

РЕЦЕНЗІЯ

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

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації.

Останнім часом серйозно загострилася проблема контролю повітряного простору для дистанційно керованих (безпілотних) літальних апаратів (БПЛА) малого розміру. Цінова доступність, відносна простота управління такими апаратами, а також відсутність у більшості країн необхідності отримання ліцензії на їхнє використання зробили їх досить поширеними.

У той же час безконтрольне використання таких апаратів часто призводить до вельми негативних наслідків. Незважаючи на малий розмір, дрони при зіткненні з іншими, навіть більшими, літальними апаратами (у тому числі пілотованими) можуть завдавати їм істотних ушкоджень. При цьому наслідки можуть бути дуже серйозними, аж до аварій із людськими жертвами. Існує також чимало інших об'єктів техногенного характеру, безконтрольний доступ до яких БПЛА небажаний або навіть небезпечний. Наприклад, ядерних електростанцій, паливних та інших складів із вибухонебезпечними речовинами, об'єктів транспортної інфраструктури тощо. Важливою проблемою є також інформаційна безпека об'єктів, доступ до яких з тих чи інших причин обмежений (наприклад, виправних, військових, стратегічних об'єктів тощо). Першочерговим завданням здійснення контролю за БПЛА є їх надійне виявлення. Однак через малий розмір таких апаратів вирішення цього завдання виявляється дуже непростим. Ключовим чинником тут виявляється їхня помітність, тобто. властивість об'єкта виділятися на навколишньому фоні. Залежно від засобів спостереження розрізняють кілька видів помітності: радіолокаційну, інфрачервону, акустичну і візуальну.

Дисертаційне дослідження Черепніна Г.С. присвячено підвищенню ймовірності виявлення БПЛА в будь-яких погодних та тактичних умовах за рахунок аналізу одного з демаскуючих показників БПЛА, а саме його радіоконтрастності на тлі атмосфери, одночасно у різних X , Ka та W частотних

діапазонах хвиль. Тож, тема дисертаційної роботи Черепніна Г.С. є, безумовно, актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Висновки та рекомендації здобувача, наведені у дисертації, є логічними і витікають із об'єктивного аналізу результатів, отриманих за допомогою імітаційного моделювання, а також результатів експериментальних досліджень з використанням спеціального радіометричного комплексу X, Ka та W діапазонів хвиль – а саме на основі проведених вимірювань радіолокаційної помітності різних типів БПЛА, що відрізнялися геометрією корпусу, використаними при їх побудові матеріалами та іншими параметрами.

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 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 радіометру) за умов всепогодності.
- **Вперше** у вигляді табличних даних узагальнено результати аналітичних розрахунків та імітаційного моделювання дальності 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, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання з підвищення ймовірності виявлення БПЛА в будь-яких погодних та тактичних умовах проведення вимірювань за рахунок експериментального дослідження з використанням макету радіометричного комплексу X, Ka та W діапазонів хвиль можна вважати виконаним.

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 містить особистий внесок 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 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 переваги і недоліки. Розглянуто різноманітні схеми побудови радіометричних систем та наведено теоретичні основи синтезу оптимальних методів обробки сигналів радіо-теплового випромінювання. У кінці розділу сформовано перелік завдань, які необхідно вирішити у дослідженні для досягнення його мети.

У **другому** розділі виконано розробку теоретичних основ побудови багаточастотних радіометричних систем виявлення БПЛА. Використання декількох частотних діапазонів обґрунтовано тим, що виходячи із сучасних тенденцій до скритності БПЛА необхідно використовувати комплексні рішення, які демаскують БПЛА не за одним фактором, а за декількома, що підвищує ймовірність виявлення. Також в 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 математичні формули за якими розраховувався демаскуючий фактор, а саме контрастність. Представлено тестувальний набір різних типів БПЛА, описано апаратне забезпечення для проведення експериментів та його технічні характеристики.

У **четвертому** розділі на основі розробленого алгоритму запропоновано загальну перспективну структурну схему радіометру та наведено її опис. А також розраховано потенційні можливості 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 опубліковано 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.

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, у необхідному обсязі висвітлено у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В роботі не проведено класифікацію БПЛА за розмірами, матеріалами та типами побудови, що може суттєво впливати на результати виявлення.

2. При розгляді актуальних систем виявлення БПЛА наведено мало прикладів саме пасивних радіолокаційних систем. Доцільно було б приділити їм більшу увагу.

3. Доцільно було б провести дослідження вартості перспективної системи виявлення в залежності від кількості каналів та визначити найбільш збалансований варіант її побудови.

4. Експериментальну частину досліджень було б непогано розширити одночасним спостереженням декількох БПЛА з різними параметрами, зокрема використаними конструкційними матеріалами.

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.

Рецензент:

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

 Сергій АБРАМОВ

Підпис доцента Сергія Клавдійовича Абрамова засвідчую

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



 Тетяна БОНДАРЄВА