

ВІДГУК

офіційного опонента

Гороховського Семена Самуїловича на дисертаційну роботу

Рибачка Дмитра Олександровича

**«Комп'ютерно-математичні моделі мережевих структур і галузей та їх
застосування на реальних великих даних»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Д.О. Рибачка присвячена розробці комп'ютерно-математичних моделей мережевих структур і галузей та їх застосуванню до аналізу реальних великих даних, зокрема даних критичних інфраструктур, енергетичних ринків, транспортних коридорів, соціальних та цифрових платформ. Актуальність теми зумовлена стрімким зростанням обсягів даних, що генеруються в енергетиці, фінансах, транспорті та комунікаціях, і необхідністю аналізу складних мережевих структур, утворюваних такими системами. Як справедливо зазначає автор, традиційні підходи до моделювання часто виявляються недостатніми через високу розмірність простору станів, нелінійність взаємодій, динамічну природу зв'язків та потребу враховувати стохастичні фактори й невизначеність, що зумовлює необхідність поєднання класичних мережевих моделей із потоковими та розподіленими технологіями обробки великих даних.

З погляду комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення особливо цінним є те, що дисертація не обмежується теоретико-методологічними побудовами, а доводить запропоновані рішення до рівня працездатної програмно-обчислювальної системи. Сучасні задачі аналітики великих мережевих структур значною мірою визначаються саме якістю програмної реалізації: продуманою архітектурою обробних конвеєрів, продуктивністю та масштабованістю обчислень, відтворюваністю результатів і

придатністю коду до супроводу. Орієнтація роботи на резильєнтність критичних інфраструктур, децентралізацію енергоринків та цифрову координацію систем, а також застосування відкритих даних європейського ринку електроенергії, робить тему дисертації безперечно актуальною та такою, що відповідає сучасним тенденціям розвитку комп'ютерних наук і інформаційних технологій.

Зв'язок дослідження з науковими програмами та темами

Дисертаційні дослідження виконано у відділі інтелектуальних інформаційних технологій Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України в межах низки науково-дослідних робіт:

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.;

проєкт «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.;

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

проєкт «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.;

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

Отримані здобувачем результати безпосередньо пов'язані з тематикою зазначених досліджень і мають виражену прикладну спрямованість. Слід окремо відзначити, що така спрямованість відповідає сучасній практиці, за якої науковий результат у галузі комп'ютерних наук є невіддільним від його програмного втілення: цінність запропонованих моделей і методів підтверджується саме можливістю їх стійкої та масштабованої реалізації у складі діючої програмної системи.

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 вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, визначено наукову новизну, практичне значення та особистий внесок здобувача.

У першому розділі представлено теоретико-методологічні засади мережевих структур: систематизовано сім класів комп'ютерно-математичних моделей – детерміновані графові моделі та структурні інваріанти, ймовірнісні моделі (випадкові графи та блокові моделі), моделі спільнот і оптимізаційні критерії на основі модулярності, спектральні методи та вкладення мереж, мультишарові й динамічні мережі, конфігураційні та генеративні моделі на основі ступенів, а також масштабований аналіз великих мереж – і для кожного класу визначено межі застосовності в контексті великих даних. Другий розділ присвячено методам обробки великих мережевих даних та їх архітектурному поданню: розроблено узагальнену архітектурну модель конвеєра аналізу як послідовності відтворюваних перетворень від сирих спостережень до інтерпретованих результатів, систематизовано алгоритмічні підходи до масштабування обчислень (розподілена та потокова обробка, наближені алгоритми, стиснення й вибірки графів) і визначено систему метрик оцінювання якості, що охоплює п'ять груп – структурні, модельні, метрики спільнот, обчислювальні та практичні.

