

АНОТАЦІЯ

Кошутіна Д.В. Методи та моделі обробки і аналізу гетерогенних даних на основі вейвлет-перетворення. – 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.

У **вступі** показана актуальність вирішення задач обробки та аналізу гетерогенних даних (ГД) на основі вейвлет-перетворення (ВП). Показана недосконалість існуючих методів обробки і аналізу даних на основі ВП в умовах потреби підвищення швидкодії та/або зниження ресурсоємності. Визначено об'єкт, предмет, задачі та методи дослідження; наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; висвітлено особистий внесок здобувача.

В **першому розділі** дисертаційної роботи проведений аналіз сучасних методів обробки та аналізу ГД, отриманих на основі малих серій вимірів. Проведено класифікацію ГД та розглянуті обмеження щодо їх вимірювання у дрібносерійному виробництві електроніки та при медичному діагностуванні в телемедицині.

Показано, що основою фільтрації, сегментації, ідентифікації, кластеризації для обробки та аналізу малих наборів ГД є оптимізація з ВП. Визначено, що ці методи не володіють для вказаних прикладних задач необхідною швидкістю та/або ресурсоємністю.

Сформульовано актуальну науково-прикладну задачу – удосконалення методів обробки та аналізу з ВП малих наборів вимірів ГД, що дозволять підвищити швидкість при достатньому рівні достовірності рішень та знизити вимоги до ресурсоємності в умовах апріорної невизначеності.

Для вирішення поставленої задачі удосконалено концептуальну модель оптимізації з ВП для обробки та аналізу сигналів з багатьма екстремумами,

особливістю якої є проведення запропонованого в роботі кількісного ентропійно-інформаційного аналізу (EIA) для обґрунтованого вибору виду ВП та його масштабу. Ця модель є основою для удосконалення методів оптимізації, кластеризації та класифікації на основі вейвлет аналізу ГД.

За результатами проведеного аналізу сформульовано мету та завдання досліджень.

В **другому розділі** дисертаційної роботи запропоновано удосконалені методи оптимізації, кластеризації та нейромережевої класифікації з ВП.

Методи оптимізації з ВП застосовують для обробки та аналізу ГД, коли цільова функція мультимодальна чи має негладку, зашумлену поверхню. Відомі методи з ВП для оцінки напрямку руху до екстремуму використовують замість градієнту його наближене значення, обчислене на основі обробки з ВФ Хаара та гіперболічної ВФ (ГВФ).

В методі на основі методу центрів, в якому на етапі обробки з ВФ Хаара визначаються обмеження другого роду, похибка визначення екстремуму знижується шляхом обробки з ГВФ. Це вимагає багато обчислень цільової функції (звернень до «оракулу»), що обмежує швидкодію. Для її підвищення запропоновано удосконалити цей метод оптимізації шляхом скорочення кількості етапів обробки з ГВФ. Для тестування цього методу в порівнянні з базовим використано функцію де Іонга 1. При співвідношенні сигнал/шум по амплітуді до 6,4 (завада розподілена за нормальним законом з нульовим середнім і СКВ від 0 до 100) зростання швидкодії склало від 1,7 до 2,8 разів. Число звернень до оракулу знизилось від 25% до 32% (в залежності від співвідношення сигнал/шум).

Таким чином, сформульовано **перший пункт наукової новизни:**

– *удосконалено* метод оптимізації на основі методу центрів з визначенням обмежень другого роду з ВП Хаара, що за рахунок скорочення кількості етапів обробки з ГВФ та скороченню кількості обчислень цільової функції (звернень до оракулу) дозволило підвищити швидкодію.

На основі удосконаленого методу оптимізації з обмеженнями другого роду на основі ВП та методу центрів запропоновано удосконалення методу кластеризації з ВП. Для дослідження його швидкодії сформовано набір даних з двох груп (кластерів) у двовимірному просторі ознак. При кластеризації порівняно з базовим методом з урахуванням обмежень другого роду вигреш в часі склав більше 1,18 разів.

