

*Голові разової спеціалізованої вченої ради
Державного університету інформаційно-
комунікаційних технологій,
доктору технічних наук, професору
Катерині НЕСТЕРЕНКО
вул. Солом'янська, 7, м. Київ, 03110*

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора, професора
кафедри програмних систем і технологій Київського національного
університету імені Тараса Шевченка Вовни Олександра Володимировича
на дисертаційну роботу Цапро Ігоря Вікторовича
**«Метод аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі
механістичного підходу та машинного навчання»,**
подану на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Актуальність теми дисертації. Підвищення точності, обґрунтованості та надійності аналізу і прогнозування динаміки фінансових ринків належить до актуальних науково-прикладних завдань сучасних інформаційних технологій та інженерії програмного забезпечення. Особливої складності розв'язання цього завдання набуває стосовно криптовалютного ринку, функціонування якого характеризується високою волатильністю, нестационарністю часових рядів, гетероскедастичністю, значною інтенсивністю структурних змін, цілодобовим режимом здійснення операцій та істотним впливом випадкових і слабо передбачуваних чинників на формування цінових тенденцій.

Традиційні методи технічного аналізу переважно ґрунтуються на опрацюванні історичних цінових даних, які відображають кінцевий результат взаємодії учасників ринку, однак не завжди дають змогу повною мірою дослідити внутрішні механізми формування попиту та пропозиції. У зв'язку із цим перспективним напрямом є застосування механістичного підходу, орієнтованого на виявлення причинно зумовлених взаємозв'язків між торговими обсягами, активністю покупців і продавців та подальшими змінами вартості криптовалютних активів.

Не менш важливим завданням є розроблення відповідних алгоритмічних, програмних та архітектурних рішень, які забезпечують інтеграцію механістичних методів і моделей машинного навчання до складу єдиної інтелектуальної системи, ізоляцію ресурсоємних обчислювальних процесів,

масштабованість програмних компонентів і можливість опрацювання значних обсягів ринкових даних у режимі, наближеному до реального часу.

З огляду на зазначене дисертаційна робота Цапро Ігоря Вікторовича, присвячена розробленню методу аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі механістичного підходу та машинного навчання, а також архітектурних і програмно-технологічних рішень його реалізації, є актуальним і своєчасним науковим дослідженням. Отримані результати мають теоретичне та прикладне значення для розвитку методів інтелектуального аналізу фінансових даних, систем підтримки прийняття рішень та програмних систем прогнозування в межах спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, характеризуються достатнім рівнем теоретичної й експериментальної обґрунтованості. Методологічну основу дослідження становлять механістичний підхід, методи аналізу фінансових часових рядів, статистичного аналізу, машинного та ансамблевого навчання, причинно-наслідкового аналізу, ретроспективного тестування, теорії прийняття рішень, алгоритмізації та програмної інженерії.

Логіка дисертаційного дослідження є послідовною та внутрішньо узгодженою. Автором коректно визначено мету, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано комплекс взаємопов'язаних наукових завдань, обрано відповідні методи їх розв'язання, розроблено алгоритмічні та програмні засоби, а також здійснено експериментальну перевірку отриманих результатів.

Достовірність сформульованих положень забезпечується використанням формалізованого математичного та статистичного апарату, опрацюванням реальних історичних даних криптовалютного ринку, проведенням ретроспективного тестування розроблених методів і порівнянням отриманих результатів із результатами застосування відомих підходів. Важливою складовою підтвердження достовірності є також дослідження функціонування запропонованих засобів у різних ринкових режимах, зокрема в умовах висхідних і спадних тенденцій.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень належним чином узгоджені між собою. Висновки до окремих розділів і загальні висновки дисертації відповідають визначеній меті, відображають результати виконання поставлених завдань та логічно впливають із наведених теоретичних положень і результатів обчислювальних експериментів.

