

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U000383

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 15-01-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № НСВС/32/24



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Зозюк Максим Олегович

2. Maksym O. Zoziuk

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9116-7217

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: ні

Шифр наукової спеціальності: 153

Назва наукової спеціальності: Автоматизація та приладобудування. Мікро- та наносистемна техніка

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Мікро- та наносистемна техніка

Дата захисту: 06-03-2024

Спеціальність за освітою: МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА

Місце роботи здобувача: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

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

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 26.002.104; ID 4310

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, 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:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 28.23.37, 29.03.45, 47.09.53

**Тема дисертації:**

1. Згорткова нейронна мережа для прогнозування коефіцієнту пропускання метаматеріалів в залежності від їх структури
2. Application of convolutional neural network for predicting the coefficient of passage of metamaterials depending on the structure and physical composition of metamaterials

**Реферат:**

1. Зозюк М. О. Згорткова нейромережа для прогнозування коефіцієнту пропускання метаматеріалів в залежності від їх структури. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка (галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування). – Національний технічний університет України, Київ, 2022. Робота присвячена розробці методики прогнозування коефіцієнту пропускання метаматеріалів на основі топологічної структури та складу із застосуванням технік глибокого навчання, а саме – математичні нейронні мережі з використанням операцій згортки та допоміжних. Науково-прикладні дослідження,

висвітлені в дисертаційній роботі, зосереджені на практичному дослідженні згорткових нейронних мереж для виконання завдань прогнозування у сферах проектування, передбачення метаматеріалів з потрібними властивостями. Проаналізована можливість прогнозування коефіцієнту пропускання на основі інформації про структуру та складу метаматеріалів. Показано, що така можливість існує й описані основні умови, які накладаються на дані про метаматеріали, які потрібні для використання згорткових нейронних мереж при розв'язанні задач з прогнозування інформації про метаматеріали. Встановлено, що дані збережені в «.ply» форматі, не підходять, як вхідні дані для нейронної мережі. Був використаний програмний пакет Open3D на базі Python, для конвертації початкового формату у формат «.xyzrgb», який становить собою масив, де кожен рядок – це вектор з шести чисел; перші три – це координати, три інших – це RGB числа. Показана можливість використання такого вигляду інформації в процесах згортки та для навчання нейронної мережі.

Представлено умови, які накладаються на дані: однорідність даних, що означає, що всі параметри, які впливають на результат прогнозування, мають або бути однаковими, або бути внесені в дані, як інформація про властивості; масштабованість, що означає, що дані мають бути зведені до однакових діапазонів значень та масштабів. Розроблено алгоритм прогнозування властивостей на основі структури та складу метаматеріалів із використанням згортокової нейронної мережі. Розроблено алгоритм для збереження інформації про склад метаматеріалів. Показано, що використовуючи інформації про електромагнітні властивості компонентів є можливість передбачувати електромагнітні властивості метаматеріалів. Побудовано в цифровому середовищі 3D об'єкти метаматеріалів із закріпленням за кожним пікселем інформації про компонент. Описано алгоритм збереження цієї інформації у зручному для навчання згортокової нейронної мережі вигляді. Представлено види цифрових форматів, які можуть бути використані для збереження потрібної про метаматеріали інформації. Проаналізовано формат, який використовувався для збереження інформації про 3D об'єкт в цій роботі. Описано процес представлення властивостей метаматеріалів у зручному для навчання згортокової нейронної мережі вигляді. Два методи було використано для порівняння ефективності обох методів. Показано, що метод з представлення характеристик у вигляді коефіцієнтів полінома є швидшим, але не відповідним для вирішення задач з прогнозування характеристик метаматеріалів. Проаналізовано інші формати збереження інформації про 3D структури. Досліджено, що такі формати, як «.fbx», «.obj», «.stl», «.3ds» не підходять, через такі причини: відсутність ефективного програмного функціонала (для конвертування в потрібний для нейронної мережі формат); відсутність збереження інформації про додаткові канали інформації; присутність зайвої інформації, яку немає можливості відділити від необхідної. Розроблено архітектуру згортокової нейронної мережі для прогнозування частотних електромагнітних характеристик на основі структури та складу метаматеріалів. Показані результати прогнозування для обох випадків з представлення коефіцієнту пропускання – у вигляді масиву точок та коефіцієнтів поліному. Проаналізовано результати прогнозування та приведені способи до покращення цих результатів та оптимізації мережі для зменшення часу виконання навчання та збереження ресурсів. Вказано, що збільшення даних є найбільш ефективним методом для покращення результатів прогнозування. Попри це, методи покращення результатів, які засновані на зміні архітектури та зміні гіперпараметрів потрібно постійно оцінювати та використовувати при можливості. Ключові слова: згортокова нейронна мережа, дизайн метаматеріалів, 3D модель, коефіцієнт пропускання, глибоке навчання, діелектрична проникність, вимірювання параметрів матеріалів, діелектричні матеріали, апроксимаційна модель, експериментально-аналітичний метод, візуалізація інформації, нелінійна модель, інтелектуальне обчислення, комп'ютерне програмування, діелектрики, чисельне моделювання, машинне навчання, математичне моделювання, передбачення.