Запропоновано удосконалити кластеризацію з ВП в умовах дрейфу центру кластеру за лінійною траєкторією за рахунок скорочення кількості етапів обробки з ГВФ. Цей метод кластеризації з ВФ при дрейфі центру кластера по лінійній траєкторії дозволяє оцінювати координати центру кластера швидше від 1,2 до 1,3 разів у порівнянні з базовим методом при відношенні сигнал/завада від 30. При відношенні сигнал/завада більшому, ніж 10, відносна погрешність удосконаленого методу *кластеризації* при дрейфі центру кластера по лінійній траєкторії складала менше 7 % і вища в середньому в 1,2 рази, ніж у базовому методі.

Ці результати дозволяють рекомендувати удосконалені методи для кластеризації ГД при потребі досягнення швидкодії та скорочення обчислень цільової функції.

Таким чином, сформульовано **другий пункт наукової новизни:**

– *удосконалено* методи кластеризації за дисперсійною ознакою та з дрейфом центру кластера по лінійній траєкторії, особливістю яких є врахування обмежень у вигляді нерівностей та визначення належності образу до відповідного кластеру з допомогою ВФ, що завдяки скороченню кількості обчислень цільової функції (звернень до оракулу) дозволило підвищити швидкість обчислень.

Для підвищення точності класифікації мережі Колмогорова-Арнольда в ній у KAN-шарі були використані ВФ. Ця модель отримала назву MLP-KAN-WT (Multilayer Perceptron with Kolmogorov-Arnold Layer and Wavelet Transform). За рахунок використання ентропійно-інформаційного аналізу

удосконаленої концептуальної моделі обробки з ВП сигналів з багатьма екстремумами для фільтрації вихідних даних обрано ВФ Добеші (db4).

Тестування цієї мережі з використанням для фільтрації ВФ Добеші (db4), а для шару активації KAN ВФ Хаара дозволило досягти зростання швидкодії обчислень в 2.5-3 рази при точності (Accuracy) 98.45%, для класів аритмій: Precision – 0.99, Recall – 0.98.

Таким чином, сформульовано **третій пункт наукової новизни:**

– *удосконалено* метод нейромережевої класифікації ГД на базі архітектури KAN шляхом застосування у вхідному шарі вейвлет функцій, що дозволило підвищити точність ідентифікації станів об'єктів у зашумленому середовищі при мінімізації кількості налаштовуваних параметрів та зростання швидкодії обчислень.

В **третьому розділі** дисертаційної роботи розроблені та досліджені методи аналізу ГД з ВП для аналізу ЕКГ.

У роботі удосконалено метод пошуку екстремумів мультіекстремальних нестационарних сигналів з ВП Хаара, з виконанням наступних етапів.

Етап 1. Попередня обробка вихідного сигналу з використанням фільтрації, з ВП, форма і рівень обробки якого обраний на основі запропонованого ентропійно-інформаційного критерію.

Етап 2. Визначення просторових координат екстремумів (пиків) шляхом пошуку координат екстремумів періодичних сигналів з ВФ Хаара.

Етап 3. Визначення довжини інтервалів між екстремумами при необхідності оцінки статистичних характеристик сигналів та/або екстремумів типу «мінімум», класифікації та прийняття діагностичного рішення.

Проведений аналіз підтвердив ефективність ЕІК для обґрунтованого вибору масштабу вейвлет-розкладання для попередньої обробки при виявленні комплексів QRS в сигналах ЕКГ. Максимальні значення ЕІК послідовно зустрічаються в межах масштабів d3-d5, що відповідає частотному спектру комплексів QRS. Метод дозволив скоротити об'єм даних для подальшої

ідентифікації та досягти зниження рівня шуму сигналу ЕКГ, що дозволило підвищити швидкодію пошуку характерних точок ЕКГ.

В **четвертому розділі** дисертаційної роботи розроблені та досліджені методи аналізу ГД з ВП для електронних виробів та систем тривимірного комп'ютерного зору.

На основі удосконаленого методу кластеризації з урахуванням обмежень проведено відбір резисторів по параметрах надійності для апаратури відповідального призначення. Розраховані інтенсивності відмов склали $\lambda_1 = 0,35 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ – за відсутності кластеризації, $\lambda_2 = 0,19 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ – для резисторів першого і $\lambda_3 = 0,19 \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ для резисторів другого кластера. Розраховані з допомогою *DN*-розподілу значення середнього часу роботи до відмови склали відповідно 4,8 років за відсутності розділу на кластери, 7,5 років – для резисторів першого кластеру і порядку 2 років резисторів другого кластеру. Таким чином, швидкодія процедури кластеризації з урахуванням обмежень під час відбору резисторів була підвищена в середньому на 7-9 %.

На основі удосконаленого методу кластеризації з обмеженнями була також удосконалена інформаційна технологія оцінки параметрів електронних компонентів. В результаті вдосконалення зазначеного підходу з урахуванням запропонованого методу кластеризації з ВФ з обмеженнями швидкодію процедур було підвищено загалом на 7-9 %.

На основі запропонованого у другому розділі методу оптимізації проведено оцінку діспарантності стерео-зображень для систем тривимірного комп'ютерного зору. Для побудови карти глибин стереозображення запропоновано проводити наближену оцінку глибини розташування об'єктів, яка враховує результати виділення ділянок схожої інтенсивності або контурів об'єктів на зображеннях, або точок найбільшої кривизни контурного опису. Тобто особливістю оцінки глибини розташування об'єктів є виділення контурів об'єктів з ВФ і обчислення мінімуму функції помилки суміщення зображень розробленим методом оптимізації. Запропонований вище метод

можна рекомендувати для систем тривимірного комп'ютерного зору, що працюють в умовах обмеженості обчислювальних та енергетичних ресурсів.

Розроблені в роботі методи та інструментальні засоби отримали впровадження у діяльності ТОВ НВО «Діскрет» та знайшли відображення у навчальному процесі Національного університету «Одеська політехніка».

Ключові слова: гетерогенні дані, вейвлет-перетворення, оптимізація, нейронні мережі KAN, адаптивна кластеризація, діагностика, комп'ютерний зір, інформаційні технології

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Shcherbakova G., Koshutina D. Development of a criterion for selecting the level of wavelet decomposition for QRS detection in electrocardiogram signals using energy and entropy. *Proceedings of Odessa Polytechnic University*. 2025. No. 1(71). P. 157–166. DOI: 10.15276/opu.1.71.2025.18. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

2. Антощук С. Г., Щербаківа Г. Ю., Кошутіна Д. В. Оцінка параметрів компонентів електроніки при відборі їх для апаратури відповідального призначення на основі кластеризації з вейвлет-обробкою та врахуванням обмежень. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2025. Вип. 3. DOI: 10.31649/2307-5376-2025-3-27-36. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

3. Shcherbakova G. Y., Koshutina D. V. Improving the performance of clustering with wavelet function by using inequality constraints. *Herald of Advanced Information Technology*. 2025. Vol. 8, No. 3. P. 277–287. DOI: 10.15276/hait.08.2025.17. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б» та проіндексовано в Scopus (Q4).

4. Koshutina D. V. KAN-Type Neural Network Model for ECG Signal Analysis and Classification. *Proceedings of Odessa Polytechnic University*. 2025. No. № 2(72). P. 163-174. DOI: 10.15276/opu.2.72.2025.17. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Shcherbakova G., Antoshchuk S., Koshutina D., Sakhno K. Adaptive clustering for distribution parameter estimation in technical diagnostics. *12th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT)*, Köthen, Germany, March 7, 2024. Vol. 12, No. 1. P. 123–127. DOI: 10.25673/115650. Видання проіндексовано у базі даних Scopus.

6. Antoshchuk S., Shcherbakova G., Kondratyev S., Koshutina D., Usov O. Wavelet transform based optimization method for three-dimensional computer vision. *Proceedings of the 12th International Conference «Information Control Systems & Technologies» (ICST 2024)*, Odesa, Ukraine, September 23–25, 2024. P. 471–482. Видання проіндексовано у базі даних Scopus.

7. Антощук С. Г., Щербакова Г. Ю., Кондратьєв С. Б., Кошутіна Д. В. Наближений метод оцінки глибини об'єктів на основі вейвлет-перетворення. *X Міжнародна науково-практична конференція «Інформатика. Культура. Техніка»*, Одеса, Україна, 26–27 вересня 2024 р. Том 1, № 1. С. 197–201.

8. Кошутіна Д. В., Сахно К. О., Щербакова Г. Ю. Використання вейвлет-перетворення при аналізі електрокардіограм. *Тези доповідей XXXIII Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025*, Харків, 14–17 травня 2025 р. С. 765–766. DOI: 10.5281/zenodo.15520692.

9. Кошутіна Д. В., Щербакова Г. Ю. Автоматизований вибір рівня вейвлет-розкладу на основі енергії та ентропії для виявлення QRS-комплексів ЕКГ. *Матеріали XV Міжнародної наукової конференції «Modern Information Technology – 2025»*, Одеса, 15–16 травня 2025 р. С. 21–23. DOI: 10.5281/zenodo.15521809.

10. Koshutina D., Shcherbakova G., Antoshchuk S., Glava M. Improving the performance of wavelet transform optimization using inequality constraints. *The 13th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (ICIDACS 2025)*, Gliwice, Poland, September 4–6, 2025. DOI: 10.1109/IDAACS68557.2025.11322357.

11. Кошутіна Д. В., Щербакова Г. Ю. Визначення інтенсивності відмов при відбракуванні виробів електронної техніки за допомогою завадостійкої кластеризації. *Proceedings of the 13th International Conference Information Control Systems & Technologies (ICST 2025)*, Odesa, Ukraine, September 24–26, 2025. P. 137–140.

12. Щербакова Г. Ю., Кошутіна Д. В., Сахно К. О. Оцінка параметрів надійності компонентів електроніки при відбракуванні за допомогою кластеризації з вейвлет-перетворенням. *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформатика. Культура. Техніка»*, Одеса, 16–17 жовтня 2025 р. DOI: 10.15276/ict.02.2025.02.

13. Світлана Антошук, Галина Щербакова, Сергій Кондратьєв, Дар'я Кошутіна, Олександр Усов. Метод оптимізації на основі вейвлет-перетворення для наближених методів оцінки глибини. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-Одеса-2024)*, м. Одеса, 23–25 вересня 2024 р. С. 123–127.

14. Shcherbakova G., Antoshchuk S., Koshutina D., Sakhno K., Kondratiev S. Adaptive Clustering for Distribution Parameter Estimation in Technical Diagnostics. *Applied Innovations in Information and Communication Technology. ICAIIT 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 1338. Springer, Cham, 2025. P. 379–392. DOI: 10.1007/978-3-031-89296-7_19. (Scopus).

15. Кошутіна Д. В., Щербакова Г. Ю., Антошук С. Г. Удосконалення пошуку параметрів електрокардіограм за допомогою оптимізації на основі вейвлет-функції. *Колективна монографія «Information Control Systems and Intelligent Technologies. Achievements and Applications»*. Lviv–Torun: Liha-Pres, 2025. С. 383–401. DOI: 10.36059/978-966-397-538-2.

ABSTRACT

Koshutina D.V. Methods and models for processing and analyzing heterogeneous data based on wavelet transform. – Qualification scientific work in the form of manuscript.

Thesis for the PhD degree in specialty 122 Computer science. – Odessa Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2026.

The introduction establishes the relevance of processing and analyzing heterogeneous data (HD) using wavelet transforms (WT). It addresses the limitations of existing WT-based methods, specifically the need for enhanced computational speed and reduced resource intensity. The study defines the research object, subject, objectives, and methodology; presents the scientific novelty and practical significance of the results; and outlines the author's personal contributions.

The first chapter of the dissertation analyzes modern methods for processing and analyzing HD obtained from small measurement series. A classification of HD is provided, and the limitations of their measurement in small-batch electronics production and medical diagnostics in telemedicine are considered.

It is shown that optimization with WT is the basis for filtering, segmentation, identification, and clustering for processing and analyzing small sets of HD. It is determined that these methods do not possess the necessary speed and/or resource intensity for the specified applied tasks.

A relevant scientific and applied task is formulated: the improvement of methods for processing and analyzing small sets of HD measurements with WT, which will allow for increased speed with a sufficient level of decision reliability and reduced resource intensity requirements under conditions of a priori uncertainty.

To solve the stated problem, the conceptual model of optimization with WT for processing and analyzing signals with many extremes is improved. Its feature is the conduct of the quantitative entropy-information analysis (EIA) proposed in the work for the justified choice of the type of WT and its scale. This model is the basis

for improving optimization, clustering, and classification methods based on wavelet analysis of HD.

Based on the results of the analysis, the goal and objectives of the research are formulated.

The second chapter of the dissertation proposes improved methods for optimization, clustering, and neural network classification with WT.

WT-optimization methods are used for processing and analyzing HD when the objective function is multimodal or has a non-smooth, noisy surface. Known methods with WT use an approximate value instead of a gradient, calculated based on processing with Haar wavelet functions (WF) and hyperbolic wavelet functions (HWF), to estimate the direction toward the extremum.

In the method based on the Method of Centers, in which second-order constraints are determined at the Haar WF processing stage, the error in determining the extremum is reduced by processing with HWF. This requires many calculations of the objective function ("oracle calls"), which limits speed. To increase it, it is proposed to improve this optimization method by reducing the number of HWF processing stages. To test this method in comparison with the baseline, the De Jong function 1 was used. At a signal-to-noise ratio in amplitude up to 6.4 (noise distributed according to the normal law with zero mean and RMS from 0 to 100), the increase in speed ranged from 1.7 to 2.8 times. The number of oracle calls decreased from 25% to 32% (depending on the signal-to-noise ratio).

Thus, **the first point of scientific novelty** is formulated:

- the optimization method based on the Method of Centers with the determination of second-order constraints with Haar WT *has been improved*, which, by reducing the number of HWF processing stages and reducing the number of objective function calculations (oracle calls), allowed for an increase in speed.

Based on the improved optimization method with second-order constraints using WT and the Method of Centers, an improvement of the WT-clustering method is proposed. To study its speed, a data set of two groups (clusters) in a two-dimensional feature space was formed. During clustering, compared to the baseline

method taking into account second-order constraints, the time gain was more than 1.18 times.

It is proposed to improve WT-clustering under conditions of linear cluster center drift by reducing the number of HWF processing stages. This method of clustering with WF during linear cluster center drift allows for estimating the coordinates of the cluster center 1.2 to 1.3 times faster compared to the baseline method at a signal-to-interference ratio from 30. At a signal-to-interference ratio greater than 10, the relative error of the improved clustering method was less than 7% and is on average 1.2 times better than in the baseline method.

These results allow recommending the improved methods for HD clustering when there is a need to achieve speed and reduce objective function calculations.

Thus, **the second point of scientific novelty** is formulated:

– clustering methods based on variance characteristics and with linear cluster center drift *have been improved*, the feature of which is the consideration of constraints in the form of inequalities and the determination of pattern membership to the corresponding cluster using WF, which, due to the reduction in the number of objective function calculations (oracle calls), allowed for an increase in computational speed.

To increase the classification accuracy of the Kolmogorov-Arnold network, WFs were used in its KAN layer. This model was named MLP-KAN-WT (Multilayer Perceptron with Kolmogorov-Arnold Layer and Wavelet Transform). Due to the use of entropy-information analysis of the improved conceptual model of processing signals with many extremes with WT, the Daubechies wavelet (db4) was chosen for filtering the output data.

Testing this network using the Daubechies wavelet (db4) for filtering and the Haar WF for the KAN activation layer allowed for a 2.5-3 times increase in computational speed with an Accuracy of 98.45%, and for arrhythmia classes: Precision – 0.99, Recall – 0.98.

