

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0824U002782

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 29-07-2024

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** Наказ ХНУ імені В. Н. Каразіна № 0302-Зк/1024 від 17.09.2024 р.



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

- Прищенко Олександр Андрійович
- Oleksandr Pryshchenko

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7143-9545

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 105

**Назва наукової спеціальності:** Прикладна фізика та наноматеріали

**Галузь / галузі знань:**

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Прикладна фізика та наноматеріали

**Дата захисту:** 28-08-2024

**Спеціальність за освітою:** Прикладна фізика та наноматеріали

**Місце роботи здобувача:** Прищенко Олександр Андрійович

**Код за ЄДРПОУ:** 3559400510

**Місцезнаходження:** Центральна, буд. 21, Дергачі, Дергачівський р-н., 62300, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:**

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ID 6311

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 29.35.19, 29.35.23

**Тема дисертації:**

1. Використання надширококузових електромагнітних хвиль та штучного інтелекту для виявлення металевих та діелектричних підповерхневих об'єктів
2. The use of ultra-wideband electromagnetic waves and artificial intelligence for detecting metal and dielectric subsurface objects

**Реферат:**

1. Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної проблеми – дослідженню експериментальних та теоретичних аспектів випромінювання та поширення нестационарних електромагнітних хвиль у середовищах зі складним просторовим розподілом. Також робота охоплює аналіз дифракції цих полів на об'єктах, розташованих у таких середовищах, застосування методів отримання та обробки відбитих сигналів, а також розробку алгоритмів розпізнавання прихованих об'єктів та визначення їхнього положення із застосуванням підходів штучного інтелекту. Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у таких її результатах: 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. Практичне значення отриманих результатів: 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 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.

2. The dissertation is devoted to solving the actual issue of investigating the experimental and theoretical aspects of radiation and propagation of transient electromagnetic waves in the media with complex spatial distribution. The work also covers the analysis of diffraction of these fields on objects located in these media, the application of methods for obtaining and processing reflected signals, and the development of algorithms for recognizing hidden objects and determining their position using artificial intelligence approaches. The scientific novelty of the dissertation is in the following results: 1. Using the boundary conditions of classical electrodynamics, the relationship between the evolutionary coefficients from the Klein-Gordon equations, which describe the incident, transmitted, and reflected non-stationary waves in the first approximation, was found for the first time. 2. It was established for the first time that in the presence of Gaussian noise in the received signals, the final results of object position recognition by artificial neural networks have an advantage over the cross-correlation method at low noise levels. However, under significant noise presence, these two approaches do not show noticeable advantages over each other, except that artificial neural networks operate orders of magnitude faster, especially when implemented in specialized microchips. 3. For the first time, the approach of discrete tomography demonstrated the enhancement of the informational components of electromagnetic waves reflected from a hidden object, using the ray approximation of these waves while considering their temporal form, dielectric parameters of the soil, processes at the air-soil boundary, and the use of several distributed receiving antennas

above the soil. 4. The optimal parameters of the system based on the discrete tomography method were determined for the first time: time window, number of receiving antennas, input data augmentation, and the proportion of pre-processed input signals, in the presence of high-level noise in the input tracts of the antenna receivers. 5. The quality of recognition by the artificial neural network method for detecting various anti-personnel mines, such as PMN-1, PMN-4, and PFM, in a heterogeneous environment with the presence of white noise in the received time dependencies was evaluated for the first time. 6. A new approach to determining the location of hidden objects in the soil using collective artificial intelligence, which simultaneously processes the same time dependencies obtained by ultra-wideband ground-penetrating radar, was proposed for the first time. Practical significance of the results: 1. The relationship between the unknown coefficients from the Klein-Gordon equations is established, which describe the passage of transient waves into a medium, demonstrates the possibility of concentrating the energy of the electromagnetic wave in the soil, similar to the phenomenon of an “electromagnetic projectile,” to increase the energy of the wave reflected from the hidden object and, consequently, improve its recognition. 2. The analysis of recognizing hidden objects using artificial neural networks and the correlation approach allows a significant improvement in their detection when applied simultaneously. 3. The application of the discrete tomography approach to obtain the additional set of input data for the artificial neural network by utilizing the physical processes during the propagation of impulse waves in the soil reduces the necessary computational resources without losing the accuracy of recognizing hidden objects. This is beneficial for new radars capable of detecting hidden dangerous objects in real time. 4. The carried out research on artificial neural networks for detecting anti-personnel mines, including in a heterogeneous environment, allows the creation of new unique demining systems capable of detecting hidden explosive devices that practically do not contain metal parts. 5. The new proposed approach to determining the location of hidden objects in the soil using collective artificial intelligence with data obtained from an ultra-wideband ground-penetrating radar not only increases the accuracy of the object’s location, but also improves the quality of its recognition. This has practical significance for geological research, construction, and military applications.

#### **Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

#### **Публікації:**

- Pryshchenko Oleksandr, Plakhtii Vadym, Dumin Oleksandr, Pochanin Gennadiy, Ruban Vadym, Capineri Lorenzo, Crawford Fronefield. Implementation of an Artificial Intelligence Approach to GPR Systems for Landmine Detection. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. № 17. p. 4421. doi: <https://doi.org/10.3390/rs14174421>.
- Гавриленко Д.І., Думін О.М., Прищенко О.А., Аналітична форма розв’язку для нестационарного електромагнітного поля на границі двох середовищ. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*. 2023. Вип. 37, С. 86–97. doi: <https://doi.org/10.26565/2311-0872-2021-37-07>.
- Думін О.М., Прищенко О.А., Плахтій В.А., Широкоград Д.В., Почанін Г.П. Порівняння результатів розпізнавання підповерхневого об’єкту штучними нейронними мережами та кореляційним методом. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*. 2020. Вип. 32, С. 25–36. doi: <https://doi.org/10.26565/2311-0872-2020-32-03>.

- Думін О. М., Прищенко О. А., Плахтій В. А., Почанін Г. П. Виявлення та класифікація наземних мін за допомогою надширокосмугового радару та штучних нейронних мереж. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка. 2020. Вип. 33. С. 7–19. doi: <https://doi.org/10.26565/2311-0872-2020-33-01>.

**Наукова (науково-технічна) продукція:**

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:** 0117U004851, 0120U102309

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Думін Олександр Миколайович
2. Oleksandr Dumin

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., доцент, 01.04.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5067-9689

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Кузнецов Олександр Олександрович
2. Oleksandr Kuznetsov

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 20.02.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-2331-6326

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

**Код за ЄДРПОУ:** 38855349

**Місцезнаходження:** вул. Солом'янська, буд. 7, Київ, 03110, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Залевський Геннадій Станіславович

2. Gennady Zalevsky

**Кваліфікація:** д. т. н., старший науковий співробітник, 05.12.17

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-6173-0571

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба

**Код за ЄДРПОУ:** 24980799

**Місцезнаходження:** вул. Сумська, буд. 77/79, Харків, Харківський р-н., 61023, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство оборони України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Легенький Максим Миколайович

2. Maxim Legenkiy

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доцент, 01.04.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5945-4002

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Бердник Сергій Леонідович

