найскладніших елементів пілотування вертольота, вона пов'язана з підвищеним ризиком аварії та людських жертв. Необхідність у посадці на непідготовлені майданчики виникає насамперед у військовій авіації: висадка, евакуація, доставка боєприпасів і вантажів у бойових умовах - у цих польотних завданнях часто доводиться садити вертоліт у непідготовленій або нерозвіданій зоні посадки.

Головною проблемою під час посадки на непідготовлені майданчики є умови недостатньої видимості - слабка освітленість, несприятливі метеорологічні умови (туман, хуртовина тощо), вихор твердих частинок, який здіймає гвинт вертольота. Останній фактор становить особливу небезпеку.

Під час посадки на сухий або засніжений ґрунт повітряний струмінь від несучого гвинта вертольота піднімає тверду суспензію (пиловий або сніговий вихор), що критично знижує видимість і може призвести до неправильної оцінки пілотом положення вертольота відносно землі, крім того, можуть залишитися непоміченими перешкоди в зоні посадки (велике каміння, вибоїни, нерухомі та рухомі об'єкти). При цьому нерівності висотою 0,5 м і більше і ухили поверхні понад 15° вже становлять небезпеку для посадки вертольота.

Зважаючи на відсутність візуального контакту із закабінною обстановкою і ненадійність власних вестибулярних відчуттів, для безпечного маневрування (посадки, зльоту, висіння) в умовах недостатньої видимості пілот змушений покладатися переважно на показання навігаційних систем. Тому вирішанню актуальної проблеми безпечної посадки вертольоту на необладнаний майданчик може допомогти інструментальна візуалізація зони посадки з використанням радіолокаційної системи яка забезпечує визначення висоти рельєфу підстильної поверхні в зоні посадки. На жаль, наявні на сьогоднішній день радіолокаційні системи не вирішують це завдання з необхідною точністю.

У дисертаційному дослідженні Інкарбаєвої О.С. запропоновано вирішити проблему високоточного визначення висоти рельєфу підстильної поверхні в зоні посадки шляхом використання двоантенної радіолокаційної системи з сумарно-різницевою обробкою сигналів. Задля підвищення точності вимірювань у дисертаційній роботі синтезовано оптимальний метод та алгоритми оброблення сигналів у бортових двоантенних радіолокаційних системах, що є актуальним та має наукову новизну.

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

Підхід до проведення дослідження, використаний здобувачем, заснований на статистичній теорії синтезу оптимальних методів обробки оброблення стохастичних просторово-часових сигналів у радіолокаційних системах. Коректність обраних підходів до вирішення задачі та достовірність отриманих результатів підтвердженні шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання. Таким чином, отримані у роботі наукові результати є обґрунтованими та достовірними.

Наукові дослідження виконувалися здобувачем на кафедрі аерокосмічних радіоелектронних систем Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» в рамках НДР «Вітчизняний радіолокаційний комплекс малих висот і швидкостей польоту для вертольотів АТ "Мотор Січ"» (№ДР 0122U200469, 2022-2023рр.) та «Розроблення поляризаційно-двоканального радара для безпеки польотів вертольотів на малих висотах» (№ДР 0123U104309, 2023-2024 рр.), під час яких було перевірено достовірність низки отриманих результатів.

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;

- вперше синтезовано та досліджено метод оптимального оброблення сигналів у двоантенній сумарно-різницевій радіолокаційній 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 радара, яка

відповідає новому синтезованому оптимальному методу оцінювання рельєфу місцевості, що 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 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 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 співпадіння, 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 з дотриманням наукового стилю викладу матеріалу. Розділи, підрозділи та інформація в них

логічно структуровані, а використана термінологія та математичні позначення є загальноприйнятими для наукових робіт в області радіолокації. Дослідження є цілісною роботою, в якій досягнуті тематична повнота та розкриття головної наукової ідеї автора.

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

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформована його мета та окремі завдання, які необхідно вирішити для її досягнення. Водночас наведено наукову новизну отриманих результатів, їх практичне значення та особистий внесок здобувача.

**Перший** розділ роботи показує проблеми при здійсненні посадки вертольоту та особливості її виконання в умовах низької видимості. Розглянуто статистику авіаційних пригод та основні причини аварій вертольотів. Наведено принцип побудови амплітудних та фазових радіолокаційних систем, їх переваги та недоліки. Проаналізовані існуючі сучасні вертольотні системи картографування місцевості задля безпечного приземлення вертольоту на необладнаний майданчик. У кінці розділу визначено перелік завдань, які необхідно вирішити у дослідженні.

