

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-332-68>

УДК 336.7

ТРОЯН Кирило

ПВНЗ “Європейський університет”

<https://orcid.org/0009-0008-9118-7566>e-mail: ktroyan@e-u.edu.ua

АНАЛІЗ КОІНТЕГРАЦІЇ РИНКУ КРИПТОВАЛЮТ

У цьому дослідженні вивчається внутрішня динаміка ринку криптовалют за допомогою комплексного аналізу коінтеграційних зв'язків та їхнього зв'язку з обсягами торгів. Вивчивши 71 687 криптовалютних пар, ми виявили, що 79,06% з них демонструють значну коінтеграцію на 95% довірчому рівні, що свідчить про значну ринкову інтеграцію в рамках криптовалютної екосистеми. Аналіз виявив чіткі моделі інтеграції між різними категоріями криптовалют: токени NFT, metaverse-токени та токени інтероперабельності демонструють особливо високий рівень коінтеграції (>90%), в той час як стейблкоїни та токени для сховищ демонструють відносно нижчий рівень (<80%). Найсильніший зв'язок спостерігався між токенами платформ і токенами кредитного плеча, зі тестовою статистикою 704,20.

Дослідження виявило складний і неоднозначний зв'язок між обсягом торгів та інтеграцією ринку. Слабка негативна кореляція ($p = -0,0560$) між статистикою коінтеграційного тесту і середніми обсягами торгів виявилася статистично значущою ($p = 4,2665e-56$), що кидає виклик традиційним припущенням про роль торгової активності в інтеграції ринку. Аналіз квантилів обсягів торгів виявив відносно стабільні моделі коінтеграції для більшості обсягів торгів, з помітним піком у найвищому квантилі, що свідчить про нелінійні зв'язки у сегментах ринку з великими обсягами торгів.

Наші висновки сприяють розумінню структури криптовалютного ринку і мають практичне значення для управління портфелями, оцінки ризиків та регулювання ринку. Високий ступінь інтеграції ринку свідчить про підвищений систематичний ризик і необхідність складних стратегій диверсифікації. Варіації в структурі коінтеграції, характерні для конкретних категорій, дають розуміння побудови портфеля та управління ризиками. Ці результати поглиблюють наше розуміння динаміки ринку криптовалют і пропонують цінну інформацію для учасників ринку, дослідників і регуляторів, які орієнтуються в еволюціонуючій екосистемі цифрових активів.

Ключові слова: криптовалюта, інтеграція ринку, коінтеграційний аналіз, обсяг торгів, цифрові активи, структура ринку, управління портфелем

TROIAN Kyrylo

Private Higher Educational Establishment “European University”

COINTEGRATION ANALYSIS OF CRYPTOCURRENCY MARKET

This study investigates the internal dynamics of the cryptocurrency market through a comprehensive analysis of cointegration relationships and their association with trading volumes. By examining 71,687 cryptocurrency pairs, we find that 79.06% demonstrate significant cointegration at the 95% confidence level, indicating substantial market integration within the cryptocurrency ecosystem. The analysis reveals distinct patterns of integration across different cryptocurrency categories, with NFT/Gaming, metaverse, and interoperability tokens showing particularly high levels of cointegration (>90%), while stablecoins and storage tokens exhibit relatively lower levels (<80%). The strongest cointegration relationship was observed between platform tokens and leverage tokens, with a test statistic of 704.20.

The research identifies a complex and nuanced relationship between trading volume and market integration. A weak negative correlation ($p = -0.0560$) between cointegration test statistics and average trading volumes was found to be statistically significant ($p = 4.2665e-56$), challenging conventional assumptions about the role of trading activity in market integration. Analysis of volume quantiles revealed relatively stable cointegration patterns across most trading volumes, with a notable peak in the highest quantile, suggesting non-linear relationships in high-volume market segments.

Our findings contribute to the understanding of cryptocurrency market structure and have significant implications for portfolio management, risk assessment, and market regulation. The high degree of market integration suggests increased systematic risk and the need for sophisticated diversification strategies. The category-specific variations in cointegration patterns provide insights for portfolio construction and risk management. These results enhance our understanding of cryptocurrency market dynamics and offer valuable insights for market participants, researchers, and regulators in navigating the evolving digital asset ecosystem.

Keywords: Cryptocurrency, Market Integration, Cointegration Analysis, Trading Volume, Digital Assets, Market Structure, Portfolio Management

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

За останні роки ринок криптовалют пережив безпрецедентне зростання та розвиток, перетворившись з нішевого технологічного експерименту на складну фінансову екосистему вартістю в трильйони доларів. Незважаючи на такий стрімкий розвиток, залишається значна прогалина в нашому розумінні внутрішньої динаміки та взаємозв'язків між різними криптовалютними активами. У той час як традиційні фінансові ринки мають усталені рамки для аналізу взаємозв'язків між активами, унікальні характеристики криптовалют вимагають нового вивчення цих взаємозв'язків у їхньому специфічному контексті.

Основний виклик полягає в розумінні природи і ступеня ринкової інтеграції між різними категоріями криптовалют, включаючи токени платформ, NFT, стейблкоїни та інші. Особливо важливим є

питання, чи мають обсяги торгівлі, які зростають в геометричній прогресії, якийсь значущий зв'язок із силою інтеграції ринку. Відповідь на це питання має принципове значення для інвесторів, регуляторів та учасників ринку, яким необхідно приймати обґрунтовані рішення в умовах дедалі складнішого ринкового середовища.

