

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 Прищенка Олександра Андрійовича «Використання надширококустових електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів», 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.

Імпульсні електромагнітні хвилі мають широке застосування у сучасній радіофізиці. Наприклад, для виявлення та аналізу підповерхневих предметів застосовують підхід, в основі якого лежить опромінення досліджуваного об'єкту імпульсними надширококустовими хвилями та приймання відбитих полів від опроміненої ділянки земної поверхні. Отримана зміна часової форми амплітуди хвилі несе в собі інформацію про електрофізичні властивості шару ґрунту, та про сам досліджуваний об'єкт.

Використання імпульсів наносекундної тривалості дозволяє проникнути на глибини до декількох метрів, аналізувати стан дорожнього покриття, виявляти повільні рухомі об'єкти, включаючи людей, прихованих за стінами. Також сучасні тенденції розвитку систем розмінування спрямовані на автоматизацію цього процесу, виключаючи людей для їх власної безпеки та на використання штучного інтелекту, нейронних мереж для поліпшення характеристик таких систем. Поєднання імпульсних хвиль та підходу штучного інтелекту приводить до підвищення загальної чутливості систем підповерхневого зондування.

Завдяки такому підходу з'являється можливість швидкого отримання відповіді розпізнавання через малу кількість математичних операцій, які можна виконувати паралельно в шарах штучної нейронної мережі. Можливість використання штучних нейронних мереж різних типів та структур, які краще відповідають особливостям поставлених задач, дає змогу отримувати гарні результати розпізнавання.

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, підсумків, списку використаних джерел та додатку. Обсяг загального тексту дисертації складає 224 сторінки, з них основного тексту 170 сторінок. Робота ілюстрована 1 таблицею та 96 рисунками. Список використаних джерел містить 108 найменувань. Також наявні анотації українською та англійською мовами.

Перший розділ являє собою аналітичний огляд літератури. У ньому показано, що багато електромагнітних явищ, як природних, так і штучних, проявляють нестационарність як невід'ємну складову інформаційності оточуючого світу. Тому саме нестационарні електромагнітні поля є перспективними як для приймально-передавальних пристроїв, так і радарних систем, здатних зафіксувати суттєво більший обсяг даних про досліджуваний об'єкт шляхом аналізу відбитих хвиль. Важливою напрямком цих досліджень є застосування надширококузових радарів для зондування ґрунту з метою

знаходження прихованих об'єктів, визначення їхнього типу та координат. Але досягнути цієї мети можливо шляхом використання спеціальних методів обробки інформації. Одним з таких, найбільш перспективних методів є підхід, що ґрунтується на використанні штучних нейронних мереж та штучного інтелекту. Їхньою рисою є слабка чутливість до похибок вимірювання, викривлень форми прийнятого сигналу через вплив шумів і неоднорідності середовища поширення хвилі. Але для з'ясування основних закономірностей перетворень нестационарних полів на границі середовища виникає необхідність аналітичного розв'язання у часовому просторі задачі падіння на неї нестационарної хвилі.

У **другому розділі** аналітично розв'язується нестационарна електродинамічна задача проникнення імпульсної електромагнітної хвилі із одного середовища в інше середовище без втрат. Для досягнення цієї мети з використанням граничних умов знаходяться невідомі коефіцієнти із загальних розв'язків рівнянь Клейна-Гордона, що є множниками в еволюційних коефіцієнтах. Задача поширення нестационарної імпульсної хвилі розв'язується методом еволюційних рівнянь. Загальний розв'язок рівнянь Клейна-Гордона отримується методом розділення змінних. Розв'язання неоднорідного рівняння Клейна-Гордона здійснюється методом функції Рімана. Пошук зв'язку між невідомими коефіцієнтами з розв'язаних рівнянь відбуватиметься з використанням граничних умов для тангенційних компонент полів згідно законів класичної електродинаміки.

Третій розділ присвячено застосуванню методу дискретної томографії для задач знаходження прихованих об'єктів у моделі ґрунту з використанням штучних нейронних мереж. Проводиться порівняння цього підходу з класичним методом кореляції. Було виявлено, що метод дискретної томографії забезпечує задовільні результати, часто перевершуючи метод кореляції у точності виявлення прихованих об'єктів. Завдяки цьому, подальші дослідження зосереджені саме на методі дискретної томографії. Проводиться дослідження впливу кроку сканування та часового вікна на якість розпізнавання різних об'єктів. Було встановлено, що зменшення кроку

сканування покращує точність визначення координат об'єкта, але суттєво збільшує обчислювальні витрати. Також виявлено, що оптимальний розмір часового вікна залежить від характеристик об'єктів та властивостей ґрунту. Крім цього, проведено дослідження шумостійкості запропонованого алгоритму. Зокрема, було проаналізовано роботу алгоритму при наявності шуму в прийнятих сигналах. Продемонстрована важливість поєднання методів дискретної томографії з сучасними підходами машинного навчання, що дозволяє досягти значних успіхів у розпізнаванні прихованих об'єктів у складних умовах.

У **четвертому розділі** дисертаційного дослідження реалізовано максимальне наближення модельної задачі до реальних умов, що важливо для практичного застосування результатів дисертації. У якості прихованих об'єктів виступають точні моделі протипіхотних мін, що мають у своєму складі діелектрики з різними діелектричними проникностями та металеві частини різних розмірів. Це дозволяє дослідити ефективність вибраного підходу в умовах, що наближені до реальних, коли є потреба розрізнити приховані об'єкти зі схожими параметрами. Опромінювачем виступає модель реального працюючого надширокосмугового георадару, який формує з прийнятої електромагнітної хвилі сигнали, в яких мінімізований вплив відбиття хвилі від границі повітря-ґрунт, що не несе корисної для аналізу інформації. Наведені результати розпізнавання мін у неоднорідному ґрунті, що є типовим ускладненням в роботі георадарів. Проводиться дослідження шумостійкості запропонованого підходу. Подальше покращення розпізнавання об'єктів досягнуто за допомогою сучасного підходу серед задач машинного навчання, який полягає у використанні ансамблю нейронних мереж зі структурами, які потенційно можуть дати покращення результатів класифікації.

У **підсумках** 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.

Оформлення дисертаційної роботи, її структура, обсяг, стиль і мова викладу відповідають встановленим вимогам. Наукові положення, висновки і рекомендації, викладені в роботі, є обґрунтованими. Використання науково-технічної термінології є коректним.

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:

- Імпульсні та синусоїдальні поля у нелінійних і шаруватих електродинамічних структурах та наносистемах як перетворювачах полів і моделей елементів спінтроники (2017-2019 рр.), номер державної реєстрації: 0117U004851.
- Електромагнітні поля імпульсних джерел та наноосциляторів в однорідних, шаруватих та нелінійних середовищах (2020-2022 рр.), номер держреєстрації 0120U102309.

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

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу, пов'язану із розробкою методів і алгоритмів виявлення та ідентифікації об'єктів, розташованих у ґрунті. До основних наукових результатів, отриманих автором у дисертаційній роботі, слід віднести такі результати:

1. З використанням граничних умов класичної електродинаміки вперше знайдено зв'язок між еволюційними коефіцієнтами з рівнянь Клейна-Гордона, що описують падаючу, пройдену і відбиту нестационарні хвилі у першому наближенні.

2. Вперше встановлено, що за наявності гаусового шуму у прийнятих сигналах, кінцеві результати розпізнавання позицій об'єкта штучними нейронними мережами мають перевагу перед методом взаємної кореляції при малих рівнях шуму, але при значній зашумленості ці два підходи не демонструють помітні переваги один перед одним, за виключенням того, що штучні нейронні мережі функціонують на порядки швидше, особливо за умови їхньої реалізації у вигляді спеціалізованої мікросхеми.

3. Вперше за допомогою методу дискретної томографії продемонстровано підсилення інформаційних складових, відбитих від прихованого об'єкту електромагнітних хвиль, у наближенні променевого подання цих хвиль із врахуванням їх часової форми, діелектричних параметрів ґрунту, процесів на границі повітря-ґрунт та використання декількох, розподілених над ґрунтом приймальних антен.

4. Вперше визначені оптимальні параметри системи на основі методу дискретної томографії: часове вікно, кількість приймальних антен, аугментація вхідних даних і частка попередньо оброблених вхідних сигналів, за наявності шумів високих рівнів у вхідних трактах приймачів антен.

5. Вперше було оцінено якість розпізнавання методу штучних нейронних мереж для задачі виявлення різних протипіхотних мін, таких як ПМН-1, ПМН-4 та ПФМ у неоднорідному середовищі при наявності білого шуму в прийнятих часових залежностях.

6. Вперше запропоновано новий підхід до визначення місцезнаходження прихованих об'єктів у ґрунті за допомогою колективного штучного інтелекту, що одночасно обробляє одні і ті ж часові залежності, отримані надширокосмуговим георадаром.

Викладені у дисертації наукові результати, що виносяться на захист, отримані автором особисто.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, їх достовірність.

Висновки та наукові положення, викладені в дисертаційній роботі, є достовірними та належним чином обґрунтованими. Для отримання результатів

у дисертації використані відомі, широко апробовані математичні та радіофізичні методи, числові методи сіткового типу, такі як метод скінченних різниць у часовому просторі, метод функції Рімана, метод часткових областей, метод еволюційних рівнянь. Перелік публікацій, що додається до дисертації, а також список статей і тез автора достатньо повно охоплюють тему дослідження. Достовірність основних наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується результатами комп'ютерного моделювання методом скінченних різниць у часовому просторі.

6. Апробація результатів дисертаційної роботи, публікації та повнота їх викладу.

Основні наукові результати та висновки дисертації пройшли апробацію під час міжнародних наукових конференцій та знайшли відображення в публікаціях у фахових та міжнародних наукових виданнях.

За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 3 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у фаховому виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus (Q1), 11 наукових праць у матеріалах 9 міжнародних наукових конференцій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, September 21 – 25;
2. 2020 IEEE XXVth International Seminar/Workshop Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED), Tbilisi, Georgia, 2020, September 15-18;
3. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Ukraine, 2021, August 26 – 28;
4. 2021 IEEE 26th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED), 2021, September 08-10;
5. 11th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR), Valletta, Malta, 2021, December 01-04;

6. 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2022, Lviv, Ukraine, 2022, February, 22-26;

7. 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, (UkrMW-2022), 2022, November 14-18;

8. XXXVth URSI General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS). Sapporo, Hokkaido, Japan, 2023, August 19-26;

9. 2023 IEEE 6th International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), Kyiv, Ukraine, 2023, November 13 – 18.

Додатково наукові результати дисертації відображають 16 публікацій у періодичних фахових виданнях та матеріалах наукових конференцій.

Таким чином, основні результати дисертації досить повно опубліковані, апробовані і відомі фахівцям. Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень і вимоги до кількості публікацій відповідають встановленим вимогам.

7. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Дисертаційна робота спрямована на розв'язання важливої практичної задачі, що стосується розробки методів виявлення та ідентифікації підповерхневих об'єктів, зокрема, металевих та діелектричних мін засобами радіолокації. В роботі запропоновано нові підходи та методи, що підвищують якість виділення сигналів, відбитих металевими та діелектричними підповерхневими об'єктами, покращують їх розпізнавання у ґрунті в умовах наявності шумових перешкод, зокрема, в дисертації:

- встановлений зв'язок між невідомими коефіцієнтами з рівнянь Клейна-Гордона, які описують проходження нестационарних хвиль у середовище, демонструє можливість концентрації енергії електромагнітної хвилі у ґрунті, подібно до явища “електромагнітного снаряду”, з метою збільшення енергії відбитої від прихованого об'єкту хвилі та, відповідно, покращення його розпізнавання;

- проведений аналіз розпізнавання прихованих об'єктів штучними нейронними мережами та кореляційним підходом дозволяє суттєво покращити їх виявлення за умови їхнього одночасного застосування;

- застосування методу дискретної томографії для отримання додаткового набору вхідних даних для штучної нейронної мережі за рахунок використання особливостей фізичних процесів при поширенні імпульсних хвиль у ґрунті зменшує обсяг необхідних обчислювальних ресурсів без втрати точності розпізнавання прихованих об'єктів, що є корисним для нових радарів, здатних в реальному часі виявляти приховані небезпечні об'єкти;

- проведені дослідження з використання штучних нейронних мереж для виявлення протипіхотних мін, в тому числі в неоднорідному середовищі, дозволяє створити нові унікальні системи розмінування, спроможні виявляти приховані вибухові пристрої, що практично не мають у складі металевих частин;

- запропонований новий підхід до визначення місцезнаходження прихованих об'єктів у ґрунті за допомогою колективного штучного інтелекту з даних, отриманих надширокосмуговим георадаром, дозволяє підвищити не тільки точність місця розташування об'єкту, але і якість його розпізнавання, що має практичне значення для геологічних досліджень, будівництва та військових застосувань.

8. Дотримання академічної доброчесності.

Перевірка на антиплагіат показала перевищення одного коефіцієнта 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

- У розділі 2 проведено теоретичні дослідження модельної задачі опромінення середовища нестационарним електромагнітним полем,

створеним апертурним випромінювачем із заданим струмом. При цьому апертура розміщена на границі розподілу середовищ, але кращим наближенням до реального процесу опромінення ґрунту було б розташування апертури на деякій відстані.

- У підрозділі 3.1 не наведено значення діелектричної проникності й провідності середовища та параметри імпульсного сигналу, при яких проводились дослідження.
- У дисертаційному дослідженні використовується модель ґрунту, що являє собою діелектрик зі сталим значенням відносної діелектричної проникності, яка дорівнює 9 та провідністю 0,005 См/м. Але реальні ґрунти можуть мати різні значення діелектричної проникності й провідності, тому доцільним було б дослідити вплив зміни цих параметрів на розпізнавання підповерхневих об'єктів.
- На стор. 116 та стор. 118 є некоректні посилання на Таблицю 1, якої немає в дисертації, натомість дисертація містить одну таблицю з номером 3.5, хоча правильно було б її підписати як Таблиця 3.1.
- Присутні помилки та описки у тексті: на стор 43, "...падає електромагнітну ТЕ-хвилю...", правильно буде "...падає електромагнітна ТЕ-хвиля..."; на стор. 61, "...на підповерхневому об'єкті", правильно буде "...на підповерхневому об'єкті"; на стор. 62, "Досліджується вплив крок сканування...", правильно буде "Досліджується вплив кроку сканування..."; на стор. 61, скорочення НШМ замість правильного ШНМ; на стор. 64, вказано Рис.1 замість Рис. 3.1.

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

10. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Вважаю, що дисертаційна робота Прищенка Олександра Андрійовича «Використання надширокосмугових електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів»

є завершеною роботою. Вона відповідає вимогам наказу МОН України від 12.01.2017 р. №40 (зі змінами) «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 від 12 січня 2022 р. №44 (зі змінами), а її автор, Прищенко Олександр Андрійович 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: 03:04:57 12.08.2024

Назва файлу з підписом: рецензія_Бердник-Прищенко.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 175.7 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: рецензія_Бердник-Прищенко.pdf
Розмір файлу без підпису: 185.2 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

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 03:04:56
12.08.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000F0069015DCA4F05

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: 2024.04.15 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 Прищенка Олександра Андрійовича «Використання надширокосмугових електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів», 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.

Ще з 70-их років минулого сторіччя імпульсні надширокосмугові електромагнітні сигнали знаходять все більше і більше застосувань у сучасній науці і техніці, і в радіофізиці, зокрема, це пояснюється великою швидкістю передачі інформації та великою інформаційною ємністю сигналу, якої неможливо досягти без застосування таких сигналів.

