

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента, завідувача кафедри комп'ютерної інженерії Навчально-наукового інституту інформаційних технологій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій **Лашевської Наталії Олександрівни** на дисертаційну роботу **Цапро Ігоря Вікторовича** на тему **«Метод аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі механістичного підходу та машинного навчання»**, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» галузі знань 12 «Інформаційні технології»

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Актуальність дисертаційного дослідження Цапро І. В. «Метод аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі механістичного підходу та машинного навчання» зумовлена зростанням ролі криптовалютного ринку як об'єкта аналізу та прогнозування, а також наявністю суттєвих обмежень існуючих підходів до обробки фінансових часових рядів в умовах високої волатильності та нестаціонарності. На відміну від традиційних ринків, криптовалютний ринок демонструє виражені нелінійні залежності між торговою активністю та рухом ціни, що ускладнює побудову стійких прогнозних моделей. Водночас відкритість даних щодо обсягів торгів і поведінки учасників створює сприятливі умови для дослідження ринкових механізмів. Традиційний технічний аналіз переважно базується на цінових часових рядах, однак ціна відображає лише результат взаємодії попиту та пропозиції, не розкриваючи процесу її формування. Через це такі підходи часто втрачають точність за умов змін ринкових фаз або підвищеної активності великих учасників ринку. Перспективним є механістичний підхід, який орієнтується на аналіз процесів формування ринкових даних. Він дозволяє виявляти дисбаланси попиту та пропозиції, аномальну активність і фази накопичення позицій, що можуть передувати значним ціновим рухам. Проте механістичні індикатори генерують значну кількість шумових сигналів. Для підвищення якості аналізу доцільним є поєднання механістичного підходу з методами машинного навчання. У цьому випадку машинне навчання використовується не для прямого прогнозування ціни, а для відсіювання статистично неінформативних подій. Такий підхід має забезпечити зменшення кількості збиткових угод і сприяти створенню адаптивних та пояснюваних систем підтримки прийняття рішень на ринку

криптовалют. Дослідження має важливе значення для розвитку спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», оскільки спрямоване на розроблення нових методів аналізу та прогнозування даних, архітектурних рішень їх програмної реалізації та підходів до інтеграції методів машинного навчання у прикладні програмні системи. Отримані результати розширюють методичну базу створення інтелектуальних програмних продуктів для роботи зі складними нестаціонарними даними, а також демонструють можливість поєднання механістичного моделювання, машинного навчання та сучасних принципів проектування програмного забезпечення в межах єдиної програмної системи.

Вищезазначене обумовлює актуальність дисертаційної роботи Цапро Ігоря Вікторовича, метою якої є підвищення точності аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют шляхом розробки методів аналізу та прогнозування на основі механістичного підходу та машинного навчання, а також архітектурних рішень їх програмної реалізації для формалізованого оцінювання взаємодії попиту та пропозиції, виявлення прихованих ринкових станів та ідентифікації інформативних торгових сигналів. Робота відповідає сучасним викликам інженерії програмного забезпечення та інтелектуального аналізу даних, пов'язаним із обробкою нестаціонарних часових рядів, підвищенням стійкості моделей машинного навчання та зменшенням впливу шумових сигналів у складних динамічних системах. Вона має наукове та практичне значення для побудови інтелектуальних програмних систем аналізу та прогнозування даних, здатних працювати в умовах високої невизначеності та динамічних змін середовища.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи базується на положеннях механістичного підходу, методах аналізу часових рядів та машинного навчання, що забезпечує їх методологічну узгодженість і внутрішню несуперечливість. Основні результати підтверджені експериментальними дослідженнями на реальних історичних даних криптовалютного ринку, а також результатами порівняльного аналізу, що свідчить про їх відтворюваність та практичну перевірюваність. Сукупність цих факторів дозволяє розглядати отримані положення як такі, що мають належне теоретичне обґрунтування та емпіричну верифікацію. Кожен із отриманих автором наукових результатів має чітко сформульований внесок у розвиток методів інтелектуального аналізу даних та програмної інженерії.

Удосконалено метод механістичного аналізу динаміки криптовалютних активів за рахунок інтеграції даних роздільних обсягів ринкових покупок, продажів та їхньої абсолютної різниці, що дозволило формалізовано оцінювати взаємодію попиту та пропозиції в умовах високої волатильності та нестационарності ринку. Зазначений результат розширює можливості формалізованого опису ринкової динаміки та підвищує інтерпретованість механізмів формування цін.

Вперше розроблено показник поглинання імпульсу (Momentum Absorption Score, MAS), який ґрунтується на статистичному виявленні зон низької волатильності при аномально високих торгових обсягах за допомогою z-оцінок та процентильного аналізу і є складовою удосконаленого методу механістичного аналізу динаміки криптовалютних активів, що дозволило ідентифікувати приховані фази накопичення та розподілу активів, які передують значним ціновим рухам. Цей результат має наукову цінність як новий формалізований індикатор, який забезпечує виявлення латентних структурних станів у нестационарних часових рядах та дозволяє розширити інструментарій аналізу складних фінансових процесів, що характеризуються високим рівнем шуму та нерегулярною динамікою.

Удосконалено метод прогнозування динаміки ринку криптовалют за рахунок впровадження етапу інтелектуальної фільтрації торгових сигналів, сформованих на основі показників механістичного аналізу (механістичної ковзної та показника MAS) із застосуванням ансамблевого машинного навчання та класифікації прибутковості подій за методом потрійних бар'єрів, що дозволило підвищити точність ідентифікації інформативних сигналів та мінімізувати вплив ринкового шуму. Це є важливим внеском у розвиток методів інтелектуального аналізу даних для нестационарних часових рядів, оскільки поєднання механістичного підходу з методами машинного навчання для задач відбору інформативних подій у потокових даних забезпечує більш стабільне та обґрунтоване формування прогнозних сигналів в умовах високої невизначеності ринкового середовища.

Дістали подальшого розвитку архітектурні рішення реалізації методів аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют у складі єдиної інтелектуальної системи за рахунок впровадження модульної монолітної структури з розділеними контурами навчання та інференсу, що дозволило забезпечити ізоляцію ресурсоемних процесів та спростити інтеграцію механістичних показників. Це створює передумови для більш гнучкої організації

інтелектуальних програмних систем, орієнтованих на обробку потокових даних і використання моделей машинного навчання, зокрема в частині підвищення узгодженості взаємодії між обчислювальними компонентами та ефективності їх функціонування в режимі реального часу.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи.

Результати дисертаційного дослідження мають вагомe практичне значення для розвитку інженерії програмного забезпечення та автоматизації процесів аналізу фінансових часових рядів. Зокрема, їх головна цінність полягає у створенні цілісного програмно-алгоритмічного базису для побудови високопродуктивних інтелектуальних систем аналізу ринку криптовалют, що функціонують в умовах високої волатильності та структурних змін.

Самостійне практичне значення має розроблений в роботі комплекс алгоритмічних та архітектурних рішень, інтегрованих у єдину аналітичну систему. Автор запропонував оригінальну програмну реалізацію показника поглинання імпульсу (MAS) та методи інтелектуального відсіювання помилкових сигналів на основі ансамблевого машинного навчання. Це дозволило безпосередньо вирішити проблему високого рівня шуму у стохастичних даних фінансових ринків та суттєво мінімізувати ризики ухвалення неефективних рішень при прогнозуванні цінових тенденцій. Окрім цього, розроблена архітектура модульного моноліту із розділеними контурами інференсу та навчання моделей, у поєднанні з JIT-компіляцією, забезпечує високу обчислювальну ефективність аналітичного програмного забезпечення, значно скорочуючи час розрахунку ринкових показників. Прикладна цінність роботи повністю підтверджується актами про успішне впровадження отриманих результатів у реальний сектор економіки та освітній процес. Апробація розроблених методів на значних обсягах історичних ринкових даних підтверджує стабільність, надійність та готовність запропонованих рішень до безпосереднього використання в сучасних автоматизованих системах підтримки прийняття рішень.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації.

Обґрунтованість наукових положень, висновків та практичних рекомендацій обумовлена аналізом та теоретичним узагальненням широкого кола наукових праць вітчизняних та зарубіжних авторів. Використання

достатньої кількості результатів наукових та практичних публікацій у їх поєднанні з задіяними коректними методами досліджень мають позитивний вплив на достовірність наукових положень, висновків та практичних рекомендацій, що подані в роботі.

Для розв'язання конкретних завдань дослідження автор застосовує загальнонаукові і емпіричні методи дослідження: механістичний підхід, методи аналізу часових рядів, методи машинного навчання, статистичні методи, методи ретроспективного тестування, теорії прийняття рішень, алгоритми та методи програмної інженерії.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректним та математично обґрунтованим використанням обраного методологічного апарату, а також строгим дотриманням методик емпіричного дослідження в інженерії програмного забезпечення. Експериментальна база дослідження спирається на значні масиви реальних ринкових даних, що охоплюють тривалі часові інтервали функціонування криптовалютного ринку з різними фазами волатильності. Це дозволило перевірити стійкість створених моделей у мінливих стохастичних умовах. Отримані автором прогностичні показники та архітектурні рішення пройшли всебічну перевірку під час ретроспективного тестування, що безпосередньо доводить збіжність теоретичних положень із практичними результатами. Окрім цього, достовірність та об'єктивність висновків підтверджується позитивними наслідками практичного впровадження розробленого програмного забезпечення у діяльність реального суб'єкта господарювання та в освітній процес університету, а також успішною апробацією ключових матеріалів дисертації на науково-технічних конференціях та їх публікацією у фахових виданнях.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота здобувача Цапро І.В. є завершеною самостійною науковою працею, що повністю відповідає напрямкам досліджень відповідно до предметної галузі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Робота присвячена вирішенню актуального прикладного завдання – підвищенню ефективності та обчислювальної продуктивності аналітичного програмного забезпечення для прогнозування поведінки високо волатильних фінансових часових рядів.

Тема дисертаційної роботи полягає у підвищенні точності аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют шляхом розробки методів аналізу

та прогнозування на основі механістичного підходу та машинного навчання, а також архітектурних рішень їх програмної реалізації для формалізованого оцінювання взаємодії попиту та пропозиції, виявлення прихованих ринкових станів та ідентифікації інформативних торгових сигналів. Об'єктом дослідження є процеси аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют в умовах високої волатильності та нестаціонарності фінансових часових рядів, а предмет дослідження включає методи, показники, архітектурні рішення та програмні засоби аналізу і прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі механістичного підходу та машинного навчання.

Логічна послідовність вирішення наукових завдань повністю відповідає поставленій меті дослідження, забезпечуючи комплексне та всебічне розв'язання задачі підвищення точності аналізу та прогнозування фінансових часових рядів у реальному часі, зокрема шляхом інтеграції роздільних обсягів ринкових покупок і продажів для формалізованого оцінювання взаємодії попиту та пропозиції, розроблення алгоритмічної моделі MAS для ідентифікації прихованих фаз накопичення та розподілу активів, впровадження етапу інтелектуальної фільтрації торгових сигналів із використанням ансамблевого машинного навчання для мінімізації впливу ринкового шуму, а також проєктування стійкої модульної монолітної архітектури та засобів оптимізації обчислень для забезпечення високої продуктивності системи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Вміст роботи характеризується логічною та послідовною структурою, яка забезпечує повну відповідність змісту заявленій темі через системне поєднання теоретичних засад досліджуваних процесів із прикладними інструментами інтелектуального аналізу. Спрямованість дослідження на розроблення архітектурних рішень, впровадження засобів програмної оптимізації обчислень та проведення кількісної верифікації параметрів проєктування програмної системи безпосередньо підтверджує відповідність дисертаційної роботи вимогам спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій (м. Київ) у межах двох науково-дослідних тем. Зокрема, дослідження проводилося в рамках наступних тем: «Забезпечення функціональної стійкості

інформаційних систем підприємства в умовах впливу дестабілізуючих факторів із застосуванням нейронних мереж» (номер державної реєстрації 0121U107501, термін виконання 2021–2025 рр.) – особистий внесок здобувача у виконання цієї теми полягав у розробці методу машинного навчання для відсіювання хибно позитивних прогнозів; «Методи, моделі та програмні засоби інтелектуальної обробки даних фінансових ринків» (номер державної реєстрації 0126U000001, термін виконання 01.2026–01.2029 рр.) – у межах цієї роботи авторський внесок Цапро І. В. полягав в аналізі динаміки цінових тенденцій фінансових ринків із використанням машинного навчання.