Крім того, надзвичайно динамічний характер ринку криптовалют, що характеризується постійними технологічними інноваціями та розвитком нових способів використання, ставить під сумнів стабільність і передбачуваність взаємозв'язків між активами. Традиційний коінтеграційний аналіз, який довів свою корисність на звичайних фінансових ринках, необхідно вивчити в контексті криптовалютних ринків, щоб визначити його ефективність у відстеженні цієї унікальної ринкової динаміки і наданні учасникам ринку значущих висновків.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Поява криптовалютних ринків внесла новий вимір у дослідження міжринкової динаміки. Криптовалюти, які вперше набули популярності з появою біткойна у 2009 році [1], швидко перетворилися на різноманітну екосистему цифрових активів з унікальними характеристиками, які відрізняють їх від традиційних фінансових інструментів.

Криптовалюти - це децентралізовані цифрові активи, які функціонують на основі технології блокчейн, що дозволяє здійснювати однорангові транзакції без посередників. Ця фундаментальна характеристика потенційно може впливати на міжринкову динаміку у спосіб, раніше небачений на традиційних фінансових ринках [2]. Цілодобовий характер торгівлі криптовалютою в поєднанні з її глобальною доступністю створює нові моделі ринкової поведінки та взаємозалежності.

Однією з унікальних особливостей криптовалют, яка може суттєво впливати на міжринкову динаміку, є їхня висока волатильність. Дослідження свідчать, що ринки криптовалют демонструють значно вищу волатильність порівняно з традиційними фінансовими ринками [3]. Припускається, що підвищена волатильність потенційно посилює побічні ефекти між ринками криптовалют та іншими фінансовими ринками, особливо в періоди ринкового стресу або невизначеності [4].

Ще одним особливим аспектом криптовалют є їхня потенційна роль геджування проти традиційних фінансових активів. Були проведені дослідження з метою вивчення того, чи можуть криптовалюти, зокрема біткойн, слугувати геджуванням або безпечною гаванню для різних фінансових активів, включаючи акції, облігації та сировинні товари [5].

Регуляторне середовище, що оточує криптовалюти, яке суттєво відрізняється в різних юрисдикціях, також було визначено як фактор, що може впливати на міжринкову динаміку. Було помічено, що регуляторні оголошення та зміни в політиці суттєво впливають на ціни та обсяги торгівлі криптовалютами, що потенційно може призвести до побічних ефектів на інших ринках [6].

Крім того, технологічні основи криптовалют, зокрема технологія блокчейн, мають ширше значення для фінансових ринків, ніж просто цифрові активи. У літературі досліджувався потенціал блокчейну для фундаментальній зміні традиційних фінансових посередників і ринкових структур, що може мати потенційний вплив на міжринкову динаміку [7].

Оскільки ринок криптовалют продовжує розвиватися і ставати більш зрілим, ймовірно, з'являться нові моделі міжринкової динаміки. Інтеграція криптовалют в основні фінансові системи через такі інструменти, як біржові фонди, що торгуються на основі криптовалют (ETF), і ф'ючерсні контракти, може ще більше ускладнити взаємозв'язок між цифровими і традиційними ринками активів [8].

Отже, унікальні характеристики криптовалют, включаючи їхню децентралізовану природу, високу волатильність, потенційні властивості геджування, регуляторні виклики та технологічні інновації, створюють як виклики, так і можливості для дослідження міжринкової динаміки. Очікується, що в міру того, як цей ринок продовжує розвиватися, наше розуміння його впливу на ширшу динаміку фінансового ринку буде продовжувати розвиватися і поглиблюватися.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Основною метою цього дослідження є проведення комплексного вивчення внутрішньої динаміки ринку криптовалют, з особливим акцентом на розумінні закономірностей коінтеграції між різними криптовалютними парами та їхнього зв'язку з обсягами торгів. Завдяки ретельному емпіричному аналізу це дослідження прагне поглибити наше розуміння структури ринку криптовалют, аналізуючи складну мережу взаємозв'язків, що існують між різними цифровими активами, та їхній вплив на поведінку ринку. Це дослідження має на меті надати інформацію, яка може стати основою для інвестиційних стратегій, підходів до управління ризиками та регуляторних рамок у криптовалютній екосистемі, що розвивається.

Ключова мета цього дослідження - кількісно оцінити та охарактеризувати ступінь ринкової інтеграції між криптовалютними парами за допомогою коінтеграційного аналізу, одночасно досліджуючи взаємозв'язок між обсягом торгів та ринковою інтеграцією в криптовалютному просторі. Вивчаючи великий