У **другому** розділі розглянуто математичний апарат статистичного синтезу оптимальних методів оброблення сигналів у амплітудних моноімпульсних системах. Зокрема розглянуті моделі зондуючих та прийнятих сигналів, рівняння спостереження з урахуванням шумів приймача, операції оброблення в сумарному та різницевому каналах. Розглянуті положення оптимального статистичного синтезу алгоритмів, зокрема метод максимальної правдоподібності.

У **третьому** розділі методом максимуму функціоналу правдоподібності синтезовано математичні моделі алгоритму оцінювання положення стробуючого імпульсу у часі, дальності до кожної точки поверхні та кутового відхилення від рівносигнального напрямку. За оціненими параметрами можна визначити висоту поверхні та відновити рельєф вздовж напрямку польоту у межах перекриття діаграм спрямованості. На основі розробленого алгоритму запропонована загальна структурна схема радару та виконано її опис.

**Четвертий** розділ присвячений імітаційному моделюванню оптимального алгоритму вимірювання висоти поверхні бортовим радіолокаційним радаром при ідеальних умовах вимірювання та з урахуванням електрофізичних властивостей і геометричних характеристик поверхні. Наведено результати порівняння оптимального та існуючого однопроменевого методів. Досліджено



та проаналізовано залежність середньоквадратичної похибки оцінювання висоти рельєфу від значення цієї висоти та співвідношення сигнал-завада у приймачі. Водночас показано, що запропонована система має більшу точність вимірювання висоти.

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

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, отримані здобувачем під час роботи над дисертацією, висвітлені у 6 наукових працях, серед яких:

- 1 стаття у науковому фаховому виданні України категорії «Б»;
- 2 статі у науковому періодичному виданні України, що індексується у Scopus та віднесено до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, а також включеного на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, що рекомендовані до друку Вченою радою Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»;
- 2 публікації у матеріалах міжнародних англомовних конференцій, що включені до міжнародної наукометричної бази Scopus;
- 1 публікація у матеріалах міжнародних англомовних конференцій, що включені до міжнародної наукометричної бази Web of Science.

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних конференціях:

- «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).

Водночас здобувач отримав 1 патент України на винахід, що пройшов кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосується наукових результатів дисертації.

Наукові праці здобувача містять аналіз сутності проблеми дослідження, опис його виконання, застосованих методів та обґрунтовані висновки за отриманими результатами. У публікаціях порушення принципів академічної доброчесності не виявлено – роботи є оригінальними.

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

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

1. У роботі розв'язано задачу вимірювання висоти рельєфу підстильної поверхні, як одновимірної функції, тоді як насправді поверхня, освітлювана ДН радара, є функцією двох координат. Відповіді на те, як це вплине на результат вимірювання і на його точність, у дисертаційній роботі, на жаль, немає.

2. У роботі наведено результати моделювання роботи двоантенної радіолокаційної системи, що вимірює висоту рельєфу підстильної поверхні за постійної висоти польоту гелікоптера та за фіксованого кута спостереження. Насправді, очевидно, що результат вимірювання та його точність залежать від цих параметрів. На жаль, у роботі не досліджено чи існують оптимальні кути спостереження підстильної поверхні і як точність оцінювання висоти рельєфу поверхні залежить від кута спостереження.

3. У тексті дисертаційної роботи для позначення різних змінних використовуються одні й ті самі символи, наприклад, символом  $P$  позначається умовна густина ймовірності (вираз 2.17) та функція часового вікна (вираз 3.17). Для позначення сигналів, які приймають дві антени радіолокатора, у різних місцях тексту роботи використовується різна індексація -  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_+$ ,  $i_-$ ,  $\Sigma i_{\Delta}$ .

Проте вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість і завершеність результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи, і можуть бути предметом для подальшої наукової роботи дисертанта.

### **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 доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних

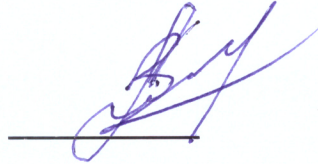


та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «Порядку 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 Інкарбаєва Ольга Сергіївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

**Рецензент:**

Професор кафедри аерокосмічних  
радіоелектронних систем  
Національного аерокосмічного  
університету ім. М. Є. Жуковського  
"Харківський авіаційний інститут",  
кандидат технічних наук, доцент



Вячеслав ШУЛЬГІН

Підпис доцента Шульгіна Вячеслава Івановича підтверджую

**Вчений секретар**

Національного аерокосмічного  
університету ім. М. Є. Жуковського  
"Харківський авіаційний інститут",  
кандидат технічних наук, доцент



Тетяна БОНДАРЄВА