Thus, **the third point of scientific novelty** is formulated:

– the neural network classification method of HD based on the KAN architecture *has been improved* by using wavelet functions in the input layer, which allowed for an increase in the identification accuracy of object states in a noisy environment while minimizing the number of tunable parameters and increasing computational speed.

The third chapter of the dissertation develops and investigates methods for analyzing HD with WT for ECG analysis.

The work improves the method for searching for extremes of multi-extremal non-stationary signals with Haar WT, performing the following stages.

Stage 1. Preprocessing the output signal using filtering with WT, the form and level of processing of which is chosen based on the proposed entropy-information criterion.

Stage 2. Determining the spatial coordinates of extremes (peaks) by searching for the coordinates of extremes of periodic signals with Haar WF.

Stage 3. Determining the length of intervals between extremes when it is necessary to estimate the statistical characteristics of signals and/or extremes of the "minimum" type, classification, and making a diagnostic decision.

The conducted analysis confirmed the effectiveness of the EIC for the justified choice of the wavelet decomposition scale for preprocessing during the detection of QRS complexes in ECG signals. Maximum EIC values consistently occur within scales d3-d5, which corresponds to the frequency spectrum of QRS complexes. The method allowed for a reduction in the data volume for further identification and achieved a reduction in the noise level of the ECG signal, which allowed for an increase in the speed of searching for characteristic ECG points.

The fourth chapter of the dissertation develops and investigates methods for analyzing HD with WT for electronic products and 3D computer vision systems.

Based on the improved clustering method with constraints, resistors were selected by reliability parameters for critical applications. The calculated failure rates were: $\lambda_1 = 0,35 \times 10^{-5}$ without clustering, $\lambda_2 = 0,19 \times 10^{-5}$ for the first cluster, and $\lambda_3 = 0,19 \times 10^{-4}$ for the second cluster. Using the DN-distribution, the

calculated mean time to failure (MTTF) was 4.8 years without clustering, 7.5 years for the first cluster, and about 2 years for the second cluster. Thus, the speed of the clustering procedure during resistor selection was increased by an average of 7-9%.

Based on the improved clustering method with constraints, the information technology for evaluating the parameters of electronic components was also improved. As a result of the improvement of this approach, taking into account the proposed method of clustering with WF with constraints, the speed of the procedures was increased by 7-9% overall.

Based on the optimization method proposed in the second chapter, the disparity of stereo images for 3D computer vision systems was estimated. To build a depth map of a stereo image, it is proposed to perform an approximate estimation of the depth of the objects, which takes into account the results of highlighting areas of similar intensity or contours of objects in the images, or points of the greatest curvature of the contour description. That is, the feature of estimating the depth of objects is the extraction of object contours with WF and the calculation of the minimum of the image matching error function by the developed optimization method. The method proposed above can be recommended for 3D computer vision systems operating under conditions of limited computational and energy resources.

The methods and instrumental tools developed in the work were implemented in the activities of «DISKRET» LLC and found reflection in the educational process of the Odessa Polytechnic National University.

Keywords: heterogeneous data, wavelet transform, optimization, KAN neural networks, adaptive clustering, diagnostics, computer vision, information technologies.

List of publications of the applicant on the topic of the dissertation

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Shcherbakova G., Koshutina D. Development of a criterion for selecting the level of wavelet decomposition for QRS detection in electrocardiogram signals using energy and entropy. Proceedings of Odessa Polytechnic University. 2025. No. 1(71). P. 157–166. DOI: 10.15276/opu.1.71.2025.18. The publication is included in the list of specialized scientific editions of Ukraine, category "B".

2. Antoshchuk S., Shcherbakova G., Koshutina D. Estimation of electronic component parameters during selection for critical applications based on clustering with wavelet processing and constraints. Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. 2025. Iss. 3. DOI: 10.31649/2307-5376-2025-3-27-36. The publication is included in the list of specialized scientific editions of Ukraine, category "B".

3. Shcherbakova G. Y., Koshutina D. V. Improving the performance of clustering with wavelet function by using inequality constraints. Herald of Advanced Information Technology. 2025. Vol. 8, No. 3. P. 277–287. DOI: 10.15276/hait.08.2025.17. The publication is included in the list of specialized scientific editions of Ukraine, category "B" and indexed in Scopus (Q4).