масив даних криптовалютних пар, це дослідження має на меті встановити поширеність і міцність довгострокових рівноважних зв'язків між різними цифровими активами, зокрема з'ясувати, чи змінюються ці зв'язки систематично між різними категоріями криптовалют, включаючи NFT токени, metaverse-токени, стейблкоїни та токени-платформи. Метою аналізу обсягів торгів у зв'язку з моделями коінтеграції є визначення того, чи пов'язана вища торговельна активність із сильнішою інтеграцією ринку, що потенційно може виявити унікальні характеристики ринку криптовалют, які відрізняються від традиційних фінансових ринків.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Мета дослідження - сприяти як теоретичному розумінню, так і практичному осмисленню динаміки ринку криптовалют. За допомогою цього аналізу дослідження намагається виявити сфери, в яких існуючі теоретичні рамки можуть потребувати модифікації або розширення, щоб краще охопити унікальні характеристики криптовалютних ринків. Крім того, визначаючи моделі ринкової інтеграції та їхній зв'язок з обсягами торгівлі, це дослідження прагне надати цінну інформацію, яка може бути використана для розробки більш ефективних торгових стратегій, вдосконалення підходів до управління ризиками та підвищення ефективності ринку, а також для інформування регуляторних підходів до ринків криптовалют, зокрема для розуміння того, як моделі ринкової інтеграції можуть впливати на системний ризик і стабільність ринку.

Криптовалютні дані були отримані з Binance, однієї з провідних світових криптовалютних бірж. Загалом було вилучено 401 криптовалютну пару з щоденними інтервалами, що забезпечує широке представлення крипторинку. Binance було обрано через її високу ліквідність та широкий спектр доступних торгових пар, що дозволяє провести більш комплексний аналіз криптовалютної екосистеми [9].

Всі дані були зібрані за період з 1 січня 2017 року по 31 травня 2024 року, що забезпечує восьмирічне вікно для аналізу. Цей період був обраний для того, щоб відобразити нещодавню динаміку ринку, а також включити періоди значних ринкових подій, таких як пандемія COVID-19 та її наслідки.

Для забезпечення якості та узгодженості даних було здійснено кілька кроків попередньої обробки. Вони включали в себе

1. Обробка відсутніх значень за допомогою відповідних методів імплікації або видалення неповних записів.
2. Вирівнювання міток часу в різних джерелах даних для врахування різних годин торгівлі та часових поясів.
3. Переведення всіх цінових даних у єдину валюту (долар США) для полегшення міжринкових порівнянь.

Потім дані були організовані та збережені в базі даних SQL для забезпечення ефективного запиту та аналізу протягом усього дослідження. Такий структурований підхід до управління даними дозволив безперешкодно інтегрувати різні джерела даних і полегшив застосування складних аналітичних методів до різноманітного набору фінансових інструментів.

Дані по криптовалютам

За останнє десятиліття ринок криптовалют зазнав вибухового зростання та ускладнення, що зумовило необхідність всебічного аналізу його динаміки. У цьому дослідженні було використано значний масив даних, що включає 401 криптовалютну пару, які торгуються на Binance, одній з найбільших криптовалютних бірж у світі. Ці пари досліджувалися з щоденними інтервалами, що дозволило отримати детальну картину ринкових рухів, збалансувавши при цьому потребу в керованих обчислювальних ресурсах.

Binance було обрано як джерело даних через її значну частку на ринку та ліквідність. Як зазначають В. Фенг та ін., *"Binance стала однією з найбільших криптовалютних бірж у світі за обсягом торгів, пропонуючи широкий спектр торгових пар і залучаючи різноманітну базу користувачів"* [11]. Ця різноманітність і обсяг забезпечують репрезентативну вибірку ширшого ринку криптовалют.

Денний інтервал було обрано з кількох причин. По-перше, він узгоджується з традиційним аналізом фінансових ринків, що полегшує порівняння з іншими класами активів. По-друге, як зазначають М. Брандвольд та ін., *"щоденні дані можуть відображати значущі цінові зміни, відфільтровуючи при цьому частину шуму, присутнього у більш високочастотних даних"* [12]. Це особливо актуально для ринку криптовалют, який відомий своєю високою волатильністю і чутливістю до короткострокових маніпуляцій.

Набір даних охоплює широкий спектр криптовалют, від добре відомих монет, таких як Bitcoin та Ethereum, до менших, більш спекулятивних альткоїнів. Така широта дозволяє провести всебічний аналіз динаміки ринку з урахуванням різних ринкових капіталізацій і варіантів використання. Як зазначають Г. Еленднер та ін., *"екосистема криптовалют дуже різноманітна, різні монети виконують різні функції і приваблюють різні типи інвесторів"* [13].

Збір даних включав доступ до API Binance для отримання історичних даних про ціни та обсяги для кожної торгової пари. Потім дані були очищені та попередньо оброблені для забезпечення узгодженості та

надійності. Цей процес включав обробку відсутніх значень, коригування викидів та забезпечення часового вирівнювання для всіх пар.

Варто зазначити, що хоча 401 пара представляє значну частину ринку криптовалют, вона не охоплює всю екосистему. Як зазначають Г. Хілеман та М. Раухс, "криптовалютний ринок постійно розвивається, регулярно з'являються нові монети та токени" [14]. Тому, незважаючи на те, що цей набір даних є вичерпним, його слід розглядати як моментальний знімок ринку протягом досліджуваного періоду.

Таким чином, набір даних з 401 криптовалотної пари, що торгуються на Binance, проаналізований з щоденними інтервалами, забезпечує надійну основу для дослідження міжринкової динаміки в криптовалютній екосистемі. Він пропонує баланс між широтою і глибиною, дозволяючи проводити всебічний аналіз, зберігаючи при цьому обчислювальну здійсненність.