Зокрема, завдяки великій інформаційній ємності такі сигнали знаходять широке застосування при виявленні та розпізнаванні предметів, розташованих за якоюсь поверхнею (підповерхневих об'єктів). При цьому аналізується часова форма сигналу відбитого від поверхні із розташованим всередині неї об'єктом, робиться висновок про наявність або відсутність такого об'єкта та здійснюються спроба класифікації знайденого об'єкта.

Успішне вирішення зазначеної технічної проблеми вимагає попереднього розв'язання наступних наукових задач. Розв'язання задачі про вивчення ключових фізичних процесів перетворення імпульсних надширокосмугових електромагнітних полів на границях розподілу матеріальних середовищ та на прихованих об'єктах із складною структурою дозволяє створити антенні системи, що будуть здатні ефективно опромінювати об'єкт, який слід виявити,

електромагнітним полем, отримати та якомога ефективніше прийняти відбитий від об'єкту сигнал та відфільтрувати частини цього сигналу, що не містять в собі корисної інформації про досліджуваний об'єкт. Іншою задачею, яку слід розв'язати, є задача про аналіз електромагнітного поля, відбитого від підповерхневих об'єктів, за умов наявності випадкових шумових завад. Ефективне розв'язання цієї задачі дозволить швидко та надійно робити висновок про наявність або відсутність підповерхневого об'єкта (надійне виявлення) та про характеристики такого об'єкта (класифікація).

Представлену дисертаційну роботу якраз присвячено дослідженню дифракції нестационарних електромагнітних сигналів на границі розділу двох середовищ та поширенню сигналів в таких середовищах, а також аналізу відбитого від підповерхневих об'єктів поля за допомогою штучної нейронної мережі (ШНМ). При цьому досліджуються можливості побудови нейронної мережі задля якомога ефективного розпізнавання та класифікації підповерхневих об'єктів. Зокрема, досліджуються можливості розпізнавання та класифікації протипіхотних мін за допомогою надширокосмугового імпульсного радару.

Таким чином, у зв'язку із розв'язанням важливих наукових та практично значимих для сучасної України задач дисертаційна робота є актуальною і важливою для науки та має перспективи широкого практичного застосування.

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 224 сторінки друкованого тексту: 170 сторінок основного тексту, 96 рисунків, 1 таблицю та списку використаних джерел зі 108 найменувань.

У вступі обґрунтовується вибір теми дослідження, формулюється мета дослідження та окреслюється перелік завдань, які слід розв'язати для її досягнення, визначено об'єкт та предмет дослідження, наведено перелік використаних у дослідженні методів, 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, представлено структуру дисертаційної роботи.

В першому розділі надано аналітичний огляд щодо надширокосмугових сигналів, коротко представлено історію розвитку НШС технології, приділено увагу застосуванню НШС технології у георадарах, описано принцип роботи

георадару та його застосування для виявлення протипіхотних мін. Вказано, що для створення надширококустових георадарів, необхідно проводити моделювання їх роботи. При цьому зручно застосовувати аналітичний підхід, який може дати більш загальну інформацію про фізичні процеси у середовищі. Часто також для моделювання різноманітних, наближених до реальних задач застосовують числові методи, такі як метод скінченних різниць в часовій області (FDTD), в результаті такого моделювання отримується часова форма відбитого сигналу, яка містить в собі інформацію про підповерхневий об'єкт. Постає задача отримання цієї інформації із аналізу отриманої часової форми. Така задача є складною і багатовимірною, і для розв'язання подібних задач останнім часом все більше і більше застосовуються штучні нейронні мережі. Проведено огляд літератури щодо використання ШНМ до розв'язання подібних задач і окреслено ефективні методи вирішення поставлених задач.

Другий розділ присвячено дослідженню процесу проходження нестационарної електромагнітної хвилі, створеної апертурним випромінювачем із заданим струмом, через границю розподілу двох середовищ. Поставлена задача є гарним наближенням до реального процесу опромінення ґрунту надширококустовим радаром задля виявлення прихованих у ньому об'єктів. Задача розв'язується аналітично в часовій області за допомогою методу модового базису (методу еволюційних рівнянь), що надає змогу ясно і просто дослідити фізичні процеси перетворень електромагнітних хвиль та провести аналіз енергетичних характеристик нестационарних хвиль у середовищі.

У третьому розділі проводиться моделювання знаходження прихованих об'єктів у моделі ґрунту з використанням штучних нейронних мереж. Проводиться порівняння цього підходу із загальновідомим методом кореляції. Для покращення знаходження прихованих об'єктів в ґрунті за допомогою ШНМ запропоновано використовувати метод дискретної томографії. За допомогою цього методу, сигнали, що подаються на вхід ШНМ перетворюються задля виявлення найінформативніших їх частин. Виявлено, що застосування методу дискретної томографії разом із ШНМ забезпечує задовільні результати і часто перевершує результати методу кореляції при виявленні прихованих об'єктів. Досліджено вплив кроку сканування та часового вікна на ймовірність виявлення різних об'єктів. Встановлено, що зменшення кроку сканування покращує точність визначення координат об'єкта, але суттєво збільшує обчислювальні витрати. Виявлено, що оптимальний розмір часового вікна для відбитого від об'єкту сигналу залежить від характеристик об'єктів та властивостей ґрунту. Проведено дослідження шумостійкості запропонованого алгоритму для різного співвідношення сигнал/шум.

У четвертому розділі модельну задачу максимально наближено до реальних умов. Досліджується виявлення у ґрунті моделей протипіхотних мін, що складаються із діелектриків з різними проникностями та металевих частин різних розмірів. Досліджується ефективність вибраного підходу при розрізненні прихованих об'єктів зі схожими параметрами. Як опромінювач використовується модель реального надширококутового георадару, який формує із прийнятої електромагнітної хвилі сигнали, в яких мінімізовано вплив відбиття хвилі від границі повітря-ґрунт. Досліджено розпізнавання мін у неоднорідному ґрунті. Проведено дослідження шумостійкості запропонованого підходу. Продемонстровано покращення розпізнавання підповерхневих об'єктів за допомогою використання ансамблю нейронних мереж.

У підсумках дисертаційної роботи узагальнено отримані результати та підкреслено їх наукову новизну та практичну цінність.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень провідних фахівців в цій галузі.

У переліку використаних джерел надано посилання на використані в дослідженні наукові роботи, опубліковані у спеціалізованих виданнях, а також на авторські публікації, пов'язані із темою дисертації.

Дисертація є завершеною науковою працею, в якій використовуються загальноприйняті та зрозумілі позначення, повно та зрозуміло сформульовано основні наукові положення роботи. Оформлення дисертації Прищепенка О.А. 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.

У дисертації наведено результати досліджень, у яких брав участь автор протягом 2017–2022 рр. у відповідності до науково-дослідних робіт кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна:

- 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;

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

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 кореляції, тощо;
- порівнянням отриманих результатів моделювання різними методами та із результатами експериментальних досліджень;
- використанням загальноприйнятих в радіолокації математичних моделей та спрощень, які коректно відображають фізичні процеси, які спостерігаються підчас випромінювання, дифракції, прийому та обробки НШС імпульсних сигналів у підповерхневого радіолокаторах та дозволяють підвищити інформаційність отриманих результатів;
- використанням результатів у науково-дослідних роботах кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та апробацією результатів на 9 міжнародних фахових конференціях.

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

Представлені в роботі результати апробовано на 9 міжнародних фахових конференціях та відображено в публікаціях у фахових та міжнародних виданнях. Опубліковано 3 наукові праці у наукових фахових виданнях України, 1 наукова праці у фаховому виданні, що входить до міжнародних наукометричних баз SCOPUS, та 11 тез доповідей на фахових міжнародних конференціях. Також результати дисертації додатково відображено в 6 наукових працях у наукових фахових виданнях України, 1 науковій праці у фаховому виданні, що входить до міжнародних наукометричних баз SCOPUS, та у 9 тезах доповідей на фахових міжнародних конференціях.

