

АНОТАЦІЯ

Кириченко Є. О. Оптимізація структури гетерогенних даних в Big Data.
– Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення» – Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, 2026.

Вирішення проблеми порівняння гетерогенних табличних наборів даних з невідомих або слабо документованих джерел є однією з важливих наукових задач у галузі інформаційних технологій, орієнтованих на побудову та експлуатацію інформаційних систем, які оперують великими даними (Big Data). Потреба в розробці ефективних методів структурування та порівняння корпусів даних на основі компактних представлень без доступу до всіх необроблених записів викликана постійним зростанням обсягів табличних даних у корпоративних і хмарних середовищах, відсутністю стандартизованих схем та високою вартістю переміщення повних копій даних.

У дисертаційній роботі здійснено аналіз існуючих підходів до порівняння табличних наборів даних, виявлено їх обмеження щодо роботи з гетерогенними даними. В роботі розроблено типорієнтований підхід створення компактних представлень даних для різних типів змінних, запропоновано зважену метрику структурної подібності даних, а також створено алгоритми побудови графів та дерев подібності для організації корпусів даних. Розроблено хмарну масштабовану архітектуру на базі AWS для обробки великих корпусів табличних даних та проведено експериментальні дослідження ефективності запропонованого підходу.

Об'єктом дослідження є процес порівняння гетерогенних табличних наборів даних з слабо документованих джерел.

Предмет дослідження є моделі та методи класифікації змінних, створення компактних представлень гетерогенних табличних наборів даних, побудова графів подібності для ефективного порівняння та структурування

корпусів даних за мінімальних припущень щодо схеми.

Метою дослідження є розробка уніфікованої типо-орієнтованої інформаційної системи для ефективного порівняння гетерогенних табличних наборів даних з невідомих або слабо документованих джерел за допомогою створення компактних представлень даних з використанням зваженої метрики структурної подібності інформації даних та побудова масштабованої хмарної інформаційної системи для формування графів та дерев подібності корпусів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- *вперше розроблено* уніфіковану методологію конструювання компактних представлень даних для гетерогенних табличних змінних, яка на відміну від існуючих підходів, що орієнтовані на конкретні модальності або припускають наявність інформації про схему даних, забезпечує типо-орієнтовану побудову інтерпретованих зведень через таблиці частот для факторних змінних, гістограми для часових змінних, вектори моментів до четвертого порядку для числових змінних та TF-IDF вектори для рядкових змінних;

- *запропоновано нову метрику* структурної подібності даних, що використовують одиничні метрики або векторні представлення, здійснює зважену агрегацію відстаней Геллінгера, Вассерштейна ($p = 1$), повної варіації та $L1/L2$, з MAE/MARE для числових зведень для забезпечення принципово обґрунтованого порівняння характеристик різнотипних змінних;

- *розроблено новий метод* побудови ієрархічних структур подібності корпусів табличних даних на основі графів суміжності, який дозволяє пошук найбільш подібних даних та ієрархічне дослідження без припущення фіксованої схеми;

- *розроблено та реалізовано* наскрізну хмарну масштабовану інформаційну технологію обробки великих корпусів табличних даних, яка на відміну від традиційних підходів до порівняння повних копій

даних, забезпечує розподілену побудову компактних представлень, їх зберігання та запити через взаємодію Apache Spark, AWS S3, Glue, Athena та Airflow, що дозволяє значно зменшити витрати на зберігання та копіювання даних при збереженні точності аналізу подібності;

– *модифіковано підхід* до кластеризації гетерогенних даних на основі компактних представлень та матриці суміжності, що забезпечує стійкість до шуму й масштабованість. Запропоновано метод аналізу кластерної структури за спектральними властивостями стохастичних матриць. *Створено інструментарій*, який дозволяє визначати природні групи ознак та виявляти структурні відхилення у великих наборах даних.

Практичне значення отриманих результатів. За результатами виконаних досліджень розроблено архітектуру уніфікованої інформаційної технології для порівняння гетерогенних табличних наборів даних, процедуру конструювання компактних представлень даних, метрики обчислення подібності та методи побудови структур корпусів даних для використання в умовах інформаційних систем великого масштабу з невідомими джерелами.