Тести на коінтеграцію

Коінтеграційний аналіз відіграє важливу роль у розумінні довгострокових зв'язків між фінансовими часовими рядами. У цьому дослідженні коінтеграційні тести були використані для вивчення потенційних довгострокових рівноважних зв'язків між такими активами, як криптовалюти та акції.

Для тестування парної коінтеграції було використано двокроковий метод Енгла-Гренджера [15]. Цей підхід передбачає спочатку перевірку на наявність одиничних коренів в окремих рядах, а потім перевірку залишків від коінтеграційної регресії на стаціонарність. Розширений тест Дікі-Фуллера (ADF) було застосовано для перевірки на наявність одиничних коренів у кожному ряді, гарантуючи, що змінні були інтегровані в одному порядку, як правило, $I(1)$.

Для пар, які відповідали початковим умовам, було оцінено коінтеграційну регресію:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \varepsilon_t$$

де y_t та x_t представляють два ряди цін на активи, а ε_t є членом помилки. Залишки від цієї регресії були перевірені на стаціонарність за допомогою ADF-тесту. Якщо залишки виявилися стаціонарними, було зроблено висновок, що ці два ряди є коінтегрованими.

Щоб підвищити надійність наших висновків, ми також застосували коінтеграційний тест Йохансена [28] для окремих пар і груп активів. Цей метод дозволяє виявити множинні коінтеграційні зв'язки і є особливо корисним, коли маємо справу з більш ніж двома змінними. Тест Йохансена використовує процедуру оцінки максимальної правдоподібності для визначення кількості коінтегруючих векторів.

Було обчислено статистику слідів та статистику максимального власного значення:

$$\lambda \text{trace}(r) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \lambda_i)$$

$$\lambda \text{max}(r, r+1) = -T \ln(1 - \lambda_{r+1})$$

де T - обсяг вибірки, λ_i - оцінені власні значення, а r - кількість коінтегруючих векторів за нульової гіпотези. Нульова гіпотеза про відсутність коінтеграції тестувалася проти альтернативи про наявність одного або декількох коінтегруючих зв'язків.

Варто зазначити, що коінтеграційний аналіз у контексті криптовалют створює унікальні виклики через відносно коротку історію та високу волатильність цих активів. Як зазначають Е. Чіа та Д. Фрай, фундаментальна цінність криптовалют все ще залишається предметом дискусій, що може вплинути на інтерпретацію довгострокових рівноважних зв'язків [16].

Крім того, було враховано потенціал структурних розривів на ринку криптовалют, на які вказували Е. Бурі та ін. [4]. Тест Грегори-Хансена на коінтеграцію зі зміною режиму був застосований для відбору пар, щоб врахувати потенційні структурні зміни у взаємозв'язках між активами.

Коінтеграційний тест Йохансена

Коінтеграційний тест Йохансена - це широко використовуваний статистичний метод для дослідження наявності довгострокових рівноважних зв'язків між кількома змінними часовими рядами. У контексті цього дослідження міжринкової динаміки тест Йохансена було застосовано для вивчення потенційних коінтеграційних зв'язків між різними криптовалютними парами, індексами фондового ринку та товарними ф'ючерсами.

Тест Йохансена є особливо цінним для цього аналізу, оскільки він дозволяє досліджувати декілька змінних одночасно, на відміну від двоетапного методу Енгла-Гренджера, який обмежується біваріантним аналізом. Цей багатовимірний підхід має ключове значення, коли йдеться про складні фінансові ринки, де можуть існувати взаємозв'язки між кількома активами [17].

Тест базується на векторній моделі корекції помилок (VECM) і використовує оцінку максимальної правдоподібності для визначення кількості коінтеграційних зв'язків. Він включає в себе дві тестові статистики: тест трасування та тест максимального власного значення. Обидва тести використовуються для

визначення рангу коінтеграційної матриці, який вказує на кількість коінтеграційних зв'язків, присутніх у системі [18].

У цьому дослідженні тест Йохансена було застосовано до різних комбінацій активів у межах різних ринкових категорій та між ними. Тест проводився за допомогою наступних кроків:

1. Попереднє тестування на наявність одиничних коренів за допомогою розширеного тесту Дікі-Фуллера (ADF), щоб переконатися, що всі ряди інтегровані в однаковому порядку.
2. Визначення відповідної довжини лагу для VECM з використанням інформаційного критерію Акаїке.
3. Запуск тесту Йохансена як зі статистикою слідів, так і з максимальним власним значенням.
4. Інтерпретація результатів для визначення кількості коінтегруючих зв'язків, якщо такі є.

Наявність коінтеграції вказує на те, що змінні, які розглядаються, мають довгостроковий рівноважний зв'язок, незважаючи на потенційну розбіжність у короткостроковому періоді. Ця інформація є цінною для розуміння динаміки ринку, оскільки коінтегровані ряди мають тенденцію до зближення з часом і можуть дати уявлення про ефективність ринку та потенційні можливості для арбітражу [15].

Інтерпретація результатів коінтеграційного аналізу

Коінтеграція, введена Робертом Енглем і Клайвом Грейнджером, передбачає, що два або більше нестационарних часових рядів можуть демонструвати довгострокову рівновагу, навіть якщо вони можуть відхилитися від цієї рівноваги в короткостроковому періоді [15]. Наявність коінтеграції означає, що змінні мають спільні стохастичні тенденції і мають тенденцію рухатися разом з часом.

У контексті цього дослідження міжринкової динаміки до інтерпретації результатів коінтеграції можна підійти з кількох боків:

1. **Наявність коінтеграції:** Коли виявляється коінтеграція між двома ринками, це вказує на довгострокову рівновагу між ними. Це означає, що хоча ринки можуть зазнавати короткострокових відхилень, вони мають тенденцію повертатися до своєї довгострокової рівноваги. Як зазначає С. Йохансен, *"наявність коінтеграції означає, що змінні не можуть блукати як завгодно далеко одна від одної"* [17].

2. **Відсутність коінтеграції:** Якщо між ринками не виявлено коінтеграції, це означає, що між ними не існує довгострокового рівноважного зв'язку. Така відсутність може свідчити про те, що ринки керуються різними фундаментальними факторами або по-різному реагують на економічні шоки. Як зазначає К. Грейнджер, *"Дві змінні, які не коінтегровані, не можуть мати довгострокового зв'язку і з часом будуть мати тенденцію віддалятися один від одного"* [19].

3. **Сила коінтеграції:** Сила коінтеграційного зв'язку може бути оцінена за допомогою коефіцієнтів коінтеграції та швидкості зміни параметрів. Сильніша коінтеграція означає міцніший довгостроковий зв'язок і потенційно швидшу конвергенцію до рівноваги після відхилень.

4. **Напрямок причинності:** Хоча коінтеграція сама по собі не передбачає причинно-наслідкового зв'язку, пов'язана з нею векторна модель корекції помилок (VECM) може дати уявлення про напрямок довгострокового причинно-наслідкового зв'язку між коінтегрованими змінними. Як пояснює Гельмут Люткеполь, *"член корекції помилки у VECM представляє швидкість, з якою змінна повертається до рівноваги після відхилення"* [20].

5. **Практичне значення для ринкової ефективності:** Наявність коінтеграції між ринками може мати наслідки для ефективності ринку. Як стверджує Ю. Фама, на ефективних ринках ціни повинні повністю відображати всю доступну інформацію [21]. Стійкі коінтеграційні зв'язки можуть свідчити про потенційну передбачуваність і, таким чином, ставити під сумнів поняття ефективності ринку в його найсильнішій формі.

6. **Диверсифікація портфеля:** З інвестиційної точки зору, результати коінтеграції можуть стати основою для стратегій диверсифікації портфеля. Як зазначає Г. Марковіц, диверсифікація має на меті зменшити ризик портфеля [22]. Однак, якщо активи коінтегровані, вони можуть запропонувати менше переваг від диверсифікації в довгостроковій перспективі порівняно з некоінтегрованими активами.

7. **Ринкова інтеграція:** Коінтеграцію між різними ринками можна інтерпретувати як свідчення ринкової інтеграції. Це особливо актуально при вивченні взаємозв'язків між ринками криптовалют і традиційними фінансовими ринками. Як зазначають Д. Баур і Б. Люсі, *"ступінь ринкової інтеграції може мати значні наслідки для міжнародного управління портфелями та оцінки ризиків"* [23].

8. **Можливості для арбітражу:** Наявність коінтеграції може вказувати на потенційні можливості для арбітражу. Як пояснюють Р. Енгл та К. Грейнджер, *"коінтегровані змінні мають спільне представлення з корекцією помилок, що означає, що їхня короткострокова динаміка повинна підкорятися певним обмеженням, щоб узгоджуватися з їхніми довгостроковими взаємозв'язками"* [15].

При інтерпретації результатів коінтеграції важливо враховувати економічний та фінансовий контекст ринків, що аналізуються. Взаємозв'язки, виявлені за допомогою коінтеграційного аналізу, слід оцінювати у світлі основних економічних теорій, ринкових структур і потенційних зовнішніх факторів, які можуть вплинути на довгострокову динаміку між ринками.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Аналіз динаміки внутрішньокриптовалютного ринку виявив значні закономірності коінтеграції між різними цифровими активами. З 71 687 протестованих пар 56 678 пар продемонстрували коінтеграцію на 95% довірчому рівні, що становить 79,06% від загальної кількості пар. Такий високий відсоток свідчить про значний ступінь довгострокової рівноваги на ринку криптовалют.

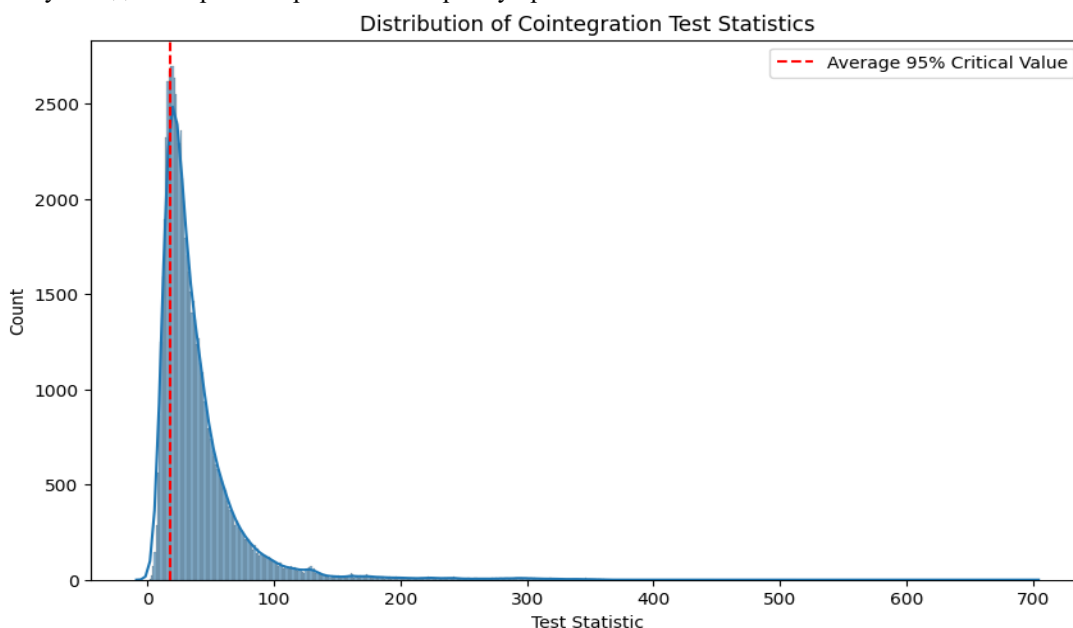


Рис. 1. Розподіл t-статистики коінтеграційних тестів

Розподіл статистичних даних тесту на коінтеграцію показав помітний зсув у бік нижчих значень, з різким падінням після 95% критичного порогу. Ця закономірність вказує на те, що хоча багато криптовалютних пар є коінтегрованими, сила цих зв'язків варіюється, і більшість з них демонструють помірний рівень коінтеграції. Кластеризація тестової статистики біля нижнього кінця спектру свідчить про те, що довгострокові зв'язки, хоча і переважають, але не є рівномірно сильними для всіх криптовалютних пар.

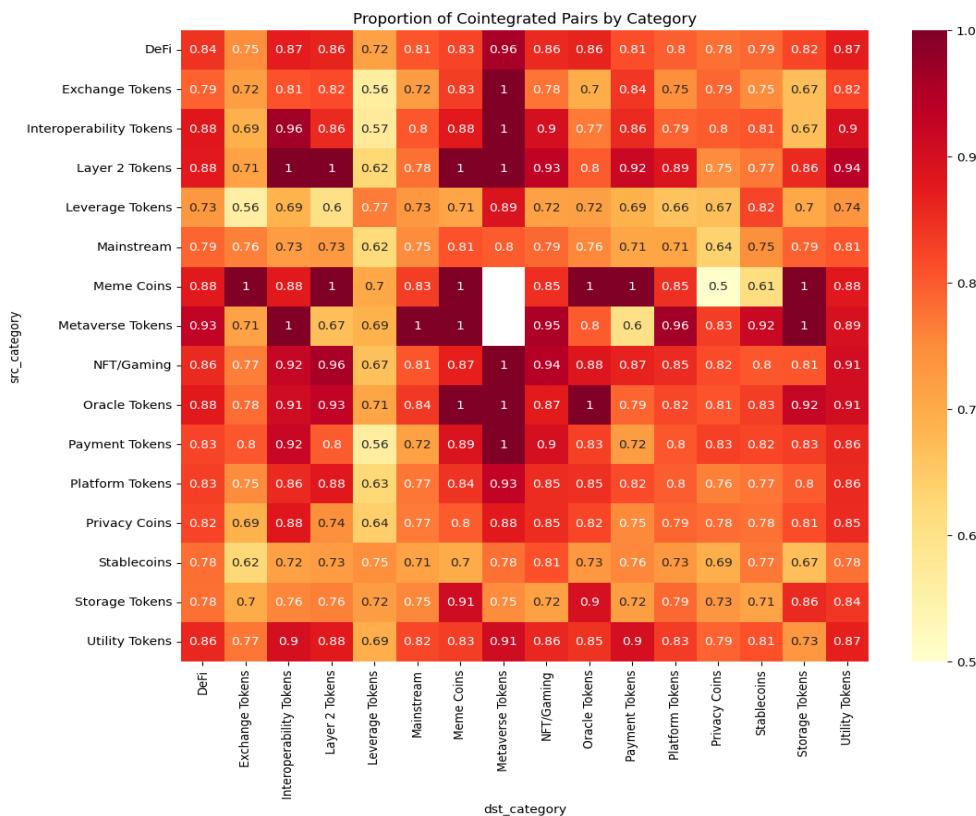


Рис. 2. Теплова карта коінтеграційних зв'язків між категоріями криптовалют

Вивчення коінтеграції за категоріями виявило різний ступінь взаємозв'язку між різними типами криптовалюток. NFT/Gaming токени, metaverse-токени та токени інтероперабельності продемонстрували особливо високий рівень коінтеграції: понад 90% пар у цих категоріях демонструють значні довгострокові зв'язки. І навпаки, стейблкоїни і токени сховищ продемонстрували нижчі показники коінтеграції з іншими категоріями, часто нижче 80%. Ця диспропорція підкреслює неоднорідний характер взаємозв'язків у криптовалютній екосистемі.

Аналіз найкращих коінтегрованих пар дозволив виявити найсильніші взаємозв'язки на ринку. Найвищий показник тестової статистики 704,20 було виявлено між токенами платформи і токенами кредитного плеча, що вказує на особливо міцну довгострокову рівновагу між цими категоріями. Стейблкоїни також посіли чільне місце серед найкращих коінтегрованих пар, продемонструвавши сильні зв'язки як всередині своєї категорії, так і з іншими типами токенів, такими як токени платформ і NFT/Gaming токени.

Аналіз власних значень коінтегрованих пар ще більше прояснив природу цих зв'язків. Розсіювання перших і других власних значень показує концентрацію других власних значень поблизу нуля, тоді як перші власні значення охоплюють ширший діапазон. Ця закономірність свідчить про різну силу коінтеграції між парами, причому деякі з них демонструють особливо сильні довгострокові зв'язки, на що вказують вищі перші власні значення.

Кореляція коінтеграції до обсягу торгів

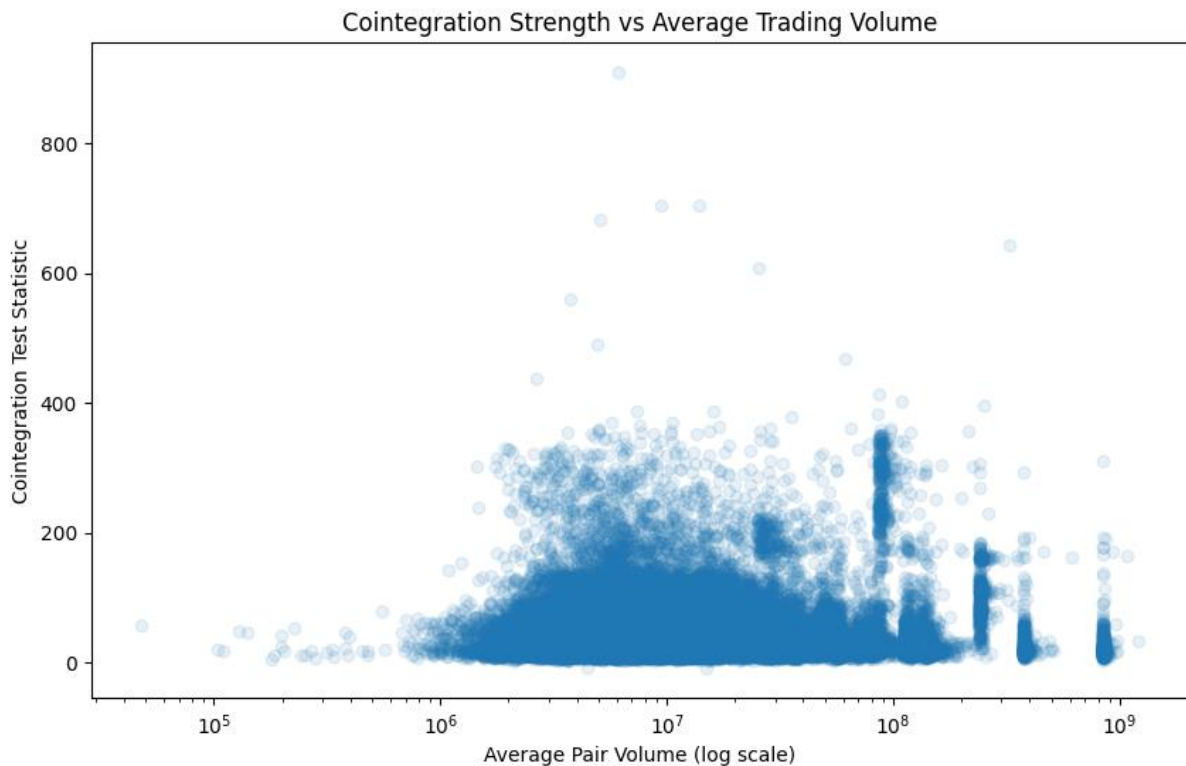


Рис. 3. Співвідношення обсягу торгів до сили коінтеграції

Динаміка внутрішньокриптовалютного ринку була досліджена за допомогою різних аналітичних підходів для з'ясування потенційного зв'язку між обсягами торгів та силою коінтеграції. Кореляційний аналіз Спірмена виявив дуже слабкий негативний лінійний зв'язок між статистикою тесту на коінтеграцію та середнім обсягом торгів по парі з коефіцієнтом кореляції $-0,0560$. Незважаючи на невелику величину, ця кореляція була визнана статистично значущою ($p = 4,2665e-56$), що вказує на те, що хоча зв'язок є слабким, він навряд чи виник випадково.

Візуальний огляд діаграми розсіювання, що відображає зв'язок між середнім обсягом пари і статистикою коінтеграційного тесту, підтвердив слабку кореляцію, що спостерігалася. Діаграма демонструвала розпорощеність точок даних без чіткої тенденції, що ще раз підтверджує відсутність сильного зв'язку між високими обсягами та вищою статистикою коінтеграційного тесту. Розподіл середніх обсягів пар для коінтегрованих і некоінтегрованих пар з довірчою ймовірністю 95%, виявив схожість розподілу обсягів для обох груп. Ця схожість свідчить про те, що обсяги торгів суттєво не відрізняються залежно від того, коінтегровані криптовалютні пари чи ні, хоча деякі екстремально високі значення спостерігалися в обох розподілах.

