

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Плахтія Вадима Анатолійовича

«Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання

підповерхневих об'єктів штучними нейронними мережами»,

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 виконанні індивідуального плану навчальної та наукової роботи.

Аспірант Плахтій Вадим Анатолійович 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» (84 бали);
- Іспит з навчальної дисципліни «Іноземна мова для аспірантів» (55 балів);
- Залік з навчальної дисципліни «Підготовка наукових публікацій та презентація результатів досліджень (95 балів);
- Залік з навчальної дисципліни «Інформаційні технології у прикладній фізиці» (95 балів);
- Іспит з навчальної дисципліни «Актуальні проблеми сучасної прикладної фізики та наноматеріалів» (95 балів);
- Іспит з навчальної дисципліни «Актуальні проблеми сучасної радіофізики та електроніки» (82 бали).

Всі заплановані види робіт були виконанні своєчасно. Здобувач плідно співпрацював з науковим керівником протягом усього терміну навчання в аспірантурі.

2. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Застосування нестационарних електромагнітних сигналів все частіше використовується на практиці, це пов'язано зі стрімким розвитком цифрової техніки та засобів зв'язку. Проте, в цьому напрямку ще багато невирішених теоретичних і практичних проблем. Одна з ключових задач - це дослідження перетворення нестационарних сигналів в їх ближній зоні та їхніх змін при розповсюдженні в різних середовищах, особливо, коли це стосується потужних джерел випромінювання. Це стосується імпульсних випромінювачів, які використовуються для дистанційної зупинки транспортних засобів, або вимкнення електроніки і радіолокаційного обладнання. Також це стосується рейкотронів на сучасних кораблях для запуску літаків і надзвукових снарядів. Варто детально дослідити процес перетворення імпульсного протікання потужного струму, який є джерелом електромагнітної хвилі, яка чинить сильний вплив на оточуючі об'єкти. Для цього доцільно використати наближення елементарного диполя Герца, який допоможе дослідити природу протікаючих процесів в околі такого випромінювача.

Для підповерхневого зондування важливо знати особливості перетворення імпульсного електромагнітного поля, які відбуваються в ближній зоні випромінювачів, для зменшення впливу іншого оточуючого обладнання на отримані сигнали та більш ефективного фокусування в напрямку досліджуваного об'єму. Покращення можна досягти використовуючи комбінованих надширокосмугових вібраторно-щілинних випромінювачів. Також для детального аналізу потужних джерел нестационарного струму цікавим є використання еволюційного підходу, що дає змогу аналітично розв'язати даний клас задач у часовому просторі.

Також для задач підповерхневого зондування важливим є виявлення та класифікація прихованих об'єктів в товщі землі. Для

цього існує безліч методів, проте одним із найперспективніших на даний час є використання штучного інтелекту. Через використання надширококушового сигналу георадаром, отримані відбиті сигнали несуть в собі величезну кількість прихованої інформації. Тому очевидним є використання штучних нейронних мереж, які здатні при належному тренуванні виявляти та класифікувати приховані об'єкти навіть в складних умовах слабого енергетичного внеску корисної інформаційної складової.

Для розв'язання тих чи інших електромагнітних задач необхідно точно оцінювати матеріальні параметри як зразків, так і середовища в цілому. Так, наприклад, при проектуванні випромінювача на заданий діапазон частот, неправильна оцінка комплексної діелектричної проникності в результаті призведе до зміщення частотного діапазону та зменшення ефективності антени, а у випадку підповерхневого зондування – до похибок у вимірюванні положення об'єкту та визначенні його типу. Тому задача точного визначення діелектричної проникності та тангенсу втрат в НВЧ діапазоні залишається завжди актуальною.

Таким чином, ця дисертація спрямована на дослідження перетворення нестационарних електромагнітних хвиль в ближній зоні імпульсних випромінювачів, розробці точних методів визначення комплексної діелектричної проникності матеріалів та дослідженню особливостей використання штучних нейронних мереж для задач підповерхневого зондування.