В роботі отримано наступні нові наукові результати:

- із використанням граничних умов вперше знайдено зв'язок між еволюційними коефіцієнтами з рівнянь Клейна-Гордона, що описують падаючу

і відбиту нестационарні хвилі, а також хвилю, що пройшла, у першому наближенні для апертурного випромінювача із заданим струмом, розташованого на границі розділу двох середовищ;

- вперше встановлено, що за наявності гаусового шуму у прийнятих сигналах, результати визначення положення підповерхневого об'єкта за допомогою ШНМ мають перевагу перед методом кореляції при малих рівнях шуму, натомість, при збільшенні рівня шуму обидва підходи надають близькі результати (але, слід зазначити, що ШНМ функціонують значно швидше, особливо за умови їх реалізації у вигляді спеціалізованої мікросхеми) ;
- вперше продемонстровано можливість підсилення інформаційних складових в електромагнітному сигналі, відбитому від підповерхневого об'єкта, за допомогою методу дискретної томографії для подальшого використання цього сигналу, як вхідного для ШНМ;
- вперше визначено оптимальні параметри алгоритму для виявлення підповерхневого об'єкту із застосуванням ШНМ та методу дискретної томографії: часове вікно, кількість приймальних антен, параметри обробки вхідних даних і частка попередньо оброблених вхідних сигналів, за наявності високого рівня шумів у вхідних трактах приймальних антен;
- вперше оцінено якість розпізнавання протипіхотних мін, таких як ПМН-1, ПМН-4 та ПФМ, у неоднорідному середовищі за наявності білого шуму в прийнятих часових залежностях відбитого електромагнітного сигналу за допомогою ШНМ;
- вперше запропоновано новий підхід до виявлення та визначення місцезнаходження прихованих об'єктів у ґрунті за допомогою колективного штучного інтелекту, який одночасно обробляє одні й ті ж часові залежності, отримані надширокопasmовим георадаром.

6. Практичне значення одержаних результатів.

- Отримано аналітичний розв'язок задачі про взаємодії апертурного випромінювача із границею розділу двох середовищ, продемонстровано можливість концентрації енергії електромагнітної хвилі у ґрунті, подібно до явища “електромагнітного снаряду”, що може бути використано задля збільшення енергії, що потрапляє на підповерхневий об'єкт і, як наслідок, до збільшення амплітуди відбитого сигналу та збільшення вірогідності виявлення та класифікації розсіювача.
- Продемонстровано можливість суттєвого покращення виявлення підповерхневих об'єктів при застосуванні ШНМ та кореляційного підходу.

- Застосування методу дискретної томографії для отримання додаткового набору вхідних даних для ШНМ за рахунок використання особливостей фізичних процесів при поширенні електромагнітних хвиль у ґрунті зменшує обсяг необхідних обчислювальних ресурсів без втрати точності розпізнавання прихованих об'єктів, що є корисним для нових радарів, здатних в реальному часі виявляти приховані небезпечні об'єкти.
- Проведено дослідження із використання ШНМ для виявлення протипіхотних мін, що практично не мають у складі металевих частин, в ґрунті, в тому числі у неоднорідному.
- Для підвищення точності місцезнаходження та якості розпізнавання підповерхневого об'єкту запропоновано новий підхід із застосуванням колективного штучного інтелекту, що може мати практичне значення не тільки для георадарів для знаходження мін, а й для геологічних досліджень, будівництва та військових застосувань.

7. Дотримання академічної доброчесності.

Перевірка на антиплагіат показала перевищення двох коефіцієнтів подібності, але зазначене перевищення пояснюється наявністю в роботі запозичень із робіт автора дисертації, в тексті наявні посилання на зазначені роботи. Таким чином, вважаю, що порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементів фабрикації чи фальсифікації результатів роботи немає.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

Незважаючи на загальне позитивне враження від роботи, слід згадати про деякі важливі аспекти, яким не приділено достатньо уваги або не відображено в тексті дисертації.

- × Викликає сумнів твердження на ст. 38 «функція Хевісайда є найзручнішим способом представлення імпульсних нестационарних полів у часовому просторі». Сигнал у вигляді функції Хевісайда має надто протяжний спектр i , через це, застосування такого сигналу в якості збуджуючого в методі FDTD призводить до ефекту Гіббса. Окрім того поле у вигляді функції Хевісайда виглядає нефізичним, бо така часова залежність позначає існування сталого поля протягом нескінченного часу, що фізично є еквівалентним до переносу нескінченної кількості заряду. Найзручнішим способом представлення імпульсних нестационарних полів у часовій області виглядає застосування функції Гауса або її похідної (для отримання біполярного сигналу), похідних та добутку на якийсь високочастотний сигнал. Спектр функції Гауса також представляє собою

функцію Гауса від частоти і є обмеженим. Саме така часова залежність часто застосовується у методі FDTD.

- ✘ Проголошується, що розв'язок для електромагнітного поля в середовищі при взаємодії імпульсної хвилі створеної апертурним випромінювачем з його границею має властивості “електромагнітного снаряду”, але не досліджено детально зазначений ефект.
- ✘ В загальному вигляді закон збереження енергії електромагнітного поля (теорема Умова-Пойнтінга) окрім вектора Пойнтінга містить також зміну густини енергії електромагнітного поля та потужність втрат, тому потребує деталізації отримання першої формули на ст. 57.
- ✘ В другому розділі описано взаємодію імпульсної хвилі, створеної апертурним випромінювачем із границею розділу діелектричного середовища без втрат, натомість, для реальних умов використання радарів для пошуку підповерхневих об'єктів ґрунт має втрати і доречним було б це врахувати. Слід зазначити, що розв'язок задачі дифракції імпульсної хвилі на границі діелектрика із втратами в хвилеводі методом еволюційних рівнянь отримано, наприклад у роботах [doi:10.1109/MMET.2004.1397025](https://doi.org/10.1109/MMET.2004.1397025) та [doi:10.2528/PIERB09050703](https://doi.org/10.2528/PIERB09050703).
- ✘ Слід детальніше описати отримання другого та наступних наближень до задачі про дифракцію імпульсної хвилі на діелектричній площині, про згадується в кінці 2-го розділу.
- ✘ Не зрозуміло, що представляють собою елементи матриці W на ст. 78, яка використовується для доповнення вхідних даних для ШНМ в межах підходу дискретної томографії.
- ✘ Починаючи з параграфу 3.1.2 в дисертації наводяться відстань до поверхневого об'єкту дискретизовано з кроком 1 см. При цьому не зрозуміло чому визначається дискретизована відстань від поверхні до об'єкта, а не робиться спроба «порахувати» цю відстань, та чи завжди класифікується відсутність об'єкта взагалі або його наявність на більшій відстані.
- ✘ Викликає подив часове вікно, зображене на Рис. 3.28, через те, що воно розпочинається всередині першого імпульсу при ненульовому його значенні близько 3-4 нс. У випадку, якщо розглядати зелену криву, як окремий сигнал, то цей сигнал буде розпочинатися зі стрибка.
- ✘ У параграфі 4.1.2 йде мова збільшення інформаційної складової для сигналів, отриманих у різних антенах радару. З урахуванням того, що антен 4, існує 6 варіантів додати два сигнали і 6 їх варіантів відняти (а якщо врахувати порядок віднімання, то 12). Але мова йде лише про шість необхідних і можливих комбінацій початкових сигналів, які і

зображено на Рис. 4.3. Вибір саме таких комбінацій потребує детальнішого пояснення.

