

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

### **Рецензія**

офіційного рецензента, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.03 – радіофізика), старшого наукового співробітника, в.о. завідувача, професора кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Бердника Сергія Леонідовича на дисертаційну роботу Плахтія Вадима Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

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

Застосування нестационарних електромагнітних сигналів набуває все більшої популярності через стрімкий розвиток цифрової техніки та засобів зв'язку. Однак цей напрямок ще має багато нерозв'язаних теоретичних і практичних питань. Одне з ключових завдань – це вивчення перетворення нестационарних полів у ближній зоні випромінювачів та при поширенні в різних середовищах, особливо коли мова йде про потужні джерела випромінювання. Це стосується імпульсних випромінювачів, що використовуються для дистанційного зупинення транспортних засобів або вимкнення електроніки чи радіолокаційного обладнання. Це також є важливим

для рейкотронів на сучасних кораблях для запуску літаків і надзвукових снарядів. Детальне дослідження процесу протікання потужного імпульсного струму, який є джерелом електромагнітної хвилі, важливе для розуміння її впливу на оточуючі об'єкти. Ефективним при цьому бачиться використання наближення елементарного диполя Герца для аналізу природи процесів, що протікають у ближній зоні такого випромінювача.

Підповерхневе зондування вимагає розуміння особливостей перетворення імпульсного електромагнітного поля в ближній зоні випромінювачів для зменшення впливу іншого обладнання на отримані сигнали та забезпечення ефективного фокусування енергії в напрямку об'єму, який досліджується. Використання комбінованих надширокосмугових вібраторно-щілинних випромінювачів може привести до поліпшення результатів досліджень у цьому напрямку. Для детального аналізу потужних джерел нестационарного струму використання еволюційного підходу є обґрунтованим і дозволяє аналітично розв'язати поставлені задачі у часовому просторі.

У вирішенні завдань підповерхневого зондування важливим є виявлення та класифікація прихованих об'єктів в товщі землі. Використання штучного інтелекту, зокрема штучних нейронних мереж, виявляється однією з найперспективніших стратегій. Застосування штучних нейронних мереж для аналізу хвиль, випромінених та прийнятих надширокосмуговим георадаром, може забезпечити високу точність виявлення та класифікації прихованих об'єктів в умовах обмеженого енергетичного внеску корисної інформації, що міститься в сигналі, відносно його загальної енергії.

Для успішного вирішення подібних задач необхідно точно визначати матеріальні параметри як експериментальних зразків, так і середовища в цілому. Наприклад, при проєктуванні випромінювача для конкретного діапазону частот, правильна оцінка комплексної діелектричної проникності має важливе значення для забезпечення ефективності антени. У випадку підповерхневого зондування невірна оцінка проникності може призвести до

похибок у вимірюванні положення об'єкта та визначенні його типу. Тому завдання точного визначення діелектричної проникності речовин залишається актуальним.

Отже, дисертація спрямована на вивчення перетворення нестационарних електромагнітних хвиль в ближній зоні імпульсних випромінювачів, розробку точних методів визначення комплексної діелектричної проникності матеріалів та вивчення особливостей використання штучних нейронних мереж для підповерхневого зондування.

Тому тема дослідження є актуальною та важливою як з точки зору теорії, так і з точки зору практичного застосування.

## **2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 2-х додатків. Обсяг загального тексту дисертації складає 223 сторінки, з них основного тексту 160 сторінок. Робота ілюстрована 4 таблицями та 139 рисунками. Список використаних джерел містить 185 найменувань. Також наявні анотації українською та англійською мовами.

**Перший розділ** дисертації є оглядовим, і в ньому йдеться про те, що багато електромагнітних процесів, які відбуваються у нашому оточенні, є нестационарними, незалежно від того, чи є вони природними чи штучними. Таким чином, дослідження процесів виникнення електромагнітних хвиль у ближній зоні випромінювачів і їх поширення у вільному просторі та матеріальних середовищах є важливою задачею, яка прямо пов'язана з темою дисертації. Окрім вивчення електромагнітних процесів, пов'язаних з роботою надширококустових радарів для підповерхневого зондування, існує потреба у виборі, застосуванні і оптимізації методів обробки інформації, необхідної для надійного визначення типу і положення підповерхневих об'єктів в умовах завод, що виникають через неоднорідність середовища та обмежену

інформаційну енергетичну складову відбитих полів. У роботі розглядаються переваги електродинамічних методів у часовому просторі для розв'язання цих задач. Важливість визначення діелектричних характеристик матеріальних середовищ також підкреслюється, зважаючи на їхній великий вплив на результати пошуку та розпізнавання прихованих об'єктів. Висвітлено підґрунтя застосування штучних нейронних мереж для розв'язання задачі розпізнавання відбитого сигналу, що може бути корисним в контексті завдань позиціонування з використанням нового підходу.

У **другому розділі** дисертації автором досліджено нестационарне випромінювання елементарного випромінювача нескінченно малих розмірів, що збуджується електричним струмом із довільною часовою залежністю. Незважаючи на те, що цей випромінювач є моделлю і не може бути створений, його дослідження розкриває ключові фізичні процеси, що відбуваються в антенах і їхньому оточенні, та процес формування електромагнітної хвилі. Режим нестационарного збудження розкриває особливості електромагнітного поля навколо диполя Герца через жорстку підпорядкованість принципу причинності. Методика застосовується для вивчення властивостей електромагнітного випромінювання рейкотронних систем. Критерій межі хвильової зони для рейкотрона був визначений та обґрунтований. Досліджено надширокосмуговий аналог комбінованого випромінювача Клевіна, що поєднує випромінювачі магнітного та електричного типу.

У **третьому розділі** досліджено виявлення підповерхневих об'єктів, які знаходяться в діелектричному середовищі з втратами, такому як ґрунти, за допомогою опромінення надширокосмуговими електромагнітними полями радарів, що використовують антени апертурного типу. Для цього проведено теоретичне дослідження у часовому просторі проходження нестационарних хвиль через границю двох середовищ. У порівнянні з класичними результатами, де використовується джерело у вигляді пласкої хвилі, розглянуто апертурний випромінювач як джерело, з подальшим аналітичним розв'язанням цієї задачі в часовому просторі методом еволюційних рівнянь.

Діелектрична проникність та втрати ґрунтів є важливими параметрами, і їхнє невідоме значення ускладнює радарні дослідження. Поданий декомпозиційний підхід є обґрунтованим, оскільки теоретико-практична задача є лінійною, що дозволяє окремий розгляд її складових.

За допомогою еволюційного підходу аналітично розв'язано у часовому просторі задачу опромінення діелектрика нестационарною хвилею апертурним джерелом скінченних розмірів. Шляхом зшивання компонент поля у часовому просторі отримано аналітичні вирази для відбитого поля і поля, що пройшло. Результати можуть бути узагальнені для різних точок спостереження та для імпульсів довільної форми за допомогою методу інтеграла Дюамеля.

Визначення діелектричної проникності виконано порівнянням розрахункових та вимірних залежностей коефіцієнта передачі резонатора при різних розташуваннях зразка з урахуванням стандартного відхилення.

У **четвертому розділі** використано штучні нейронні мережі (ШНМ) для прямого, в часовому просторі, визначення положення приймача відносно стаціонарних випромінювачів. Ці сигнали породжені імпульсними струмами та використовуються для визначення типу і положення прихованих об'єктів під поверхнею ґрунту. Стійкість класифікації об'єктів тестується шляхом введення адитивного шуму, а швидкість і надійність розпізнавання порівнюється з кореляційним підходом.

Запропонований підхід ілюструється використанням реального джерела поля, розташованого на невеликій висоті від ґрунту, для розпізнавання складних об'єктів, таких як протипіхотна міна. Також проведено пряме навчання ШНМ на розпізнавання мін з експериментальних радарограм в умовах, близьких до реальних.

Система позиціонування на основі зміни форми випроміненої хвилі, без носійного гармонічного коливання, може ефективно використовуватися у закритих приміщеннях та на обмежених площах. Порівняння ШНМ та методів кореляції для розпізнавання кутів свідчить про кращу точність штучних

нейронних мереж. Досліджено вплив тривалості електромагнітного імпульсу на якість класифікації кутів за наявності шуму для обох методів.

Задачу з визначення глибини розташування металевого об'єкта в однорідному середовищі вирішено за допомогою ШНМ, аналізуючи відбите імпульсне електромагнітне поле. Чутливість ШНМ до зміни висоти антенної системи досліджено для моделі з надширокосмуговим опромінювачем типу «Метелик».

Досліджено апроксимаційні властивості ШНМ для ефективного протистояння шумам у вхідних даних. Перевірено вплив попередньої обробки вхідних сигналів вейвлет-перетворенням та методом гусениці для знешумлення на результати класифікації ШНМ. ШНМ різних структур порівнюються при застосуванні до задачі розпізнавання моделі міни, захованої в ґрунті. Також досліджено роботу ШНМ в режимі екстраполяції та їхню можливість розпізнавання реальних протипіхотних мін за умов білого шуму на різних рівнях.

У **висновках** подано компактне, логічне та послідовне узагальнення основних результатів, які були досягнуті в ході дослідження. У переліку використаних джерел вказані посилання на відповідні наукові роботи, опубліковані у спеціалізованих виданнях, а також на авторські публікації, пов'язані із темою дисертації.

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

Дисертацію виконано відповідно до тематичних планів науково-дослідних робіт кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна й є складовою частиною цих науково-дослідних робіт, в яких автор брав участь як виконавець та відповідальний виконавець:

- Моделювання та дослідження відкритих нелінійних нанорозмірних електродинамічних систем із нестационарним і гармонічним збудженням для

перетворення полів та створення елементів спінтроніки. (2014-2017 рр.), номер держреєстрації 0114U002585 (виконавець напрямку)

- Імпульсні та синусоїдальні поля у нелінійних і шаруватих електродинамічних структурах та наносистемах як перетворювачах полів і моделей елементів спінтроніки (2017-2019 рр.), номер державної реєстрації: 0117U004851 (виконавець)

- Електромагнітні поля імпульсних джерел та наноосциляторів в однорідних, шаруватих та нелінійних середовищах (2020-2022 рр.), номер держреєстрації 0120U102309 (відповідальний виконавець)

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

- Вперше вдалося істотно поліпшити формування хвилі у ближній зоні імпульсного випромінювача магнітного типу шляхом включення в нього випромінювача електричного типу. Однією з переваг такого комбінованого випромінювача, який є надширокосмуговим аналогом антени Клевіна, є ефективне формування імпульсної хвилі в обмеженому фізичному об'ємі з невеликими післяімпульсними коливаннями без використання додаткових штучних омичних втрат. Це особливо актуально для використання при вирішенні різноманітних завдань, таких як передача інформації та зондування.

- Запропоновано нову методику розрахунку похибки визначення комплексної діелектричної проникності при порівнянні розрахункової та вимірної баз даних.

- Вперше вдалося порівняти штучні нейронні мережі (ШНМ) і методи кореляції щодо розпізнавання кутів, і виявлено, що ШНМ можуть продемонструвати вищу точність, ніж кореляційний підхід. Використання ШНМ є надійним для значень співвідношення сигнал-шум (ССШ) рівних або більших 10 дБ, тоді як метод взаємної кореляції показує надійні результати при ССШ рівних або більших 20 дБ. Навіть при нульовому відношенні сигнал-шум ШНМ забезпечує вірне розпізнавання кутів після статистичного усереднення результатів класифікації. Крім того, в числовому моделюванні час розрахунку

ШНМ виявляється на три порядки меншим, ніж необхідний для розрахунку функції взаємної кореляції.

- Вперше визначено, що за наявності білого шуму різного рівня обидва підходи – застосування штучних нейронних мереж (ШНМ) та метод взаємної кореляції не мають значних відмінностей в кінцевих результатах розпізнавання позицій об'єкта. Варто відзначити, що метод взаємної кореляції не вимагає синхронізації часу між випромінювачем та приймачем, на відміну від ШНМ. Однак, враховуючи значний час розрахунку методу взаємної кореляції, можливе поліпшення якості класифікації розташування об'єкта за умови комбінації обох цих підходів.

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

Висновки та наукові положення, викладені в дисертаційній роботі, є достовірними та належним чином обґрунтованими. Перелік публікацій, що додається до дисертації, а також список статей і тез автора достатньо повно охоплюють тему дослідження. Результати, отримані в ході числових розрахунків підтверджуються низкою експериментальних досліджень.

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

Основні наукові результати та висновки роботи оприлюднені та обговорені на багатьох міжнародних конференціях, основні з яких:

- 10th International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT-2015), Kharkiv, Ukraine, 2015, April 21-24;
- 9th International Kharkiv Symposium On Physics And Engineering Of Microwaves, Millimeter And Submillimeter Waves (MSMW–2016), Kharkiv, Ukraine, 2016, June 21-24;
- 16th IEEE International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET–2016), Lviv, Ukraine, 2016, July 5-7;



- 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS–2016), Odessa, Ukraine, 2016, September 5-11;
- 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kyiv, Ukraine, 2017, May 29-June 2;
- IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF-2017), Lviv, Ukraine, 2017, October 17-20;
- IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP-2018), Lviv, Ukraine, 2018, August 21-25;
- 9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS–2018), Odessa, Ukraine, 2018, September 4-7;
- Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI–2019), Zaliznyi Port, Ukraine, 2019, May 21-25;
- 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET – 2020), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, February 25-29;
- Міжнародний науково-практичний семінар «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування», Запоріжжя-Кропивницький, Україна, 2020, Травень 15-16;
- 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week Kharkiv, Ukraine, September 21-25;
- 2021 IEEE 26th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED), 08-10 September 2021.

За результатами дисертаційного дослідження було опубліковано 7 статей у наукових фахових виданнях України, 4 наукові праці у фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, а також 17 наукових праць у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

## **7. Практичне значення одержаних результатів.**

- Отримані покращені вирази для розрахунку компонент електромагнітного поля нестационарного диполя Герца дадуть змогу краще

оцінювати амплітуду та розподіл електромагнітного поля поблизу потужних імпульсних випромінювачів.

- Розроблено методику визначення комплексної діелектричної проникності в широкому діапазоні частот з високою точністю.
- Продемонстровано в дисертаційній роботі компактний надширокосмуговий випромінювач, який можна використовувати в задачах неруйнівного контролю, моніторингу навколишнього середовища, біології, медицині, авіоніці тощо.
- Практична значущість запропонованого методу розпізнавання з використанням штучних нейронних мереж ґрунтується на використанні реалістичного джерела полів з обмеженою енергією, розташованого на невеликій висоті над поверхнею ґрунту, для аналізу складного об'єкта, такого як реальна протипіхотна міна. Застосування прямого навчання, у часовому просторі, штучної нейронної мережі для розпізнавання мін на основі даних експериментальних радарограм, отриманих в умовах, близьких до реальних, додає значну практичну цінність.
- Запропонована система позиціонування на імпульсних хвилях є практично цікавою завдяки відсутності вимог до часової синхронізації між передавачами і приймачами, а також високій стійкості до завад у порівнянні з традиційними вузькосмуговими системами, чутливими до засобів приглушення.

## **8. Дотримання академічної доброчесності.**

Перевірка на антиплагіат показала перевищення двох коефіцієнтів подібності. Проте детальна перевірка показала, що запозичення, виявлені антиплагіатною системою в роботі, є правомірними, бо в тексті наявні відповідні посилання на джерела і ці джерела є роботами самого автора дисертації. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

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

- В підрозділах, де згадується про те, що розрахунки були виконані за допомогою методу FDTD не вказується, яким саме програмним пакетом користувався автор.
- В підрозділах 3.2.1 та 3.2.2 де мова йде про точне визначення комплексної діелектричної постійної не описано, як саме забезпечується точність числових розрахунків.
- В підрозділі 2.1.3, де продемонстровано порівняння аналітичних результатів, покращених аналітичних результатів та прямого числового розрахунку, на етапі прямого числового розрахунку, де числовими методами розраховується інтеграл, не вказується, як саме забезпечується точність розрахунку і яким методом цей інтеграл був розрахований.
- Хоч в аналітичному огляді згадується інші числові методи, які використовуються в задачах підповерхневого зондування, в роботі проводиться порівняння підходу зі штучними нейронними мережами лише з методом кореляції.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку результатів дисертаційної роботи та обґрунтованість наведених здобувачем висновків.

## **10. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.**

Вважаю, що робота Плахтія Вадима Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами» є завершеною роботою. Вона відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» 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, Плахтій Вадим Анатолійович є кваліфікованим спеціалістом, який заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний рецензент,  
доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
в.о. завідувача, професор кафедри  
фізичної і біомедичної електроніки  
та комплексних інформаційних технологій  
факультету радіофізики, біомедичної  
електроніки та комп'ютерних систем  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна

Сергій БЕРДНИК

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 23:56:48 07.02.2024

Назва файлу з підписом: Рецензія\_Бердник.pdf.asice

Розмір файлу з підписом: 175.8 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Рецензія\_Бердник.pdf

Розмір файлу без підпису: 186.1 КБ

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

Підписувач: Бердник Сергій Леонідович

П.І.Б.: Бердник Сергій Леонідович

Країна: Україна

РНОКПП: 2857616877

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 23:56:45 07.02.2024

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 3ED5083160DBC59B0400000027B07B0075BDE800

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

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

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAdES-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 ШУЛЬЗІ  
майдан Свободи 4, м. Харків,  
61022

### Рецензія

офіційного рецензента, доцента кафедри теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, кандидата фізико-математичних наук, доцента Легенького Максима Миколайовича на дисертаційну роботу Плахтія Вадима Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

#### 1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Останнім часом нестаціонарні електромагнітні сигнали все більше й більше використовуються в різних галузях науки та техніки. В першу чергу це зумовлено стрімким розвитком цифрової техніки та засобів зв'язку, де неможливо досягнути високої швидкості передачі інформації без використання надширокосмугових сигналів. Однак при використанні таких сигналів існує також велика кількість теоретичних та прикладних задач, що потребують вирішення. Однією із таких фундаментальних задач є дослідження зміна часової форми нестаціонарних сигналів в ближній зоні підчас їх випромінювання та підчас взаємодії із середовищем.

Вищезгадані задачі виникають при розробці систем для дистанційного керування різним радіоелектронним обладнанням, а також їх розв'язання є дуже важливим для створення та модифікації сучасних та ефективних систем дистанційного зондування. Останнє, зокрема, є вкрай важливою для сучасної України задачею у зв'язку із тим, що значна територія країни є замінованою. Дану дисертаційну роботу якраз присвячено дослідженню просторових та часових перетворень нестаціонарних електромагнітних полів у вільному просторі та в середовищі, а також отриманню інформації з імпульсного поля після його взаємодії з прихованими об'єктами. Тому можна зробити висновок про актуальність та важливість задачі, що розв'язується, як для сучасної науки, так і для застосування її результатів до вирішення важливих прикладних завдань.

На мій погляд слід також згадати про ще один аспект, що свідчить про актуальність та важливість й методів, які застосовано до розв'язання описаної наукової задачі. У сучасному швидкоплинному світі все більшого поширення

зазнає використання методів штучного інтелекту до вирішення різноманітних задач. В даному дисертаційному дослідженні зроблено успішну спробу застосувати нейронні мережі до розв'язання важливої сучасної науково-технічної проблеми – задачі про виявлення корисної інформації про розсіювач (чи випромінювач) на основі аналізу часової форми електромагнітного сигналу. Таким чином, дисертаційна робота є також актуальною і важливою з точки зору використання новітніх актуальних методів до розв'язання важливого завдання.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, підсумків, списку використаних джерел та додатку зі списком публікацій здобувача за темою дисертації. Загальний обсяг роботи складає 221 сторінку друкованого тексту: 160 сторінок основного тексту, 139 рисунків, 4 таблиць та списку використаних джерел із 185 найменувань.

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження, окреслено мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет дослідження та використані методи досліджень, описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, висвітлено особистий внесок здобувача, надано інформацію про апробацію результатів роботи, а також про зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

В першому розділі надано аналітичний огляд щодо дослідження просторових та часових перетворень нестационарних електромагнітних полів у вільному просторі та в середовищі, а також про отримання інформації з імпульсного поля після його взаємодії з прихованими об'єктами, проаналізовано відомі методи розв'язання зазначених задач.

Другий розділ присвячено дослідженню нестационарного випромінювання найпростішої моделі реального випромінювача – диполя Герца скінченної товщини. Зроблено спробу розкрити сутність ключових фізичних процесів, що протікають в усіх антенах та у їх околі, а також особливості процесу формування електромагнітної хвилі. Досліджено нестационарний режим збудження диполя Герца, що виявляє низку особливостей поведінки електромагнітного поля навколо нього завдяки жорсткій підпорядкованості процесів принципу причинності на відміну від класичного підходу із використанням гармонічної залежності струму.

В третьому розділі розглянуто задачу про проходження нестационарних хвиль, створених апертурними випромінювачами, через границю розділу двох середовищ в часовій області.

Також досліджено деякі властивості окремих важливих складових цієї комплексної задачі а саме, особливості створення ефективного апертурного випромінювача та методи визначення діелектричної проникності та різноманітних середовищ (ґрунтів, тощо).

В четвертому розділі штучні нейронні мережі застосовано для прямого, в часовому просторі, розпізнавання прийнятих надширокосмугових сигналів (із шумом та без нього), а також даних експериментальних радарограм, знятих в умовах, близьких до реальних, із метою визначення положення приймача

відносно стаціонарних випромінювачів, збуджених імпульсними струмами, та типу і положення прихованого під поверхнею ґрунту об'єкту.

Підсумки за результатами виконання дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність за результатами проведених досліджень. Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень провідних фахівців в цій галузі.

Дисертація є завершеною науковою працею, використано загальноприйняті та зрозумілі позначення фізичних величин, основні наукові положення роботи сформульовано повно та зрозуміло. Оформлення роботи відповідає “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) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 №40 “Про затвердження вимог до оформлення дисертації”.

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

В дисертації наведено результати досліджень, в яких брав участь автор протягом 2014–2022 рр. відповідно до науково-дослідних робіт кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Основними з них є наступні:

- ◆ Моделювання та дослідження відкритих нелінійних нанорозмірних електродинамічних систем із нестаціонарним і гармонічним збудженням для перетворення полів та створення елементів спінтроніки. (2014-2017 рр.), номер держреєстрації 0114U002585 (виконавець напряму).
- ◆ Імпульсні та синусоїдальні поля у нелінійних і шаруватих електродинамічних структурах та наносистемах як перетворювачах полів і моделей елементів спінтроніки (2017-2019 рр.), номер державної реєстрації: 0117U004851 (виконавець).
- ◆ Електромагнітні поля імпульсних джерел та наноосциляторів в однорідних, шаруватих та нелінійних середовищах (2020-2022 рр.), номер держреєстрації 0120U102309 (відповідальний виконавець).

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

Достовірність та обґрунтованість отриманих в дисертації результатів забезпечується:

- використанням добре відомих, обґрунтованих та апробованих методів таких, як метод скінченних різниць у часовій області (FDTD), метод еволюційних рівнянь, метод функції Рімана, метод часткових областей;
- порівнянням отриманих результатів із раніше отриманими результатами інших авторів та із результатами розрахунків за допомогою інших методів;
- апробацією результатів на 13 міжнародних фахових конференціях;



- використанням результатів у науково-дослідних роботах кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Наукові результати автора апробовано на 13 міжнародних фахових конференціях та відображено в публікаціях у фахових та міжнародних виданнях. За результатами роботи опубліковано 28 наукових праць, серед яких: 4 публікації у міжнародних виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science; 7 публікацій у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 17 праць – у матеріалах і тезах фахових міжнародних конференцій. Додатково наукові результати дисертації відображено ще у 11 наукових працях, серед яких: 1 публікація у міжнародному виданні, що входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science; 4 публікації у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 6 праць – у матеріалах і тезах фахових міжнародних конференцій.

Дисертантом отримано наступні наукові результати:

- Вперше запропоновано новий підхід до визначення границі дальньої зони при випромінюванні імпульсного сигналу на основі критерія Хармута та визначення відношення хвильової енергії до повної.
- Вперше продемонстровано можливість покращення формування хвилі у ближній зоні комбінованого випромінювача, що складається із випромінювачів електричного та магнітного типу.
- Вперше шляхом зшивання компонент поля у часовій області отримано аналітичні вирази для відбитого поля і поля, що пройшло в середовище, при падінні імпульсної хвилі, створеної апертурним випромінювачем, на границю діелектричного напівпростору. Продемонстровано можливість формування «електромагнітного снаряду» при цьому.
- Запропоновано нову методику розрахунку похибки визначення комплексної діелектричної проникності середовища завдяки порівнянню результатів розрахунку та вимірювань.
- Вперше підтверджено ефективність застосування штучних нейронних мереж до розв'язання задач аналізу часової форми випроміненого та розсіяного сигналу задля отримання інформації про положення випромінювача та розсіювача, про класифікацію розсіювача, тощо.

6. Практичне значення одержаних результатів.

Одержані в дисертаційній роботі вирази для полів у ближній зоні нестационарних випромінювачів мають практичну цінність для радарних систем та систем неруйнівного контролю, коли досліджувані об'єкти знаходяться в ближній зоні.

Розроблено корисні для практичних застосувань методики визначення діелектричної проникності середовища із високою точністю. Досліджено корисні для застосування у бездротових локальних мережах, задачах

неруйнівного контролю, моніторингу навколишнього середовища, біології та медицині випромінювачі, що забезпечують розвиток методів виявлення локальних неоднорідностей в об'єктах, розташованих у вільному просторі. Практична цінність роботи полягає у використанні штучних нейронних мереж для виявлення та розпізнавання різних об'єктів у ґрунті, зокрема протипіхотних мін, та у системі позиціонування на імпульсних хвилях через відсутність вимог щодо часової синхронізації передавачів і приймачів та завадостійкість по відношенню до традиційних вузькосмугових систем.

#### 7. Дотримання академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації результатів роботи відсутні.

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

Незважаючи на загальне позитивне враження від роботи, вважаю за необхідне згадати про деякі важливі аспекти, які або не відображено в тексті дисертаційної роботи, або яким не приділено достатньо уваги.

- ◆ Використання для дослідження дипольної антени в розділі 2 залежності вигляду (2.13) є нефізичним і може призвести до приховання реальних фізичних ефектів, що мають місце при випромінюванні електромагнітних сигналів. Зокрема, використання такої залежності для струму позначає, що протягом нескінченного часу (від мінус нескінченності до околу нуля) в антені протікав струм. Використання такої моделі спричиняє нефізичне накопичення заряду в антені і створені цим зарядом статичні поля накладаються на поля випромінювання.
- ◆ Цікавою є спроба визначення границі дальньої зони на основі критерія Хармута та визначення відношення хвильової енергії до повної. Однак, такі дослідження доречно було б провести для різних часових форм збуджуючого сигналу із різним спектром. При цьому можливо вдалося б отримати якісь інженерні формули, що пов'язують параметри випромінюючого сигналу із границями різних зон випромінювання.
- ◆ Проголошено можливість суттєвого покращення формування хвилі у ближній зоні випромінювача електричного типу при розташуванні в ній випромінювача магнітного типу. Але зазначений ефект продемонстровано лише на одному прикладі надширокосмугового вібраторно-щілинного випромінювача і не досліджено докладно для різних умов та типів випромінювачів.
- ◆ В роботі проголошується можливість застосування отриманих результатів у рейкотронних системах, але відсутні подробиці з цього приводу. Це, на мій погляд, потребує докладнішого розкриття.
- ◆ В параграфі 3.1 для розв'язання задачі про дифракцію нестационарного поля апертурної антени на границі двох ідеальних середовищ використано метод модового базиса, але не наведено обґрунтування методу, не надано роз'яснень, щодо того, як саме його застосовано, і

навіть не вказано його назву (вона згадується лише в аналітичному огляді). При цьому в роботі відсутні посилання на результати щодо дифракції імпульсних сигналів на різних перешкодах (здебільшого в хвилеводах) отримані за допомогою того ж методу для дуже схожих умов Бутримом О.Ю. та його учнями.

- ◆ Проголошено, що вперше спостерігається явище електромагнітного снаряду в підстильному середовищі, опроміненому імпульсною хвилею, але не досліджено детально зазначений ефект.
- ◆ При описі застосування нейронних мереж часто відсутня докладна інформація про те, як саме сигнал надходив на вхід нейронної мережі, не вказано з яким часовим кроком та який саме часовий інтервал сигналу було дискретизовано. Зазначені відомості, у відповідності до теореми Віттекера — Найквіста — Котельникова — Шеннона, є необхідними для визначення смуги спектру, в якій зазначений сигнал може бути таким чином коректно представлено.
- ◆ Застосування в якості вхідних даних для нейронної мережі дискретів часової залежності сигналу безумовно виглядає найлогічнішим підходом до аналізу фізичної інформації, яку закладено до цього сигналу. Але доречно, на мій погляд, спробувати замість дискретів сигналу використовувати його розкладання по якійсь системі функцій (по базису) і надавати на вхід до нейронної мережі амплітуди такого розкладання. Вказаний підхід може привести до зменшення обсягу необхідної для коректного представлення сигналу інформації і, як наслідок до спрощення структури нейронної мережі та підвищення її ефективності.
- ◆ У висновках до розділу 2 вказано “Перевірка впливу апроксимаційних моделей опису криволінійного струму засвідчила, що модель одиночного електричного диполя Герца може бути застосована як розв’язок цієї задачі, якщо відстань спостереження перевищує 4 м.” Проте у висновках відсутній опис параметрів досліджуваної моделі, для яких було отримано зазначені результати.
- ◆ В роботі зустрічаються граматичні, лексичні та мовленнєві помилки. Зокрема, не узгоджено друге речення на сторінці 6, друге речення в другому абзаці на сторінці 26, третє речення на сторінці 65, перше речення в другому абзаці на сторінці 158, відсутні дужки в формулі (2.1) на 45 сторінці та у формулі (2.8) на 47 сторінці, допущено друкарську помилку в слові «тренування» на сторінці 13 та у слові «складові» на сторінці 55, назву університету слід писати як «Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна», метод FDTD, на мій погляд, коректніше називати українською мовою методом скінченних різниць у часовій області, не зовсім вірно лексично сформульовано перше та останнє речення на сторінці 69, на сторінці 86 формули надруковано на тексті.

## 9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Плахтія Вадима Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об’єктів

штучними нейронними мережами», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» є актуальною завершеною науковою працею в галузі прикладної фізики, зокрема радіофізики, яку виконано на високому науковому рівні із дотриманням всіх вимог та норм, що висуваються до подібних робіт.

В роботі розв'язано важливу як для фундаментальної, так і для прикладної науки задачу про дослідження зміни часової форми нестационарних сигналів в ближній зоні підчас їх випромінювання та підчас взаємодії із середовищем. Вважаю, що здобувач Плахтій Вадим Анатолійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії із галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

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

Максим ЛЕГЕНЬКИЙ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 12:38:19 08.02.2024

Назва файлу з підписом: рецензія\_Плахтій.pdf.p7s

Розмір файлу з підписом: 60.6 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: рецензія\_Плахтій.pdf

Розмір файлу без підпису: 42.5 КБ

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

Підписувач: Легенький Максим Миколайович

П.І.Б.: Легенький Максим Миколайович

Країна: Україна

РНОКПП: 3136904799

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 12:38:16 08.02.2024

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 382367105294AF97040000007CC45200305BEF01

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

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

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

## ВІДГУК

офіційного опонента, Чурюмова Геннадія Івановича, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.04 – фізична електроніка), професора кафедри НВЧ техніки Харбінського технологічного університету (м. Харбін, КНР), на дисертаційну роботу Плахтія Вадима Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

### Актуальність теми дисертації

Використання надширокосмугових (НШС) сигналів в різноманітних радіосистемах викликає активний інтерес в останні десятиліття. Необхідно відмітити, що під НШС сигналами розуміються сигнали з шириною спектра  $\Delta f = f_v - f_n$ , яка визначається як різниця верхньої  $f_v$  і нижньої  $f_n$  частот спектра, порівнянної з його середньою частотою  $F_0 = (f_v + f_n)/2$  так, що показник широкосмуговості  $\mu_0 = \Delta f / F_0 \geq 0,25$ . Однією з різновидів НШС сигналів є короткоімпульсні сигнали, що відрізняються короткою в часі формою без явного заповнення синусоїдальним коливанням. Використання

короткоімпульсних НШС сигналів з тривалістю близько 0,1...10 нс., що володіють широкою смугою спектру, значною проникаючою здатністю і скритністю, дозволяє отримати високі значення показників якості. Вагомий внесок у цій галузі внесли як вітчизняні вчені - Ширман Я.Д., Сухаревський О.В., Третяков О.О., Колчигін М.М., Сіренко Ю.К. та ін., так і зарубіжні – Тейлор Дж. Д., Хармут Х.Ф., Вон Намгуг, Астанін Л. Ю., Імморєєв І. Я. та ін. Використання короткоімпульсних СШП сигналів дозволяє підвищити один з основних показників якості – швидкість передачі інформації за рахунок великої ширини спектра. Крім того, застосування таких сигналів забезпечує високу скритність через мале значення питомої спектральної щільності потужності, що ускладнює обнаруження таких сигналів. З іншого боку, в порівнянні з вузькосмуговими сигналами вплив природних або штучно створених перешкод призводить до менших втрат при обробці, тому що в цьому випадку частина спектра короткоімпульсного НШС сигналу, уражена перешкодою, має менше відносне значення.

Дана дисертаційна робота В.А. Плахтія «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами» присвячена підповерхневому зондуванню за допомогою НШС сигналів (електромагнітних полів) для виявлення вибухонебезпечних предметів, а особливо тих, які майже не містять в собі металевих деталей. Особливістю роботи є застосування штучної нейронної мережі для обробки отриманої інформації про об'єкт за допомогою НШС сигналів в широкому діапазоні частот. Таким чином, використання НШС сигналів для вирішення розпізнавання підповерхневих об'єктів є актуальною та важливою.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення**

Дисертація складається з україномовної та англomовної анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку.

Загальний обсяг роботи складає 223 сторінки друкованого тексту: 160 сторінок основного тексту, 139 рисунків, 4 таблиць, списку використаних джерел із 185 найменувань.

У **вступі** наведене обґрунтування вибору теми наукового дослідження, визначено мету та поставлені основні задачі, об'єкт і предмет дисертаційного дослідження, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, перелік наукових публікацій здобувача, де вказаний особистий його внесок в кожній роботі, дані щодо апробації матеріалів дисертації та зв'язок роботи з науковими темами.

У **першому розділі** дисертації проаналізовані основні проблеми розрахунку моделей випромінювання та поширення НШС сигналів, і були наведені приклади таких реальних джерел. Було розглянуто використання НШС сигналів в задачах підповерхневого зондування. Наведені основні методи, які використовуються для відтворення профілю прихованих під шаром землі розсіювачів. Був описаний метод малих збурень в циліндричних та прямокутних резонаторах, який використовується для точного визначення матеріальних параметрів досліджуваних зразків.

У **другому розділі** дисертації було детально розглянуто питання покращення існуючих аналітичних розв'язків для задачі випромінювання моделі нестационарного джерела – електричного диполя Герца, а особливо, як досягти кращої точності амплітуд компонент електромагнітного поля в ближній зоні випромінювача. Також був представлений новий тип НШС випромінювача, а саме, комбінований вібраторно-щілинний випромінювач Клевіна, який після оптимізації отримав низьке значення КСХН в широкому діапазоні частот.

У **третьому розділі** розглянуто деякі додаткові аспекти використання НШС електромагнітних хвиль в задачах підповерхневого зондування, а саме аналітичне представлення опромінення поверхні ґрунту імпульсним випромінювачем за допомогою методу еволюційних рівнянь та метод визначення матеріальних параметрів зразків речовин в НВЧ діапазоні.



У **четвертому розділі** розглянуто два яскравих приклади застосування штучних нейронних мереж для класифікації імпульсних сигналів, а саме, для задачі позиціонування через визначення кутів, під якими знаходиться приймач відносно двох джерел НШС хвиль та задачі виявлення та класифікації прихованих вибухонебезпечних предметів, таких як протипіхотні міни.

У **висновках** сформульовані основні результати роботи та їх наукова новизна.

**Список використаних джерел** містить відповідні посилання на літературні та власні публікації за темою дисертації.

В цілому, дисертація є завершеною роботою, її оформлення відповідає вимогам «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 №44), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

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

1. Вперше було запропоновано покращити формування у ближній зоні імпульсного випромінювача магнітного типу, розташувавши в ній випромінювач електричного типу в пасивному режимі. Як результат вдалось отримати комбінований НШС аналог випромінювача Клевіна.
2. Було проведене порівняння роботи штучної нейронної мережі та методу кореляції в задачі класифікації сигналів за їх часовими формами. Показано, що штучна нейронна мережа забезпечує краще розпізнавання сигналів при більших потужностях сторонньої завади у порівнянні з методом кореляції.
3. Вперше продемонстровано використання шару SoftMax для отримання більшого контрасту результатів класифікації в задачах підповерхневого

зондування. Також показано, як можна покращити роботу штучної нейронної мережі за допомогою методу Dropout.

4. Вперше продемонстровано, що при тестуванні систем розпізнавання сигналів додаванням стороннього білого шуму різного рівня потужності, не можна однозначно сказати, який з методів кращий, метод кореляції чи штучних нейронних мереж. Кожен має свої переваги та недоліки, тому пропонується їх спільне використання.