Повнота оприлюднення результатів дисертації.

Результати дисертаційного дослідження Цапро І. В. знайшли достатнє відображення у наукових публікаціях. Здобувачем опубліковано 12 наукових праць, з яких 5 статей – у наукових фахових виданнях України, включених до «Переліку наукових фахових видань України». Серед фахових статей одна публікація індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus. За матеріалами виступів на науково-технічних та науково-практичних конференціях опубліковано 7 тез доповідей.

Апробація результатів дисертаційної роботи здійснювалася шляхом їх представлення й обговорення на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях. Серед основних заходів варто відзначити конференції: «Сучасні аспекти діджиталізації та інформатизації в програмній та комп'ютерній інженерії» (2023 р.), «Застосування програмного забезпечення в інформаційно-комунікаційних технологіях» (2024, 2026 рр.), «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (2024 р.), «Технологічні горизонти» (2024 р.), а також «Виклики та рішення в програмній інженерії» (2025 р.).

Зміст опублікованих праць повністю узгоджується з темою дисертації та відображає її основні наукові результати. У публікаціях детально розкрито питання адаптації механістичного підходу до аналізу фінансових часових рядів, розробки та програмної реалізації алгоритмічної моделі показника поглинання імпульсу (MAS), впровадження методів інтелектуальної фільтрації торгових сигналів на основі ансамблевого машинного навчання та проектування модульної монолітної архітектури інтелектуальної системи. Наведені публікації дають підстави вважати, що основні положення дисертації оприлюднені повно та відповідають її змісту

Мова, стиль та оформлення дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Стиль викладення результатів свідчить про наявність у здобувача вміння працювати з інформацією, науковими джерелами, бібліографічними даними, здійснювати процедури пошуку і обробки інформації, її подальшого синтезу і аналізу, працювати з фактичними даними, систематизувати та узагальнювати інформацію, робити відповідні логічні висновки. Використана в роботі термінологія є адекватною для предметної області, спрямованою на фахівців у галузі інформаційних технологій. Текст дослідження разом із таблицями та графічним матеріалом за структурою та обсягом повністю відповідає чинним вимогам МОН України до робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі основна увага приділяється дослідженню ринку Біткоїна, тоді як результати для інших криптовалютних активів представлені обмежено. З огляду на суттєві відмінності в ліквідності, структурі учасників та характері торгової активності різних криптовалют, доцільним було б провести більш широку експериментальну перевірку запропонованих методів на більшому наборі активів для підтвердження універсальності отриманих результатів.

2. Запропонований механістичний підхід базується переважно на аналізі торгових обсягів та їх похідних показників. Водночас у роботі недостатньо уваги приділено врахуванню зовнішніх факторів, зокрема новинного фону, макроекономічних подій та поведінкових аспектів учасників ринку, які можуть суттєво впливати на динаміку криптовалют і точність прогнозування.

3. У дисертації детально розглянуто питання точності прогнозування та ефективності інтелектуальної фільтрації торгових сигналів, однак економічна ефективність запропонованих методів з урахуванням реальних торгових витрат, комісій бірж, прослизання та обмежень ліквідності досліджена недостатньо. Більш глибокий аналіз цих факторів дозволив би повніше оцінити практичну придатність розроблених рішень для реальної торгівлі.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Цапро Ігоря Вікторовича на тему «Метод аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі механістичного підходу та машинного навчання» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 «Інформаційні технології» та спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44. Здобувач Цапро Ігор Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний рецензент:

завідувач кафедри комп'ютерної інженерії

Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій,

кандидат технічних наук, доцент

« ____ » _____ 2026 року

Наталія ЛАЩЕВСЬКА

Підпис

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар

Державного університету

інформаційно-комунікаційних технологій