- × У параграфі 4.1.3 вказано: «Було вирішено тренувати ШНМ на трьох їх можливих станах відповідно: відкрита бляшанка без кришки (cap1, cap4), бляшанка з відкритою кришкою (cap2, cap5), порожниста бляшанка із закритою кришкою, яка утворює майже кільцеву щілину (cap3, cap6).» Із тексту дисертації не зрозуміло чим відрізняються один від одного стани cap1 та cap4, або cap2 та cap5, або cap3 та cap6.
- × Використання як вхідних даних для ШНМ дискретів часової форми відбитого від підповерхневого об'єкту сигналу звісно виглядає найлогічнішим підходом до виявлення інформації, що міститься в цьому сигналі. Але при цьому важливо не забувати про те, що у відповідності до теореми Віттекера — Найквіста — Котельникова — Шеннона, смуга спектру, в якій зазначений сигнал може бути таким чином коректно представлено, залежить від часового кроку та часового інтервалу сигналу, що аналізується.
- × В роботі детально проаналізовано можливості застосування ШНМ до розв'язання задачі про виявлення та класифікацію підповерхневих об'єктів. Розглядаються різні доповнення до звичних ШНМ, таких як метод дискретної томографії для доповнення вхідних даних та використання ансамблю ШНМ. Хотілося б щоб автор також приділив більше уваги фізичним результатам, які вдалося отримати із використанням зазначеного підходу.
- × Формули (2.1) потребують деталізації залежностей величин праворуч від знаку рівності.
- × В роботі зустрічаються дві формули з номером (2.14): на ст. 56 та на ст. 57. При цьому не зрозуміло, що позначає зірочка в другій із цих формул.
- × На ст. 85 використовується незрозумілий термін «відбиття гіперболічного типу».
- × В роботі зустрічаються граматичні, лексичні та мовленнєві помилки. Зокрема, в пункті 5 на сторінці 6 пропущено слово «визначення» («точність визначення місця розташування об'єкту» замість «точність місця розташування об'єкту»). Метод скінченних різниць в часовій області (FDTD) на сторінці 6 розшифровано, як метод кінцевих різниць, а на 30 сторінці, як метод скінченних різниць у часовому просторі. На сторінці 29 пропущено апостроф в слові «з'являється». В меті і задачах дослідження на сторінці 29 коректніше писати «границя розділу матеріальних середовищ» замість «межа розподілу матеріальних

середовищ». Замість терміна «пройдена хвиля» коректніше використовувати «хвиля, що пройшла» (перший абзац на ст. 31). В передостанньому реченні на ст. 39 кома після «в експерименті» не потрібна. В другому реченні на ст. 40 відсутній присудок. У першому реченні в параграфі 2.1.1 замість «Нехай на границю розподілу повітря-середовище падає електромагнітну ТЕ-хвилю ...» слід писати «Нехай на границю розділу повітря-середовище падає електромагнітна ТЕ-хвиля ...». Замість словосполучення «гарно спадає» в останньому реченні на ст. 50 краще використовувати «швидко спадає». Замість терміну «стандартні умови» в другому реченні на ст. 51 слід використовувати загальноприйнятий термін «граничні умови». У третьому реченні знизу на ст. 61 замість «... перенаправляти більше 50% випроміненої енергії» слід писати «... перенаправляти до 50% випроміненої енергії». У другому реченні на ст. 75 замість «використовуються одна приймальна антена, в той час як сам об'єкт опромінюється у стабільних умовах» повинно бути «використовується одна приймальна антена, в той час як сам об'єкт опромінюється у стабільних умовах». У другому реченні на ст. 79 замість «враховується менше» повинно бути «враховуються менше». У підпису до Рис 3.11 замість «частки потрібних даних, потрібних томографічного підходу» повинно бути «частки даних, потрібних для томографічного підходу». У передостанньому реченні на ст. 83 замість «інформативна частину» повинно бути «інформативна частина». У першому реченні в параграфі 3.3.3 замість «на яке ШНМ не було вивчено» повинно бути «на яке ШНМ не було навчено». На сторінці 89 та 118 замість словосполучення «конкатенувати дані» краще використовувати «поєднувати дані». У другому реченні останнього абзацу на ст. 89 замість «збільшений крок» повинно бути «зменшений крок». В останньому рядку на ст. 93 замість «лиже томографічних даних» повинно бути «лише томографічних даних». В середині ст. 99 замість «тривалість часового вінка» повинно бути «тривалість часового вікна». У п'ятому реченні знизу на ст. 114 замість «модифікувати цільовий вектор для випадків, для випадку відсутності об'єкта» повинно бути «модифікувати цільовий вектор для випадку відсутності об'єкта». У першому реченні другого абзацу знизу на ст. 115 замість «імітації руку» повинно бути «імітації руху». У нижньому реченні на ст. 116 замість «обрається» повинно бути «обирається». У підпису до рис. 3.45 замість «вправо» та «вліво» повинно бути «праворуч» та «ліворуч». У другому реченні передостаннього абзацу на ст. 130 замість «протипіхотної міти» повинно бути «протипіхотної міни». У першому абзаці на ст. 131 є посилання на відсутній в роботі Рис.

1. У третьому реченні на ст. 143 вказано «вирішено вибрати металеву банку з прорізом, утвореним кришкою та корпусом (Рис. 4.14в)», але на Рис. 4.14 зображено не металеву банку, а модель міни ПФМ, та відсутні підпункти. У передостанньому реченні другого абзацу на ст. 159 є посилання на підпункт в відсутнього в роботі рис. 5. У четвертому реченні на ст. 178 замість «поступає на вхідний шар» повинно бути «надходить на вхідний шар».

Зазначені зауваження не впливають на якість отриманих результатів та на обґрунтованість зроблених здобувачем висновків.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Прищенка Олександра Андрійовича «Використання надширокосмугових електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів», 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, радіофізики, зокрема, яку виконано на високому науковому рівні та з дотриманням всіх норм та вимог, що висуваються до подібних робіт. В роботі поставлено та розв'язано напрочуд актуальну науково-технічну задачу розробки та вдосконалення методів підповерхневого радіолокаційного виявлення та ідентифікації різноманітних об'єктів, зокрема протипіхотних мін, на тлі завад із застосуванням ШНМ. Таким чином, вважаю, що Прищенко Олександр Андрійович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії 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: 12:53:52 10.08.2024

Назва файлу з підписом: рецензія_Прищенко_2.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 102.4 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: рецензія_Прищенко_2.pdf
Розмір файлу без підпису: 151.3 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
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 12:53:51 10.08.2024
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000009471200114DC2205
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: 2024.04.15 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна,
доктору фізико-математичних наук,
професору ШУЛЬЗІ Сергію Миколайовичу
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Кузнецова Олександра Олександровича на дисертаційну роботу Прищенка Олександра Андрійовича "Використання надширококутних електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів", подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – "Природничі науки" за спеціальністю 105 – "Прикладна фізика та наноматеріали".

Актуальність теми дисертації

Використання надширококутних електромагнітних полів для виявлення прихованих об'єктів є надзвичайно актуальною темою досліджень. Це пов'язано з широким спектром практичних застосувань таких технологій - від геологічної розвідки до гуманітарного розмінування. Особливо важливим є розвиток методів обробки отриманих сигналів із застосуванням сучасних підходів штучного інтелекту, що дозволяє підвищити ефективність виявлення та класифікації об'єктів.

Тема дисертації Прищенка О.А. є актуальною як в теоретичному, так і в прикладному аспектах. Результати даного дослідження можуть бути використані для розробки високоефективних систем підповерхневого зондування, зокрема для виявлення вибухонебезпечних предметів в задачах гуманітарного розмінування.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення

Дисертація складається з анотацій, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку. Загальний обсяг роботи складає 224 сторінки. Робота містить 96 рисунків та 1 таблицю. Список використаних джерел налічує 108 найменувань.

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження, сформульовано мету і основні завдання, визначено об'єкт і предмет дослідження, зазначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналітичний огляд літератури за темою дисертації. Розглянуто сучасний стан досліджень в області надширококутних технологій та їх застосування для підповерхневого зондування.

