

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента

кандидата фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника

Колчина Олександра Валентиновича на дисертаційну роботу

Рибачка Дмитра Олександровича

«Комп'ютерно-математичні моделі мережевих структур і галузей та їх

застосування на реальних великих даних»,

подану на здобуття ступеня **доктора філософії**

з галузі знань 12 «Інформаційні технології»

за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота присвячена розробці методологічної та програмно-обчислювальної рамки для аналізу мережевих структур у контексті реальних великих даних. Актуальність роботи зумовлена потребою оцінки стійкості критичних інфраструктур, включаючи енергетичні, транспортні та фінансові мережі, що зростає у зв'язку зі складністю сучасних систем, високою динамікою зв'язків та наявністю стохастичних факторів і невизначеності.

Зв'язок дослідження з науковими програмами та темами

Дослідження виконано у відділі інтелектуальних інформаційних технологій Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України в межах низки державних науково-дослідних робіт, а саме:

проєкт «Розробити методи трансформації документоорієнтованих інформаційних систем в хмарні сервіси» (номер державної реєстрації 0118U001111) у 2022 р.;

проєкт «Розробити математичні моделі архітектури цифровізованих інфраструктурних реєстрів у хмарному середовищі» (номер державної реєстрації 0123U100813) у 2023–2026 рр.;

проект «Розробка, впровадження та підтримка Інтегрованої системи організації наукової діяльності НАН України – Програма інформатизації НАН України на 2020–2024 рр.» (номер державної реєстрації 0124U002851) у 2024 р.;

проект «Технологічний розвиток та підтримка роботи Архіву препринтів і Головного порталу відкритої науки НАН України – Цільовий науково-технічний проект НАН України «Впровадження і підтримка відкритої науки в установах НАН України (OPENS2)»» (номер державної реєстрації 0123U002244) у 2025 р.;

проект «Розвиток розподіленої енергетики в умовах ринку електричної енергії України з використанням технологій та систем цифровізації. Розділ 2. Розробити розподілені інформаційні технології для децентралізованих систем енергетики» (номер державної реєстрації 0126U002988) у 2025–2026 рр.;

проект «Розробити моделі та методи цифровізації транзакцій в децентралізованих системах» (номер державної реєстрації 0125U002945) у 2025–2026 рр.

Огляд змісту дисертації та відповідності вимогам до оформлення

Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків та відповідає вимогам до оформлення дисертацій доктора філософії. У першому розділі систематизовано комп'ютерно-математичні моделі мережевих структур, у другому – методологічні та архітектурні засади аналізу мережевих структур у масштабі великих даних, у третьому – результати експериментальних досліджень на реальних даних європейського ринку електроенергії. Дисертаційна робота є самостійним завершеним дослідженням; використані результати та ідеї інших авторів супроводжуються належними посиланнями на відповідні джерела.

Наукова новизна одержаних результатів

Автор послідовно розглядає різноманітні підходи до аналізу мереж – від детермінованих графових моделей та структурних інваріантів до ймовірнісних моделей, спектральних методів, мультишарових і динамічних мереж,

конфігураційних моделей та масштабованих алгоритмічних рішень. Такий комплексний підхід дозволяє охопити як структурні, так і динамічні характеристики мереж і створює основу для подальшого розвитку системного аналізу великих даних.

Практичне значення роботи

Реалізовано конвеєр, який дозволяє проводити масштабовану обробку великих мережових даних та інтегрувати результати в системи підтримки прийняття рішень. В роботі також наведено приклади демонстраційного стенду live.energyda.net, що підтверджує практичну застосовність підходу.

Отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму:

Рибачок Д.О., Кушнір О.С. Комп'ютерна програма «EnergyNetDA – система мережевого аналізу європейського ринку електроенергії «на добу наперед» на основі потокових даних ENTSO-E». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 145798 від 20 квітня 2026 р. Київ: Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій, 2026.

Ступінь обґрунтованості основних положень і висновків дисертації

Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи є обґрунтованими. Проведено чисельний аналіз для реальних даних енергомереж ENTSO-E, включаючи розрахунок структурних характеристик, виявлення спільнот, аналіз стабільності, прогнозування цін методом машинного навчання, оцінку стійкості характеристик до шуму та варіацій вибірки. Робота демонструє серйозну обчислювальну підготовку та уважність до деталей при масштабуванні аналізу.

Для кількісної оцінки стійкості та ефективності алгоритмів використано бутстреп-аналіз, 5-fold TimeSeriesSplit CV, різні метрики (MAE, RMSE, кореляції). Ці підходи демонструють уважне ставлення автора до перевірки надійності отриманих результатів.

Повнота викладення наукових положень та висновків в опублікованих працях

Результати дисертаційного дослідження повною мірою висвітлено у наукових публікаціях автора. Загалом за темою дисертації опубліковано 43 наукові праці, серед яких: 2 статті у виданнях, проіндексованих міжнародною наукометричною базою Scopus (IEEE та Springer); 8 статей у фахових виданнях України (категорія Б, зокрема «Кібернетика та комп'ютерні технології», «Наука і техніка сьогодні»); 9 розділів у колективних монографіях, у тому числі чотири – у наукових виданнях країн Європейського Союзу (Польща, Латвія, Словаччина); 20 тез доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях; одне свідоцтво про реєстрацію авторського права на програмний продукт EnergyNetDA. Три публікації прийняті до друку у 2026 році, зокрема стаття з повним описом конвеєра у журналі «Електронне моделювання» (№ 4/2026). Зазначені публікації повною мірою висвітлюють результати дисертаційної роботи.