Застосування методу компактних представлень даних на основі типоспецифічних зведень дозволило зменшити обсяги даних для зберігання та передачі при збереженні достатньої інформації для порівняння наборів даних. Розроблена хмарна архітектура забезпечує розподілену обробку файлів великого розміру, використовуючи Apache Spark на EMR для розподіленої обробки, S3 для зберігання, Airflow для оркестрації, Glue для каталогізації та Athena для ad-hoc запитів.

Експериментальні дослідження продемонстрували зменшення обсягу даних завдяки використанню компактних представлень. Побудовані типорієнтовані зведення суттєво зменшують обсяг даних для аналізу, що відповідно знижує витрати на зберігання та значно скорочує кількість операцій читання/запису. Застосування розподіленої архітектури на базі

Apache Spark, колонкових форматів зберігання Parquet та хмарних сервісів AWS забезпечило прискорення обробки приблизно на 40–60% порівняно з традиційними підходами повного сканування таблиць.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та чотирьох додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету, завдання, предмет, об'єкт та методи дослідження, вказано наукову новизну, подано та проаналізовано зв'язок роботи з науковими темами. Зазначено особистий внесок здобувача, а також наведено відомості про апробацію та публікації основних результатів дисертації. Описано структуру та обсяг дисертаційної роботи.

Перший розділ дисертації містить теоретичні засади аналізу великих та гетерогенних даних (Big Data) і обґрунтовує застосування спектральних методів та апарату випадкових матриць для дослідження їхньої структури.

У цьому розділі подано математичний апарат стохастичних та випадкових матриць, основні спектральні характеристики великорозмірних систем та результати теорії випадкових матриць, які дозволяють описувати поведінку складних структур без жорстких припущень щодо моментів розподілів.

Сформульовано обґрунтований критерій визначення оптимальної кількості кластерів, що базується на підрахунку власних значень стохастичної матриці, які перевищують заданий поріг. Розглянуто можливості застосування спектральних методів у різних сферах Big Data – соціальних, біологічних, фінансових, технологічних та вебсистемах, де властивості даних відзначаються нерівномірністю та стохастичною природою.

Другий розділ присвячений розробці математичного та алгоритмічного апарату інформаційної технології компактного подання, класифікації та порівняння табличних даних у задачах аналізу великих гетерогенних наборів даних. Розглянуто сучасні концепції аналітики Big

Data, на основі якої запропоновано узагальнену модель компактного представлення (CDR), що замінює повні набори даних їх стислими дескрипторами, які зберігають інформаційно значущі статистичні та структурні характеристики. Розроблено алгоритм автоматичної типізації змінних, який на основі структурних і статистичних критеріїв класифікує атрибути наборів даних на числові, категоріальні, часові та текстові типи без необхідності попередньої схеми. Описано класи метрик, придатних для числових, текстових та категоріальних даних, та наведено обґрунтування їхнього використання.

Побудовано та обґрунтовано конвеєрну систему аналізу даних, робота якої реалізується чотирма функціональними блоками.

У третьому розділі дисертації здійснено аналіз сучасних хмарних технологій та принципів побудови масштабованих обчислювальних систем. Розглянуто ключові характеристики хмарних платформ, моделі сервісів (IaaS, PaaS, SaaS), а також особливості розподіленого зберігання, обробки та передачі даних у середовищах з високим навантаженням.

Розроблено багаторівневу модульну архітектуру інформаційної системи, що складається з трьох логічних рівнів із чітко визначеною відповідальністю та слабкою зв'язністю компонент. Програмне забезпечення усіх рівнів реалізовано мовою Python із використанням Apache Airflow для оркестрації робочих процесів та Apache Spark для розподіленої обробки даних, що забезпечує незалежність обчислювального ядра від конкретного постачальника хмарних послуг.

Описано повний конвеєр трансформації неструктурованих даних, що містить послідовність етапів розподіленої обробки та аналізу даних.

У четвертому розділі розроблено та реалізовано програмне забезпечення інформаційної системи та проведено експериментальну перевірку інформаційної технології моделювання та структурного аналізу гетерогенних табличних даних, що базується на методі компактного представлення CDR та метриці структурної подібності DISS.

Показано, що розроблена програмна система забезпечує модульність, підтримує автоматизований режим виконання та може бути інтегрована у реальні конвеєри обробки даних на хмарних платформах сучасних інформаційних систем.

Експериментальне тестування проводилось на реальних фінансових часових рядах, сформованих із двох відкритих наборів даних, що дозволило верифікувати універсальність та стійкість запропонованого підходу до змін джерела даних, часових інтервалів і ринкових режимів.

Отримані результати свідчать про збалансованість між точністю та повнотою класифікації, підтверджують практичну ефективність запропонованої інформаційної технології виявлення структурних змін у даних та її придатність для масштабованого застосування у сучасних Big Data системах і хмарних платформах штучного інтелекту, машинного навчання та нейронних мереж.

У **висновках** підсумовано основні результати дисертаційного дослідження.

У **додатках** подано наукові публікації, в яких відображено основні наукові результати роботи, відомості про апробацію результатів дисертації – акти та довідки про впровадження результатів роботи, лістинг частини коду програмного забезпечення.

Запропонований підхід до побудови компактних представлень (CDR) та метрики DISS для порівняння табличних даних, розроблений метод кластеризації на основі структурних відстаней та запропоновані методи інтеграції кластерного аналізу у аналітичні модулі компанії використовуються у роботі компаній ТОВ «Кодерс ПРО» та ТОВ «Палетний сервіс». А результати теоретичних та практичних досліджень використовуються у навчальному процесі кафедр математичних проблем управління і кібернетики та програмного забезпечення комп'ютерних систем Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Ключові слова: набори даних, модель, моделювання, класифікація,

точність, машинне навчання, аналіз даних, штучний інтелект, інформаційні технології / системи, програмне забезпечення, програмна система, нейронні мережі, Python, хмарна платформа, кластерний аналіз.

ABSTRACT

Kyrychenko Ye. O. Optimization of the Structure of Heterogeneous Data in Big Data – Qualification research work published in the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, speciality 121 – "Software Engineering" – Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, 2026.

Solving the problem of comparing heterogeneous tabular datasets from unknown or poorly documented sources is an essential scientific task in information technology, focused on the development and operation of information systems that handle large volumes of data (Big Data). The need to develop effective methods for structuring and comparing data corpora based on compact representations without access to all raw records arises from the constant growth of tabular data volumes in corporate and cloud environments, the lack of standardized schemas, and the high cost of transferring complete data copies.

In the dissertation, existing approaches to comparing tabular datasets are analyzed, and their limitations in working with heterogeneous data are identified. The work develops a type-oriented approach for creating compact data representations for different variable types, proposes a weighted metric for structural data similarity, and develops algorithms for constructing similarity graphs and trees to organize data corpora. A cloud-scalable architecture based on AWS for processing large tabular data corpora is created, and experimental studies of the proposed approach's effectiveness are conducted.

The object of the study is to compare heterogeneous tabular datasets from poorly documented sources.

The subject of the research is models and methods for variable classification, the creation of compact representations of heterogeneous tabular

datasets, and the construction of similarity graphs for effective comparison and the structuring of data corpora under minimal assumptions about the schema.

The goal of the study is to develop a unified type-oriented information system for effectively comparing heterogeneous tabular datasets from unknown or poorly documented sources by creating compact data representations using a weighted metric of structural data similarity, and to build a scalable cloud information system for constructing similarity graphs and trees of data corpora.