Мета і завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є виявлення фізичних закономірностей процесів перетворення та поширення нестационарних електромагнітних полів та використання цих особливостей у синергії зі штучним інтелектом.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати наступні задачі:

– Дослідження випромінювання елементарного диполя Герца, який може утворювати складний просторовий розподіл потужного струму, та випромінювання комбінованих дипольно-щілинних антен.

Випромінювання антени зі складною апертурою.

Дослідження матеріальних параметрів діелектриків в НВЧ діапазоні.

Аналіз теоретичних та експериментальних часових залежностей, отриманих від надширокосмугових випромінювачів або в результаті розсіяння від прихованих об'єктів штучними нейронними мережами з метою розпізнавання складних підповерхневих об'єктів та визначення їхнього розташування в умовах завад.

Об'єкт дослідження – випромінювання, поширення та розсіяння нестационарних електромагнітних полів у ближній та дальній зоні випромінювачів.

Предмет дослідження – просторові та часові перетворення нестационарних полів у вільному просторі та в середовищі, отримання інформації з імпульсного поля після його взаємодії з прихованими об'єктами.

Методи дослідження

У дисертації використані відомі, апробовані математичні та радіофізичні методи, числові методи сіткового типу, як метод скінченних різниць у часовому просторі (FDTD), метод еволюційних рівнянь, метод функції Рімана, метод часткових областей. Для аналізу нестационарних сигналів використовувався підхід зі штучними нейронними мережами різних структур та функцій збудження. Числове моделювання проводилося за допомогою програмного комерційного пакету ANSYS HFSS в частотному просторі методом скінченних елементів. Експериментальні дослідження комплексної діелектричної проникності проводились завдяки векторному

аналізатору спектра Agilent NA 5230A. Експериментальні радарограми отримувались впродовж польових досліджень на полігоні з макетами протипіхотних мін.

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

У дисертації наведено результати досліджень, виконаних автором з його науковим керівником протягом 2014–2022 рр. відповідно до науково-дослідних робіт кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Основними з них є такі.

1. Моделювання та дослідження відкритих нелінійних нанорозмірних електродинамічних систем із нестационарним і гармонічним збудженням для перетворення полів та створення елементів спінтроники. (2014-2017 рр.), номер держреєстрації 0114U002585 (виконавець напрямку).
2. 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 (виконавець)
3. Електромагнітні поля імпульсних джерел та наноосциляторів в однорідних, шаруватих та нелінійних середовищах (2020-2022 рр.), номер держреєстрації 0120U102309 (відповідальний виконавець)

4. Особистий внесок дисертанта 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.

Вперше:

- Вдалось докорінним чином покращити формування хвилі у ближній зоні випромінювача електричного типу, розташовуючи в ній випромінювач магнітного типу. Перевагою такого комбінованого випромінювача, аналога антени Клевіна, є ефективне формування в невеликому фізичному об'ємі імпульсної хвилі з малими післяімпульсними коливаннями без застосування додаткових штучних омичних втрат, що є актуальним для її застосування для різних задач, в тому числі передачі інформації та зондування.
- Шляхом зшивання компонент поля у часовому просторі вдалося у першому наближенні отримати аналітичні вирази для відбитого поля і поля, що пройшло в середовище. Продемонстрована можливість формування «електромагнітного снаряду» у середовищі, що опромінене імпульсною електромагнітною хвилею надкороткої тривалості.
- Запропоновано нову методику розрахунку похибки визначення комплексної діелектричної проникності при порівнянні розрахункової та вимірної баз даних.
- Показано порівнянням ШНМ та методів кореляції для розпізнавання кутів, що штучні нейронні мережі можуть продемонструвати кращу точність, ніж кореляційний підхід. Надійним є використання ШНМ до значення ССШ = 10 дБ та вище і методу взаємної кореляції для ССШ = 20 дБ та вище. Але навіть для ССШ = 0 дБ ШНМ дає коректне розпізнавання кутів після статистичного усереднення результатів класифікації. ШНМ в числовому моделюванні демонструє час розрахунку на три порядки менший, ніж нам потрібно для розрахунку функції взаємної кореляції.
- Продемонстровано, що застосування шару SoftMax робить відповіді ШНМ більш контрастними в задачах підповерхневого зондування, але призводить до ледве помітних помилок. Застосування методу Dropout в цілому підвищило якість роботи ШНМ для цієї задачі.
- Показано, що за наявності білого шуму різного рівня немає достовірних переваг у кінцевих результатах розпізнавання позицій об'єкта для обох підходів ШНМ та взаємної кореляції. Метод взаємної кореляції не потребує