2. Zozyuk Maksym Application of convolutional neural network for predicting the coefficient of passage of metamaterials depending on the structure and physical composition of metamaterials. – Qualifying scientific work on manuscript rights. Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 153 – Micro- and nanosystem engineering (field of knowledge 15 – Automation and instrument engineering). – National Technical University of Ukraine, Kyiv, 2022. The work is devoted to the development of a technique for predicting the penetration coefficient of metamaterials based on topological structure and physical composition with the use

of machine learning techniques, namely artificial neural networks using convolution and auxiliary operations. Scientific and applied research, highlighted in the dissertation, is focused on the practical study of artificial convolutional neural networks for performing forecasting tasks in the fields of design, prediction of metamaterials with the required properties. The choice of these machine learning techniques is due to the inefficiency of other existing methods for the tasks of predicting properties and designing metamaterials. The possibility of predicting the transmission coefficient based on information about the structure, physical composition, and measurement conditions of metamaterials is analyzed. It is shown that such a possibility exists, and the main conditions imposed on data about metamaterials, which are required for the use of convolutional neural networks in solving problems of predicting information about metamaterials, are described. An algorithm for predicting the transmission coefficient based on the structure, physical composition of metamaterials based on a convolutional neural network using experimental data of laboratory metamaterials has been developed. It was found that data saved in ".ply" format is not suitable as input data for a neural network. The Python-based Open3D software package was used to convert the original format to the ".xyzrgb" format, which is an array where each line is a vector of six numbers; the first three are coordinates, the other three are RGB numbers. The possibility of using this type of information in convolution processes and for neural network training is shown. Conditions imposed on the data are presented: data homogeneity, which means that all parameters that affect the prediction result must either be the same or be included in the data as property information; scalability, which means that the data must be reduced to the same ranges of values and scales. An algorithm for saving information about the physical composition of metamaterials has been developed. It is shown that using information about the electromagnetic properties of chemical elements, it is possible to predict the transmission coefficient of metamaterials. 3D objects of metamaterials are built in a digital environment with information about a chemical element attached to each pixel. The algorithm for saving this information in a form convenient for training a convolutional neural network is described. Types of digital formats that can be used to save the necessary information about metamaterials are presented. The format used to store information about the 3D object in this work was analyzed. Other formats for saving information about 3D structures were analyzed. It has been studied that such formats as ".fbx", ".obj", ".stl", ".3ds" are not suitable due to the following reasons: lack of effective software functionality (to convert to the format required for the neural network); lack of saving information about additional channels of information; the presence of redundant information that cannot be separated from the necessary information. A convolutional neural network architecture has been developed for predicting the transmission coefficient based on the structure and physical composition of metamaterials. Prediction results are shown for both cases from the representation of the pass coefficient - in the form of an array of points and polynomial coefficients. The prediction results are analyzed and techniques are given to improve these results and optimize the network to reduce training execution time and save resources. Data augmentation is shown to be the most effective method for improving forecasting results. Nevertheless, performance improvement methods based on architecture changes and hyperparameter changes should be continually evaluated and used whenever possible. Keywords: convolutional neural network, metamaterial design, 3D model, pass rate, dielectric materials, dielectric constant, measurement of material parameters, approximation model, experimental-analytical method, information visualization, non-linear model, intelligent computing, computer programming, dielectrics, numerical modeling, machine learning, mathematical modeling, prediction.