Зауваження та пропозиції

Поряд із загальною позитивною оцінкою дисертаційної роботи вважаємо за доцільне висловити низку зауважень і рекомендацій, які мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

1) Рівень формалізації моделей і результатів. У роботі послідовно вживаються поняття «модель», «метод» і «критерій», проте основні положення сформульовано переважно описово, без подання формальних математичних моделей і доведених тверджень. Для посилення наукової новизни та забезпечення можливості незалежної перевірки запропонованих методів доцільно формалізувати принаймні одну ключову властивість, зокрема встановити аналітичну оцінку відхилення структурних метрик при редукції мережі від N до M вершин. Наявність такого результату надала б роботі більшої

математичної строгості та уможливила б об'єктивне оцінювання точності процедур редукції мереж.

2) Інтерпретація кількісних результатів. Робота містить значну кількість числових показників (MAE, RMSE, коефіцієнти кореляції, результати бутстреп-аналізу), однак їх змістовну практичну інтерпретацію розкрито недостатньо. Зокрема, для задачі прогнозування цін «на добу наперед» залишається нез'ясованим, чи є отримане значення $MAE = 16,89 \pm 8,95$ EUR/МВт·год прийнятним для кінцевого користувача та очікуваним для цього класу задач. Додаткового обґрунтування потребують також вибір діапазону порогу кореляції $\tau \in [0,5; 0,9]$ з оптимумом $\tau = 0,7$ (43 вершини, 218 ребер, 7 спільнот, модулярність $Q = 0,326$) і відповідного розміру мережі та результати бутстреп-аналізу стійкості структурних характеристик ($\bar{J} = 0,72$, довірчий інтервал $[0,50; 1,00]$). Доцільно доповнити обговорення цих результатів змістовною інтерпретацією та сформулювати конкретні порогові значення, на які слід зважати під час моніторингу й управління мережами.

3) Узгодженість декларованих цілей і отриманих результатів. У вступі наголошено на практичному значенні роботи для оцінювання резильєнтності мереж і підтримки рішень операторів, проте у розділі експериментальних досліджень і у висновках не наведено практичних рекомендацій чи керівних параметрів, на які доцільно орієнтуватися для підвищення стійкості мереж. У подальших дослідженнях було б бажано сформувати набір ключових показників, придатних для практичного застосування.

4) Термінологічна визначеність поняття «модель». У тексті поняття «модель» вживається в різних значеннях – як формальна математична модель, як прикладний алгоритмічний підхід і як поведінкова модель транзакційних систем, – що не завжди чітко розмежовано. Уточнення цього поняття та послідовне його вживання зміцнило б логіку викладу й підвищило наукову точність роботи.

5) Термінологічні та редакційні зауваження. У роботі трапляються англomовні запозичення та кальки, які доцільно супроводжувати українськими відповідниками або поясненнями при першому вживанні:

- «семплінг» – доцільно вживати «вибірка» або «підвибірка»;
- «скетчинг» – доцільно перекладати як «методи наближеного зведення (підрахунку)»;
- «розподіл із важкими хвостами» (heavy-tailed distribution) – потребує пояснення: графи, у яких незначна частина вершин має дуже велику кількість зв'язків, а більшість – малу;
- «резильєнтність» – доцільно супроводжувати відповідником «стійкість / живучість мережі».

Окремі формулювання потребують редакційного уточнення, зокрема:

- «семплінг здатен «проковтнути» рідкісні, але значущі міжспільнотні мости» доцільно замінити на «вибірка може не виявити рідкісних, але значущих міжспільнотних мостів»;
- «жадібна оптимізація спільнот чутлива до порядку обходу вершин» – на «жадібний алгоритм оптимізації спільнот чутливий до порядку обходу вершин»;
- «скетчинг і хешування для триадичних підрахунків дають зміщені оцінки на графах з важкими хвостами» – на «методи наближеного підрахунку та хеш-функції для триадних структур дають зміщені оцінки на графах із важкими хвостами»;
- «контроль варіабельності між запусками, фіксація версій бібліотек, параметрів і характеристик даних» – на «оцінювання змінності результатів між запусками, фіксація версій бібліотек, параметрів і характеристик даних».

Рекомендації щодо впровадження результатів дослідження

Отримані результати та розроблений програмно-обчислювальний конвеєр можуть бути використані при створенні інформаційно-аналітичних систем для моніторингу та аналізу складних мережевих структур, критичних

інфраструктур та енергетичних ринків, а також у системах підтримки прийняття рішень операторів мереж.

Висновок на відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота є значущою та перспективною, демонструє високий рівень системного підходу, методологічну комплексність та програмну реалізацію масштабованого аналізу великих мережевих даних. Робота відкриває перспективні напрямки для подальших досліджень, зокрема формалізацію моделей, введення строгих теорем і рекомендацій для практичного моніторингу мережевих систем. Розглянуті експериментальні результати і програмний конвеєр створюють міцну основу для розвитку систем підтримки прийняття рішень у критичних інфраструктурах.

За актуальністю, обсягом, науковою новизною та практичною значущістю робота відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Рибачок Дмитро Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент

старший науковий співробітник відділу теорії
цифрових автоматів Інституту кібернетики
імені В.М. Глушкова НАН України
кандидат фізико-математичних наук



Олександр КОЛЧИН