Другий розділ присвячено розв'язанню задачі поширення нестационарної електромагнітної хвилі через границю розділу двох середовищ. Отримано аналітичні вирази для відбитої хвилі та хвилі, що пройшла в середовище.

У третьому розділі досліджено застосування штучних нейронних мереж та методу дискретної томографії для розпізнавання підповерхневих об'єктів. Проаналізовано вплив параметрів системи на якість розпізнавання.

Четвертий розділ присвячено розпізнаванню та класифікації протипіхотних мін за допомогою надширококутвого імпульсного радару. Досліджено вплив неоднорідностей ґрунту та застосування колективного штучного інтелекту.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

Дисертація є завершеною науковою працею. Оформлення дисертації відповідає вимогам МОН України.

Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає у наступному:

1. Вперше з використанням граничних умов класичної електродинаміки знайдено зв'язок між еволюційними коефіцієнтами з рівнянь Клейна-Гордона, що описують падаючу, пройдену і відбиту нестационарні хвилі у першому наближенні.
2. Вперше встановлено, що за наявності гаусового шуму у прийнятих сигналах, кінцеві результати розпізнавання позицій об'єкта штучними нейронними мережами мають перевагу перед методом взаємної кореляції при малих рівнях шуму.
3. Вперше за допомогою методу дискретної томографії продемонстровано підсилення інформаційних складових, відбитих від прихованого об'єкту електромагнітних хвиль.
4. Вперше визначені оптимальні параметри системи на основі методу дискретної томографії: часове вікно, кількість приймальних антен, аугментація вхідних даних і частка попередньо оброблених вхідних сигналів.
5. Вперше було оцінено якість розпізнавання методу штучних нейронних мереж для задачі виявлення різних протипіхотних мін у неоднорідному середовищі.
6. Вперше запропоновано новий підхід до визначення місцезнаходження прихованих об'єктів у ґрунті за допомогою колективного штучного інтелекту.

Обґрунтованість наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, отриманих Прищепком О.А., забезпечується:

- коректністю постановки задач та використанням апробованих методів класичної електродинаміки та машинного навчання;
- відповідністю отриманих результатів фізичним уявленням та результатам інших авторів;
- апробацією результатів на міжнародних конференціях та їх публікацією у фахових виданнях.

Практична значення результатів дисертаційного дослідження

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості їх застосування для розробки високоефективних систем підповерхневого зондування. Зокрема:

1. Встановлений зв'язок між коефіцієнтами рівнянь Клейна-Гордона демонструє можливість концентрації енергії електромагнітної хвилі у ґрунті для покращення розпізнавання об'єктів.
2. Застосування методу дискретної томографії дозволяє зменшити обсяг необхідних обчислювальних ресурсів без втрати точності розпізнавання.
3. Проведені дослідження з використання штучних нейронних мереж для виявлення протипіхотних мін дозволяють створити нові ефективні системи розмінування.
4. Запропонований підхід із застосуванням колективного штучного інтелекту дозволяє підвищити точність визначення місця розташування об'єкту та якість його розпізнавання.

Дотримання академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено. Текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

Зауваження до структури, змісту роботи та оформлення

1. У другому розділі бажано було б більш детально описати фізичний зміст отриманих аналітичних виразів для нестационарних полів.
2. У третьому розділі доцільно було б провести порівняння ефективності різних архітектур штучних нейронних мереж для задачі розпізнавання об'єктів.
3. У четвертому розділі варто було б дослідити вплив різних типів ґрунту на якість розпізнавання об'єктів.
4. У роботі недостатньо обґрунтовано вибір конкретних архітектур нейронних мереж. Бажано було б провести порівняльний аналіз ефективності різних архітектур (наприклад, згорткових, рекурентних мереж) для задачі розпізнавання підповерхневих об'єктів.
5. Автор використовує метрику F1 для оцінки якості роботи нейронних мереж, але варто було б розглянути й інші метрики, такі як точність (precision), повнота (recall), AUC-ROC, що могло б дати більш повну картину ефективності моделей.
6. У дисертації не наведено детального опису процесу навчання нейронних мереж - зокрема, інформації про налаштування гіперпараметрів, стратегії регуляризації, методи оптимізації. Ця інформація була б корисною для відтворення результатів.
7. Автор згадує використання техніки розширення даних (data augmentation), але не описує конкретні методи, які були застосовані. Детальний опис цих технік міг би підвищити цінність роботи.
8. У роботі не проведено аналізу стійкості навчених моделей до різних типів шуму та спотворень вхідних даних, що є важливим аспектом для практичного застосування системи.
9. Бажано було б провести абляційне дослідження (ablation study) для визначення внеску різних компонентів запропонованої системи у загальну ефективність розпізнавання.

10. В роботі зустрічаються деякі стилістичні неточності та описки.

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

Загальний висновок

Дисертаційна робота Прищенка Олександра Андрійовича "Використання надширокосмугових електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів" є завершеним науковим дослідженням, яке містить нові науково обґрунтовані результати в галузі прикладної фізики.

Дисертація 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.

Вважаю, що Прищенко Олександр Андрійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 "Природничі науки" за спеціальністю 105 "Прикладна фізика та наноматеріали".

Офіційний опонент:

Професор кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки
Державного університету телекомунікацій,
Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона (2021),
доктор технічних наук, професор

Олександр КУЗНЕЦОВ

КУЗНЕЦОВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Результат перевірки підпису	Підпис вірний
П.І.Б.	КУЗНЕЦОВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ
РНОКПП	2735010819
Організація (установа)	ФІЗИЧНА ОСОБА
Код ЄДРПОУ	
Посада	
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для даних від Надавача)	09:08:09 08.08.2024
Сертифікат виданий	КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер	5E984D526F82F38F04000000E05E6601FCC61F05
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,
доктору фізико-математичних наук,
професору ШУЛЬЗІ Сергію Миколайовичу
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4

ВІДГУК

офіційного опонента, начальника кафедри озброєння радіотехнічних військ
факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
доктора технічних наук старшого наукового співробітника
ЗАЛЕВСЬКОГО Геннадія Станіславовича,
на дисертаційну роботу ПРИЩЕНКА Олександра Андрійовича
за темою «Використання надширококузових електромагнітних хвиль та
штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних
підповерхневих об'єктів»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали

1. Актуальність дисертаційних досліджень

Для вирішення завдань виявлення та ідентифікації об'єктів у матеріальних середовищах застосовуються пристрої, засновані на різних фізичних принципах. На теперішній час до основних таких завдань слід віднести виявлення та ідентифікацію мін різних типів, встановлених у ґрунті, діагностику стану конструкцій інженерних споруд і дорожнього покриття, виявлення забруднень ґрунту, археологічні дослідження тощо.

Радіолокаційні засоби (радіолокатори підповерхневого зондування) мають ряд переваг при вирішенні зазначених завдань. Починаючи з 70-х років ХХ століття, зокрема і в Україні, створено цілий ряд радіолокаторів підповерхневого зондування. Разом із цим їх ефективність має підвищуватись. Основними факторами, що ускладнюють процес підповерхневої радіолокації, є неоднорідність середовища розповсюдження, наявність у ґрунті (та інших матеріальних середовищах) сторонніх предметів та загасання електромагнітних хвиль. У зв'язку з цим дослідження, пов'язані із розвитком функціональних можливостей радіолокаторів підповерхневого зондування є актуальними.

При вирішенні завдань, що розглядаються, як правило відстань від антенної системи радіолокатору до межі поділу діелектричних середовищ або до об'єкту локації, а також відстань між шуканим об'єктом і межею поділу, складають від декількох метрів до декількох сантиметрів. Зазначене зумовлює необхідність застосування при підповерхневому зондуванні

надширококутних (НШС) сигналів, що мають високу роздільну здатність за поперечною координатою. Крім того сигнали із широким спектром дозволяють здійснювати ідентифікацію шуканих об'єктів за відбитими сигналами.

