

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Малашти Павла Петровича

на тему «Принципи та особливості формування фантомних
радіолокаційних зображень космічних РСА»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації, спеціальність

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації

Сьогодні космічні апарати з радарми із синтезованою апертурою антени (РСА/SAR) є одним із найпотужніших інструментів всепогодного та цілодобового дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Вони здатні отримувати зображення високої роздільної здатності крізь хмари, туман та незалежно від рівня освітленості. Це робить їх критично важливим джерелом розвідувальної інформації військового та подвійного призначення. Це обумовлює потребу в розробленні ефективних засобів протидії космічному радіолокаційному спостереженню. Традиційні методи маскування та протидії космічним радарам є малоефективними в сучасних умовах через низьку стійкість до методів інтелектуального аналізу РСА та відсутність реалістичності маскування (шумові завади, засліплюючи радар, просто створюють «сліпу пляму» на знімку, а використання кутникових відбивачів призводить до занадто яскравих штучних відгуків із статичними характеристиками відбиття). Більш досконалим та інтелектуальним підходом є імітаційне маскування (фантомізація) – створення реалістичних, але неіснуючих об'єктів (фантомів) або зміна геометрії реального рельєфу на радіолокаційних зображеннях РСА. На відміну від традиційних методів, фантомізація дає змогу створювати динамічні, поляризаційно-коректні хибні цілі, які за алгоритмами РСА неможливо відрізнити від реальних об'єктів навіть за допомогою сучасних методів селекції. Це дозволяє дезінформувати системи прийняття рішень супротивника, не виказуючи при цьому роботу засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ).

Дисертаційна робота Малашти П. П. присвячена важливому науково-практичному питанню розроблення теоретичних принципів та технічних рішень для генерації фантомних об'єктів на радіолокаційних зображеннях. Наукове протиріччя між потребою в оперативному формуванні складних фантомних сцен та обмеженнями традиційної хвилеводної техніки зумовлює актуальність

пошуку нових підходів, зокрема використання SIW-технологій на базі сполук $A^{II}B^{VI}$. Оскільки робота лежить на стику РЕБ, космічних технологій та мікрохвильової техніки, її наукова значимість є надзвичайно високою.

Актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена:

- необхідністю захисту стратегічних об'єктів від космічного радіолокаційного спостереження РСА в режимі реального часу;
- потребою у розробленні нових методів формування когерентних імітаційних завад (інжекції помилкових цілей), які мають бути адаптованими до параметрів зондувального сигналу конкретного супутника;
- необхідністю створення швидкодіючої елементної бази (зокрема, фазообертачів) для систем радіоелектронного захисту та імітаційної протидії нового покоління.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукові результати дисертації мають високий рівень обґрунтованості, що базується на застосуванні апарату статистичної теорії радіотехнічних систем, методах системного, спектрального та функціонального аналізу, а також повнохвильовому електродинамічному моделюванні в середовищі Ansys HFSS. Висновки здобувача логічно впливають із результатів аналітичних розрахунків та імітаційних експериментів.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів дисертації підтверджено їх апробацією на міжнародних науково-практичних конференціях, праці яких індексуються у н.м.б.д. Scopus. Окремі наукові результати здобувача було перевірено в рамках виконання НДР «Теорія радіотехнічних систем формування фантомних радіозображень радарам аерокосмічного призначення» (Д501-1/2024-Ф), «Автономний безпілотний літальний апарат з системою високоточного скидання вантажів вагою до 10 кг» (Д103-4/2023-П), «Розроблення робочої документації на модернізовану апаратуру прийому даних авіаційного вибору» (501-14/2023), що виконувалися на кафедрі аерокосмічних радіоелектронних систем Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут».

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

1. Отримали подальший розвиток математичні моделі сигналів космічного РСА та параметри системи «РСА – радар фантомізації», що враховують умови формування сигналу саме для космічних систем, що

дозволило синтезувати детальну структуру прийомного та передавального трактів таких систем.

2. Удосконалено метод визначення граничних середньоквадратичних похибок оцінок параметрів ЛЧМ-сигналу у приймальному каналі радіолокатора фантомізації, який відрізняється застосуванням обґрунтованого функціоналу правдоподібності для системи «радар фантомізації – космічний РСА», що дало змогу оцінити вплив похибок оцінювання параметрів сигналу РСА на роботу радара фантомізації при його технічній реалізації.