Запропоновані методи, показники, алгоритмічні моделі та архітектурні рішення утворюють цілісну систему засобів аналізу і прогнозування динаміки криптовалютного ринку. Це дає підстави вважати, що основні наукові

положення, висновки та практичні рекомендації дисертаційної роботи є достатньою мірою обґрунтованими та достовірними.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в розробленні та вдосконаленні методів, показників і архітектурних рішень інтелектуального аналізу фінансових даних, які в сукупності забезпечують розв'язання актуального наукового завдання щодо підвищення точності аналізу та прогнозування динаміки криптовалютного ринку.

До основних наукових результатів дисертаційної роботи належать такі положення:

1. Удосконалено метод механістичного аналізу динаміки криптовалютних активів шляхом інтеграції роздільних даних про обсяги ринкових покупок і продажів, а також їх абсолютної різниці. На відміну від підходів, що переважно ґрунтуються на опрацюванні цінових часових рядів, запропонований метод дає змогу формалізовано оцінювати взаємодію попиту та пропозиції в умовах високої волатильності й нестаціонарності криптовалютного ринку.

2. Уперше розроблено показник поглинання імпульсу Momentum Absorption Score, MAS, який ґрунтується на статистичному виявленні зон низької волатильності за аномально високих торгових обсягів із використанням z-оцінок і процентильного аналізу. Запропонований показник є складовою вдосконаленого методу механістичного аналізу та забезпечує ідентифікацію прихованих фаз накопичення і розподілу криптовалютних активів, що можуть передувати істотним ціновим змінам.

3. Удосконалено метод прогнозування динаміки криптовалютного ринку шляхом упровадження етапу інтелектуальної фільтрації торгових сигналів, сформованих на основі механістичної ковзної середньої та показника MAS. Використання ансамблевого машинного навчання й класифікації прибутковості подій за методом потрійних бар'єрів дало змогу підвищити точність ідентифікації інформативних торгових сигналів та зменшити негативний вплив ринкового шуму.

4. Дістали подальшого розвитку архітектурні рішення реалізації методів аналізу та прогнозування динаміки криптовалютного ринку у складі єдиної інтелектуальної системи. Запропоновано модульну монолітну структуру з розділеними контурами навчання та інференсу, що забезпечує ізоляцію ресурсоємних процесів, спрощує інтеграцію механістичних показників і створює передумови для подальшого розширення функціональних можливостей програмної системи.

Наведені результати мають ознаки наукової новизни, є взаємопов'язаними та спрямовані на досягнення загальної мети дисертаційної роботи. Сукупність

отриманих положень розширює науково-методичний інструментарій аналізу фінансових часових рядів і розроблення інтелектуальних програмних систем підтримки прийняття рішень.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення дисертаційної роботи визначається можливістю застосування запропонованих методів, показників, алгоритмічних моделей та архітектурних рішень під час проєктування і розроблення інтелектуальних систем аналізу та прогнозування фінансових ринків, передусім їх криптовалютного сегмента.

Розроблені засоби дають змогу підвищити інформативність аналізу взаємодії попиту та пропозиції, виявляти приховані ринкові стани, здійснювати інтелектуальне відсіювання хибно позитивних торгових сигналів і покращувати обґрунтованість рішень, що приймаються на основі результатів опрацювання фінансових даних.

Практично значущим результатом є програмна реалізація розроблених методів із використанням технологій JIT-компіляції та паралелізації обчислень. Застосування зазначених технологій дало змогу скоротити час розрахунку складних показників із 2,0 до 0,6 секунди, що підтверджує доцільність запропонованих програмно-технологічних рішень і можливість їх використання в системах, які функціонують у режимі, наближеному до реального часу.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у практичну діяльність ФОП Новіцька А.В. Упровадження розроблених програмно-технологічних засобів сприяло підвищенню обґрунтованості бізнес-рішень, зниженню частки хибно позитивних оцінок цінової динаміки токєну на 11% та скороченню витрат часу на аналіз ринкових даних на 40%.

Окремі наукові положення та результати роботи використано в науково-дослідній діяльності Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій у межах відповідних науково-дослідних робіт, а також в освітньому процесі під час викладання навчальних дисциплін «Технології Big Data» та «Програмування».

Наявність відповідних актів упровадження підтверджує прикладну спрямованість отриманих результатів і можливість їх практичного використання у процесах розроблення програмних систем інтелектуального аналізу фінансових даних.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 12 наукових праць, серед яких 5 наукових статей, одна з яких опублікована у виданні, що індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus, та 7 тез доповідей у матеріалах міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференцій.

У наукових публікаціях відображено основні етапи й результати

дисертаційного дослідження, зокрема адаптацію механістичного підходу до аналізу криптовалютного ринку, порівняння цінової та механістичної ковзних середніх, удосконалення методів аналізу торгових обсягів, розроблення показника поглинання імпульсу MAS, застосування машинного навчання для відсіювання хибно позитивних торгових сигналів, оптимізацію обчислень, а також розроблення архітектурних і програмних рішень інтелектуальної системи.

Тематика опублікованих праць відповідає змісту дисертації. Основні наукові положення та результати дослідження пройшли належну апробацію під час наукових конференцій різного рівня. Зміст публікацій достатньою мірою висвітлює основні результати дисертаційної роботи, а наведені відомості щодо особистого внеску здобувача у спільні публікації дають змогу виокремити результати, отримані ним самостійно.

Оцінювання змісту, структури та оформлення дисертації. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, зміст якої відповідає предметній області спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення». Дослідження містить теоретичні, методичні, алгоритмічні, експериментальні та програмно-технологічні результати, що засвідчують особистий внесок здобувача в розвиток методів і засобів побудови інтелектуальних систем аналізу та прогнозування динаміки криптовалютного ринку.

Дисертацію викладено українською мовою. Матеріал подано переважно логічно й послідовно, із дотриманням вимог наукового стилю. Використана термінологія загалом відповідає предметній області дослідження. Основні теоретичні положення супроводжуються необхідними поясненнями, математичними залежностями, алгоритмами, графічними матеріалами та результатами експериментального оцінювання.

Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 195 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію та публікації.

У першому розділі досліджено особливості функціонування криптовалютного ринку, проаналізовано методи технічного аналізу й аналізу торгових обсягів у задачах прогнозування ринкової динаміки. Автором визначено обмеження традиційних засобів технічного аналізу, обґрунтовано значення торгових обсягів як джерела інформації про взаємодію попиту та

пропозиції, а також сформульовано основні напрями подальшого дослідження.

У другому розділі розглянуто теоретичні засади механістичного підходу та застосування машинного навчання в задачах прогнозування ринкових тенденцій. Проаналізовано місце механістичного підходу в системі методів інтелектуального аналізу фінансових даних, досліджено відповідні алгоритми машинного навчання та розглянуто можливості використання причинно-наслідкового аналізу.

У третьому розділі викладено основні наукові результати дисертації. Удосконалено метод механістичного аналізу динаміки криптовалютних активів на основі роздільних обсягів ринкових покупок і продажів, розроблено показник поглинання імпульсу MAS, запропоновано метод інтелектуальної фільтрації торгових сигналів із використанням ансамблевого машинного навчання, а також сформовано архітектурні рішення реалізації розроблених методів у складі єдиної інтелектуальної системи.

У четвертому розділі наведено результати експериментальної валідації та ретроспективного тестування розроблених методів. Проведено порівняльне дослідження механістичної та цінової ковзних середніх, оцінено точність удосконаленого методу механістичного аналізу й показника MAS, досліджено результативність застосування машинного навчання для фільтрації торгових сигналів, а також оцінено архітектурну стійкість та ізоляцію модулів програмної системи.

Загальні висновки відповідають структурі роботи, відображають результати розв'язання поставлених завдань і розкривають наукову новизну та практичне значення проведеного дослідження.

Дисертаційну роботу оформлено відповідно до вимог наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дотримання принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота ґрунтується на результатах досліджень, отриманих здобувачем самостійно. Використані наукові положення, методичні підходи, інформаційні матеріали та результати інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями на першоджерела.

