

АНОТАЦІЯ

Баранов О.М. Моделі ансамблевої класифікації зображень на основі стекінгу нейронних мереж. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Національний університет «Одеська політехніка», МОН України, Одеса, 2026.

Дисертаційна робота присвячена розробці моделей і методів підвищення ефективності ансамблевої класифікації зображень на основі стекінгу нейронних мереж для використання у застосуваннях з невеликими розмірами зображень та невеликими наборами даних для навчання.

Метою дисертаційної роботи є підвищення якості класифікації та/або зменшення обсягу обчислень при використанні ансамблевої класифікації зображень зі стекінгом нейронних мереж шляхом розробки нейромережових моделей і методів.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі розв'язуються такі завдання:

1. Провести аналіз підходів ансамблевої класифікації зображень, які забезпечують підвищене співвідношення якості класифікації та необхідного обсягу обчислень і здатних в умовах низької роздільної здатності зображень та дефіциту навчальних даних.

2. Розробити модель першого ступеня ансамблевого класифікатора зі стекінгом нейронних мереж та метод визначення її структурно-параметричних ознак.

3. Розробити модель другого ступеня ансамблевого класифікатора зі стекінгом нейронних мереж.

4. Дослідити використання розроблених моделей і методу, при вирішенні задачі класифікації зображень в автономних робототехнічних комплексах.

Об'єкт дослідження – процес ансамблевої класифікації зображень в умовах низької роздільної здатності зображень та дефіциту навчальних даних.

Предмет дослідження – моделі і методи ансамблевої класифікації зображень зі стекінгом нейронних мереж.

Результати дисертаційного дослідження ґрунтуються на використанні теорії нейронних мереж, теорії матриць, математичної статистики і теорії ймовірностей, обчислювальних методів лінійної алгебри та функціонального аналізу в частині розкладання у ряди функцій і апроксимації.

На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розв’язано **актуальне наукове завдання**:

- розробка моделі і методу, що дозволяють збільшувати кількість нейронних мереж на першому ступені в ансамблевих класифікаторах зі стекінгом НМ;
- розвиток моделей для об’єднання результатів базових нейронних мереж на другому ступені ансамблевого класифікатора зі стекінгом НМ.

Отримані такі **нові наукові результати**:

1. Вдосконалено модель першого ступеня ансамблевого класифікатора зі стекінгом нейронних мереж для зображень з низькою роздільною здатністю в умовах дефіциту навчальних даних, шляхом додавання до заданої кількості базових класифікаторів їх клонів, отриманих навчанням на вибірках зображень, які створено за визначеними операторами перетворення, що дозволило запропонувати метод визначення структурно-параметричних ознак моделі.
2. Вперше запропоновано метод визначення структурно-параметричних ознак моделі першого ступеня ансамблевого класифікатора зображень зі стекінгом нейронних мереж, які побудовані з використанням операторів повороту та циклічного зсуву вхідних зображень, що дозволило створити ефективний ансамблевий класифікатор для зображень з низькою роздільною здатністю в умовах дефіциту навчальних даних.
3. Вперше запропоновано модель нейронної мережі MLP-KAN, яка відрізняється від моделі багатошарового перцептрона заміною першого прихованого шару MLP на шар Колмогорова-Арнольда (KAN), що дало змогу використовувати два типи апроксимації одночасно, а саме, за рахунок навчання функцій активації та навчання ваг нейронів, що дозволило зменшити обсяг вагових

коефіцієнтів, що навчаються, при збереженні якості класифікації на наборі тестових зображень.

4. Вдосконалено модель другого ступеня ансамблевого класифікатора зі стекінгом НМ, шляхом заміни класифікатора MLP на адаптовану модель MLP-KAN з урахуванням особливостей вихідного вектору ознак першого ступеня ансамблевого класифікатора, що дало змогу зменшити обсяг обчислень при збереженні якості класифікації зображень з низькою роздільною здатністю в умовах дефіциту навчальних даних.

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська політехніка» згідно з грантом НФДУ № 131/0161 «Використання штучного інтелекту для підвищення якості визначення вибухових пристроїв мультисенсорним дроном-міношукачем» (довідка впровадження № 1009/64-07 від 11.06.2026), в межах виконання науково-дослідної роботи №723-43 «Розробка інтелектуальних сенсорів дистанційного комплексного моніторингу деградації ґрунтів повоєнних територій» (довідка впровадження № 1009/64-07 від 11.06.2026).

Практичне значення отриманих у дисертаційній роботі результатів полягає в:

1. Розробці моделей і метода підвищення якості класифікації зображень у практичних застосуваннях з обмеженим набором даних для навчання, обмеженою обчислювальною потужністю, що використовується, та які потребують обробки в реальному масштабі часу.

2. Розробці моделей ансамблевої класифікації зі стекінгом нейронних мереж для зменшення обсягу вагових коефіцієнтів, що навчаються, при збереженні якості класифікації об'єктів на зображеннях.

3. Розробці моделей та метода побудови архітектури обробки вхідних даних у класифікаторах зображень, що відрізняються підвищеною здатністю до розпаралелювання обчислень з метою реалізації обробки в реальному масштабі часу.

Результати дисертаційної роботи були апробовані та впроваджені:

– у програмному забезпеченні дрона-міношукача, розробленого Національним університетом «Одеська політехніка» за грантом № 131/0161 Національного фонду досліджень України «Використання штучного інтелекту для підвищення якості визначення вибухових пристроїв мультисенсорним дроном-міношукачем» (довідка впровадження № 1009/64-07 від 11.06.2026);

– у теоретичних розробках перспективних моделей обробки сигналів в межах виконання науково-дослідної роботи №723-43 «Розробка інтелектуальних сенсорів дистанційного комплексного моніторингу деградації ґрунтів повоєнних територій» (довідка впровадження № 1009/64-07 від 11.06.2026),

– у навчальному процесі Національного університету «Одеська політехніка» (довідка впровадження № 1008/64-07 від 11.06.2026).

Впровадження розроблених моделей і метода забезпечує підвищення ефективності ансамблевої класифікації зі стекінгом за рахунок доповнення структури першого ступеня класифікатора клонами базових класифікаторів і вдосконалення другого ступеня ансамблевого класифікатора шляхом заміни прихованого шару моделі MLP на шар KAN, що дозволило зменшити кількість навчальних вагових коефіцієнтів моделі при збереженні якості класифікації об'єктів на зображеннях.

Запропоновані моделі та метод дають змогу здійснювати побудову ефективного ансамблевого класифікатора відповідно до особливостей вхідних даних.

Результати дисертаційних досліджень опубліковано у 8 наукових працях, які включають 6 статей (з них 2 у фаховому періодичному науковому журналі України з технічних наук категорії «Б», 4 статті у періодичних наукових журналах України з технічних наук, що індексуються у наукометричній базі Scopus), 2 тези доповідей, що були представлені в матеріалах наукових конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus.

Ключові слова: нейронні мережі, мережа Колмогорова-Арнольда, нейрони, навчальні функції активації, ансамблева класифікація, радіально-базисні функції, багатошаровий перцептрон, трансформер.

Список публікацій здобувача

1. Galchonkov O., Baranov O., Babych M., Kuvaieva V., Babych Y. Improving the quality of object classification in images by ensemble classifiers with stacking. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2023, 3 (9 (123)), 70–77.
DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279372> (Indexed in SCOPUS)
2. Galchonkov O., Baranov O., Chervonenko P., Babilunga O. Reducing the volume of computations when building analogue of neural networks for the first stage of an ensemble classifier with stacking. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, 2 (9 (128)), 27–35.
DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299734> (Indexed in SCOPUS)
3. Galchonkov O., Baranov O., Antoshchuk S., Maslov O., Babych M. Development of a neural network with a layer of trainable activation functions for the second stage of the ensemble classifier with stacking. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, 5 (9 (131)), 6–13.
DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311778> (Indexed in SCOPUS)
4. Galchonkov O., Baranov O., Maslov O., Babych M., Baskov I. MLP-KAN: implementation of the Kolmogorov-Arnold layer in a multilayer perceptron. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025, 3 (4 (135)), 34–41.
DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.328928> (Indexed in SCOPUS)
5. Galchonkov O., Baranov O., Baskov I. Reducing the amount of computations at the second stage of an ensemble classifier with stacking on mine-detection drones. *Applied Aspects of Information Technology*. 2024; Vol.7 No.4: 370–377.
DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.07.2024.26> (Indexed in Copernicus)
6. Galchonkov O., Baranov O., Baskov I. Improving the quality of mine detection by a mine-detecting drone by selecting an architecture for classifying objects in visible-light camera images. *Applied Aspects of Information Technology*, 2026; Vol.9 No.1: 9–24.
DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.09.2026.01> (Indexed in Copernicus)
7. Galchonkov O., Baranov O., Antoshchuk S., Maslov O., Babilunga O., Shunin O. Using Stacked Ensemble Classifiers to Speed Up Object Recognition in Images for

Mine Detection Drones. Proceedings of 2024 IEEE 7th International Conference on ACTUAL PROBLEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES DEVELOPMENTS (APUAVD). October 22-24, 2024 Kyiv, Ukraine. P.262-265.

DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10765843/proceeding> (Indexed in SCOPUS)

8. Galchonkov O., Baranov O., Bascov I. Building a Stacked Ensemble Object Classifier on Images Using the Base CCT Classifier and Its Clones. Proceedings of 2025 IEEE 8th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). October 21-24, 2025 Kyiv, Ukraine. P.280-284.

DOI: 10.1109/MSNMC61130.2025.11399700 (Indexed in SCOPUS)

ABSTRACT

Baranov O.M. Models of ensemble image classification based on the stacking of neural networks. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 122 – Computer Science. – National University "Odesa Polytechnic", Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2026.

The dissertation is devoted to the development of models and methods for improving the efficiency of ensemble image classification based on the stacking of neural networks for use in applications with small image sizes and small datasets for training.

The aim of the dissertation is to improve the quality of classification and/or reduce the volume of computations when using ensemble image classification with stacking of neural networks through the development of neural network models and methods.

To achieve this aim, the following tasks are solved in the dissertation:

1. To analyze the approaches to ensemble object classification in images that provide an increased ratio of classification quality to the required volume of computations and are capable of operating under conditions of low image resolution and a deficit of training data.
2. To develop a first-stage model of an ensemble classifier with the stacking of neural networks and a method for determining its structural-parametric features.
3. To develop a second-stage model of an ensemble classifier with the stacking of neural networks.
4. To investigate the use of the developed models and method in solving the problem of image classification in autonomous robotic complexes.

Object of research – the process of ensemble image classification under conditions of low image resolution and a deficit of training data.

Subject of research – models and methods of ensemble image classification with the stacking of neural networks.

The results of the dissertation research are based on the use of neural network theory, matrix theory, mathematical statistics and probability theory, computational methods of linear algebra, and functional analysis in terms of series expansion of functions and approximation.

Based on the conducted theoretical and experimental research, an **actual scientific task** has been solved:

- the development of new models and a method that allow increasing the number of neural networks at the first stage in ensemble classifiers with NN stacking;
- the development of new models for combining the results of primary neural networks at the second stage of an ensemble classifier with NN stacking.

The following **new scientific results** were obtained:

1. The model of an ensemble classifier with stacking of neural networks for low-resolution images under conditions of a training data deficit has been improved by adding to a specified number of basic classifiers their clones obtained by training on image samples created by defined transformation operators, which allowed to propose a method for determining the structural-parametric features of the model.

2. For the first time, a method for determining the structural-parametric features of the first-stage model of an ensemble classifier with stacking of neural networks constructed using rotation and cyclic shift of input images operators is proposed, which allows creating an efficient ensemble classifier for low-resolution images under conditions of a training data deficit.

3. For the first time, an MLP-KAN neural network model is proposed, which differs from the multilayer perceptron (MLP) model by replacing the first hidden layer of the MLP with a Kolmogorov-Arnold layer (KAN), which allowed using two types of approximation simultaneously, namely, the training of activation functions and the training of neuron weights, which allowed reducing the volume of trainable weight coefficients while maintaining the quality of classification on a set of test images.

4. The second-stage model of an ensemble classifier with NN stacking has been improved by using the developed MLP-KAN neural network model, taking into account the features of the output feature vector of the first stage of the ensemble

classifier, which made it possible to significantly increase the efficiency of ensemble classification with NN stacking.

The dissertation was carried out in accordance with the scientific research plan of the National University "Odesa Polytechnic" under the NRFU grant No. 131/0161 "Use of artificial intelligence to improve the quality of explosive device detection by a multisensor mine-detecting drone" (implementation certificate № 1009/64-07 dated 11.06.2026), within the framework of scientific research work No. 723-43 "Development of intelligent sensors for remote complex monitoring of soil degradation in post-war territories" (implementation certificate № 1009/64-07 dated 11.06.2026).

The practical significance of the results obtained in the dissertation lies in:

1. The development of models and a method for improving the quality of image classification in practical applications with a limited dataset for training, limited computational power used, and requiring real-time processing.

2. The development of models for ensemble classification with stacking of neural networks to reduce the volume of trainable weight coefficients while maintaining the quality of object classification in images.

3. The development of models and a method for constructing the input data processing architecture in image object classifiers, which are characterized by an increased ability to parallelize computations in order to implement real-time processing.

The results of the dissertation work were tested and implemented:

- in the software of a mine-detecting drone developed by the National University "Odesa Polytechnic" under grant No. 131/0161 of the National Research Foundation of Ukraine "Use of artificial intelligence to improve the quality of explosive device detection by a multisensor mine-detecting drone" (implementation certificate № 1009/64-07 dated 11.06.2026);

- in the theoretical developments of prospective signal processing models within the framework of scientific research work No. 723-43 "Development of intelligent sensors for remote complex monitoring of soil degradation in post-war territories" (implementation certificate № 1009/64-07 dated 11.06.2026);

- in the educational process of the National University "Odesa Polytechnic" (implementation certificate № 1009/64-07 dated 11.06.2026).

The implementation of the developed models and method provides an increase in the efficiency of ensemble classification with stacking by supplementing the structure of the first stage of the classifier with clones of basic classifiers and improving the second stage of the ensemble classifier by replacing the hidden layer of the MLP model with a KAN layer, which allowed reducing the number of trainable weight coefficients of the model while maintaining the quality of object classification in images.

The proposed models and method allow building an efficient ensemble classifier according to the features of the input data.

The results of the dissertation research are published in 8 scientific papers, which include 6 articles (2 of them in a professional periodic scientific journal of Ukraine in technical sciences of category "B", 4 articles in periodic scientific journals of Ukraine in technical sciences indexed in the Scopus scientometric database), and 2 report abstracts presented in the proceedings of scientific conferences indexed in the Scopus scientometric database.

Keywords: neural networks, Kolmogorov-Arnold networks, neurons, trainable activation functions, ensemble classification, radial basis functions, multilayer perceptron, transformer.

List of publications

1. Galchonkov O., Baranov O., Babych M., Kuvaieva V., Babych Y. Improving the quality of object classification in images by ensemble classifiers with stacking. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 3 (9 (123)), 70–77.

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279372> (Indexed in SCOPUS)

2. Galchonkov O., Baranov O., Chervonenko P., Babilunga O. Reducing the volume of computations when building analogue of neural networks for the first stage of an ensemble classifier with stacking. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, 2 (9 (128)), 27–35.

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299734> (Indexed in SCOPUS)

3. Galchonkov O., Baranov O., Antoshchuk S., Maslov O., Babych M. Development of a neural network with a layer of trainable activation functions for the second stage of the ensemble classifier with stacking. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, 5 (9 (131)), 6–13.

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311778> (Indexed in SCOPUS)

4. Galchonkov O., Baranov O., Maslov O., Babych M., Baskov I. MLP-KAN: implementation of the Kolmogorov-Arnold layer in a multilayer perceptron. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025, 3 (4 (135)), 34–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.328928> (Indexed in SCOPUS)

5. Galchonkov O., Baranov O., Baskov I. Reducing the amount of computations at the second stage of an ensemble classifier with stacking on mine-detection drones. *Applied Aspects of Information Technology*. 2024; Vol.7 No.4: 370–377.

DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.07.2024.26> (Indexed in Copernicus)

6. Galchonkov O., Baranov O., Baskov I. Improving the quality of mine detection by a mine-detecting drone by selecting an architecture for classifying objects in visible-light camera images. *Applied Aspects of Information Technology*, 2026; Vol.9 No.1: 9–24.

DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.09.2026.01> (Indexed in Copernicus)

7. Galchonkov O., Baranov O., Antoshchuk S., Maslov O., Babilunga O., Shunin O. Using Stacked Ensemble Classifiers to Speed Up Object Recognition in Images for Mine Detection Drones. *Proceedings of 2024 IEEE 7th International Conference on ACTUAL PROBLEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES DEVELOPMENTS (APUAVD)*. October 22-24, 2024 Kyiv, Ukraine. P.262-265.

DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10765843/proceeding> (Indexed in SCOPUS)

8. Galchonkov O., Baranov O., Bascov I. Building a Stacked Ensemble Object Classifier on Images Using the Base CCT Classifier and Its Clones. *Proceedings of 2025 IEEE 8th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*. October 21-24, 2025 Kyiv, Ukraine. P.280-284.

DOI: [10.1109/MSNMC61130.2025.11399700](https://doi.org/10.1109/MSNMC61130.2025.11399700) (Indexed in SCOPUS)