3. Вперше обґрунтовано теоретичні основи проектування інтегрованих у підкладку хвилеводів (SIW) на основі напівпровідникових кристалів $A^{II}B^{VI}$ для створення швидкодіючих фазообертачів з фотозбудженням в складі передавача радіотехнічної системи фантомізації космічних РСА.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання з встановлення принципів та особливостей формування фантомних радіолокаційних зображень космічних РСА та обґрунтування застосування інтегрованих у підкладку хвилеводів на кристалах $A^{II}B^{VI}$ в радіотехнічних системах фантомізації для радіолокаційного маскуванню та імітаційної протидії космічним РСА виконано повністю, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація Малашти П. П. є завершеною науковою працею, що відповідає вимогам Стандарту вищої освіти за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Телекомунікації та радіотехніка». Робота містить результати власних досліджень здобувача; використання ідей та текстів інших авторів супроводжується належними посиланнями. Ознак порушення принципів академічної доброчесності не виявлено.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційну роботу написано українською мовою з дотриманням наукового стилю та фахової термінології. Матеріал викладено послідовно, розділи мають логічний зв'язок.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів (до кожного розділу наведено список літератури), висновків та двох додатків.

Загальний обсяг дисертації становить 180 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію матеріалів дисертації, особистий внесок здобувача, структуру та обсяг дисертаційної роботи.

Перший розділ містить аналіз сучасного стану засобів протидії космічним РСА. Розглянуто методи імітаційного, в т.ч., оманливого глушіння, тобто формування хибних (фантомних) елементів на РСА-зображеннях. Показано, що теорія розроблення радіотехнічних систем оманливого глушіння має надавати описи принципів та особливостей формування сигналів в приймальному тракті космічного РСА з урахуванням його взаємодії з радіотехнічною системою глушіння, а також метод визначення області для формування імітацій.

У **другому розділі** запропоновано концепцію радіотехнічної системи фантомізації, розраховано просторово-часові параметри взаємодії такої системи з космічним РСА. Отримано узагальнену математичну модель сигналу, що реєструється приймачем космічного РСА та є базовою для проєктування радіотехнічних систем фантомізації. Синтезовано структурні схеми приймача та передавача радару фантомізації. Обґрунтовано необхідність застосування малогабаритного фазообертача з високою швидкодією та плавним керуванням для практичної реалізації системи фантомізації.

Третій розділ присвячений обґрунтуванню використання кристалів ZnS, ZnSe, CdZnTe для SIW-структур та розрахунку геометричних та електродинамічних параметрів SIW-хвильоводів на їх основі. З допомогою програмного комплексу Ansys HFSS розроблено електродинамічну модель SIW-структури на підкладці із сульфиду цинку (ZnS) та отримано частотні залежності S-параметрів, які засвідчили можливість суттєвої мініатюризації елементної бази радіотехнічних систем при збереженні високих характеристик узгодження та передавання сигналу.

У **четвертому розділі** розроблено метод оброблення радіолокаційних зображень (гауссівська фільтрація, гістограмна корекція динамічного діапазону яскравості) та доведено ефективність застосування оператора Робертса для детектування меж цільових об'єктів.

У **висновках** узагальнено наукові та практичні результати роботи.

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.

Основний зміст роботи висвітлено у дев'яти наукових працях: дві статті у виданнях Scopus (Q3), дві статті у фахових виданнях категорії Б, чотири тези наукових фахових конференцій та один патент на корисну модель.

Результати впроваджено в навчальний процес ХАІ.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі не розглянуто проблему протидії «мультисервісним» супутникам, де невідповідність між фантомним радіозображенням та реальним оптичним знімком може демаскувати імітацію.

2. Відсутні конкретні розрахункові дані, які б кількісно підтверджували заявлене суттєве зниження масогабаритних показників апаратури при використанні запропонованої елементної бази.

3. Для мінімізації спекл-шуму обрано фільтр Гауса, хоча відомо, що саме для такого типу завад він не є ефективним.

4. Одним з етапів запропонованого методу ідентифікації областей фантомізації на зображеннях визначено гістограмну корекцію. Однак в роботі не надано ані обґрунтування вибору методу підвищення контрасту, ані результатів застосування цього методу.

5. Як особливість запропонованого методу ідентифікації областей фантомізації зазначено «адаптивну деноізацію» (стор. 167). Але надано жодних пояснень, у чому полягає ця адаптація.

6. У роботі процедуру детектування меж об'єктів подано доволі схематично, зокрема не наведено опис етапу порогової обробки, а також не обґрунтовано, чому взято саме градієнтні операторі, а не складніші детектори (наприклад, детектор Кенні).

7. Зустрічаються певні технічні огріхи та друкарські помилки в оформленні: поява символів « $\perp$ » та « $\mathbf{r}$ » замість стандартного позначення векторів (стор. 64, 83), символу «&» для комплексних величин у розділі 2, «рисинок» (стор. 34, 40) або «риунок» замість «рисунок» тощо.

8. Порушено послідовність структури роботи: підрозділ 1.5 «Мета та завдання» розміщено після висновків до першого розділу (підрозділ 1.4).

Зазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та її наукову цінність.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Малашти Павла Петровича на тему «Принципи та особливості формування фантомних радіолокаційних зображень космічних РСА» не порушує принципів академічної доброчесності, виконана на високому науковому рівні 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 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 Малашта Павло Петрович заслуговує на присудження наукового 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
«Харківський авіаційний інститут»,
кандидат технічних наук, доцент

_____Ірина ВАСИЛЬЄВА