Сучасні НШС радарні підповерхневі зондування мають достатньо високу чутливість і здатні реєструвати сигнали, відбиті від слабких неоднорідностей електрофізичних параметрів (об'єктів, діелектрична проникність яких слабо відрізняється від оточуючого середовища). Створено алгоритми радіолокаційного розпізнавання (ідентифікації) шуканих підповерхневих об'єктів, засновані на застосуванні кореляційного аналізу при просторовій і часовій обробці прийнятих сигналів. Разом із цим дисперсійні властивості середовища розповсюдження електромагнітних хвиль та їх залежність від типу і стану матеріального середовища (типу, густини та вологості ґрунту) зумовлюють низьку умовну імовірність правильної ідентифікації шуканих підповерхневих об'єктів при порівняно високому рівні хибних тривог. У першу чергу це стосується виявлення та ідентифікації діелектричних мін, встановлених у ґрунті. У зв'язку із зазначеним вище тема дисертаційної роботи Прищенка О. А. «Використання надширококутних електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів» є **актуальною**. Отримані ним результати будуть затребувані при визначенні шляхів розвитку НШС радіолокаторів підповерхневого зондування.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами і пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки

Дисертаційна робота Прищенка О. А. пов'язана із дослідженнями в інтересах розвитку вітчизняних засобів підповерхневої радіолокації відповідно до тематики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Результати дисертаційних досліджень використано у науково-дослідних роботах із номерами державної реєстрації 0117U004851 та 0120U102309.

3. Аналіз змісту дисертаційної роботи

Повний обсяг дисертаційної роботи Прищенка О. А. становить 224 сторінки і складається із анотації, вступу, 4 розділів, підсумків (висновків), списку використаних джерел, що включає 108 найменувань, і додатка. Основний зміст дисертації (вступ, 4 розділи, підсумки) викладений на 170 сторінках (30 сторінок повністю займають рисунки).

У **вступі** автором обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, визначено ряд невирішених завдань, які стоять перед розробниками радіолокаторів підповерхневого зондування, наведено мету і завдання досліджень, а також об'єкт, предмет та методи досліджень. Наводяться відомості щодо отриманих наукових і практичних результатів, особистого внеску здобувача у дисертаційну роботу, апробації та публікацій отриманих

результатів, а також відомості про зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі аналізуються особливості застосування обчислювальних методів при моделюванні процесу функціонування радіолокаторів підповерхневого зондування. Наведено відомі результати у області створення моделей неоднорідних дисперсійних середовищ та дослідження алгоритмів розпізнавання об'єктів у неоднорідних середовищах. На підставі проведеного аналізу визначено основні напрямки розвитку алгоритмів розпізнавання підповерхневих об'єктів, заснованих на застосуванні штучних нейронних мереж.

Слід зазначити, що у даному розділі стверджується, що найбільш відомим методом, що застосовується для комп'ютерного моделювання функціонування підповерхневих радарів, є метод скінченних різниць у часовій області (Finite-Difference Time-Domain (FDTD) method). Разом із цим опубліковано цілий ряд робіт (як закордонних, так і українських науковців), у яких для моделювання процесів виявлення та ідентифікації мін, встановлених у ґрунті, застосовуються електродинамічні методи, засновані на розв'язанні поверхневих інтегральних рівнянь. На мою думку здобувачу у даній частині роботи доцільно було б провести порівняльний аналіз переваг і недоліків зазначених двох математичних методів.

У другому розділі наведено основні математичні співвідношення для розрахунку імпульсних електромагнітних хвиль (імпульсних НШС сигналів), які поширюються через межу поділу діелектричних середовищ. Для отримання аналітичних розв'язків використовується метод еволюційних рівнянь.

Загальний розв'язок рівнянь Клейна-Гордона отримується методом розділення змінних (при використанні циліндричної системи координат). При цьому застосовується метод функції Рімана.

Слід відзначити, що процес отримання рівнянь мав би бути поясненим більш детально. Текст розділу має деякі неточності. Зокрема рис. 2.7 (с. 56) знаходиться раніше у тексті, ніж посилання на нього (с. 57). У тексті не вказано, для яких вхідних даних (кут падіння хвилі на межу поділу, зазвичай діелектрична проникність ґрунту має реальну та уявну частини) та для яких складових поля отримано графік залежності коефіцієнту проходження.

Замість останнього абзацу на с. 56 “В кожній точці на границі розділу двох середовищ повинен виконуватися закон збереження енергії, потоки якої описуються векторами Пойнтінга...” доцільно було б написати: “Електромагнітна хвиля, яка розповсюджується через межу поділу діелектричних середовищ, задовольняє рівнянням Максвела (хвильовому рівнянню), умові випромінювання на нескінченності у будь якій точці напівпросторів, а на межі поділу – граничним умовам”.

У третьому розділі досліджуються питання можливості поєднання штучних нейронних мереж та методу дискретної томографії для розпізнавання

підповерхневих об'єктів при обробці прийнятих сигналів у НШС імпульсному радіолокаторі підповерхневого зондування.

Наводяться результати моделювання функціонування штучної нейронної мережі для визначення місцеположення підповерхневого об'єкта у вигляді ідеально провідного циліндра. На підставі аналізу результатів моделювання здійснюється оптимізація структури штучної нейронної мережі.

Проводиться порівняння результатів класифікації (визначення положення) підповерхневого об'єкта при застосуванні штучної нейронної мережі та кореляційного методу. При цьому моделюється підповерхневий радар з однією та чотирма антенами. У цій частині роботи доцільно було б надати більш детальну характеристику якості розпізнавання досліджуваними двома методами.

Далі у розділі демонструються результати моделювання функціонування радіолокатору підповерхневого зондування при сумісній реалізації штучної нейронної мережі і методу дискретної томографії (приймання сигналу у декількох точках простору над шуканим об'єктом). Як і раніше для моделювання сигналу, відбитого підповерхневим об'єктом, застосовується метод FDTD.

На підставі математичного моделювання обробки електромагнітних відгуків труби обґрунтовується вибір необхідних параметрів: кроку просторового сканування та протяжності і положення часового вікна.

У розділі також досліджено стійкість запропонованого методу розпізнавання (з використанням штучної нейронної мережі) до шуму у приймачі радіолокатору підповерхневого зондування.

Четвертий розділ присвячено дослідженню застосування штучних нейронних мереж для ідентифікації протипіхотних мін, встановлених у неоднорідному ґрунті.

При дослідженнях використовуються моделі протипіхотних мін ПМН-1, ПМН-4, ПФМ. Як заважаючі об'єкти, використовуються моделі бляшанок. Сигнали, відбиті підповерхневими об'єктами, приймаються на фоні шуму. При моделюванні розглянуто різні положення мін відносно центру антени у горизонтальній площині. Модель ґрунту представлена у вигляді середовища з діелектричною проникністю 9 і питомою провідністю 0,005 См/м, всередині якого у випадкових положеннях додано ромбоподібні елементи різного об'єму та діелектричної проникності.

Отримано результати, які дозволяють оцінити якість розпізнавання протипіхотних мін для різних умов. У розділі наводяться результати комп'ютерного моделювання імпульсних відгуків мін, встановлених у неоднорідному ґрунті. Оцінено показники якості розпізнавання протипіхотних мін з різною долею металевих елементів, при різних положеннях мін відносно центру антенної системи радіолокатору підповерхневого зондування у горизонтальній площині, а також при різних рівнях відношення сигнал-шум.

Всі отримані у розділі 4 результати структуровано, детально описано, здійснено їх узагальнення, що дозволяє чітко оцінити їх наукову новизну і практичну цінність.

У висновках дисертаційної роботи викладені найбільш важливі наукові і практичні результати, отримані автором.