синхронізації часу між випромінювачем та приймачем, на відміну від ШНМ, але вимагає значного часу розрахунку. Існує можливість покращити якість класифікації розташування об'єкта, поєднавши ці два підходи.

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

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів, одержаних Плахтієм В.А., при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, полягає у використанні фундаментальних підходів і методів обчислюваної та математичної фізики. Поміж іншого у дисертації представлені результати експериментів, які пов'язані з визначенням матеріальних параметрів досліджуваних матеріалів, результати яких тісно корелюють з результатами інших науковців. 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.

6. Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Отримані вирази для полів у ближній зоні нестационарних випромінювачів мають практичну цінність для радарних систем, де об'єкти досліджень знаходяться в ближній зоні, системах неруйнівного контролю. Ці результати важливі для здоров'я обслуговуючого персоналу радарних та рейкотронних систем.

З точки зору практичних застосувань в дисертації розроблено методики визначення діелектричної проникності з високою точністю та створено випромінювачі, що забезпечують розвиток методів виявлення локальних неоднорідностей в об'єктах, розташованих у вільному просторі.

Запропоновані в роботі випромінювачі можуть бути використані в бездротових локальних мережах, задачах неруйнівного контролю, моніторингу навколишнього середовища, біології, медицині та тому подібне.

Надширокосмуговий комбінований випромінювач Клевіна одночасно електричного і магнітного типу є практично цінним через те, що маючи відносно малі розміри він має можливість ефективно випромінювати імпульсні електромагнітні хвилі як одиночна антена, так і як елемент антенної решітки.

Практична цінність запропонованого підходу на ШНМ ілюструється використанням близького до реального джерела полів з обмеженою енергією, розташованого на невеликій висоті від ґрунту, застосуванням такого складного для розпізнавання об'єкта, як реальна протипіхотна міна, та спроба прямого навчання штучної нейронної мережі на розпізнавання мін з даних експериментальних радарограм, знятих в умовах, близьких до реальних.

Практично цікавою є система позиціонування на імпульсних хвилях через відсутність вимог щодо часової синхронізації передавачів і приймачів та завадостійкість по відношенню до традиційних вузькосмугових систем.

Результати дисертаційного дослідження Плахтія В.А. було використано при виконанні науково-дослідних робіт у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна відповідно до плану науково-дослідних робіт факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем (номери держзамовлення: 0114U002585, 0117U004851 та 0120U102309).

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

Матеріали дисертаційної роботи опубліковано в 11 наукових працях, серед яких 4 статті у виданнях, які входять до наукометричних баз SCOPUS та Web of Science, 7 стаття у науковому виданні, включеному на дату видання до

переліку фахових видань України, 17 тез доповідей що входять до наукометричних баз SCOPUS та Web of Science.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. О.М. Думін, В.А. Плахтій, П.Г. Фомін, М.В. Нестеренко, “Надширокосмуговий комбінований вібраторно-щілинний випромінювач типу клевіна” *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, вип. 32, с. 18–24, 2020, doi: [10.26565/2311-0872-2020-32-02](https://doi.org/10.26565/2311-0872-2020-32-02)

