

Голові разової  
спеціалізованої вченої ради  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна  
професору Сергію БЕРДНИКУ  
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

### **Відгук**

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача лабораторії моніторингу і спектроскопії середовищ Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України на дисертаційну роботу Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

### **Обґрунтування вибору теми дослідження.**

Теоретичні дослідження характеристик розсіяння об'єктів складної форми для задач радіолокації забезпечують можливість оцінки параметрів розсіяння в тих випадках, коли не можливо чи складно провести вимірювання радіолокаційних характеристик. Однією з основних величин, яку вимірюють під час радіолокаційних досліджень є ефективна поверхня розсіяння об'єкта (ЕПР). Актуальною задачею є створення нових ефективних методик для оцінки результатів експериментальних вимірювань, які дозволять, ґрунтуючись на порівняно невеликій кількості експериментальних досліджень, зробити висновок про радіолокаційну

помітність об'єкта та оцінювати ефективність застосування маскувальних засобів.

Прямі вимірювання характеристик розсіювання радіолокаційних цілей в польових умовах або на спеціальних радіолокаційних полігонах вимагають обладнання належним чином полігона вимірювання і мають досить складні методики вимірювання ефективної поверхні розсіяння (ЕПР) і діаграми зворотного розсіяння (ДЗР). Це значно підвищує роль теоретичних досліджень радіолокаційних характеристик об'єктів складної форми.

Такі теоретичні дослідження ґрунтуються на розв'язанні задачі дифракції електромагнітної хвилі на моделі досліджуваного об'єкта. Для розв'язання таких задач існує декілька класів методів: строгі, наближені та числові. Однак отримати точні рішення можливо тільки для тіл простої геометричної форми, таких як сфера, сфероїд, тор, тощо. В той же час числові методи для моделей реальних радіолокаційних цілей часто вимагають залучення великих розрахункових потужностей.

Таким чином, наразі важливою і актуальною є розробка більш швидких та менш розрахунково вимогливих методів оцінки ЕПР складних об'єктів.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота виконана на кафедрі теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та складається з анотацій, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 80 найменувань.

У *вступі* наведено обґрунтування вибору теми дослідження, визначено мету і завдання, об'єкт, предмет, методологію дослідження,

розкрито наукову новизну і практичне значення отриманих результатів дисертації, зазначено особистий внесок здобувача при виконанні дисертаційного дослідження, наведено перелік наукових публікацій здобувача за темою дисертації та дані щодо апробації матеріалів дисертації, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

У *першому розділі* дисертації проведено огляд літератури по основним методам, що використовуються для розрахунку дифракції електромагнітних хвиль на об'єктах складної форми. Розглянуто методики розрахунку ЕПР об'єктів в комерційних програмах (CST Microwave Studio, FEKO, Ansys Savant).

У *другому розділі* розроблено алгоритм створення та обробки моделі великогабаритного об'єкту складної форми для оцінки його радіолокаційної помітності. Такі об'єкти можуть бути розташовані на підстильній поверхні. До об'єкту можна застосовувати різні види покриттів, зокрема килимового типу. Розглянуто можливість повторного використання деяких даних у 4 майбутніх моделюваннях при зміні тих чи інших параметрів моделі або падаючої хвилі.

У *третьому розділі* використано розроблений метод моделювання дифракції електромагнітного поля на складному об'єкті, покритому напівпрозорим наметом, який є моделлю радіопоглинаючого матеріалу. Помічене та пояснене підвищення значень ЕПР об'єкта для деяких напрямків, коли його вкривали маскувальним покриттям.

У *четвертому розділі* для ідентифікації розсіювальних властивостей різних об'єктів використано методи статистичного аналізу. Розсіяне поле від об'єкту розглядається як випадковий сигнал по відношенню до кута спостереження. Порівнюються різні способи апроксимації функції розподілу для гістограм результатів вимірювання ЕПР.

**Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.**

Робота виконувалася на кафедрі теоретичної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна в рамках 6 держбюджетних науково-дослідних тем, а саме:

- «Методи та алгоритми розрахунку широкосмугових характеристик електромагнітного розсіяння на об'єктах складної форми для визначення їх радіолокаційної помітності» (номер держреєстрації 0117U004965);

- «Чисельне моделювання та вимірювання розсіяння електромагнітних хвиль радіолокаційного діапазону на військових та цивільних об'єктах складної форми» (номер держреєстрації 0118U002022);

- «Чисельні алгоритми аналізу, методики та засоби вимірювання електродинамічних характеристик поглинаючих, нелінійних та магнітних метаматеріалів і композитів» (номер держреєстрації 0119U002548);

- «Радіометрична система формування зображень наземних об'єктів в міліметровому діапазоні хвиль» (номер держреєстрації 0120U102311);

- «Побудова моделі радіолокаційного розсіяння на складному об'єкті через вимірювання в ближній зоні задля зниження помітності» (номер держреєстрації 0121U109884);

- «Дослідження закономірностей формування та керування станом електромагнітного поля у кластерних та/або топологічних метаповерхнях» (номер держреєстрації 0122U001656).

**До найвагоміших наукових результатів, що містяться в дисертації, слід віднести наступні:**

- Вперше було розроблено алгоритм створення та обробки моделі великогабаритного об'єкту складної форми для оцінки його радіолокаційної помітності.

- Вперше створено та оптимізовано алгоритм обробки цієї моделі перед безпосередньо розрахунком повного відбитого поля.

- Описані основні етапи моделювання та розроблено нову методику зберігання інформації щодо геометричних та електродинамічних параметрів об'єкту, що аналізується, *вперше* запропоновано та доведено ефективність збереження певної інформації на різних етапах моделювання для підвищення ефективності перерахунку розсіяного поля об'єктом складної форми.

- Вперше проведено порівняння різних підходів до створення моделей об'єкта, проведена оцінка їх ефективності.

- Вперше показано, що використання КД-дерев із поділом за медіанним фацетом значно пришвидшує алгоритм пошуку видимих фацетів як для первинного випромінювання, так і для вторинного (перевідбиття).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, одержаних Хричовим В. С., при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, забезпечується використанням фундаментальних підходів і методів обчислювальної і математичної фізики. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в індексованих наукових журналах та доповідалися на міжнародних наукових конференціях. Висновки дисертаційної роботи є обґрунтованими.