The scientific novelty of the obtained results lies in the following:

- *for the first time*, a unified methodology for constructing compact data representations for heterogeneous tabular variables *is developed*, which, unlike existing approaches oriented toward specific modalities or assuming the availability of data schema information, ensures type-oriented construction of interpretable summaries through frequency tables for categorical variables, histograms for temporal variables, moment vectors up to the fourth order for numerical variables, and TF-IDF vectors for string variables;

- *a new metric* of structural data similarity *is proposed*, which, unlike approaches using single metrics or vector representations, performs weighted aggregation of Hellinger, Wasserstein ($p = 1$), total variation, and $L1/L2$ distances with MAE/MAPE for numerical summaries to ensure a fundamentally justified comparison of characteristics of different variable types;

- *a new method* for constructing hierarchical similarity structures of tabular data corpora based on adjacency graphs *is developed*, which enables searching for the most similar data and hierarchical analysis without assuming a fixed schema.

- an end-to-end cloud-scalable *information technology* for processing large corpora of tabular data *is developed*, which, unlike traditional approaches based on comparing complete data copies, ensures distributed construction of compact representations, their storage, and

querying through interaction among Apache Spark, AWS S3, Glue, Athena, and Airflow, making it possible to significantly reduce storage and data-copying costs while preserving similarity analysis accuracy;

– *an approach* to clustering heterogeneous data based on compact representations and adjacency matrices *is modified*, ensuring noise resistance and scalability. A method for analyzing cluster structure based on spectral properties of stochastic matrices is proposed. A toolkit is created that enables the identification of natural feature groups and the detection of structural deviations in large datasets.

Practical significance of the obtained results. Based on the conducted research, an architecture for unified information technology for comparing heterogeneous tabular datasets, a procedure for constructing compact data representations, similarity-computation metrics, and methods for building data corpus structures for use in large-scale information systems with unknown sources are developed.

The application of the method of compact data representations based on type-specific summaries enabled reduced storage and transmission volumes while preserving sufficient information for dataset comparison. The developed cloud architecture ensures large-file processing using Apache Spark on EMR, S3 for storage, Airflow for orchestration, Glue for cataloging, and Athena for ad-hoc queries.

Experimental studies demonstrated a reduction in data volume by using compact representations. The type-oriented summaries significantly reduce the amount of data to analyze, thereby lowering storage costs and substantially reducing the number of read/write operations. The use of a distributed architecture based on Apache Spark, the columnar storage format Parquet, and AWS cloud services accelerated processing by approximately 40–60% compared with traditional full-table scanning approaches.

The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and four appendices.

The introduction substantiates the relevance of the research topic, formulates the purpose, objectives, subject, and object, specifies the research methods, indicates scientific novelty, and presents and analyzes the connection of the work to scientific topics. The personal contribution of the applicant is defined, and information on approbation and publications of the main dissertation results is provided. The structure and volume of the dissertation are described.

The first chapter of the dissertation provides the theoretical foundations for analyzing extensive, heterogeneous data (Big Data). It substantiates the application of spectral methods and random matrix theory to their analysis.

This chapter presents the mathematical apparatus of stochastic and random matrices, the main spectral characteristics of large-scale systems, and results of random matrix theory that allow for the description of the behavior of complex structures without strict assumptions about distributional moments.

A justified criterion for determining the optimal number of clusters based on the number of eigenvalues of a stochastic matrix exceeding a given threshold is formulated. The possibilities of applying spectral methods across various Big Data fields – social, biological, financial, technological, and web systems – are considered, where data exhibit irregularity and stochasticity.

The second chapter is devoted to the development of the mathematical and algorithmic apparatus for compact representation, classification, and comparison of tabular data in the analysis of large, heterogeneous datasets. Modern concepts of Big Data analytics are considered, and a generalized compact data representation model (CDR) is proposed that replaces complete datasets with compressed descriptors that preserve informationally significant statistical and structural characteristics. An algorithm for automatic variable typing is developed that classifies dataset attributes into numerical, categorical, temporal, and textual types based on structural and statistical criteria, without requiring a preliminary schema. Classes of metrics suitable for numerical, textual, and categorical data are described and justified.

A pipeline data analysis system is constructed and substantiated, with its

operation implemented through four functional blocks.

The third chapter of the dissertation analyzes modern cloud technologies and principles of building scalable computing systems. Key characteristics of cloud platforms, service models (IaaS, PaaS, SaaS), and features of distributed storage, processing, and data transmission in high-load environments are considered.

A multi-level modular architecture of the information system is developed, consisting of three logical levels with clearly defined responsibilities and loosely coupled components. The software of all levels is implemented in Python using Apache Airflow for workflow orchestration and Apache Spark for distributed data processing, ensuring independence of the computational core from a specific cloud service provider.

A complete pipeline for transforming unstructured data is described, containing a sequence of distributed processing and analysis stages.

In the fourth chapter, software for the information system is developed and implemented, and experimental verification of the information technology for modeling and structural analysis of heterogeneous tabular data based on the CDR compact representation method and the DISS structural similarity metric is conducted.

It is shown that the developed software system ensures modularity, supports automated execution, and can be integrated into real data processing pipelines on cloud platforms of modern information systems.

Experimental testing was conducted on real financial time series derived from two open datasets, enabling verification of the universality and robustness of the proposed approach across changes in data sources, time intervals, and market regimes.

The results indicate a balance between classification accuracy and completeness, confirm the practical effectiveness of the proposed information technology for detecting structural changes in data, and demonstrate its suitability for scalable application in modern Big Data systems and cloud platforms for

artificial intelligence, machine learning, and neural networks.

The conclusions summarize the dissertation's main results.

The appendices present scientific publications reflecting the main scientific results of the work, information on approbation of the dissertation results – acts and certificates of implementation – and listings of part of the software code. The proposed approach to constructing compact data representations (CDR) and the DISS metric for comparing tabular data, the developed clustering method based on structural distances, and the methods for integrating clustering computations into the analytical modules of a company are used in the work of LLC “Coders PRO” and LLC “Paletnyi Servis”. The results of the theoretical and practical research are also used in the educational process of the Departments of Mathematical Problems of Control and Cybernetics and Software of Computer Systems at Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University.

Keywords: data sets, model, modeling, classification, accuracy, machine learning, data analysis, artificial intelligence, information technology / system, software, software system, neural networks, Python, cloud platform, cluster analysis.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані

основні наукові результати дисертації

*Наукові праці у виданнях, включених до переліку
наукових фахових видань України та проіндексованих у
наукометричній базі даних Scopus:*

1. Кириченко О., Кириченко Є. Асимптотичні властивості випадкових матриць = Asymptotic Properties of Random matrices. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Фізико-математичні науки.* 2024. 78(1). С. 41–44. (Scopus) <https://doi.org/10.17721/1812-5409.2024/1.7> (Кириченко О. – концептуалізація, формальний аналіз;

Кириченко Є. – аналіз джерел, підготовка огляду літератури).

**Наукові праці у періодичних наукових виданнях,
проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus:**

2. Malyk I. V., **Kyrychenko Y.**, Gorbatenko M., Lukashiv T. Data Optimization through Compression Methods Using Information Technology. *International Journal of Information Technology and Computer Science*. 2025. Vol.17, No.5. P. 84-99. (Scopus, Q3 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21101226492&tip=sid&clean=0>) <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2025.05.07> (Малик І. – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, написання та підготовка оригінальної чернетки, написання, рецензування та редагування, візуалізація, авторський нагляд; Кириченко Є. – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, дослідження, написання та підготовка оригінальної чернетки, написання-рецензування та редагування, візуалізація; Горбатенко М. – методологія, формальний аналіз; Лукашів Т. – концептуалізація, написання, рецензування та редагування, авторський нагляд, адміністрування проєкту).

**Наукові праці у виданнях, включених до переліку
наукових фахових видань України:**

3. **Кириченко Є. О.**, Кириченко О. Л. Побудова моделей нейронних мереж у хмарному середовищі засобами AWS EMR. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія : Технічні науки. 2024. 35(74), №6. С. 75-79. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.2/11> (Кириченко Є. – теоретична та практична розробка положень, програмна реалізація, редагування рукопису; Кириченко О. – постановка задачі, керівництво дослідженням, рецензування та редагування).