2. Д.І. Гавриленко, О.М. Думін, В.А. Плахтій, “Аналіз імпульсного електромагнітного поля у часовому просторі на границі розділу двох середовищ» *Вісник Харківського національного університету імені імені В. Н. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка»*, вип. 35, с. 39–52, 2021, doi: <https://doi.org/10.26565/2311-0872-2021-35-04>

3. О.М. Думін, В.А. Плахтій, І.Д. Персанов, Ш. Као, “Система позиціонування на імпульсних надширокосмугових полях,” *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, вип. 31, с. 36-46, 2019, doi: [10.26565/2311-0872-2019-31-04](https://doi.org/10.26565/2311-0872-2019-31-04)

4. І. Д. Персанов, О. М. Думін, В. А. Плахтій, О. А. Прищенко, П. Г. Фомін, “Порівняння методів кореляції та штучних нейронних мереж для визначення положення об’єктів за допомогою надширокосмугових полів,” *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, вип. 34, с. 39–47, 2021, doi: [10.26565/2311-0872-2021-34-05](https://doi.org/10.26565/2311-0872-2021-34-05)

5. О. М. Думін, В. А. Плахтій, О. А. Прищенко, Д. В. Широкоград, “Розпізнавання об’єктів під поверхнею землі при надширокосмуговій радіоінтроскопії за допомогою штучних нейронних мереж,” *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, по. 28, с. 24-29, 2018.

6. І.Д. Персанов, О.М. Думін, В.А. Плахтій, Д.В. Широкоград, “Розпізнавання об'єктів під поверхнею ґрунта за допомогою імпульсного опромінювання антеною типу «метелик» та штучної нейронної мережі” *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, вип. 29, с. 27–34, 2018, doi: [10.26565/2311-0872-2018-29-04](https://doi.org/10.26565/2311-0872-2018-29-04)

7. О. М. Думін, О. А. Прищенко, В. А. Плахтій, Г. П. Почанін, “Виявлення та класифікація наземних мін за допомогою надширококутового радару та штучних нейронних мереж,” *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, вип. 33, с. 7–19, 2018, doi: [10.26565/2311-0872-2020-33-01](https://doi.org/10.26565/2311-0872-2020-33-01)

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації у періодичних наукових виданнях держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу або у, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus або Web of Science

8. I. I. Ivanchenko, M. Khruslov, N. Popenko, V. Plakhtii, D. Rönnow, and Y. Shestopalov, “A novel resonance method for determining the complex permittivity of local inclusions in a rectangular waveguide,” *Measurement Science and Technology*, vol. 31, no. 9, p. 097001, Jun. 2020, doi: [10.1088/1361-6501/ab870f](https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab870f).

9. I. Ivanchenko, M. Khruslov, N. Popenko, V. Plakhtii, V. Tkach, “Modified cavity perturbation method for high-precision measurements of complex permittivity throughout the X-band,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 62, no. 10, pp. 3180–3185, May 2020, doi: [10.1002/mop.32456](https://doi.org/10.1002/mop.32456).

10. O. Dumin, V. Plakhtii, O. Prishchenko, D. Shyrokorad, and V. A. Katrich, “Ultrashort impulse radar for detection and classification of

objects in layered medium by artificial neural network,” *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 78, no. 19, pp. 1759–1770, 2019, doi: [10.1615/telecomradeng.v78.i19.80](https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v78.i19.80).

11. Oleksandr Pryshchenko, Vadym Plakhtii, Oleksandr Dumin, Gennadiy Pochanin, Vadym Ruban, Lorenzo Capineri, Fronefield Crawford, “Implementation of an Artificial Intelligence Approach to GPR Systems for Landmine Detection,” *Remote Sensing*, vol. 14, no. 17, p. 4421, Sep. 2022, doi: [10.3390/rs14174421](https://doi.org/10.3390/rs14174421).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

12. O. Dumin, O. Prishchenko, G. Pochanin, V. Plakhtii, D. Shyrokorad, "Subsurface Object Identification by Artificial Neural Networks and Impulse Radiolocation," *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018, pp. 434-437, doi: [10.1109/DSMP.2018.8478481](https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478481)

13. O. Dumin, O. Prishchenko, D. Shyrokorad, V. Plakhtii, “Application of UWB Electromagnetic Waves for Subsurface Object Location Classification by Artificial Neural Networks,” *2018 9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS)*, Sep. 2018, doi: [10.1109/UWBUSIS.2018.8520097](https://doi.org/10.1109/UWBUSIS.2018.8520097).

14. O.M. Dumin, V.A. Plakhtii, O.A. Prishchenko, D.V. Shyrokorad, “Neural Network Application in Object Classification by Impulse Radiolocation,” *Conf. Proc. Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI–2019)*, Zaliznyi Port, Ukraine, May 21-25, 2019, pp. 61–63.

15. I. Persanov, O. Dumin, V. Plakhtii and D. Shyrokorad, "Subsurface Object Recognition in a Soil Using UWB Irradiation by Butterfly Antenna," *2019 XXIVth International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 160-163, doi: [10.1109/DIPED.2019.8882577](https://doi.org/10.1109/DIPED.2019.8882577).

16. V. Plakhtii, O. Dumin, O. Prishchenko, D. Shyrokorad and G. Pochanin, "Influence of Noise Reduction on Object Location Classification by Artificial Neural Networks for UWB Subsurface Radiolocation," *2019 XXIVth International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 64-68, doi: [10.1109/DIPED.2019.8882590](https://doi.org/10.1109/DIPED.2019.8882590).

17. O. Dumin, V. Plakhtii, O. Prishchenko and D. Shyrokorad, "Signal Processing in UWB Subsurface Radiolocation by Artificial Neural Networks," *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 383-386, doi: [10.1109/PICST47496.2019.9061427](https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061427).

18. O. Dumin, V. Plakhtii, I. Persanov and S. Cao, "Positioning System Using Classification of Ultra Short Electromagnetic Pulse Forms by ANN," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 1-6, doi: [10.1109/TCSET49122.2020.235460](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235460).

19. O. Dumin, V. Plakhtii, O. Pryshchenko, G. Pochanin, "Comparison of ANN and Cross-Correlation Approaches for Ultra Short Pulse Subsurface Survey," in *15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET – 2020)*, Feb. 2020, <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235459>.

20. Д.В. Ширококорад, О.М. Думін, В.А. Плахтій, Г.В. Корніч, "Обробка сигналів при підповерхневій радіолокації штучними нейронними мережами," в *22 Міжнародний науково-практичний семінар «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування»*, Запоріжжя-Кропивницький, Україна, 15-16 травня 2020, pp. 384–387.

21. O. Dumin, O. Pryshchenko, V. Plakhtii and G. Pochanin, "Dielectric Object Subsurface Survey by Ultrawideband Radar and ANN," *2020 IEEE XXVth International Seminar/Workshop Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Tbilisi, Georgia, 2020, pp. 13-18, doi: [10.1109/DIPED49797.2020.9273400](https://doi.org/10.1109/DIPED49797.2020.9273400).

22. O. Dumin, P. Fomin, V. Plakhtii and N. Mikhail, "Ultrawideband Combined Monopole-Slot Radiator of Clavin Type," in *2020 IEEE XXVth International Seminar/Workshop Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Tbilisi, Georgia, 2020, pp. 32-36, doi: [10.1109/DIPED49797.2020.9273399](https://doi.org/10.1109/DIPED49797.2020.9273399).

23. I. Ivanchenko, N. Popenko, M. Khruslov and V. Plakhtii, "Numerical Simulations of the X-band Waveguide Partially Filled with a Dielectric with Local Inhomogeneity Inside," *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 688-691, doi: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252647](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252647).

24. I. Persanov, V. Plakhtii, O. Pryshchenko, O. Dumin and P. Fomin, "Noise Immunity of UWB Positioning System on ANN," *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 1083-1088, doi: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252637](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252637).

25. O. Dumin, V. Plakhtii, G. Pochanin and D. Shyrokorad, "Object classification using artificial neural network processing of data obtained by impulse GPR with 1 Tx + 4Rx antenna system," *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 1140-1144, doi: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252613](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252613).

26. O. Dumin, O. Pryshchenko, V. Plakhtii and G. Pochanin, "Landmine detection and classification using UWB antenna system and ANN analysis," *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 1030-1035, doi: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252574](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252574).

27. O. Pryshchenko, O. Dumin, V. Plakhtii, and G. Pochanin, "Subsurface Object Detection in Randomly Inhomogeneous Medium Model," *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, pp. 167–171, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575688>.

28. D. Havrylenko, O. Dumin and V. Plakhtii, "Irradiation of Medium by Plane Disk with Uniform Distribution of Transient Current," *2021 IEEE 26th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Tbilisi, Georgia, 2021, pp. 74-77, doi: [10.1109/DIPED53165.2021.9552298](https://doi.org/10.1109/DIPED53165.2021.9552298).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

29. О.М. Думін, В.А. Плахтій, Я.С. Вольвач, О.А. Думіна "Ближнее нестационарное поле диполя Герца" *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*. Вип. 24, №1115, с. 29–34, 2014.

30. О.М. Думін, В.А. Плахтій, Я.С. Вольвач, О.А. Думіна, "Зоны излучения импульсного излучателя малых электрических размеров," *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, вип. 26, с. 35–41, 2017.

31. О. М. Думін, В.А. Плахтій, О. А. Прищенко, Д. В. Широкопад, Я. С. Вольвач, "Вплив зменшення шуму вхідного сигналу на класифікацію місцезнаходження об'єкту штучною нейронною мережею при надширокосмуговій радіоінтроскопії," *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, по. 31, с. 27–35, 2019, doi: [10.26565/2311-0872-2019-31-03](https://doi.org/10.26565/2311-0872-2019-31-03).

32. О.М. Думін, О.А. Прищенко, В.А. Плахтій, Д.В. Широкоград, Г.П. Почанін, “Порівняння результатів розпізнавання підповерхневого об’єкту штучними нейронними мережами та кореляційним методом,” *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*, вип. 32, с. 25–36, 2020, [10.26565/2311-0872-2020-32-03](https://doi.org/10.26565/2311-0872-2020-32-03)

33. I. V. Ivanchenko, D. Ivanchenko, M. M. Khruslov, N. A. Popenko, and V. Plakhtii, “Criteria of applicability of the resonant microwave method for measuring the dielectric constants in the frequency band,” *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 76, no. 18, pp. 1661–1669, 2017, doi: [10.1615/telecomradeng.v76.i18.70](https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v76.i18.70).

34. О.М. Dumin, V.A. Plakhtii, I.S. Volvach, O.O. Dumina, “Near field of Hertzian dipole excited by impulse current”, in *Proc. 10th International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT-2015)*, Kharkiv, Ukraine, pp. 90-92, 21-24 April 2015, doi: [10.1109/ICATT.2015.7136790](https://doi.org/10.1109/ICATT.2015.7136790)

35. V. A. Plakhtii, O. M. Dumin, V. A. Katrich, and O. O. Dumina, “Field regions of impulse current radiator of small size,” 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Jun. 2016, doi: [10.1109/msmw.2016.7538066](https://doi.org/10.1109/msmw.2016.7538066).

36. D. Ivanchenko, I. Ivanchenko, M. Khruslov, N. Popenko and V. Plakhtiy, "Definition permittivity of weakly concentrated solutions in the microwave range," *2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2016, pp. 1-3, doi: [10.1109/MSMW.2016.7538188](https://doi.org/10.1109/MSMW.2016.7538188).

37. V. A. Plakhtii, O. M. Dumin, V. A. Katrich, O. O. Dumina, and I. S. Volvach, “Energy transformation of transient field of Hertzian dipole,” 2016 IEEE International Conference on Mathematical Methods in

Electromagnetic Theory (MMET), Jul. 2016, doi: [10.1109/mmet.2016.7544054](https://doi.org/10.1109/mmet.2016.7544054).