### **Апробація дисертації та публікації.**

Основні наукові та практичні результати роботи оприлюднені та обговорені на таких міжнародних конференціях: 17th IEEE International

Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, MMET, 2018, Kyiv, Ukraine; 9th IEEE international Conference on Ultrawideband and Ultrashort Smpulse Signals (uwbusis - 2018), 2019 Odessa, Ukraine; 2nd IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2019, Lviv, Ukraine; 6th IEEE Microwaves, radar and remote sensing symposium (MRRS-2020), 2020, Kharkiv, Ukraine; 3rd IEEE Ukrainian Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021, Lviv, Ukraine; 2nd IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), 2022, Kharkiv, Ukraine;

Результати дисертаційної роботи відображені в **13** наукових працях: **5** статей в наукових фахових виданнях України, **2** наукові праці в періодичних наукових виданнях держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку, проіндексованих в міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, **6** наукових праць у матеріалах Міжнародних конференцій

### **Оформлення дисертації.**

Оформлення дисертації повністю відповідає вимогам, що висуваються до такого виду робіт і наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Текст дисертації написаний українською мовою в науковому стилі.

### **Практичне значення результатів дисертації.**

В дисертаційній роботі запропоновано методику, яка дозволяє ефективно оцінювати радіолокаційну помітність об'єктів складної форми, враховувати поле, що розсіюється гладкою частиною об'єкта, поле, що розсіюється на ребрах об'єкта, перевідбите поле між різними частинами об'єкта, а також між об'єктом та підстильною поверхнею та оцінювати

вплив підстильної поверхні та вплив покриттів різних типів та з різними параметрами. Це дозволило провести моделювання електромагнітного поля на моделях реальних радіолокаційних цілей, наприклад автомобіль UAZ-2206, автомобіль HUMMER-H1, оцінити ефективність багат шарового покриття, покриття килимового типу, покриття у вигляді намету, запропонувати метод геометричної модифікації моделі автомобіля HUMMER-H1 для зменшення його ЕПР. Відмічено, що застосування радіопоглинаючих покриттів на об'єктах складної форми дає не таке суттєве зменшення ЕПР, як зазначено в описі матеріалів. Це пов'язано з тим, що теоретичний рівень поглинання РПМ розраховується для випадку нормального падіння, в той час, як поле від реального об'єкта підсумовується з урахуванням різного набігу фаз від різних ділянок об'єкту. Також було помічено, що застосування наметів з великим коефіцієнтом відбиття ( $R$ ) призводило до збільшення реальної площі розсіювача, а отже і до збільшення ЕПР.

Результати дисертаційної роботи Хричова В.С. використовувались у виконанні госпдоговірних науково-дослідних тем та держбюджетних науково-дослідних тем, що виконувались на кафедрі теоретичної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

### **Можливі шляхи використання результатів досліджень.**

Отримані в дисертаційній роботі В.С. Хричова наукові результати можуть бути використані у вищих навчальних закладах, зокрема, ХНУ імені В. Н. Каразіна, ХНУРЕ, НПУ «ХП», НАКУ ім.М.Є. Жуковського «ХАІ», НПУУ «КП» імені Ігоря Сікорського, КНУ імені Т. Г. Шевченка, ДНУ при підготовці спецкурсів по обчислювальним методам електродинаміки та організаціях, які займаються дослідженнями

в області радіолокації та моніторингу довкілля, зокрема, в ІРЕ НАНУ та РІ НАНУ, ДП НДІ «Квант» і т. і.

Вони мають широку практичну цінність для оцінки ЕПР та ДЗР великих об'єктів, їх маскування РПП і в подальшому можуть стати основою для напису монографії.

### **Дотримання академічної доброчесності.**

При аналізі дисертаційної роботи, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

### **Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.**

1. В дисертації присутні деякі орфографічні помилки описки та русизми, наприклад: стор.4 «використовувати методи статичного аналізу»- потрібно статистичного, аналогічно стор. – 40 «Також в дисертації досліджуються методи статичної обробки даних», стор. 70 «коефіцієнт відображення»- потрібно відбиття; стор. 21 описка «між об'єктом там підстильною поверхнею» - потрібно «та».

2. Присутні елементи недбалості при оформленні, наприклад: стор. 50 - радіус-вектор точки має бути векторною величиною, пропущено позначення вектору над ; стор. 80 рис. 2.25 дублюється двічі; стор.82 рис.2.27., стор.83 рис.2.28 на рисунках відсутні позначення одиниць вимірювання. Крім того наведені в тексті дані про довжину снаряду 4м та його моделлю 40см не співпадають з цифрами, наведеними на рис.2.27; стор. 115, рис.3.14, підпис рисунка мав залишитись на цій сторінці; стор.



71 – у 3 пункті: «Таким чином виходить поле» незакінчена фраза яке поле мабуть відсутня його позначка; стор.75 – «В цьому випадку отримано поглинання на  $\Delta=15,5\text{Дб}$  від  $\text{м}^2$ ». Поглинання РПМ вимірюється в дБ, а не в дБ відносно  $\text{м}^2$ ; стор.108, рис.3.8 -вісь «У» позначена у дБ від  $\text{м}^2$  як показано на рис., а в тексті сказано, що в дБ від  $\text{см}^2$ ; Рис.3.19 стор.120 відсутнє позначення на рис. окремих декларованих частин А, Б, В.

3. У списку посилань різні джерела посилань описані по різному, відсутня ідентичність.

4. Формулювання наукової новизни достатньо розпливчасті стор. 21-24. Інколи наведені результати більш відносяться до практичної значущості, а не до наукової новизни. Наприклад: «Створений алгоритм оцінки радіолокаційної помітності складних великогабаритних об'єктів на відміну від відомих методів розрахунку є менш розрахунково вимогливим»-стор.23. В практичній значущості замість визначення моментів, що мають практичну цінність, наприклад підвищення швидкості обчислення за допомогою запропонованих підходів, покращення точності оцінок тощо перелічені звіти в яких використано доробки автора дисертації – стор. 24-25 Більш конкретне розуміння наукової новизни дисертації наведено в розділі «особистий внесок здобувача» - стор. 25-26.

5. При оцінці ЕПР об'єктів не враховується розсіяння від резонансних елементів, які особливо у міліметровому діапазоні можуть приводити до суттєвого підвищення ЕПР. Так технологічні проточки на тильній стороні снарядів великого калібру приводять до суттєвого підвищення їх ЕПР. Не розглядаються поляризаційні ефекти, що можуть у резонансній області приводити на підвищення ЕПР на декілька порядків.