У додаток винесено список публікацій здобувача за темою дисертації, у тому числі і дані щодо апробації. Зазначено особистий вклад здобувача та співавторів у кожній публікації.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, їх достовірність

Отримані автором результати відповідають теорії радіолокації щодо питань зондування об'єктів, розташованих у матеріальних середовищах. Математичні моделі, що застосовуються автором, правильно відображають фізичні процеси, що спостерігаються при розглянутих у дисертації процесах прийому та обробки НШС імпульсних сигналів у радіолокаторах підповерхневого зондування і дозволяють підвищити інформаційні можливості радіолокаторів, що розглядаються. Прийняті у роботі спрощення і наближення обґрунтовані.

Достовірність основних наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується результатами комп'ютерного моделювання, наведених у дисертаційній роботі.

5. Наукова новизна дисертаційної роботи

У дисертаційній роботі Прищенка О. А. вирішено актуальну науково-технічну задачу, пов'язану із розробкою алгоритмів виявлення та ідентифікації об'єктів, розташованих у ґрунті. Вирішення даної задачі дозволяє підвищити якість виділення сигналів, відбитих діелектричними мінами, на фоні відбиттів від заважаючих неоднорідностей у ґрунті.

До основних наукових результатів, отриманих автором у дисертаційній роботі, відноситься наступне.

5.1. Вперше знайдено зв'язок між еволюційними коефіцієнтами з рівнянь Клейна-Гордона, що описують падаючу, пройдену і відбиту нестационарні хвилі у першому наближенні, з використанням граничних умов класичної електродинаміки.

5.2. Вперше встановлено, що за наявності гаусового шуму у прийнятих сигналах, кінцеві результати розпізнавання позицій об'єкта штучними нейронними мережами мають перевагу перед кореляційним методом при малих рівнях шуму, але при значній зашумленості зазначені два методи розпізнавання не демонструють помітні переваги один перед одним, за виключенням того, що штучні нейронні мережі функціонують на порядки швидше, особливо за умови їхньої реалізації у вигляді спеціалізованої мікросхеми.

5.3. Вперше за допомогою методу дискретної томографії продемонстровано підсилення інформаційних складових відбитих від підповерхневого об'єкту електромагнітних хвиль, у наближенні променевого подання цих хвиль, із урахуванням їх часової форми, діелектричних параметрів ґрунту, процесів на межі поділу повітря-ґрунт та використання декількох розподілених над ґрунтом приймальних антен.

5.4. Вперше визначено оптимальні параметри надширокосмугового радіолокатору підповерхневого зондування на основі методу дискретної томографії: часове вікно, кількість приймальних антен, аугментація вхідних даних і частка попередньо оброблених вхідних сигналів, за наявності шумів високих рівнів у вхідних трактах приймачів.

5.5 Вперше оцінено якість методу розпізнавання, заснованого на застосуванні штучних нейронних мереж, для задачі виявлення різних протипіхотних мін (ПМН-1, ПМН-4 та ПФМ) у неоднорідному середовищі, при наявності білого шуму у прийнятих часових реалізаціях.

5.6. Вперше запропоновано новий підхід до визначення місцезнаходження прихованих об'єктів у ґрунті за допомогою колективного штучного інтелекту, що одночасно обробляє одні й ті ж відгуки підповерхневих об'єктів, отримані надширокосмуговим георадаром.

6. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

У якості найбільш вагомих практичних результатів слід зазначити, що розроблений метод виявлення та ідентифікації підповерхневих об'єктів розширює інформаційні можливості НШС георадарів.

Результати комп'ютерного моделювання функціонування алгоритмів ідентифікації, заснованих на застосуванні штучних нейронних мереж, розширюють знання у області виявлення та ідентифікації протипіхотних мін та інших слабкоконтрастних підповерхневих об'єктів радіолокаційними засобами.

7. Області можливого використання результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи Прищенка О. А. можуть бути використаними при створенні перспективних радіолокаторів підповерхневого зондування, у тому числі при створенні системи виявлення і ідентифікації мін різних типів для Збройних Сил України.

Організаціями, зацікавленими у використанні результатів дисертаційних досліджень Прищенка О. А., можуть бути:

підприємства Державного концерну УКРОБОРОНПРОМ;

підприємства і науково-дослідні установи, пов'язані із розробкою НШС георадарів цивільного призначення;

Також отримані результати можуть бути використані і впроваджені:

спеціалізованими науково-дослідними інститутами, які займаються розробкою зразків інженерного озброєння та їх складових частин, озброєння та військової техніки для Сухопутних військ Збройних Сил України;

науково-дослідними установами, у яких ведуться дослідження, пов'язані із радіолокаційним зондуванням матеріальних середовищ;

навчальними закладами, які здійснюють підготовку фахівців для Сухопутних військ Збройних Сил України, Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

8. Публікації і апробації результатів дисертаційної роботи, повнота їх викладу

Основні результати дисертаційної роботи Прищенка О. А. викладено у статті, опублікованій у міжнародному науковому журналі, що обліковується базою Scopus (Q1) та 3 статтях у наукових фахових виданнях України (згідно п. 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії – 3,5 наукових публікацій). Наукові результати опубліковано у вигляді 11 доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Таким чином, основні результати дисертації досить повно опубліковані, апробовані і відомі фахівцям. Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень і вимоги до кількості публікацій відповідають встановленим вимогам.

9. Оформлення дисертаційної роботи

Оформлення, стиль і мова викладу, обсяг дисертаційної роботи, її структура відповідають встановленим вимогам. Запропоновані рішення викладені аргументовано. Роботу у основному подано з коректним використанням науково-технічної термінології.

10. Зауваження по дисертаційній роботі

Окрім зауважень, наведених у розділі 3 відгуку, слід відмітити наступні.

10.1. У тексті дисертації доцільно було б більш чітко пояснити зв'язок між результатами, отриманими у 2-му розділі, із дослідженнями, які проводяться далі у 3-му та 4-му розділах.

10.2. У 3-му розділі на с. 68 зазначено, що отримані результати вказують на те, що збільшення відношення сигнал-шум призводить до монотонного зростання дисперсії розподілу відповідей щодо положення об'єкту при застосуванні штучної нейронної мережі. Доцільно було б більш детально пояснити цей факт. На практиці у радіолокації підвищення відношення сигнал-шум призводить до покращення показників якості виявлення, вимірювання та розпізнавання об'єктів.

10.3. При розрахунках у розділах 3 та 4 прийнято модель ґрунту із діелектричною проникністю та питомою провідністю, які не залежать від частоти, у той час, як реальним ґрунтам притаманна достатньо висока дисперсія.

11. Висновки

Зазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку роботи. Представлена Прищенком О. А. дисертаційна робота за темою «Використання надширококутних електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для

виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів» є завершеною науковою працею, яка виконана автором самостійно на високому науковому рівні. У дисертаційній роботі сформульовано і вирішено актуальну науково-технічну задачу, пов'язану із розробкою та удосконаленням методів радіолокаційного виявлення та ідентифікації, заснованих на застосуванні штучних нейронних мереж, при підповерхневому зондуванні, що призведе до підвищення якості виявлення та ідентифікації протипіхотних мін, встановлених у ґрунті, на фоні заважаючих предметів. За змістом і оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (із змінами) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 (зі змінами) «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Прищенко Олександр Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Начальник кафедри озброєння радіотехнічних військ
факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
доктор технічних наук старший науковий співробітник

Геннадій ЗАЛЕВСЬКИЙ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 13:10:20 03.08.2024

Назва файлу з підписом: Vidguk_Pryshchenko_ofoponent_Zalevsky.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 259.8 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Vidguk_Pryshchenko_ofoponent_Zalevsky.pdf
Розмір файлу без підпису: 261.6 КБ

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

Підписувач: ЗАЛЕВСЬКИЙ ГЕННАДІЙ СТАНІСЛАВОВИЧ

П.І.Б.: ЗАЛЕВСЬКИЙ ГЕННАДІЙ СТАНІСЛАВОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2643522698

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 13:10:19 03.08.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000D87C3E012053B604

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: 2024.04.15 13:00