38. I. Ivanchenko, M. Khruslov, N. Popenko, V. Plakhtii and S. Mykhaliuk, "X-band resonator for studying the various axially symmetric inhomogeneities in the frequency band," *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Kyiv, Ukraine, 2017, pp. 229-232, doi: [10.1109/UKRCON.2017.8100480](https://doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100480).

39. I. Ivanchenko, M. Khruslov, V. Plakhtiy and N. Popenko, "A new approach to the measurement of dielectric constants of water solutions in the frequency band," *2017 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)*, Verona, Italy, 2017, pp. 1083-1085, doi: [10.1109/ICEAA.2017.8065451](https://doi.org/10.1109/ICEAA.2017.8065451).

Результати дисертаційної роботи повністю відображено у публікаціях.

8. Дотримання академічної доброчесності.

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

9. Апробація матеріалів дослідження.

Результати проведених досліджень представлялися на міжнародних конференціях у формі доповідей, за результатами яких були опубліковані матеріали наукових конференцій:

1. O. Dumin, O. Prishchenko, G. Pochanin, V. Plakhtii, D. Shyrokograd, "Subsurface Object Identification by Artificial Neural Networks and Impulse Radiolocation," *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018, pp. 434-437, doi: [10.1109/DSMP.2018.8478481](https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478481)

2. O. Dumin, O. Prishchenko, D. Shyrokorad, V. Plakhtii, "Application of UWB Electromagnetic Waves for Subsurface Object Location Classification by Artificial Neural Networks," 2018 9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS), Sep. 2018, doi: [10.1109/UWBUSIS.2018.8520097](https://doi.org/10.1109/UWBUSIS.2018.8520097).

3. O.M. Dumin, V.A. Plakhtii, O.A. Prishchenko, D.V. Shyrokorad, "Neural Network Application in Object Classification by Impulse Radiolocation," *Conf. Proc. Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI-2019)*, Zaliznyi Port, Ukraine, May 21-25, 2019, pp. 61–63.

4. I. Persanov, O. Dumin, V. Plakhtii and D. Shyrokorad, "Subsurface Object Recognition in a Soil Using UWB Irradiation by Butterfly Antenna," *2019 XXIVth International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 160-163, doi: [10.1109/DIPED.2019.8882577](https://doi.org/10.1109/DIPED.2019.8882577).

5. V. Plakhtii, O. Dumin, O. Prishchenko, D. Shyrokorad and G. Pochanin, "Influence of Noise Reduction on Object Location Classification by Artificial Neural Networks for UWB Subsurface Radiolocation," *2019 XXIVth International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 64-68, doi: [10.1109/DIPED.2019.8882590](https://doi.org/10.1109/DIPED.2019.8882590).

6. O. Dumin, V. Plakhtii, O. Prishchenko and D. Shyrokorad, "Signal Processing in UWB Subsurface Radiolocation by Artificial Neural Networks," *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 383-386, doi: [10.1109/PICST47496.2019.9061427](https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061427).

7. O. Dumin, V. Plakhtii, I. Persanov and S. Cao, "Positioning System Using Classification of Ultra Short Electromagnetic Pulse Forms by

ANN," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 1-6, doi: [10.1109/TCSET49122.2020.235460](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235460).

8. O. Dumin, V. Plakhtii, O. Pryshchenko, G. Pochanin, "Comparison of ANN and Cross-Correlation Approaches for Ultra Short Pulse Subsurface Survey," in *15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET – 2020)*, Feb. 2020, <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235459>.

9. Д.В. Широкоград, О.М. Думін, В.А. Плахтій, Г.В. Корніч, "Обробка сигналів при підповерхневій радіолокації штучними нейронними мережами," в *22 Міжнародний науково-практичний семінар «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування»*, Запоріжжя-Кропивницький, Україна, 15-16 травня 2020, pp. 384–387.