6. Викликає сумнів доцільність використання сплайн інтерполяції для опису вірогідності розподілу ЕПР. Отримані гарні дані пов'язані з достатньо точною апроксимацією сплайном третього порядку експериментальних функцій. Використання більш високих порядків

сплайну дасть ще кращі результати, але це не буде свідчити, про кращий опис статистики. Про це ж свідчать і отримані дисертантом результати. Він апроксимував сплайнами одну і туж ДЗР об'єкта просто з різним кроком дискретизації і отримав різну сплайн інтерполяцію. Однак отримані апроксимації не повинні залежати від кроку, тобто бути робастними відносно цього несуттєвого випадкового параметру, який призводить до спотворень функції розподілу не пов'язаних з її природою. В ідеалі отримана апроксимація повинна слабко залежати від кроку, оскільки він є не суттєвим інформаційним параметром. До таких же результатів повинен призводити і зсув кроку дискретизації на дрібну частину пікселю.

7. Термін пеленгування, як правило відносять до оцінки напрямку на ціль. В 4 розділі автор використовує його при вивченні розподілу ймовірності ДЗР цілі, що не зовсім правильно. Так фраза: «Для оцінки ймовірності запеленгувати об'єкт (4.1) необхідно апроксимувати функцію розподілу якоюсь відомою функцією, що дасть змогу розрахувати вірогідність пеленгування об'єкту». Якщо в ній замінити «пеленгування», на «виявлення», то вона стає правильною.

8. Стор.74 аналізується зниження ЕПР для ракети AGM-65 при наявності трьохшарового покриття загальною товщиною 8мм на довжині хвилі 10мм. Показано, що це може дати зниження ЕПР приблизно на 15,5дБ. Аналогічно стор.108: «ЕПР збільшилася на 10-30 дБ від  $\text{см}^2$ », Сантиметри при цьому ні до чого, кажуть просто що ЕПР збільшалася на 10...30дБ без  $\text{см}^2$ . Тобто, коли говорять про ЕПР, то це розмірна величина, що вимірюється в дБ відносно  $\text{м}^2$ , або  $\text{см}^2$ . Якщо кажуть про зменшення ЕПР, то це безрозмірна величина, що вимірюється в дБ.

9. При довжині хвилі РЛС близько 3см товщина покриття для отримання також екрануючого ефекту повинна бути приблизно у 3 рази більшою. А при довжині хвилі 10см у 10 разів більшою, тобто 2,4см і 8см

відповідно. Неясна можливість практичного використання покриття такої товщини на ракеті з міделем біля 60,8см.

10. Взаємодія з підстильною поверхнею описується середнім значенням коефіцієнта відбиття, хоча для реальних поверхонь його значення буде для різних елементів об'єкта різним. Відбиття враховуються в рамках моделі дзеркального променя. Не враховуються дифузні відбиття. Неясно наскільки запропонований підхід може враховувати багаторазове розсіяння для динамічно змінної підстильної поверхні, наприклад моря при хвилюванні.

Проте зазначені зауваження не впливають на якість результатів дисертаційної роботи і обґрунтованість наведених здобувачем висновків.

#### **Загальні висновки.**

Дисертаційна робота Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього» є завершеним науковим дослідженням, є актуальною та має наукову новизну та практичну значущість. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» галузі знань 10 – «Природничі науки», вимогам передбаченими наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44).

Враховуючи актуальність, обґрунтованість наукових положень і висновків, наукову новизну та практичну значущість дисертаційної роботи, а також дотримання академічної доброчесності вважаю, що

Хричов Владислав Сергійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач лабораторії  
моніторингу і спектроскопії середовищ  
Інституту радіофізики та електроніки  
ім. О. Я. Усикова НАН України

Владислав ЛУЦЕНКО

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 10:06:53 09.01.2024

Назва файлу з підписом: Відгук ЛуценкоВІ на дис Хричова ВС.pdf.asice  
Розмір файлу з підписом: 457.2 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Відгук ЛуценкоВІ на дис Хричова ВС.pdf  
Розмір файлу без підпису: 464.8 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ЛУЦЕНКО ВЛАДИСЛАВ ІВАНОВИЧ

П.І.Б.: ЛУЦЕНКО ВЛАДИСЛАВ ІВАНОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 1965501176

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 10:06:51 09.01.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000009C9A2E01DC0E8F04

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2023.12.21 13:00

Голові разової  
спеціалізованої вченої ради  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна  
професору Сергію БЕРДНИКУ  
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

## ВІДГУК

офіційного опонента, провідного наукового співробітника відділу електронних НВЧ приладів, Радіоастрономічного інституту НАН України Фесенка Володимира Івановича на дисертаційну роботу Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

### **Обґрунтування вибору теми дослідження.**

Тематика дисертаційної роботи Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього» є актуальною та своєчасною, оскільки оцінка радіолокаційної помітності об'єктів різного призначення є важливою задачею при розробці нових та удосконаленні існуючих моделей техніки. Проведення експериментальних досліджень для таких оцінок зазвичай є надто технічно складним і високовартісним крім того експерименти не надають повної інформації про характеристики розсіяного поля, зважаючи на це, створення нових високоефективних методик обробки результатів експериментальних вимірювань є актуальним завданням. В роботі досліджується основна величина, яка цікавить дослідників під час оцінки радіолокаційної помітності об'єкта – ефективна поверхня розсіяння (ЕПР) об'єкта. Систематизовано існуючі методи розрахунку ЕПР об'єктів різної форми,

від трикутної пластини та кулі, до складних великогабаритних моделей автомобілів типу HUMER та UAZ. Окрім цього, запропоновано нові методики проведення подібних досліджень, що дозволяють оцінити результати експериментальних вимірювань, ґрунтуючись на порівняно невеликій кількості отриманих експериментальних даних, а також зробити висновки щодо радіолокаційної помітності об'єктів, або щодо доцільності використання тих чи інших технік маскуванню.

Проведені, в ході виконання дисертації, теоретичні дослідження ґрунтуються на розв'язанні задачі дифракції електромагнітних хвиль на об'єктах довільної (складної) форми. Проаналізовано строгі, наближені та числові підходи для розв'язання таких задач. Добре відомо, що точні аналітичні розв'язки можливо отримати тільки для обмеженої групи об'єктів простої геометричної форми, наприклад таких як сфера або тор. Тому автор дисертації зосередив свою увагу на використанні саме числових методів для моделювання поширення та розсіяння електромагнітних хвиль на об'єктах складної форми. В ході виконання дисертації розроблено ефективні алгоритми, які дозволяють зменшити вимоги до залучення великих розрахункових потужностей під час проведення числового моделювання.

Важливість проведених досліджень обумовлена як їх суто науковою цінністю, так і суттєвим значенням для сучасних прикладних застосувань. Все вищезазначене зумовлює та підтверджує актуальність обраної теми дисертаційного дослідження Хричова В.С., визначають її доцільність та вагомість з точки зору як наукового, так і практичного значення.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. В цілому, дисертаційна робота складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, а також списку використаних джерел, який налічує 80 найменувань.

