

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення

дисертації Прищенка Олександра Андрійовича

«Використання надширокосмугових електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих

об'єктів», яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 10 – Природничі науки

за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

1. Оцінка роботи здобувача у процесі підготовки дисертації і виконання індивідуального плану навчальної та наукової роботи.

Аспірант Прищенко Олександр Андрійович виконав у повному обсязі Індивідуальний план виконання освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії. Освітня програма в обсязі 40 кредитів ECTS виконана у повному обсязі. Він успішно склав наступні дисципліни:

Залік з навчальної дисципліни «Філософські засади та методологія наукових досліджень» (99 балів);

Іспит з навчальної дисципліни «Іноземна мова для аспірантів» (90 балів);

Залік з навчальної дисципліни «Підготовка наукових публікацій та презентація результатів досліджень» (98 балів);

Залік з навчальної дисципліни «Інформаційні технології у прикладній фізиці» (95 балів);

Іспит з навчальної дисципліни «Актуальні проблеми сучасної прикладної фізики та наноматеріалів» (96 балів);

Іспит з навчальної дисципліни «Актуальні проблеми сучасної радіофізики та електроніки» (96 бали).

Всі заплановані види робіт були виконанні своєчасно. Здобувач плідно співпрацював з

2. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Імпульсні електромагнітні хвилі знаходять все більше застосувань у сучасній радіофізиці. Наприклад, для виявлення та розпізнавання підповерхневих предметів застосовують підхід, в основі якого лежить опромінення ділянки земної поверхні над досліджуваним об'єктом імпульсними надширокосмуговими хвилями та приймання відбитих полів. 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 більші глибини, ніж при використанні радіоімпульсу, аналізувати стан дорожнього покриття, виявляти повільно рухомі об'єкти, включаючи людей, прихованих за стінами. Також сучасні тенденції розвитку систем розмінування спрямовані на автоматизацію цього процесу, виключаючи людей для їхньої власної безпеки та на використання штучного інтелекту, нейронних мереж для поліпшення характеристик таких систем. Застосування імпульсних хвиль та підходу штучного інтелекту приводить до підвищення загальної чутливості систем підповерхневого зондування. Завдяки такому підходу з'являється можливість швидкого отримання результату 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 покращені результати розпізнавання.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вивчення ключових фізичних процесів перетворення імпульсних надширокосмугових електромагнітних полів на межах розподілу матеріальних середовищ та прихованих об'єктах із складною структурою для надійного виявлення цих об'єктів по відбитому полю в умовах наявності шумових перешкод за допомогою підходів штучного інтелекту.

Реалізація мети зумовила необхідність вирішення наступних

дослідницьких завдань:

- Випромінювання апертурної антени із заданим нестационарним струмом на поверхні, що розташована на границі розподілу двох середовищ.

Побудова нової штучної нейронної мережі на основі методу дискретної томографії для розпізнавання прихованих об'єктів по даним досліджень надширокопосмугового радару.

Дослідження впливу кроку сканування, вибору часового вікна та рівня адитивного шуму на результат розпізнавання прихованих об'єктів.

Аналіз якості розпізнавання деталізованих моделей протипіхотних мін, розташованих у неоднорідному середовищі, із застосуванням колективного штучного інтелекту.

Об'єкт дослідження – випромінювання та поширення нестационарних електромагнітних полів в однорідному та неоднорідному матеріальному середовищі із метало-діелектричними об'єктами.

Предмет дослідження – просторові та часові перетворення нестационарних електромагнітних полів на границі двох середовищ, їх розсіяння на метало-діелектричних об'єктах.

Методи дослідження. У дисертації використані відомі, апробовані математичні та радіофізичні методи, числові методи сіткового типу, як метод скінченних різниць у часовому просторі (FDTD), метод функції Рімана, метод часткових областей. Аналітичний розв'язок задачі проходження нестационарної хвилі в матеріальне середовище отриманий методом еволюційних рівнянь. Виокремлення інформаційної складової з даних радарних досліджень проводилось глибокими штучними нейронними мережами та із застосуванням колективного штучного інтелекту. Електродинамічна задача розв'язувалась методом скінченних різниць у часовому просторі із використанням комерційного пакету CST Microwave Studio.

3. Особистий внесок дисертантки в отриманні наукових результатів та їх новизна.

Всі наукові публікації виконано у співавторстві. Здобувач брав участь у постановці та розв'язанні задач, програмної реалізації числових алгоритмів, та в обробці і аналізі результатів розрахунку та їх інтерпретації.

Наукова новизна одержаних результатів розкривається у таких положеннях:

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 надширококустовим георадаром.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів, одержаних Прищенком О.А., при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, полягає у використанні фундаментальних підходів і методів обчислюваної та математичної фізики. Також в задачі підповерхневого зондування було на практиці показана можливість однозначної ідентифікації та класифікації прихованих об'єктів за допомогою штучних нейронних мереж.

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в індексованих наукових журналах та доповідалися на міжнародних наукових конференціях.

Висновки дисертаційної роботи є обґрунтованими.

5. Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

1. 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.

2. Аналіз розпізнавання прихованих об'єктів штучними нейронними мережами та кореляційним підходом дозволяє суттєво покращити їх виявлення за умови їхнього одночасного застосування.

3. 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.

4. 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.

5. Запропонований новий підхід до визначення місцезнаходження прихованих об'єктів у ґрунті за допомогою колективного штучного інтелекту з даних, отриманих надширококутовим 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.

6. Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано в 4 наукових працях, серед яких 1 стаття у виданні, яке входить до наукометричних баз SCOPUS та Web of Science (Q1), 3 статті у науковому виданні, включеному на дату видання до переліку фахових видань України, 11 тез доповідей що входять до наукометричних баз SCOPUS та Web of Science.

7. Дотримання академічної доброчесності.

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

8. Апробація матеріалів дисертації.

Представлені в роботі результати доповідалися на 9 міжнародних і національних конференціях, основні з яких наступні:

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;

9. Оцінка структури, мови та стилю дисертації.

Дисертація написана чіткою мовою, структура дисертації відповідає алгоритму здійсненого автором дослідження. Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступний для сприйняття. Зміст, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають Вимогам до оформлення

дисертації, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом МОН № 759 від 31.05.2019), і вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту.

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значущістю дисертаційна робота Прищенка О.А. «Використання надширококузових електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів» повністю відповідає паспорту спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

11. Результати обговорення та проведення презентації. Рекомендація дисертації до захисту.

Здобувачем було представлено основні результати дисертаційної роботи на засіданні кафедри прикладної електродинаміки факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна щодо попередньої експертизи дисертації у формі презентації і наукової дискусії після її завершення. За підсумком обговорення, дисертаційне дослідження було оцінено позитивно. Дисертаційна робота Прищенка Олександра Андрійовича виконана на високому науковому рівні та є цілісним науковим дослідженням, яке відповідає встановленим вимогам чинного законодавства України.

Враховуючи високий рівень дослідження, актуальність, новизну, практичну цінність отриманих результатів та відповідність роботи спеціальності 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали” дисертація Прищенка О. А. «Використання надширококузових електромагнітних хвиль та штучного

інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів»
рекомендується до захисту в спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня
доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали, з
галузі знань 10 – Природничі науки.

Завідувач кафедри
прикладної електродинаміки,
д.ф.-м.н. проф.
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна



Микола ГОРОБЕЦЬ