**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:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

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

**Публікації:**

- M. O. Zozyuk, D. V. Koroliouk, P. I. Krysenko, A. I. Yurikov and Y. I. Yakymenko, “Prediction of characteristics using a convolutional neural network based on experimental data on the structure and composition of metamaterials,” STATISTICS, OPTIMIZATION AND INFORMATION COMPUTING, vol. 11, no. 3, pp. 777–787, Jun. 2023, doi:10.19139/soic-2310-5070-1707.
- М.О. Зозюк та О.І. Юріков. “Використання згорткової нейронної мережі для прогнозування коефіцієнту пропускання метаматеріалів від їх структури та складу,” Мікросистеми, Електроніка та Акустика., vol. 28, no. 1, pp. 271444.1-271444.10, Jul. 2023, doi:10.20535/2523-4455.me.271444.
- M. O. Zoziuk, O. I. Yurikov, D. V. Koroliouk and Y. I. Yakymenko, “The Principle of Creating Quasiperiodic Surfaces under the Action of a Vibrating Dielectric Matrix,” Microsystems, Electronics and Acoustics, vol. 25, no. 1, 2020, pp. 5-10, Dec. 2020. doi:10.20535/2523-4455.me.202632.
- P. I. Krysenko, M. O. Zoziuk, O. I. Yurikov, D. V. Koroliuk and Yu. I. Yakymenko, “Chladni Figures Simulation on a Rectangular Plate,” Microsystems, Electronics and Acoustics, vol. 26, no. 1, 2021, pp. 241698.1-241698.6, Dec. 2021. doi:10.20535/2523-4455.me.241698.
- S.O. Dovgyi, O.I. Yurikov and M.O. Zozyuk, “On One Statistical Model of Error Rate in the Stream of Packet Data Transmission through Communication Channels,” Cybern Syst Anal, vol. 56, no. 5, pp. 739–744, Oct. 2020. doi:10.1007/s10559-020-00294-x.
- M. O. Zozyuk, D. V. Koroliouk, V. O. Moskaliuk, A. I. Yurikov and Y. I. Yakymenko, “Creation of quasiperiodic surfaces under the action of vibrating dielectric matrices,” presented at the 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, 2020. Available: doi:10.1109/ELNANO50318.2020.9088821. Accessed on: April 22, 2020.
- М.О. Зозюк та О.І. Юріков, “Підготовка даних для використання в системах прогнозування властивостей метаматеріалів для нейронної згорткової мережі,” представлено на XXI Міжнародній науково – практичній конференції – Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток, Київ, Україна, 2022.
- М.О. Зозюк, Д.В. Королюк, П.І. Крисенко, О.І. Юріков та Ю.І. Якименко, “Використання нейронних мереж для прогнозування властивостей метаматеріалів,” представлено на IX Міжнародній науковій конференції імені І. І. Ляшка «Обчислювальна та прикладна математика», Київ, Україна, 2022.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології; методи, теорії, гіпотези; програмні продукти, програмно-технологічна документація

**Соціально-економічна спрямованість:** створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Королюк Дмитро Володимирович
2. Dmitro V. Koroliouk

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., с.н.с., 01.05.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-2765-3450

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

**Код за ЄДРПОУ:** 26022051

**Місцезнаходження:** Чоколовський бульвар, буд. 13, Київ, 03186, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

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

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Бомба Андрій Ярославович

2. Andrii Y. Bomba

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 01.05.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5528-4192

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет водного господарства та природокористування

**Код за ЄДРПОУ:** 02071116

**Місцезнаходження:** вул. Соборна, буд. 11, Рівне, Рівненський р-н., 33028, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Крак Юрій Васильович

2. Yurii V. Krak

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.05.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-8043-0785

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070944

**Місцезнаходження:** вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

### **Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Діденко Юрій Вікторович

2. Yurii V. Didenko

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.27.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7305-8519

**Додаткова інформація:** ;<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54891608300>

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мачулянський Олександр Вікторович

2. Oleksandr Machulianskyi

**Кваліфікація:** д. т. н., доц., 05.27.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-0057-9844

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

## **VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Вербицький Володимир Григорович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Вербицький Володимир Григорович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Зозюк Максим Олегович

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна