РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента кафедри інженерії програмного забезпечення Навчально-наукового інституту інформаційних технологій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій **Довженко Тимура Павловича** 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 ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації.

Криптовалютний ринок є складною, нестаціонарною та високоволатильною системою, для якої характерні різкі та слабо передбачувані зміни ринкової динаміки. У таких умовах традиційний технічний аналіз часто виявляється недостатньо ефективним, оскільки він переважно ґрунтується на цінових даних, які відображають лише результат взаємодії учасників ринку. Водночас ціна сама по собі не розкриває внутрішніх механізмів формування ринкової рівноваги, зокрема балансу попиту та пропозиції, який визначає характер руху активів. У зв'язку з цим більш перспективним напрямом виступає механістичний підхід, орієнтований на аналіз безпосередніх структурних властивостей ринкових даних, таких як локальні дисбаланси, процеси накопичення позицій та аномальна торговельна активність. Попри наявність окремих досліджень у межах фондових ринків, застосування цього підходу до криптовалютних активів залишається недостатньо опрацьованим, що зумовлює необхідність його подальшого розвитку та адаптації до специфіки даного класу фінансових інструментів. Разом з тим, практичне використання механістичних індикаторів ускладнюється тим, що в умовах високого рівня ринкового шуму вони можуть генерувати значну кількість хибних сигналів, що знижує їх прикладну ефективність. Саме тому актуальним є підхід, який передбачає інтеграцію механістичних методів з алгоритмами машинного навчання не для прямого прогнозування цінових змін, а для відбору інформативних сигналів і відокремлення статистично значущих подій від шумових коливань. Така постановка задачі створює передумови для формування більш стійких та адаптивних інтелектуальних систем аналізу ринкової динаміки.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є актуальною для спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», оскільки спрямована на розвиток методів інтелектуальної обробки даних, побудову моделей аналізу та прогнозування складних часових рядів, а також на вдосконалення програмних засобів для роботи з потоковими та слабоструктурованими даними. Запропоновані підходи відповідають сучасним завданням спеціальності щодо створення ефективних, масштабованих та адаптивних програмних систем,

орієнтованих на інтелектуальний аналіз даних у складних предметних середовищах.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у розвитку методів, моделей та архітектурних рішень для аналізу та прогнозування динаміки криптовалютного ринку, що відображено у ряді взаємопов'язаних положень.

Зокрема, 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 нестаціонарності ринку. Запропоноване удосконалення є методологічно коректним і розширює аналітичні можливості механістичного підходу, забезпечуючи більш структуроване представлення ринкових процесів.

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. Розроблений показник має чітке статистичне підґрунтя та розширює інструментарій виявлення латентних ринкових станів, що є важливим для аналізу нестаціонарних часових рядів.

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. Отриманий результат є логічним розвитком сучасних підходів до комбінування механістичних індикаторів із методами машинного навчання та сприяє підвищенню якості відбору значущих ринкових подій.

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 ресурсоємних процесів та спростити інтеграцію

механістичних показників. Запропоновані архітектурні рішення є обґрунтованими з точки зору побудови програмних систем інтелектуальної обробки даних та сприяють підвищенню структурної організації й ефективності обчислювальних процесів.

Оцінюючи обґрунтованість наукових результатів дисертаційної роботи, слід констатувати, що запропоновані положення сформовано на основі механістичного підходу, методів аналізу часових рядів, статистичного опрацювання даних та сучасних методів машинного навчання, що забезпечує їх належне теоретико-методологічне підґрунтя та внутрішню несуперечливість. Використана методична база відповідає характеру досліджуваної предметної області та є адекватною для формалізації процесів аналізу й прогнозування динаміки складних фінансових часових рядів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями на реальних історичних даних криптовалютного ринку, застосуванням стандартних процедур валідації моделей, а також порівняльним аналізом із базовими підходами, що у сукупності забезпечує відтворюваність результатів та їх стійкість до зміни умов тестування.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи пов'язане з можливістю їх використання при створенні програмних засобів інтелектуального аналізу фінансових часових рядів, зокрема в задачах моніторингу та прогнозування динаміки криптовалютного ринку. Отримані результати мають прикладну спрямованість і можуть бути застосовані при побудові систем, орієнтованих на обробку потокових даних та формування торгових сигналів у складних ринкових умовах. Зокрема:

– використання удосконаленого механістичного підходу забезпечує можливості формалізованого виявлення дисбалансів між обсягами ринкових покупок і продажів, що підтверджується експериментальними результатами, згідно з якими точність механістичного показника ринкових покупок перевищує показник, що базується на сумарних обсягах, на різних часових інтервалах (зокрема 50.6% проти 50.1% на денному, 43.6% проти 43.4% на 4-годинному та 38.2% проти 37.9% на 30-хвилинному інтервалах) – це свідчить про доцільність використання роздільного представлення ринкових потоків у прикладних системах аналізу;

– доведено, що використання показника поглинання імпульсу (MAS) дозволяє виявляти приховані фази накопичення та розподілу активів, які передують суттєвим ціновим рухам – це забезпечує його перевагу над механістичною ковзною та VWMA, зокрема за показниками точності на різних інтервалах (до 50% проти 38.1% та 42.31% на денному інтервалі та до 53.69%

проти 29.31% та 34.98% на 30-хвилинному інтервалі), що підтверджує доцільність його практичного застосування в задачах ринкової діагностики;

– практична ефективність запропонованого методу інтелектуальної фільтрації торгових сигналів підтверджується результатами класифікаційних експериментів, де показано стабільне перевищення якості відбору сигналів порівняно з базовим підходом без фільтрації; зокрема, для окремих торгових пар досягнуто значень понад 0.85, що свідчить про суттєве зменшення впливу ринкового шуму та підвищення надійності формування прогнозних рішень;

– практичне значення архітектурних рішень полягає у забезпеченні ізоляції ресурсоємних процесів навчання та інференсу, що підтверджується результатами розрахунку архітектурних метрик Р. Мартіна, зокрема стабільністю контуру інференсу (I=0.60) та низькими значеннями дистанції до головної послідовності ($D \in [0.11;0.40]$) – це забезпечує можливість стабільної обробки потокових даних у режимі, наближеному до реального часу, без впливу циклів перенавчання моделей;

– додатково встановлено, що програмна реалізація з використанням JIT-компіляції та паралелізації обчислень забезпечує скорочення часу розрахунку складних показників з 2,0 до 0,6 секунди, що має безпосереднє прикладне значення для високочастотних аналітичних систем.

Загалом практична значущість результатів підтверджується їх впровадженням у діяльність ФОП Новіцька А. В., де використання розроблених засобів дозволило зменшити частку хибнопозитивних оцінок цінової динаміки на 11% та скоротити час аналізу ринкових даних на 40%, що свідчить про реальну ефективність запропонованих рішень у прикладних умовах.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, а саме в рамках науково-дослідних робіт кафедри інженерії програмного забезпечення на тему «Забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем підприємства в умовах впливу дестабілізуючих факторів із застосуванням нейронних мереж» (державний реєстраційний номер 0121U107501) та «Методи, моделі та програмні засоби інтелектуальної обробки даних фінансових ринків» (державний реєстраційний номер 0126U000001). Результати дисертації корелюють із задачами підвищення якості машинного навчання в умовах невизначеності та зменшення кількості хибно позитивних рішень, а також відповідають напрямам досліджень, пов'язаним із аналізом і моделюванням динаміки фінансових часових рядів із використанням методів машинного навчання та механістичного підходу.

Повнота викладу основних результатів дисертаційної роботи в публікаціях.

Теоретичні та практичні результати дисертаційного дослідження відображено у 12 наукових працях, опублікованих автором. Зокрема, 5 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у виданні, яке індексується в наукометричній базі даних Scopus), 7 публікацій у матеріалах і тезах науково-практичних та науково-технічних конференцій.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення.