Дисертаційна робота викладена державною мовою із дотриманням норм академічного письма та наукового стилю. Текстовий матеріал доповнюють 73 рисунки та 8 таблиць.

У першому розділі дисертації проведено аналіз значної кількості сучасних зарубіжних та вітчизняних наукових праць, що дозволило зробити якісну оцінку та інтерпретацію результатів роботи. На основі проведеного огляду автором було сформульовано мету роботи та визначено задачі які потребують розв'язку.

В другому, третьому та четвертому розділі дисертації послідовно викладено отримані в роботі наукові результати.

Висновки дисертації відповідають поставленим задачам.

### **Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.**

Про актуальність і практичну значимість теми дисертації також свідчить і те, що вона виконувалася в рамках шести держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри теоретичної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, в яких брав участь автор протягом 2014 – 2022 рр., а саме: «Методи та алгоритми розрахунку широкосмугових характеристик електромагнітного розсіяння на об'єктах складної форми для визначення їх радіолокаційної помітності» (номер держреєстрації 0117U004965); «Чисельне моделювання та вимірювання розсіяння електромагнітних хвиль радіолокаційного діапазону на військових та цивільних об'єктах складної форми» (номер держреєстрації 0118U002022); «Чисельні алгоритми аналізу, методики та засоби вимірювання електродинамічних характеристик поглинаючих, нелінійних та магнітних метаматеріалів і композитів» (номер держреєстрації 0119U002548); «Радіометрична система формування зображень наземних об'єктів в міліметровому діапазоні хвиль» (номер держреєстрації 0120U102311); «Побудова моделі радіолокаційного розсіяння на складному об'єкті через вимірювання в ближній зоні задля зниження помітності» (номер держреєстрації 0121U109884); «Дослідження закономірностей формування та керування станом електромагнітного поля у кластерних та/або топологічних метаповерхнях» (номер держреєстрації 0122U001656).

### **Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.**

На мою думку, до найбільш важливих оригінальних результатів отриманих дисертантом слід віднести такі:



– Вперше розроблено алгоритм для створення моделі об'єкту складної форми, який може розташовуватись на тлі підстильної поверхні для оцінки його радіолокаційної помітності. До досліджуваного об'єкта можна застосовувати різні види покриттів в тому числі й килимового типу.

– Вперше оптимізовано алгоритм обробки створеної моделі перед безпосередньо розрахунком повного відбитого поля, що дозволяє економити ресурси під час проведення моделювання.

– Вперше зазначено, які дані можна зберігати для подальшого використання у майбутніх моделюваннях, коли змінюються ті чи інші параметри покриття, об'єкта, підстильної поверхні або падаючої хвилі.

– Вперше розроблено методику зберігання інформації щодо геометричних та електродинамічних параметрів об'єкту, що аналізується.

– Вперше було запропоновано методи оптимізації моделі об'єкту складної форми для зменшення його радіолокаційної помітності.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовано в дисертаційній роботі.**

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, отриманих Хричовим В. С., при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, забезпечується:

– використанням добре відомих підходів для розв'язання задачі розсіяння електромагнітних хвиль, зокрема, таких як, методи геометричної та фізичної оптики;

– співставленням результатів, отриманих з використанням запропонованої методики, із даними щодо розсіяння полів на відносно простих об'єктах, таких як сфера, трикутна та прямокутна пластини, бічна поверхня циліндру, тощо;

– відповідністю отриманих результатів сучасним фізичним уявленням;

– наявністю публікацій в фахових видання України та періодичних наукових виданнях, проіндексованих в міжнародній наукометричній базі Scopus (в яких всі статті проходять ретельне експертне рецензування), а також апробацією результатів на 6 міжнародних фахових наукових конференціях.

Вважаю, що наукові положення, рекомендації та висновки дисертації являються добре обґрунтованими, а отримані результати є достовірними та мають значний вклад у розвиток сучасної науки.

### **Апробація дисертації та публікації.**

За результатами дисертаційного дослідження було опубліковано 5 статей в наукових фахових виданнях України, 2 наукові праці в періодичних наукових виданнях держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку, проіндексованих в міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, також основні наукові та практичні результати роботи обговорені на 6 міжнародних фахових конференціях.

Всі опубліковані наукові праці відповідають темі дисертації.

### **Оформлення дисертації.**

Дисертація є завершеною науковою працею, в ній використано загальноприйняті та зрозумілі позначення фізичних величин, основні наукові положення роботи сформульовано повно та зрозуміло, структура роботи є логічною. Оформлення дисертації повністю відповідає вимогам, що висуваються до такого виду робіт і наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Текст дисертації написаний українською мовою в науковому стилі.

### **Практичне значення результатів дисертації.**

Запропонована в дисертації методика оцінки радіолокаційної помітності об'єктів дозволяє враховувати: 1) поля, що розсіюється гладкою частиною об'єкта; 2) поля, що розсіюється на ребрах об'єкта; 3) перевідбиті поля між різними частинами об'єкта, а також між об'єктом та підстильною поверхнею. Зазначені компоненти поля є основними, що дають суттєвий внесок у сумарне розсіяне складним об'єктом поле. Запропонований автором підхід, надає можливість оцінювати вплив різних маскувальних покриттів на загальне відбите поле. Під час дисертаційного дослідження були проведено аналіз таких простих об'єктів як сфера, трикутна пластина, циліндр. Отримані результати добре узгоджуються з відомими раніше

аналітичними або асимптотичними виразами для розсіяного поля цими об'єктами. Окрім цього в дисертації було проведено моделювання електромагнітного розсіяння на моделях реальних радіолокаційних цілей, таких як автомобіль UAZ-2206 та HUMMER-H1. Також проведена оцінка ефективності різних видів маскувальних покриттів, таких як багатошарові, килимового типу та покриття у вигляді намету.

Практична цінність результатів дисертації полягає у наданні рекомендацій щодо зменшення радіолокаційної помітності досліджуваних об'єктів. Зокрема, запропоновано комбінувати використання радіопоглинаючого покриття у вигляді накидки на частину поверхні разом з геометричною модифікацією певних частин автомобіля HUMMER-H1, що дозволило зменшити рівень відбитого поля на більшу величину, ніж у випадку, коли радіопоглинаючим покриттям оздоблено всю поверхню об'єкта, що є більш коштовним та складним у реалізації.