10. O. Dumin, O. Pryshchenko, V. Plakhtii and G. Pochanin, "Dielectric Object Subsurface Survey by Ultrawideband Radar and ANN," *2020 IEEE XXVth International Seminar/Workshop Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Tbilisi, Georgia, 2020, pp. 13-18, doi: [10.1109/DIPED49797.2020.9273400](https://doi.org/10.1109/DIPED49797.2020.9273400).

11. O. Dumin, P. Fomin, V. Plakhtii and N. Mikhail, "Ultrawideband Combined Monopole-Slot Radiator of Clavin Type," in *2020 IEEE XXVth International Seminar/Workshop Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Tbilisi, Georgia, 2020, pp. 32-36, doi: [10.1109/DIPED49797.2020.9273399](https://doi.org/10.1109/DIPED49797.2020.9273399).

12. I. Ivanchenko, N. Popenko, M. Khruslov and V. Plakhtii, "Numerical Simulations of the X-band Waveguide Partially Filled with a Dielectric with Local Inhomogeneity Inside," *2020 IEEE Ukrainian*

Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 688-691, doi: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252647](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252647).

13. I. Persanov, V. Plakhtii, O. Pryshchenko, O. Dumin and P. Fomin, "Noise Immunity of UWB Positioning System on ANN," *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 1083-1088, doi: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252637](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252637).

14. O. Dumin, V. Plakhtii, G. Pochanin and D. Shyrokorad, "Object classification using artificial neural network processing of data obtained by impulse GPR with 1 Tx + 4Rx antenna system," *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 1140-1144, doi: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252613](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252613).

15. O. Dumin, O. Pryshchenko, V. Plakhtii and G. Pochanin, "Landmine detection and classification using UWB antenna system and ANN analysis," *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 1030-1035, doi: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252574](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252574).

16. O. Pryshchenko, O. Dumin, V. Plakhtii, and G. Pochanin, "Subsurface Object Detection in Randomly Inhomogeneous Medium Model," *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, pp. 167–171, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575688>.

17. D. Havrylenko, O. Dumin and V. Plakhtii, "Irradiation of Medium by Plane Disk with Uniform Distribution of Transient Current," *2021 IEEE 26th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Tbilisi, Georgia, 2021, pp. 74-77, doi: [10.1109/DIPED53165.2021.9552298](https://doi.org/10.1109/DIPED53165.2021.9552298).

10. Оцінка структури, мови та стилю дисертації.

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступно для сприйняття. Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. №14), наказу Міністерства освіти і науки України «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (від 12.01.2017 р. №40).

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

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значущістю дисертаційна робота Плахтія В.А. «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мере» повністю відповідає паспорту спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

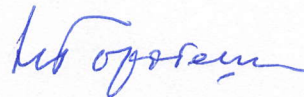
**12. Результати обговорення та проведення презентації.
Рекомендація дисертації до захисту.**

Здобувач продемонстрував основні результати своєї дисертаційної роботи на розширеному засіданні кафедри прикладної електродинаміки Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна щодо попередньої експертизи дисертації (Витяг з протоколу №9 розширеного засідання кафедри прикладної електродинаміки від 23 жовтня 2023 року) у формі презентації та наукової дискусії після її завершення. На даному засіданні були присутні 16 співробітників із різних наукових установ України, із яких 4 докторів наук та 5 кандидатів наук. Дисертанту було задано 50 запитань, на які він надав відповіді. Також виступили 7 науковців, які позитивно відізнались про дисертаційне дослідження Плахтія В.А..

У рамках цього розширеного засідання було ухвалено одноголосно (15 голосів) рекомендувати дисертаційну роботу аспіранта Плахтія Вадима

Анатолійовича «Надширокосмугові електромагнітні поля в задачах розпізнавання підповерхневих об'єктів штучними нейронними мере» до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

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



Микола ГОРОБЕЦЬ