4. **Kyrychenko Y.**, Malyk I. Information Technology for Data Compression and Transformation by Means of Apache Airflow and Amazon EMR. *Security of Infocommunication Systems and Internet of Things*. 2025. Vol. 3, no. 1. P. 01004. <https://doi.org/10.31861/sisiot2025.1.01004> (Кириченко Є. – проєктування

архітектури системи, програмне забезпечення, розробка та тестування програмного забезпечення, написання та редагування; Малик І. – загальне керівництво, концептуалізація).

5. **Кириченко Є.**, Малик, І. Один результат кластеризації на основі випадкових матриць. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2025. №3. С. 257-270. <https://doi.org/10.32782/IT/2025-3-29> (Кириченко Є. – проведення дослідження, редагування рукопису; Малик І. – постановка задачі, визначення загальної схеми досліджень, обговорення результату).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. **Кириченко Є. О.**, Малик І. В. Використання подвійних стохастичних моделей в BIG DATA. *Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки (ПІКТ – 2023)* : праці XII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернівці, 10 – 12 листопада 2023 р. Чернівці : Черн. нац. ун-т, 2023. С. 33–35. (Кириченко Є. – огляд літературних джерел, написання, рецензування та редагування; Малик І. – постановка задачі, рецензування).

7. **Кириченко Є. О.**, Малик І. В. Моделі і процеси при дослідженні подвійних стохастичних систем. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : тези доп. XXXII Міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2024, 22–25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. Харків : НТУ «ХПІ». С. 1294. (Кириченко Є. – проведення дослідження, написання рукопису; Малик І. – концептуалізація, методологія, загальне керівництво).

8. **Kyrychenko Y.**, Malyk I. Leveraging AWS EMR for Scalable and Efficient Neural Network Deployment in Cloud Computing. *The 13 th International Conference on Electronics, Communications and Computing's (IC ECCO)* : Materials of the Intern. Conf., (Chisinau, Moldova, 17–18 October, 2024.). Chisinau : Technical University of Moldova, 2024. P. 128-129. (Кириченко Є. – проведення досліджень, аналіз та опис результатів; Малик І. – постановка задачі, обговорення результатів).

9. **Кириченко Є. О.**, Малик І. В. Порівняльний аналіз економічної ефективності AWS ELASTIC MAPREDUCE та EC2 для розгортання нейронних мереж. *Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки (ПІКТ–2024)* : праці XIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 01–03 листопада 2024 р. Чернівці : Черн. нац. ун-т, 2024. С. 40–42. (Кириченко Є. – збір та аналіз даних, обговорення результатів; Малик І. – концептуалізація дослідження, розробка методології, аналіз результатів).

10. **Кириченко Є.**, Малик І. Інформаційна технологія структурного аналізу табличних наборів даних для виявлення аномалій та невідповідностей. *Science in the Context of Modern Challenges and Prospects* : Materials of the Intern. Conf., 21 травня 2025 р. (м. Утрехт, Нідерланди). 2025. С. 196-197. (Кириченко Є. – проведення дослідження, аналіз та опис результату; Малик І. – визначення загальної схеми дослідження).

11. Малик І. В., **Кириченко Є. О.** Підхід до порівняння гетерогенних табличних даних на основі методів компресії. *Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки* : праці XIV Міжнародної науково-практичної конференції (ПІКТ – 2025), присвяченої 85-й річниці від дня народження проф. Кириченка М.Ф. м. Чернівці, 13–15 лист. 2025. Чернівці : Технодрук, 2025. С. 124-126. (Кириченко Є. – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, дослідження, написання; Малик І. – постановка задачі, загальне керівництво).

**Наукові праці, які додатково відображають
наукові результати дисертації:**

12. **Kyrychenko Y. O.**, Kyrychenko O. L., Filipchuk O. I. The Study Of Complex Networks Using Visualization Tools. *Science and technology today*. «Technics» series. 2024. № 10(38). С. 81-93. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-10\(38\)-81-92](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-10(38)-81-92) (Кириченко Є. – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, дослідження, підготовка ілюстративних матеріалів; Кириченко О. – концептуалізація, обговорення результатів; Філіпчук О. – обговорення результатів, рецензування та редагування).