### **Дотримання академічної доброчесності.**

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації результатів роботи відсутні. Текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

### **Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.**

Зауваження до дисертації не мають принципового характеру, але мають бути зазначені у наступному:

1. Для моделювання відбиття хвилі від підстильної поверхні, в більшості випадків, недостатньо використовувати у якості основної характеристики коефіцієнт відбиття і представляти підстильну поверхню пласкою пластиною, реальні підстильні поверхні (грунт, бетон, тощо) повинні описуватись, використовуючи статистичний підхід і враховувати неоднорідність матеріалу, розташування та величину його геометричних нерівностей, тощо.

2. В роботі не розглядаються резонансні явища, які можуть дати суттєвий внесок у результуюче розсіяне поле об'єктом складної форми. При визначенні радіолокаційної помітності можуть застосуватись підходи так званих яскравих точок (bright spots), які як раз базуються на резонансному

відбитті хвилі від певних ділянок об'єкта складної форми, при такому підході полем від інших ділянок нехтують, бо воно має значно менший рівень.

3. В роботі присутні деякі недбалості при оформленні, орфографічні помилки та описки, зокрема:

- стор. 22: використано скорочення «КД-дерева», хоча в подальшому тексті роботи, використовується позначення «kd-дерева»;
- на деяких рисунках наведені підписи англійською мовою;
- стор. 47: використано термін «запуск променів», можливо краще використати загальноживаний термін «генерація променів».
- стор 68: в таблиці 2.1 ідентичні формули для ідеального провідника і магнетика. В випадку магнетика повинен бути знак '+', а не '-'. В тексті дисертації використані вірні формули, очевидно, що в таблиці допущено описку;
- стор. 80: рис. 2.25 дублюється двічі;
- деякі посилання на формули не коректні, наприклад, на стор. 121 є посилання на формули (2), (6) та (8) яких не має в дисертації.

В цілому, зазначені зауваження не впливають на якість отриманих в дисертації результатів і не заперечують обґрунтованість та наукову цінність наведених здобувачем висновків.

### **Загальні висновки.**

Дисертаційна робота Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього» є завершеним науковим дослідженням, є актуальною та має наукову новизну та практичну значущість. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» галузі знань 10 – «Природничі науки», вимогам передбаченими наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44).

В роботі розв'язано важливу як для фундаментальної, так і для прикладної науки задачу про розсіяння електромагнітних хвиль на об'єктах складної форми.

Вважаю, що здобувач Хричов Владислав Сергійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Провідний науковий співробітник  
відділу електронних НВЧ приладів,  
Радіоастрономічного інституту  
НАН України, д. ф-м. н., доцент

Володимир ФЕСЕНКО

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 16:05:46 11.01.2024

Назва файлу з підписом: Відгук Хричов Фесенко.pdf.asice  
Розмір файлу з підписом: 323.5 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Відгук Хричов Фесенко.pdf  
Розмір файлу без підпису: 327.7 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ФЕСЕНКО ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

П.І.Б.: ФЕСЕНКО ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2731007778

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 17:05:45  
11.01.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000006B493B01A54CAE04

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2023.12.21 13:00

Голові разової  
спеціалізованої вченої ради  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна  
професору Сергію БЕРДНИКУ  
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

### **Рецензія**

офіційного рецензента, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.03 – Радіофізика), професора кафедри теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Батракова Дмитра Олеговича на дисертаційну роботу Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

#### **Актуальність теми дисертації**

Свою роботу дисертант Хричов В.С. присвятив дослідженню методів оцінки радіолокаційної помітності об'єктів складної форми. Такі об'єкти можуть бути розташовані на тлі різної підстильної поверхні та оснащені різними типами маскувальних покриттів. Для такої оцінки проводиться моделювання розсіювання електромагнітних хвиль радіодіапазону на моделях об'єктів. На основі такого моделювання будуються діаграми зворотного розсіяння та оцінюється ефективна поверхня розсіяння (ЕПР) об'єкта. Важливо відмітити, що методи

моделювання, описані в роботі ґрунтуються на розв'язанні задачі дифракції електромагнітної хвилі на тілі довільної форми, така задача може бути розв'язана точно або асимптотично лише для відносно простих тіл, таких як сфера, циліндр, пласка пластина. Поверхня об'єкту складної форми представляється набором простих елементів (фацетів), отримуються поля розсіяння у векторній формі кожного з елементів, а результуюче поле представляється у вигляді суперпозиції полів, розсіяних фацетами. При цьому враховуються розсіяні поля від поверхні об'єкта, від його ребер та поля, що виникають у результаті перевідбиття між різними частинами об'єктів та між об'єктом та підстильною поверхнею. Такі дослідження дуже важливі для розробки нових зразків та удосконалення вже існуючих зразків військової техніки, особливу увагу приділено саме питанню зменшення радіолокаційної помітності шляхом використання різних покриттів, накидок та геометричної модифікації поверхні об'єктів.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи**

Кваліфікаційна робота дисертанта виконана у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна. Наукова праця містить Вступ, чотири розділи, висновки та перелік використаної літератури. Як допоміжний матеріал наведено 73 рисунки і 8 таблиць. Робота відповідає всім вимогам, які висуваються для проведення процедури захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня «доктор філософії».

У **розділі 1** дисертації описані основні існуючі методи, що використовуються для розрахунку розсіяння електромагнітних хвиль. Проведено ґрунтовний огляд літератури та розглянуто можливості моделювання електромагнітних явищ у комерційних програмах CST Microwave Studio, FEKO, Ansys Savant тощо.



У **розділі 2** описується розроблений автором дисертації алгоритм оцінки радіолокаційної помітності об'єктів складної форми. Описані основні етапи створення та обробки моделі об'єкту складної форми. Розглянуто шляхи оптимізації алгоритму, наприклад за рахунок використання kd-дерев для пошуку фацетів, які опромінюються падаючою електромагнітною з заданого ракурсу. Також запропоновано алгоритми спрощення моделі об'єкту.

У **розділі 3** розроблений раніше алгоритм використовується для отримання діаграм зворотного розсіяння об'єктів, наприклад снарядів, або автомобілів. Перед проведенням моделювання на об'єктах складної форми проведено оцінку точності запропонованої методики на об'єктах простої форми – сфері, трикутній пластині, циліндрі, кутниковому відбивачі. Також проведено оцінку ефективності застосування різних маскувальних методик.

У **розділі 4** автор дисертації використовує методи статистичного аналізу для оцінки радіолокаційної помітності. Зазначено, що ймовірність виявлення об'єкту визначається не тільки відбитим від нього полем, а й типом підстильної поверхні, на тлі якої воно розташовується ціль.

