

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Черепніна Гліба Сергійовича
на тему «Виявлення безпілотних літальних апаратів на тлі неба за їх
радіотепловим випромінюванням»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації, спеціальність
за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації.

На теперішній час розробники БПЛА приділяють увагу вдосконаленню технологій виготовлення та експериментують з матеріалами з яких будуть виготовлятися перспективні малопомітні безпілотники. Одним з основних напрямків таких досліджень є, з одного боку, зменшення ефективної площі розсіювання (ЕПР) повітряних та надводних цілей, а з іншого – підвищення можливостей із виявлення таких об'єктів. Такі задачі вирішуються наступними шляхами:

- застосуванням особливої геометричної форми під час проектування та виготовлення зразків БПЛА;
- застосуванням спеціальних матеріалів для виготовлення корпусу та обшивки таких об'єктів;
- вдосконаленням систем виявлення повітряних та надводних цілей за рахунок новітніх технологічних рішень;
- розширенням номенклатури систем, що залучаються до виявлення цілей, в тому числі за рахунок створення систем виявлення різних діапазонів.

На даний час найбільш поширеними системами виявлення літальних апаратів (ЛА) є активні моноімпульсні радіолокаційні станції (РЛС). У результаті застосування поглинаючих матеріалів, створених у рамках програми “стелс”, які відбивають від 0,1% до 10% енергії електромагнітних хвиль, а також надання ЛА спеціальних мало-відбивних форм загальна ЕПР ЛА знижується з одиниць і десятків до сотих часток квадратних метрів.

Зменшення ЕПР ЛА за рахунок застосування технології “стелс” призводить до зниження дальності виявлення таких ЛА активними РЛС. В міру вдосконалення технології “стелс” та подальшого зменшення значень ЕПР ефективність виявлення ЛА активними РЛС буде знижуватися. Повністю компенсувати зменшення ЕПР збільшенням розмірів антенних пристроїв і нарощуванням потужності передавача РЛС неможливо. Крім вказаних систем

виявлення ЛА, існують пасивні системи інфрачервоного (ІЧ) діапазону, що дозволяють виявити ЛА за його тепловим випромінюванням. Однак цим системам притаманні такі недоліки:

- обмежена дальність виявлення внаслідок великого ослаблення хвиль ІЧ діапазону при поширенні в атмосфері;

- створювані в рамках програми “стелс” ЛА оснащуються спеціальними засобами, що зменшують теплове випромінювання настільки, що ефективність застосування інфрачервоних приймачів для виявлення ЛА стає надзвичайно низькою.

Одним із шляхів підвищення ефективності виявлення ЛА є використання пасивних радіометричних систем міліметрового діапазону хвиль.

Порівняно з ІЧ та оптичними засобами виявлення РМС ММД хвиль мають значну перевагу за дальністю дії, до того ж вони є всепогодними та їх працездатність не залежить від умов освітленості та часу доби.

Внаслідок того, що пасивні системи не мають у своєму складі радіопередавачів (за винятком систем із активною шумовою підсвіткою), вони відрізняються високою скритністю роботи, є порівняно малогабаритними та дешевими.

Недоліком всіх пасивних радіометричних систем є великий час інтегрування електромагнітного випромінювання, що приймається, необхідний для надійного виявлення контрасту радіояскравісних температур цілі та фону. Технічно можливо значно знизити час інтегрування шляхом застосування вузько направлених антенних пристроїв, що дозволяють значно збільшити відношення тілесних кутів цілі й головної пелюстки ДСА, а отже – збільшити і контрастні антенні температури цілі та неба.

У дисертаційному дослідженні Черепніна Г.С. з метою підвищення ймовірності виявлення БПЛА в будь-яких погодних та тактичних умовах проведення вимірювань було проведено експериментальне дослідження макету радіометричного комплексу Х, Ка та W діапазонів хвиль.

Задача виявлення БПЛА пасивною системою, яка вирішується у дисертаційній роботі, є актуальною та має наукову новизну.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Висновки та рекомендації здобувача є логічними і витікають із результатів об’єктивного аналізу результатів, отриманих експериментально – а саме на основі ряду проведених вимірювань різних типів БПЛА, що побудовані

за різними геометриями та мають різну фізичну природу матеріалів корпусів, а також підтверджено імітаційним моделюванням виявлення БПЛА. Доцільність використання декількох типів БПЛА підтверджується різноманіттям форм та матеріалів, які на сьогодні використовують конструктори для виготовлення БПЛА. Отримання контрастів таких ЛА є важливим для подальших досліджень в цій сфері.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів дисертації підтверджено їх апробацією на міжнародних науково-практичних конференціях, праці яких індексуються у н.м.б.д. Scopus. Також деякі наукові результати здобувача були перевірені в рамках виконання НДР «Проектування та експериментальне дослідження радіометричного комплексу X, Ka та W діапазонів для всепогодного та високоточного виявлення БПЛА» (№ДР 0121U109600, 2021-2022 рр), що виконувалася на кафедрі аерокосмічних радіоелектронних систем Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

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

- **Вперше** синтезовано та досліджено метод оптимальної обробки сигналів в багаточастотних радіометричних комплексах виявлення БПЛА на тлі випромінювання атмосфери, що на відміну від існуючих методів відповідає основним вимогам до радіотехнічних вимірювань – високій просторовій роздільній здатності та високій флуктуаційній чутливості (яка визначає дальність роботи радару) за умов всепогодності.