4. Koshutina D. V. KAN-Type Neural Network Model for ECG Signal Analysis and Classification. Proceedings of Odessa Polytechnic University. 2025. No. № 2(72). P. 163-174. DOI: \10.15276/opu.2.72.2025.17. The publication is included in the list of specialized scientific editions of Ukraine, category "B".

Scientific papers certifying the approbation of the dissertation materials:

5. Shcherbakova G., Antoshchuk S., Koshutina D., Sakhno K. Adaptive clustering for distribution parameter estimation in technical diagnostics. 12th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIT), Köthen, Germany, March 7, 2024. Vol. 12, No. 1. P. 123–127. DOI: 10.25673/115650. The publication is indexed in the Scopus database.

6. Antoshchuk S., Shcherbakova G., Kondratyev S., Koshutina D., Usov O. Wavelet transform based optimization method for three-dimensional computer

vision. Proceedings of the 12th International Conference «Information Control Systems & Technologies» (ICST 2024), Odesa, Ukraine, September 23–25, 2024. P. 471–482. The publication is indexed in the Scopus database.

7. Antoshchuk S., Shcherbakova G., Kondratyev S., Koshutina D. Approximate method for estimating object depth based on wavelet transform. X International Scientific and Practical Conference «Informatics. Culture. Technology», Odesa, Ukraine, September 26–27, 2024. Vol. 1, No. 1. P. 197–201.

8. Koshutina D., Sakhno K., Shcherbakova G. Use of wavelet transform in the analysis of electrocardiograms. Abstracts of the XXXIII International Scientific and Practical Conference MicroCAD-2025, Kharkiv, May 14–17, 2025. P. 765–766. DOI: 10.5281/zenodo.15520692.

9. Koshutina D., Shcherbakova G. Automated selection of wavelet decomposition level based on energy and entropy for ECG QRS complex detection. Materials of the XV International Scientific Conference «Modern Information Technology – 2025», Odesa, May 15–16, 2025. P. 21–23. DOI: 10.5281/zenodo.15521809.

10. Koshutina D., Shcherbakova G., Antoshchuk S., Glava M. Improving the performance of wavelet transform optimization using inequality constraints. The 13th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2025), Gliwice, Poland, September 4–6, 2025. DOI: 10.1109/IDAACS68557.2025.11322357.

11. Koshutina D., Shcherbakova G. Determination of failure rates in electronic product screening using noise-resistant clustering. Proceedings of the 13th International Conference Information Control Systems & Technologies (ICST 2025), Odesa, Ukraine, September 24–26, 2025. P. 137–140.

12. Shcherbakova G., Koshutina D., Sakhno K. Estimation of reliability parameters of electronic components during screening using clustering with wavelet transform. Materials of the XI International Scientific and Practical Conference «Informatics. Culture. Technology», Odesa, October 16–17, 2025. DOI: 10.15276/ict.02.2025.02.

13. Antoshchuk S., Shcherbakova G., Kondratyev S., Koshutina D., Usov O. Optimization method based on wavelet transform for approximate depth estimation methods. Information Control Systems and Technologies (ICST-Odesa-2024), Odesa, September 23–25, 2024. P. 123–127.

14. Shcherbakova G., Antoshchuk S., Koshutina D., Sakhno K., Kondratyev S. Adaptive Clustering for Distribution Parameter Estimation in Technical Diagnostics. Applied Innovations in Information and Communication Technology. ICAIIT 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 1338. Springer, Cham, 2025. P. 379–392. DOI: 10.1007/978-3-031-89296-7_19. (Scopus).

15. Koshutina D., Shcherbakova G., Antoshchuk S. Improving the search for electrocardiogram parameters using wavelet-function-based optimization. Collective monograph «Information Control Systems and Intelligent Technologies. Achievements and Applications». Lviv-Torun: Liha-Pres, 2025. P. 383–401. DOI: 10.36059/978-966-397-538-2.