У **висновках** підкреслено ключові моменти, одержані у кваліфікаційній роботі дисертанта. **Перелік використаних джерел** містить посилання на публікації зарубіжних і вітчизняних авторів за темою дисертації, а також посилання на доробок самого дисертанта.

**Наукова новизна полягає у наступних основних результатах:**

- Вперше розроблено та оптимізовано алгоритм створення та обробки моделі великогабаритного об'єкту складної форми для оцінки його радіолокаційної помітності, запропоновано алгоритм обробки цієї моделі перед безпосередньо розрахунком повного відбитого поля.

- Вперше описані основні етапи моделювання та зазначено, які дані можна зберігати для подальшого використання у майбутніх моделюваннях, коли змінюються ті чи інші параметри моделі або падаючої хвилі.

- Вперше показано, що використання КД-дерев із поділом за медіанним фацетом значно пришвидшує алгоритм пошуку видимих фацетів, які дають внесок у поле, відбите від поверхні об'єкту, а також таких, при відбитті від яких розсіяне на якихось частинах об'єкту поле може потрапити до приймальної антени.

- Вперше показано, що для довільної підстильної поверхні із заданим коефіцієнтом відбиття можна отримати розсіяне поле у вигляді ступеневого ряду за коефіцієнтом відбиття від підстильної поверхні, де амплітуди біля різних ступеней коефіцієнту відбиття відповідають частинам сумарного відбитого поля, які перевідбилися від підстильної поверхні відповідну кількість разів, зазначені амплітуди можна виразити через значення полів, відбитих від об'єкту розташованого на підстильних декількох підстильних поверхнях із відомими електродинамічними характеристиками.

- Вперше було запропоновано методи оптимізації моделі об'єкту складної форми для зменшення його радіолокаційної помітності.

### **Обґрунтованість наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації**

Висновки та наукові положення у роботі дисертанта є достовірними, доведеними, в достатній мірі обґрунтованими. Список публікацій, наведених у кінці дисертації, та перелік статей і тез здобувача в достатній мірі розкривають тему дисертаційної роботи; теоретичні положення, які витікають із аналізу отриманих даних, мають під собою

фізичне підґрунтя та не суперечать фактам, фізичним законам, відкритим раніше, та загальноприйнятим положенням.

### **Апробація дисертації та публікації**

Основні результати роботи оприлюднені та обговорені на наступних конференціях: 17th IEEE International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, ММЕТ, 2018, Kyiv, Ukraine; 9th IEEE international Conference on Ultrawideband and Ultrashort Smpulse Signals (uwbusis - 2018), 2019 Odessa, Ukraine; 2nd IEEE Ukraine Conference on Electrical andComputer Engineering (UKRCON), 2019, Lviv, Ukraine; 6th IEEE Microwaves, radar and remote sensing symposium (MRRS-2020), 2020, Kharkiv, Ukraine; 3rd IEEE Ukrainian Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021, Lviv, Ukraine; 2nd IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), 2022, Kharkiv, Ukraine;

Опубліковано 5 статей в наукових фахових виданнях України, 2 наукові праці в періодичних наукових виданнях держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку, проіндексованих в міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science.

### **Практична значущість результатів дисертаційного дослідження**

Алгоритм та програма, розроблені під час дисертаційного дослідження дозволяють ефективно оцінювати радіолокаційну помітність різних об'єктів, не проводячи реальні вимірювання. Завдяки цьому, ще на етапі конструюванні можна оцінити ефективність тих чи інших маскувальних засобів. Під час проведення досліджень, автор приймав участь у виконанні госпдоговірних та держбюджетних науково-дослідних робіт, в межах яких надавались рекомендації щодо зменшення радіолокаційної помітності цілей..

**Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.**

В дисертації наведено результати досліджень, в яких брав участь автор протягом 2014–2022 рр. відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт кафедри теоретичної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, а саме:

- «Методи та алгоритми розрахунку широкосмугових характеристик електромагнітного розсіяння на об'єктах складної форми для визначення їх радіолокаційної помітності» (номер держреєстрації 0117U004965);

- «Чисельне моделювання та вимірювання розсіяння електромагнітних хвиль радіолокаційного діапазону на військових та цивільних об'єктах складної форми» (номер держреєстрації 0118U002022);

- «Чисельні алгоритми аналізу, методики та засоби вимірювання електродинамічних характеристик поглинаючих, нелінійних та магнітних метаматеріалів і композитів» (номер держреєстрації 0119U002548);

- «Радіометрична система формування зображень наземних об'єктів в міліметровому діапазоні хвиль» (номер держреєстрації 0120U102311);

- «Побудова моделі радіолокаційного розсіяння на складному об'єкті через вимірювання в ближній зоні задля зниження помітності» (номер держреєстрації 0121U109884);

- «Дослідження закономірностей формування та керування станом електромагнітного поля у кластерних та/або топологічних метаповерхнях» (номер держреєстрації 0122U001656).

**Оформлення дисертації та дотримання академічної доброчесності.**

В дисертації використано загальноприйняті та зрозумілі позначення фізичних величин, основні наукові положення роботи сформульовано

повно та зрозуміло. Робота є повноцінним науковим дослідженням в галузі сучасної радіофізики. Текст дисертації написаний українською мовою в науковому стилі і оформлено згідно вимог, що висуваються до такого виду робіт і наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації результатів роботи відсутні. Текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

### **Зауваження до структури, змісту роботи та оформлення**

#### *Зауваження до стилю та оформлення*

- підписи осей та позначення одиниць вимірювання на багатьох рисунках не відповідають нормам, наприклад рис.2.2, 2.10 мають англійські підписи, а на рис. 2.17, 2.20, 2.22 не вказані одиниці вимірювання
- допущені недбалості при оформленні тексту дисертації, наприклад наявні друкарські помилки в словах налаштування (стор. 37), баріцентричний (стор. 49), використовується неправильний переклад «коефіцієнт відображення», замість «коефіцієнт відбиття» тощо.
- Сторінка 51, «з кожною із площ трикутників», вірно буде «з кожною площиною трикутника»
- На сторінці 118 друкарська помилка в реченні «В формулі (3.2) сума по  $i$  відбувається для усіх фацетів покриття, а сума по  $j$  відбувається для усіх фацетів цілі, що вкрита наметом»

#### *Зауваження до наукової частини дисертації*

- В дисертації наведені порівняння результатів моделювання із використанням запропонованого підходу із відомими теоретичними даними щодо розсіяння на простих об'єктах, але відсутнє порівняння для складних об'єктів, варто було порівняти, як узгоджуються отримані дані з експериментальними даними щодо розсіяння на реальних радіолокаційних цілях.
- В роботі описано врахування перевідбиття між різними частинами об'єкта, але розглянуто випадок лише подвійного перевідбиття, для реальних цілей, які мають металеву поверхню, а, отже, і велике значення коефіцієнта відбиття, величина перевідбитого тричі і більше поля може бути такою, яку не можна відкидати із розгляду.
- При моделюванні намету, який розташовано нещільно до поверхні об'єкта також не враховано явище перевідбиття, хвилі, відбиті від поверхні об'єкта досягають покриття – частково проходять крізь нього, а частково відбиваються назад в напрямку до об'єкта. Схожий ефект слід враховувати при проходженні хвиль крізь шарувате покриття.

Вказані недоліки не зменшують якість результатів дисертаційної роботи і обґрунтованість наведених здобувачем висновків.

### **Загальний висновок**

Вважаю, що дисертаційна робота Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього» є завершеним науковим дослідженням, є актуальною та має наукову новизну та практичну значущість. Виконана здобувачем робота – це якісний показник успішного засвоєння освітньо-наукової програми на здобуття наукового ступеня «доктор філософії». Дисертація повністю

відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) та «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 № 44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Хричов Владислав Сергійович, є кваліфікованим спеціалістом, який заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Доктор фізико-математичних наук,  
професор кафедри  
теоретичної радіофізики  
факультету радіофізики,  
біомедичної електроніки  
та комп'ютерних систем  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна

Дмитро БАТРАКОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 23:00:58 14.01.2024

Назва файлу з підписом: рецензія Батраков 2.pdf.p7s  
Розмір файлу з підписом: 18.1 КБ

Перевірені файли:  
Назва файлу без підпису: рецензія Батраков 2.pdf  
Розмір файлу без підпису: 233.3 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: БАТРАКОВ ДМИТРО ОЛЕГОВИЧ  
П.І.Б.: БАТРАКОВ ДМИТРО ОЛЕГОВИЧ  
Країна: Україна  
РНОКПП: 1990700839  
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА  
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 23:11:10  
14.01.2024  
Сертифікат виданий: АЦСК АТ КБ «ПРИВАТБАНК»  
Серійний номер: 248197DDFAB977E504000000823CF900AD420204  
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145  
Тип підпису: Удосконалений  
Тип контейнера: Підпис та дані в окремих файлах (CAAdES detached)  
Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)  
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2023.12.21 13:00



Голові разової  
спеціалізованої вченої ради  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна  
професору Сергію БЕРДНИКУ  
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

### **Рецензія**

офіційного рецензента, кандидата фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.03 – Радіофізика), доцента, в.о. завідувача, доцента кафедри теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Хардікова Вячеслава Володимировича на дисертаційну роботу Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

### **Обґрунтування вибору теми дослідження.**

Розробка сучасної воєнної техніки повинна враховувати її радіолокаційну помітність, яка, зазвичай, визначається ефективною поверхнею розсіювання (ЕПР) та діаграмою зворотного розсіювання (ДЗР). Вимоги по ЕПР і ДЗР обов'язково включаються у технічне завдання на розробку об'єктів військового призначення. Крім того, постійний прогрес у розробці радіолокаційних засобів виявлення та наведення зброї призводить також до потреби у зниженні радіолокаційної помітності вже наявних об'єктів,

тобто є сталий запит на вдосконалення засобів зниження радіолокаційної помітності. Ці задачі потребують створення адекватних математичних моделей, які б дозволили оцінити ЕПР та ДЗР складного об'єкту з наперед визначеною точністю. Крім того, така модель повинна відповідати цільй низці вимог щодо точності, потреб у обчислювальних потужностей тощо. Тому вважаю обґрунтованим вибір напрямку рецензуємої роботи, який полягає у розробці нових методів моделювання електромагнітного розсіювання на складних об'єктах.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи.**

Кваліфікаційна робота складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної джерел. Робота виконана на кафедрі теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна та повною мірою відповідає всім вимогам, що висуваються для проведення процедури захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня «доктор філософії».

*Перший розділ* містить огляд сучасних методів моделювання розсіювання електромагнітного випромінювання на складних об'єктах, у тому числі потужних комерційних програм таких як CST, FEKO, ANSYS. Автор у своєму огляді підкреслює всі переваги та недоліки добре відомих та апробованих підходів і окреслює місце своєї роботи з урахуванням цього аналізу.

*У другому розділі* викладено всі ключові моменти алгоритму оцінки радіолокаційної помітності складного об'єкту, який може враховувати такі важливі елементи «сцени», як наявність і властивості підстильної поверхні та укриттів різного типу. Наведено аналіз та опис основних складових розсіяного поля та показано, яким чином у запропанованому алгоритму всі

ці складові враховуються. Також наведено опис побудови трьохвимірної моделі об'єкту з урахуванням особливостей алгоритму, що застосовується.

*Третій розділ* містить результати використання розробленого алгоритму до аналізу радіолокаційної помітності складних об'єктів, які повністю або частково маскуються різними типами маскувальних покриттів. Виявлено та пояснено фізичну причину низки особливостей впливу цих покриттів на радіолокаційну помітність. Зокрема, показана можливість ефективного зниження помітності об'єкта за рахунок маскування його окремих ділянок та збільшення його помітності для певних напрямків при використанні схеми маскування у вигляді «шатра».

У останньому *четвертому розділі* автор застосовує статистичний аналіз для оцінки радіолокаційної помітності з урахуванням кута розсіювання та випадковості фону. Запропановано та проведено порівняння різних підходів до апроксимації функцій розподілу для опису гістаграм ЕПР об'єкту, що вимірюються чи обчислюються.

У *висновках* автор дуже стисло наводить всі основні результати, які були отримані під час виконання дисертаційних досліджень і знайшли своє відображення у тексті.

Список використаних джерел містить 80 посилань, серед яких є роботи автора та його керівника.

**Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.**

В дисертації наведено результати досліджень, в яких брав участь автор протягом 2014–2022 рр. відповідно до 6 науково-дослідних робіт кафедри теоретичної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, а саме:

- «Методи та алгоритми розрахунку ширококутових характеристик електромагнітного розсіяння на об'єктах складної форми для визначення їх радіолокаційної помітності» (номер держреєстрації 0117U004965);

- «Чисельне моделювання та вимірювання розсіяння електромагнітних хвиль радіолокаційного діапазону на військових та цивільних об'єктах складної форми» (номер держреєстрації 0118U002022);

- «Чисельні алгоритми аналізу, методики та засоби вимірювання електродинамічних характеристик поглинаючих, нелінійних та магнітних метаматеріалів і композитів» (номер держреєстрації 0119U002548);

- «Радіометрична система формування зображень наземних об'єктів в міліметровому діапазоні хвиль» (номер держреєстрації 0120U102311);

- «Побудова моделі радіолокаційного розсіяння на складному об'єкті через вимірювання в ближній зоні задля зниження помітності» (номер держреєстрації 0121U109884);

- «Дослідження закономірностей формування та керування станом електромагнітного поля у кластерних та/або топологічних метаповерхнях» (номер держреєстрації 0122U001656).

### **Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.**

- Вперше розроблено алгоритм створення трьохвимірної моделі великогабаритного об'єкту складної форми для оцінки радіолокаційної помітності, який дозволяє зробити таку модель з конструкторської моделі або креслень та врахувати основні пасивні елементи моделі (підстильна поверхня, наявність маскуючих та поглинаючих покриттів), які є надсуттєвими при оцінці помітності об'єкту.
- На основі КД-дерев розроблено швидкий алгоритм визначення видимих фацетів з врахуванням одноразового та багатократних відбиттів падаючого електромагнітного поля.

- Запропановано метод попередньої обробки моделі та оптимізації збереження ключової інформації для кожного ракурсу, який дозволяє суттєво прискорити обчислення розсіювання, враховуючи при цьому лише «видимі» фацети та їх електродинамічні характеристики.
- Вперше показано, що врахування довільної підстильної поверхні можна провести за допомогою моделювання кількох стандартних фонів, таких як об'єкт у вільному просторі, об'єкт на площині з ідеального магнетика та ідеального провідника.
- Запропановані методи зниження радіолокаційної помітності об'єкту складної форми, яка може використовуватись для оцінки ефективності засобів зниження помітності.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовано в дисертаційній роботі.**

Обґрунтованість отриманих результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у роботі, що рецензується, не викликають жодних сумнівів. Їх достовірність і обґрунтованість, по-перше, підтверджується використанням добре відомих та апробованих методів та підходів радіофізики та технічної фізики, фізичністю отриманих результатів та порівнянням їх із відомими для простих розсіювачів. А, по-друге, такого ж висновку можна дійти, виходячи зі списку публікацій автора, який містить як доповіді на міжнародних фахових конференціях, так і публікації у рецензуємих фахових виданнях.

### **Апробація дисертації та публікації.**

За результатами дисертаційного дослідження було опубліковано 5 статей в наукових фахових виданнях України, 2 наукові праці в періодичних наукових виданнях держави, яка входить до Організації

економічного співробітництва та розвитку, проіндексованих в міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, також основні наукові та практичні результати роботи обговорені на 6 міжнародних фахових конференціях.

### **Оформлення дисертації.**

Дисертація є завершеною науковою працею, використано загальноприйняті та зрозумілі позначення фізичних величин, основні наукові положення роботи сформульовано повно та зрозуміло. Оформлення дисертації повністю відповідає вимогам, що висуваються до такого виду робіт і наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Текст дисертації написаний українською мовою в науковому стилі.

### **Практичне значення результатів дисертації.**

Дисертація спрямована на розв'язання важливої практичної задачі, що полягає у створенні методів та підходів, які дозволяють оцінити радіолокаційну помітність *реальних* об'єктів воєнного призначення. Ця задача набула надважливого значення в умовах військового стану в Україні, але є актуальною і в мирний час.

В роботі наведені результати застосування розробленого алгоритму для деяких тестових об'єктів. Мова йде про автомобілі UAZ-2206 та HUMMER-H1. Але зрозуміло, що алгоритм є універсальним і може бути використаний як на етапі розробки об'єкту, так і під час його використання в реальних умовах. Унікальність запропанованого алгоритму полягає в тому, що він не потребує суттєвих змін в залежності від підстильної поверхні, або від зміни маскуючих покриттів і, більш того, модель може бути зроблено прямо із креслення об'єкту. Тобто ще на етапі

підготовки конструкторської документації можуть бути передбачені необхідні заходи, щоб знизити радіолокаційну помітність об'єкта.

Також слід відзначити, що деякі результати дисертаційної роботи використовувались під час виконання госпдоговірних науково-дослідних робіт та при співпраці кафедри із представниками промисловості України.

### **Дотримання академічної доброчесності.**

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації результатів роботи відсутні. Текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

### **Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.**

Є деякі зауваження до оформлення дисертаційної роботи, наприклад:

- підписи до Рисунків в роботі оформлені не однаково,
- на рис. 2.9Б присутні не завершені формули,
- присутні орфографічні та синтаксичні помилки у тексті.

Крім того, є зауваження і до наукової складової роботи:

- чому не було виконано порівняння результатів отриманих алгоритмом, що розроблено, з відомими результатами із літератури для яких-небудь «складних» об'єктів?
- чи можливо в побудованому алгоритмі врахувати дифузне відбиття, яке виникає у разі використання маскуючих покриттів?

Слід зазначити, що наведенні зауваження жодним чином не впливають на якість, новизну та високе, на мою особисту думку, практичне значення отриманих в дисертації результатів і не заперечують обґрунтованість та наукову цінність наведених здобувачем висновків.

## **Загальні висновки.**

Дисертаційна робота Хричова Владислава Сергійовича «Радіолокаційна помітність об'єктів складної форми із покриттям та без нього» є завершеним науковим дослідженням, є актуальною та має наукову новизну та практичну значущість. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» галузі знань 10 – «Природничі науки», вимогам передбаченими наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44).

Вважаю, що здобувач Хричов Владислав Сергійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Кандидат фізико-математичних наук,  
доцент, в.о. завідувача, доцент кафедри  
теоретичної радіофізики факультету  
радіофізики, біомедичної електроніки та  
комп'ютерних систем  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна

**Вячеслав ХАРДІКОВ**



Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 15:26:29 15.01.2024

Назва файлу з підписом: рецензія ХардіковВВ.pdf.p7s  
Розмір файлу з підписом: 383.4 КБ

Перевірені файли:  
Назва файлу без підпису: рецензія ХардіковВВ.pdf  
Розмір файлу без підпису: 366.1 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ХАРДІКОВ ВЯЧЕСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ  
П.І.Б.: ХАРДІКОВ ВЯЧЕСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ  
Країна: Україна  
РНОКПП: 2823209850  
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА  
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 15:26:29 15.01.2024  
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"  
Серійний номер: 5E984D526F82F38F0400000082534001D5FFBA04  
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145  
Тип підпису: Удосконалений  
Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CAAdES enveloped)  
Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)  
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2023.12.21 13:00