Третій розділ містить експериментальну перевірку методологічних положень на реальних даних європейського ринку електроенергії. У ньому розроблено програмно-обчислювальний конвеєр EnergyNetDA, реалізований на Scala 3 із використанням Cats Effect 3, http4s, fs2, fs2-kafka та Apache Kafka у поєднанні з Python і бібліотекою NetworkX, для мережевого аналізу даних ENTSO-E. З погляду інженерії програмного забезпечення цінною є чітка етапність конвеєра обробки та доведення системи до працездатного стану: вихідний код конвеєра наведено в додатку, а результати супроводжуються знімками діючого демонстраційного стенду live.energyda.net. Виклад є логічно послідовним – від систематизації моделей через методологічні та архітектурні засади до експериментальної перевірки на реальних даних.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність вагомого особистого внеску здобувача у розвиток методів та програмних засобів аналізу складних мережевих структур і великих даних.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Рибачка Дмитра Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить ознак фальсифікації, фабрикації, плагіату чи інших порушень академічної доброчесності. Використані результати та ідеї інших авторів супроводжуються належними посиланнями на відповідні джерела.

Наукова новизна одержаних результатів

Уперше запропоновано цілісний підхід до аналізу мережевих структур у контексті великих даних, який поєднує структурні, статистичні та обчислювальні аспекти дослідження з повноцінною програмною реалізацією, що забезпечує безперервну обробку реальних потоків даних.

Розроблено програмно-аналітичний комплекс EnergyNetDA для збору, потокової обробки та аналізу даних енергетичних мереж у масштабі великих даних, який відзначається модульною архітектурою, чітким розмежуванням

відповідальності компонентів та придатністю до супроводу й подальшого розширення.

Запропоновано підхід до дослідження стійкості структурних характеристик мереж із використанням статистичних методів оцінювання, оформлений у вигляді відтворюваних обчислювальних процедур, що допускають незалежну повторну перевірку.

Удосконалено методичні та інженерні підходи до аналізу й прогнозування процесів у складних мережевих системах на основі реальних даних із наголосом на масштабованості, обчислювальній ефективності та якості програмної реалізації.

Практичне значення роботи

Практична значимість отриманих результатів полягає у створенні програмно-аналітичного комплексу EnergyNetDA, який забезпечує масштабовану обробку та аналіз великих мережевих даних. З інженерного погляду особливо цінною є архітектура системи: розмежування модулів збору, обробки та аналізу даних, застосування сучасного технологічного стеку та REST-орієнтованої взаємодії компонентів, що робить рішення адаптивним, легким до модифікації та зручним у супроводі.

Практичну цінність результатів також переконливо підтверджує створення та експлуатація демонстраційного інформаційного ресурсу live.energyda.net, що забезпечує візуалізацію та аналіз даних європейського енергетичного ринку в режимі, наближеному до реального часу. Наявність діючого демонстраційного стенду свідчить про те, що запропоновані моделі та методи доведено не лише до рівня прототипу, а до стану працездатної програмної системи, придатної до практичного використання. 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

Обґрунтованість отриманих результатів підтверджується ґрунтовною експериментальною базою та апробацією на реальних великих даних європейської енергетичної мережі ENTSO-E. Масштаб експерименту є вагомим: конвеєр збору охоплює 53 бідингові зони та 86 інтерконекторів за 730-денне вікно, з якого після фільтрації за покриттям проаналізовано 533 доби – близько 12,8 тис. погодинних зрізів, 10,75 млн записів обсягом 1,25 ГБ. На цих даних побудовано двошарове мережеве подання, що поєднує фізичні перетоки та цінові кореляції ринку «на добу наперед».

Особливо слід відзначити інженерну культуру перевірки достовірності результатів. Для оцінювання стійкості структурних характеристик автор застосовує бутстреп-аналіз, а для оцінювання динамічної стабільності топології – ковзні 7-денні вікна, що свідчить про високу стабільність мережевого подання у часі. Аналіз чутливості до порогу кореляції узгоджується з фізичною топологією market coupling. Прогнозування цін «на добу наперед» методами машинного навчання виконано із застосуванням перехресної валідації за схемою 5-fold TimeSeriesSplit та метрик MAE і RMSE. Заслугує на схвалення наукова чесність здобувача: він не приховує негативного результату щодо того, що додавання статичних мережевих ознак не покращує, а дещо погіршує точність прогнозу, і коректно інтерпретує його як обґрунтування потреби в динамічних та графо-нейромережевих підходах. З погляду інженерії програмного забезпечення принципово важливим є те, що результати отримано не разовими скриптами, а в межах цілісного відтворюваного конвеєра з фіксацією параметрів і версій даних. Використані методи є адекватними поставленим завданням, а належний рівень програмної реалізації разом із кількістю та якістю наукових публікацій підтверджують достатню обґрунтованість отриманих автором наукових результатів.