- **Вперше** у вигляді табличних даних узагальнено результати аналітичних розрахунків та імітаційного моделювання дальностей виявлення БПЛА в багатоканальних радіометричних комплексах, що на відміну від існуючих охоплюють широке коло можливих погодних та тактичних умов проведення вимірювання, а також враховують багаторічні результати вимірювань параметрів приймачів та атмосфери у діапазонах частот 10-12 ГГц, 20-22 ГГц, 35-36 ГГц, 94-96 ГГц.

- **Вперше** в результаті експериментальних вимірювань у широкому діапазоні хвиль отримана база радіометричних зображень і контрастів різних типів та класів БПЛА, які спостерігаються при різних тактичних та погодних умовах. До цього більшість вимірювань проводились на тестових об'єктах простої форми, на кшталт куля, кутиковий відбивач, прямокутна пластинка.

- **Отримали подальшого розвитку** структури радіометричних комплексів формування радіометричних зображень, що на відміну від існуючих одразу у чотирьох діапазонах частот враховують в основних етапах обробки

операції модуляції корисних сигналів, періодичне калібрування приймачів та термостабілізацію вхідних трактів.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання з підвищення ймовірності виявлення БПЛА в будь-яких погодних та тактичних умовах проведення вимірювань за рахунок експериментального дослідження макету радіометричного комплексу X, Ka та W діапазонів хвиль виконано повністю, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Черепніна Г.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 Черепніна Гліба Сергійовича 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 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 зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації 200 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано її зв'язок з науковими програмами, 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 сучасних методів та систем виявлення та протидії БПЛА, наведено їх основні недоліки та переваги. Розглянуто різноманітні схеми побудови радіометричних систем. У кінці розділу сформовано перелік завдань, які необхідно вирішити у дослідженні, щоб досягнути мети всієї роботи.

У **другому** розділі виконано розробку теоретичних основ побудови багаточастотних радіометричних систем виявлення БПЛА. Використання декількох частотних діапазонів обґрунтовано тим, що сучасні матеріали розробляються спеціально для підвищення скритності від опромінення поширеним набором довжин хвиль. А використання пасивного методу, в якому застосовано декілька діапазонів дозволить виявляти БПЛА навіть з таких специфічних матеріалів. Також в цьому розділі описано оптимальний алгоритм виявлення, що дозволяє поєднувати результати оцінок яскравісної температури БПЛА з різних приймачів. Показані ймовірнісні характеристики, що були отримані на основі статистичної теорії оптимізації радіосистем для роботи радіометричного комплексу.

У **третьому** розділі описано експерименти з отримання радіометричних контрастів різних типів БПЛА, методологію їх проведення. Наведено зовнішній вигляд радіометричних систем, за допомогою яких виконувався експеримент, подано технічні характеристики та чутливості радіометрів. Описаний майданчик для вимірювань, який дозволяє спостерігати макети БПЛА на фоні неба, з зменшеним впливом навколишнього середовища і який відповідає реальним умовам розміщення такого типу систем.

У **четвертому** розділі на основі розробленого алгоритму запропоновано загальну перспективну структурну схему радару та виконано її опис. А також розраховано потенційно можливі дальності виявлення БПЛА такою системою.

У **висновках** стисло сформульовано основні результати дисертаційного дослідження та надано пропозиції стосовно їх практичного застосування із метою вирішення поставлених задач.

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.

Основні результати дослідження опубліковані у статтях (3 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті входять до м.н.б.д. Scopus, квартиль Q3, одна стаття до м.н.б.д. Scopus, квартиль Q2). Також здобувач має 1 патент України на винахід, що пройшов кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосується наукових результатів дисертації.

Також результати дисертації були апробовані на 2 міжнародних наукових фахових конференціях, а саме:

- 6th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2022.

- 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, UkrMW 2022.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Кількість виміряних положень БПЛА та кутів спостереження доцільно було зробити більшими, або зробити моделювання з меншими кроком зміни кутів для спостережень більш точної залежності.

2. Доцільно провести експерименти з виявлення в реальному часі БПЛА на більшій дальності польоту.

3. Доцільно збільшити кількість досліджуваних моделей БПЛА та розширити кількість досліджуваних матеріалів, оскільки це представляє собою практичний інтерес.

4. При встановленні системи на криші будівлі доцільно було дослідити контрастоутворення БПЛА на фоні земної поверхні також, адже БПЛА здатні літати на надмалих висотах.

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 Черепніна Гліба Сергійовича на тему «Виявлення безпілотних літальних апаратів на тлі неба за їх радіотепловим випромінюванням» 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.

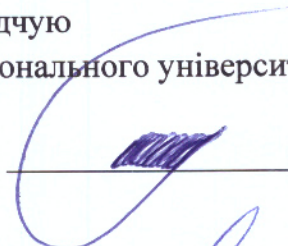
Здобувач Черепнін Гліб Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний опонент:

провідний науковий співробітник
кафедри теоретичної радіофізики
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна
доктор технічних наук

 Віктор БИКОВ

Підпис Бикова Віктора Миколайовича засвідчую
Начальник відділу кадрів Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

 Олена ГРОМИКО

Вчений секретар
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

 Олена ПРИДМАН