Дисертаційна робота викладена на 195 сторінках друкованого тексту та складається з анотації, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел, що налічує 155 найменувань, та додатків. Структура роботи є логічною та послідовною, а її побудова забезпечує системне розкриття поставлених завдань дослідження та досягнення визначеної мети. Послідовність викладення матеріалу відповідає прийнятій у спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» логіці виконання наукових досліджень, що передбачає обґрунтування проблеми, розроблення методів і моделей, проєктування програмних рішень та експериментальне підтвердження їх ефективності. Матеріал дисертації викладено у чіткій і зрозумілій формі, з належним рівнем деталізації теоретичних положень, методичних рішень та результатів експериментальних досліджень. Текст характеризується послідовністю викладу, коректним використанням фахової термінології та належною аргументованістю висновків. Оформлення дисертаційної роботи, структура її основних елементів, подання ілюстративного матеріалу, таблиць, формул, посилань та списку використаних джерел відповідають встановленим вимогам до оформлення дисертаційних робіт, а зміст і форма подання матеріалу узгоджуються з вимогами до наукових досліджень у галузі інформаційних технологій.

У першому розділі автором досліджено концептуальні засади функціонування ринку криптовалют та його ключові особливості. Проведено критичний огляд існуючих методів технічного аналізу з критичним висвітленням їх недоліків, досліджено взаємозв'язки між ціною та потоками ринкових і лімітних ордерів, сформовано головні напрями та завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі досліджено роль та місце механістичного підходу та алгоритмів машинного навчання в аналізі та прогнозуванні ринкових тенденцій, описано інструментарій причинно-наслідкового аналізу для оцінювання впливу різних тригерів на ринкову динаміку.

У третьому розділі автором удосконалено метод механістичного аналізу шляхом інтеграції даних роздільних обсягів покупок і продажів, розроблено показник поглинання імпульсу (MAS), розроблено метод інтелектуальної фільтрації механістичних сигналів за допомогою моделей машинного навчання, розроблено спеціалізовані архітектурні рішення для об'єднання цих методів у єдину цілісну систему.

У четвертому розділі проведено експериментальну валідацію розроблених методів на історичних даних криптовалют. Також виконано оцінювання архітектурної стійкості та ізоляції модулів програмної реалізації.

Зауваження до проведеного дисертаційного дослідження.

Дисертаційна робота справляє позитивне враження як завершене наукове дослідження, проте окремі її аспекти потребують додаткових пояснень або більш детального висвітлення.

1. В актуальності роботи підкреслюється необхідність забезпечення пояснюваності рішень, однак питання інтерпретації результатів моделей машинного навчання висвітлено недостатньо. Доцільним було б доповнити дослідження аналізом важливості ознак або іншими засобами пояснення рішень моделей.

2. У роботі запропоновано показник поглинання імпульсу (MAS), проте недостатньо детально досліджено його чутливість до зміни параметрів моделі та різних ринкових режимів. Проведення аналізу стійкості показника могло б надати додаткові аргументи щодо його надійності та можливостей практичного застосування.

3. Запропонована архітектура інтелектуальної системи детально описана з функціональної точки зору, однак питання масштабованості та обчислювальної ефективності при обробці великих потоків біржових даних розглянуті недостатньо. Більш детальний аналіз продуктивності системи міг би підвищити практичну цінність отриманих результатів для використання в умовах високочастотного надходження ринкової інформації.

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.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Цапро Ігоря Вікторовича на тему «Метод аналізу та прогнозування динаміки ринку криптовалют на основі механістичного підходу та машинного навчання» є самостійно виконаним завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності забезпечують розв'язання актуального наукового завдання в межах

спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення». Дослідження виконано на належному науково-методичному рівні з дотриманням принципів академічної доброчесності. Наукова новизна, ступінь обґрунтованості та достовірності отриманих результатів, їх теоретичне і практичне значення, а також зміст та оформлення дисертації відповідають вимогам, визначеним «Порядком 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 р. № 44, що дає підстави для присудження здобувачу Цапро Ігорю Вікторовичу ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Рецензент:
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Навчально-наукового інституту інформаційних технологій
Державного університету інформаційно-
комунікаційних технологій,
кандидат технічних наук Тимур ДОВЖЕНКО

Підпис Довженка Т.
засвідчую
[illegible]

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ВІДДІЛ КАДРІВ
Ідентифікаційний код 38855349
УКРАЇНА, м.КИЇВ