Повнота викладення наукових положень та висновків в опублікованих працях

Результати дисертації є істотним внеском у розроблення методів і засобів комп'ютерно-математичного моделювання мережевих структур та їх застосування на реальних великих даних. Вони достатньо повно опубліковані в 40 наукових публікаціях, серед яких 2 – публікації, що індексуються в наукометричній базі Scopus (1 публікація у періодичному виданні Scopus), 1 – свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерна програма EnergyNetDA), 8 – статті у наукових фахових виданнях України, 9 – розділи колективних монографій (серед них 4 монографії, видані в ЄС), 20 – тези доповідей на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

Обсяг та рівень публікацій відповідають вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Зауваження та пропозиції

1) У Розділі 2 при описі архітектури програмного комплексу EnergyNetDA доцільно було б навести узагальнену архітектурну діаграму компонентів та схему їх взаємодії, а також стисло обґрунтувати вибір технологічного стеку (фреймворків, черг завдань, засобів зберігання даних) з погляду нефункціональних вимог – продуктивності, масштабованості, відмовостійкості та супроводжуваності. Такий опис підвищив би відтворюваність архітектурних рішень і полегшив би їх повторне використання.

2) Бажано було б приділити більше уваги питанням тестування та забезпечення якості програмного коду: наявності модульних та інтеграційних тестів, оцінці покриття коду тестами, а також застосованим практикам контролю версій і керування залежностями. Висвітлення цих аспектів додатково підкріпило б тезу про відтворюваність та надійність отриманих результатів.

3) У Розділі 3 при обговоренні результатів прогнозування цін Day-Ahead методами машинного навчання доцільно було б навести не лише порівняння за

точністю, а й оцінку обчислювальної складності та ресурсних витрат застосованих моделей, а також розглянути альтернативні підходи (зокрема рекурентні нейронні мережі типу LSTM) з погляду співвідношення точності, вартості реалізації та подальшої підтримки в межах системи.

4) У роботі наводяться численні значення метрик якості (MAE, RMSE, кореляції) та результати бутстреп-аналізу, проте подекуди бракує їх змістовної практичної інтерпретації. Зокрема, для значень похибки прогнозування цін бажано було б чітко зазначити, чи є такі значення прийнятними для кінцевого користувача системи та очікуваними для цього класу задач, а також які граничні значення метрик слід вважати критичними під час експлуатації.

Рекомендації щодо впровадження результатів дослідження

Отримані результати та розроблене програмне забезпечення можуть бути використані при створенні інформаційно-аналітичних систем для моніторингу та аналізу складних мережевих структур, критичних інфраструктур, енергетичних ринків та систем підтримки прийняття рішень. Розроблені програмні компоненти доцільно застосовувати як основу для подальшого розвитку масштабованих аналітичних платформ, а також як приклад інженерії аналітичних конвеєрів обробки великих даних у навчальному та науково-дослідному процесі.

Висновок на відповідність дисертації встановленим вимогам

Зазначені зауваження мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Дисертація Д.О. Рибачка є завершеним науковим дослідженням, яке містить нові науково обґрунтовані результати у галузі комп'ютерних наук та супроводжується якісною, самостійно створеною програмною реалізацією.

Зважаючи на вище викладене, вважаю, що дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю наукових положень, теоретичним та практичним значенням отриманих результатів повністю

відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року, а її автор, Рибачок Дмитро Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент

Доцент кафедри інформатики

факультету інформатики

Національного університету «Києво-Могилянська академія»

кандидат фізико-математичних наук

доцент

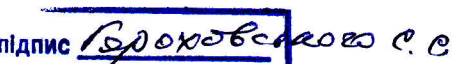
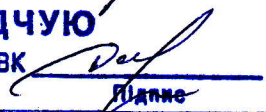
 Семен ГОРОХОВСЬКИЙ



Особистий підпис

ЗАСВІДЧУЮ

Начальник ВК

 **Гороховський С.С.**

Підпис