У дисертації наведено відомості про особистий внесок здобувача в наукові праці, підготовлені у співавторстві. Аналіз змісту дисертаційної роботи та публікацій за її темою не дає підстав констатувати наявність порушень принципів академічної доброчесності, зокрема академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації або фальсифікації результатів дослідження.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи. Загалом позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Цапро Ігоря Вікторовича, доцільно висловити

такі зауваження та побажання.

1. У роботі потребує більш поглибленого висвітлення питання чутливості запропонованих методів до вибору статистичних порогів і параметрів. Зокрема, під час розрахунку показника поглинання імпульсу MAS автор використовує фіксовані рівні процентилів 25% та 75%, а під час класифікації подій за методом потрійних бар'єрів застосовує відповідні коефіцієнти формування часових меж.

2. Для розрахунку узагальненого імпульсу дельти ринкових обсягів у формулі 3.3 використано абсолютну різницю між обсягами покупок і продажів. Такий підхід спрощує інтерпретацію інтенсивності дисбалансу та усуває вплив від'ємних значень, проте водночас призводить до втрати інформації про напрям цього дисбалансу безпосередньо в межах показника.

3. Експериментальну перевірку розроблених методів проведено на відносно обмеженій сукупності криптовалютних активів і часових інтервалів. Розширення експериментальної бази шляхом залучення криптовалют із різними рівнями капіталізації, ліквідності, волатильності та торгової активності, а також використання більшої кількості часових масштабів сприяло б додатковому підтвердженню універсальності запропонованих методів.

4. У роботі недостатньо детально висвітлено питання врахування реальних умов виконання торгових операцій під час ретроспективного тестування. Зокрема, доцільно було б окремо проаналізувати вплив біржових комісій, спреда, прослизання ціни, затримок виконання операцій та можливої зміни ліквідності на підсумкову прибутковість сформованих торгових сигналів.

5. Оцінювання результативності моделей машинного навчання здійснено з використанням комплексу класифікаційних і фінансових метрик. Водночас у роботі доцільно було б ширше представити оцінювання статистичної невизначеності отриманих результатів, зокрема навести довірчі інтервали для основних показників, результати бутстреп-оцінювання або статистичних тестів значущості відмінностей між досліджуваними моделями.

6. Потребує додаткового обґрунтування процедура вибору та налаштування моделей машинного навчання. У дисертації розглянуто декілька алгоритмів, включно з моделями для класифікації часових рядів і стекінговим ансамблем, однак недостатньо повно розкрито стратегію оптимізації гіперпараметрів, межі простору їх пошуку та критерії остаточного вибору конфігурацій моделей.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний та уточнювальний характер, визначають перспективні напрями подальшого розвитку проведеного дослідження і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, достовірності її основних положень, а також наукової та практичної значущості отриманих результатів.

Загальний висновок про дисертаційну роботу. Дисертаційна робота Цапро Ігоря Вікторовича «Метод аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі механістичного підходу та машинного навчання» є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на належному теоретичному, методичному та експериментальному рівнях.

У роботі розв'язано актуальне наукове завдання, що полягає в підвищенні точності аналізу та прогнозування динаміки криптовалютного ринку шляхом розроблення й удосконалення методів механістичного аналізу, інтелектуальної фільтрації торгових сигналів та архітектурних рішень їх програмної реалізації.

Отримані результати характеризуються науковою новизною, мають належний рівень обґрунтованості та достовірності, пройшли експериментальну перевірку й практичну апробацію. Зміст дисертації відповідає спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», а опубліковані наукові праці достатньою мірою відображають основні положення та результати дослідження.

Вважаю, що дисертаційна робота Цапро Ігоря Вікторовича «Метод аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі механістичного підходу та машинного навчання» за актуальністю, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням отриманих результатів, ступенем їх обґрунтованості та повнотою оприлюднення відповідає вимогам пунктів 6-9 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 від 12 січня 2022 року № 44.

Цапро Ігор Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

професор кафедри програмних систем і технологій
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
доктор технічних наук, професор

Олександр БОВНА