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

Положення та висновки, які були сформульовані в дисертаційній роботі, чітко встановлені та добре обґрунтовані. Достовірність отриманих дисертантом наукових результатів підтверджується проведеними ним особисто експериментами. Також ці наукові результати були представлені в міжнародних фахових журналах та на міжнародних конференціях.

### **Практичне значення результатів дисертаційного дослідження**

У кваліфікаційній роботі всебічно розглянута задача використання НШС електромагнітних хвиль (сигналів) разом із штучними нейронними мережами. А саме, представлені аналітичні та числові методи розрахунку компонент електромагнітного поля, джерелами яких є імпульсні випромінювачі. Продемонстрований метод, який може забезпечити точне вимірювання матеріальних параметрів зразків речовин в широкому діапазоні частот. Показано, як за допомогою штучних нейронних мереж можна на практиці виявляти та класифікувати приховані в ґрунті об'єкти.

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

1. До недоліків роботи слід віднести нерівномірний розподіл досліджень за обсягом. Так, наприклад, огляд літературних джерел займає 10 сторінок (Розділ 1), розділ 2 – 20 сторінок, розділ 3 – 40 сторінок і розділ 4 – 75 сторінок. У першому розділі автор обмежився, в основному, посиланнями на міжнародні конференції, в той же час значна частина досліджень, отриманих і відомих з періодичної літератури як вітчизняної, так і зарубіжної, не знайшла відображення в огляді.
2. У третьому розділі автор отримав аналітичні вирази для падаючої (вираз 3.8), відбитої і заломленої (вирази 3.31) хвиль. Однак відсутня перевірка даних виразів на випадок виконання закону збереження енергії в системі без втрат або з їх урахуванням.
3. Незрозуміло, що мав на увазі автор, говорячи на сторінці 64 про короткі імпульсні сигнали без вказівки їх тривалості.
4. Невдале, на мій погляд, форматування матеріалу дисертації, коли малюнки не поміщаються на сторінці і переносяться. Це стосується рис. 2.32, 3.23, 4.15, 4.39 на сторінках 65, 99, 123, 149, відповідно.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку результатів дисертаційної роботи та обґрунтованість наведених здобувачем висновків.

## **Загальний висновок**

Вважаю, що дисертація Плахтія Вадима Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами», – це повністю сформована наукова праця, яка 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., її автор, Плахтій Вадим Анатолійович – фахівець, здатний здійснювати детальне та всебічне наукове дослідження поставленої задачі, а тому заслуговує присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Професор кафедри НВЧ техніки  
Харбінського технологічного  
Університету  
Доктор фізико-математичних наук,  
професор

Геннадій ЧУРЮМОВ

# ЧУРЮМОВ ГЕННАДІЙ ІВАНОВИЧ

Результат перевірки підпису	Підпис вірний
П.І.Б.	ЧУРЮМОВ ГЕННАДІЙ ІВАНОВИЧ
РНОКПП	1903501218
Організація (установа)	ФІЗИЧНА ОСОБА
Код ЄДРПОУ	
Посада	
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для даних від Надавача)	23:16:09 13.02.2024
Сертифікат виданий	КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер	5E984D526F82F38F0400000044ED4A01F99BD604
Тип носія особистого ключа	Захищений
Алгоритм підпису	dstu4145
Тип підпису	Кваліфікований
Формат підпису	CAAdES-T
Сертифікат	Кваліфікований

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

## **ВІДГУК**

офіційного опонента, Фесенка Володимира Івановича, доктора фізико-математичних наук, провідного наукового співробітника відділу електронних НВЧ приладів Радіоастрономічного інституту НАН України, на дисертаційну роботу Плахтія Вадима Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

### **Актуальність теми дисертації**

Використання надширокосмугових електромагнітних полів у різних галузях сучасного життя є *актуальним*, в першу чергу через більшу кількість інформації, яку можна отримати в результаті їх застосування у порівнянні з вузькосмуговими системами. Стосовно обраної в дисертаційній роботі теми, а саме підповерхневого зондування надширокосмуговими електромагнітними полями, слід зазначити, що для розробки високоефективних практичних пристроїв, існує нагальна потреба в проведенні низки додаткових теоретичних та експериментальних досліджень. Це, зокрема, стосується розробки ефективних випромінювачів для конкретних практичних застосувань, забезпечення умов їх функціонування, наприклад, врахування ефектів ближньої зони, перетворення полів на межі розділу двох середовищ, попередня

оцінка матеріальних параметрів середовища з необхідною точністю для розуміння швидкості поширення хвилі, застосування нових методів обробки отриманих сигналів для ідентифікації прихованих об'єктів. В результаті, маємо справу з доволі складною задачею, яка потребує комплексного підходу для свого розв'язку.

Тематика дисертації Плахтія В.А. є *актуальною* як в теоретичному, так і в прикладному плані. Результати даного дослідження можуть бути використані в різноманітних задачах виявлення прихованих об'єктів, а в ситуації, в якій опинилась наша держава – в задачах гуманітарного розмінування. А саме в побудові високоінтелектуальних систем, які зможуть в складних умовах виявляти вибухонебезпечні предмети.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення**

В цілому, дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку. Загальний обсяг роботи складає 223 сторінки друкованого тексту. Текстовий матеріал доповнюють 139 рисунків та 4 таблиці. Дисертаційна робота викладена державною мовою із дотриманням норм академічного письма та наукового стилю.

У *вступі* обґрунтовано вибір теми дослідження, сформульовані мета і основні задачі, об'єкт і предмет дисертаційного дослідження, зазначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, перелік наукових публікацій здобувача з особистим внеском, відомості щодо апробації матеріалів дисертації на міжнародних конференціях та наведений перелік наукових тем, в рамках яких проводились ці дослідження.

У *першому розділі* дисертації розглянуто фізичні процеси, в яких присутні надширокосмугові електромагнітні поля, методи, які дають змогу описувати формування таких електромагнітних полів. Проаналізовано наявні приклади застосування надширокосмугових електромагнітних полів в задачах позиціонування та підповерхневого зондування. Розглянуто підходи, які застосовуються для оцінки матеріальних параметрів середовища.

У *другому розділі* дисертації продемонстровано підхід, який дає змогу розрахувати часові залежності електромагнітного поля, джерелом яких є нестационарні випромінювачі. А саме, було розглянуто випромінювання елементарного диполя Герца та надширокосмугового аналога комбінованого випромінювача Клевіна.

*Третій розділ* присвячено дослідженню особливостей поширення нестационарного електромагнітного поля в середовищі з використанням еволюційного підходу, завдяки чому було отримано аналітичні вирази для відбитого поля та поля, що пройшло в середовище. Також продемонстровано метод, який дає змогу в широкому діапазоні частот визначати матеріальні параметри зразків.

У *четвертому розділі* продемонстровано використання надширокосмугових випромінювачів в синергії з штучними нейронними мережами в задачах позиціонування та виявлення прихованих об'єктів у товщі ґрунту.

У *висновках* наведено основні результати роботи та висвітлена їх наукова новизна.

В цілому, дисертація є завершеною роботою, її оформлення відповідає вимогам «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 №44), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

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

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає у наступному:

1. Вперше показано, що актуальним значенням ближньої межі дальньої зони є те, що спостерігається в момент проходження частини імпульсу, яка має



найбільше інформаційне навантаження, найбільшу швидкість зміни в точці прийому.

2. Вперше вдалося значно покращити формування хвилі у ближній зоні електричного імпульсного випромінювача, додаючи до нього випромінювач магнітного типу. Цей комбінований випромінювач має перевагу над широкосмуговим аналогом антени Клевіна: він ефективно формує імпульсну хвилю в обмеженому просторі, при цьому маючи невеликі післяімпульсні коливання і не потребуючи додаткових штучних омичних втрат. Що є актуальним для різних задач, таких як передача інформації, зондування та побудова компактних антенних решіток.

3. Вперше вдалося отримати в першому наближенні аналітичні вирази для нестационарних полів, відбитих від межі розподілу двох середовищ, та тих, що пройшли, з можливістю формування «електромагнітного снаряду» в середовищі, яке було опромінене.

4. Запропонована нова методика визначення похибки виміру комплексної діелектричної проникності досліджуваних діелектричних зразків.

5. Вперше наведені результати порівняння метода штучних нейронних мереж та методу кореляції в задачі визначення кута випромінювання надширокосмугового випромінювача, де нейронна мережа показала кращі результати, а саме швидкість розрахунку та стійку роботу в умовах сильної сторонньої завади у порівнянні з кореляційним методом.

6. Вперше показана ефективність застосування шарів SoftMax та Dropout в глибоких нейронних мережах для задач підповерхневого зондування.

7. Вперше було визначено, що тестування білим шумом системи позиціонування на надширокосмугових сигналах не дає чіткої відповіді, який підхід краще: штучних нейронних мереж чи кореляції. Пропонується в подальшому використовувати їх разом, використавши переваги обох методів.

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

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

- коректністю викладок, використанням відомих методів теоретичної та обчислювальної електродинаміки, відповідністю отриманих результатів сучасним фізичним уявленням;

- проведенням експериментальних досліджень;

- збігом результатів отриманих в ході виконання дисертаційної роботи з результатами інших авторів;

Всі наведені результати апробовані на міжнародних конференціях та опубліковані в відомих спеціалізованих періодичних виданнях.

### **Практична значення результатів дисертаційного дослідження**

В дисертаційній роботі була успішно вирішена задача використання надширокосмугових електромагнітних полів та штучних нейронних мереж для виявлення та класифікації прихованих об'єктів в товщі ґрунту. Розроблено методи розрахунку нестационарних електромагнітних полів як у вільному просторі, так і в ґрунті. Запропоновано новий ефективний компактний надширокосмуговий випромінювач. Розроблено новий метод визначення матеріальних параметрів досліджуваних зразків в широкому діапазоні частот. На практиці, продемонстровано ефективність підходу зі штучними нейронними мережами на прикладі використання імпульсного надширокосмугового георадару типу 1Tx+4Rx для виявлення та класифікації прихованих об'єктів.

Результати дисертаційного дослідження можуть бути використані при розробці ефективних автоматизованих систем із застосуванням штучних нейронних мереж та імпульсних надширокосмугових георадарів в задачах гуманітарного розмінування.

### **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.

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

1. Не згадуються умови, при яких був проведений експеримент з підповерхневим зондуванням. Зокрема, в роботі не зазначена вологість ґрунту, яка для робочого діапазону частот використаного георадару є критичним параметром.

2. Стосовно метрики оцінки роботи нейронних мереж: чому не використовувались матриці невідповідності?

3. В підрозділі 2.3 бажано більш детально описати процес оптимізації надширокосмугового випромінювача.

4. На рисунку 4.24 слід вказати орієнтацію векторів електричного та магнітного полів падаючої на середовище пласкої хвилі.

5. На сторінці 139 продемонстровано оптимізацію надширокосмугового випромінювача типу «метелик», а саме, для конкретних геометричних параметрів випромінювача було визначено значення вхідного опору, який забезпечує найкраще узгодження в цільовому діапазоні частот. Проте більш доцільно визначати геометричні параметри випромінювача для фіксованого вхідного опору збуджуючого фідеру.

6. В розділах, де були використані штучні нейронні мережі, було б бажано більш детально описати, чому саме така структура мережі виявилась найбільш ефективною, та яка оптимізація використовувалась для отримання кращого результату.

7. На рисунку 4.36 продемонстровано результати виявлення та розпізнавання прихованого об'єкту за допомогою моделі опромінювача типу «метелик» саме на тестових даних, які не були використані в тренуванні. Зміщення об'єкту від тренувальних даних в цих випадках становило 20 та 40 мм, проте, приймаючи до уваги, що дискрет по просторовій координаті становить 50 мм, це не дає в повній мірі оцінити якість отриманої моделі нейронної мережі.

8. В роботі присутні деякі орфографічні помилки та описки.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та достовірність її висновків.

### **Загальний висновок**

Вважаю, що дисертація Плахтія Вадима Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами», – це повністю завершена наукова праця, яка 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., її автор, Плахтій Вадим Анатолійович – спеціаліст, який здатний самостійно провести глибоке наукове дослідження поставленої задачі та заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в 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: 13:52:40 07.02.2024

Назва файлу з підписом: Відгук\_Фесенко.pdf.asice  
Розмір файлу з підписом: 240.0 КБ

Перевірені файли:  
Назва файлу без підпису: Відгук\_Фесенко.pdf  
Розмір файлу без підпису: 240.4 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): 14:52:39 07.02.2024  
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