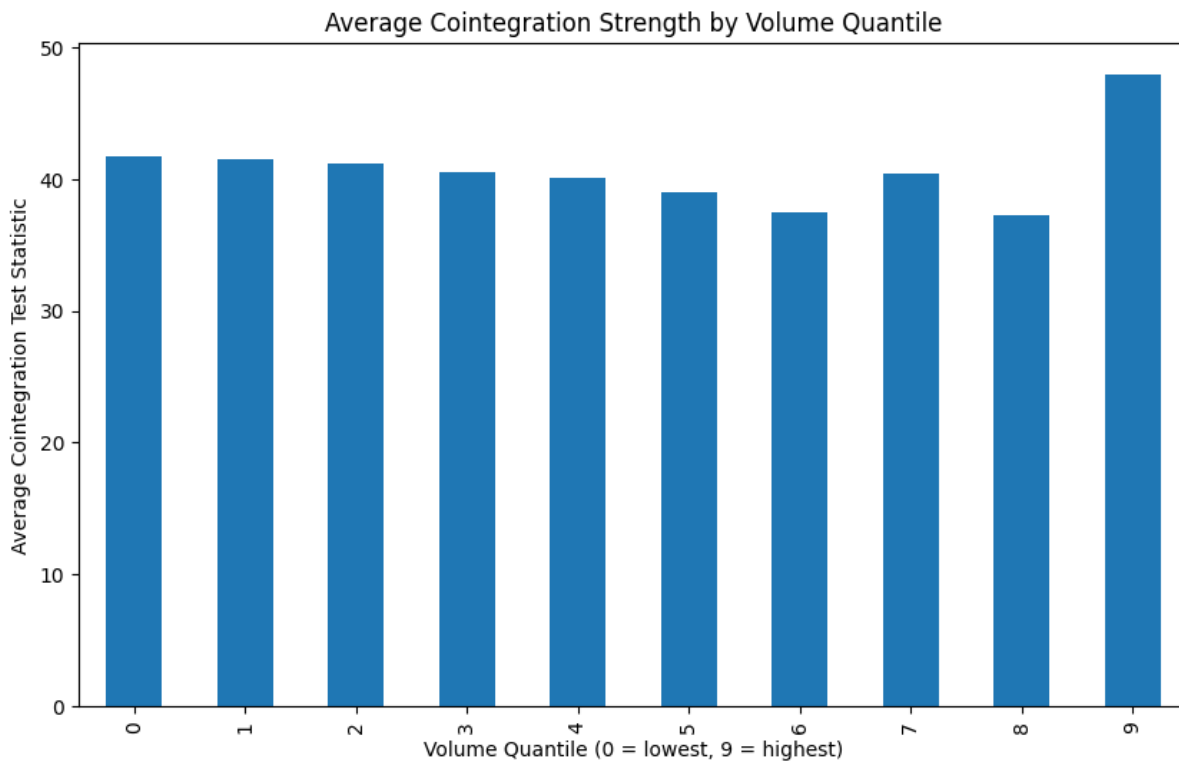


Рис. 4. Середня сила коінтеграції за квантилем обсягу торгів

Аналіз середньої сили коінтеграції між різними квантилями обсягу, як показано на гістограмі, не виявив чіткої монотонної тенденції. Середня сила коінтеграції залишається відносно стабільною в більшості квантилів, за винятком найвищого квантилю (9-го), де спостерігався чіткий пік сили коінтеграції. Ця закономірність свідчить про те, що хоча обсяг торгів може певною мірою впливати на силу коінтеграції, цей зв'язок не є послідовно лінійним у всіх діапазонах обсягів торгів.

Таким чином, аналіз динаміки внутрішньокриптовалютного ринку вказує на складний взаємозв'язок між обсягами торгів та силою коінтеграції. Виявлена кореляція, хоча і є статистично значущою, є слабкою і не проявляється у вигляді сильного лінійного тренду для більшості досліджуваних криптовалютних пар. Отримані результати свідчать про те, що фактори, які виходять за межі обсягів торгів, ймовірно, відіграють значну роль у визначенні сили коінтеграції між криптовалютними парами, що вимагає подальшого дослідження інших потенційно впливових змінних в екосистемі криптовалютного ринку.

Обговорення

Аналіз внутрішньої динаміки криптовалютного ринку виявляє значні патерни взаємопов'язаності та довгострокових відносин в екосистемі цифрових активів. Висока поширеність коінтеграції серед криптовалютних пар, 79,06% з яких демонструють значні взаємозв'язки на 95% довірчому рівні, свідчить про значний ступінь інтеграції ринку. Цей висновок узгоджується з попередніми дослідженнями, такими як С. Дрождз та ін., які спостерігали зростання кореляцій та зрілість ринку в криптовалютному просторі [24].

Розподіл статистики тесту на коінтеграцію, зміщений у бік нижчих значень з різким спадом після 95% критичного значення, свідчить про те, що хоча коінтеграція широко розповсюджена, сила цих взаємозв'язків значно варіюється. Ця закономірність може відображати еволюційний характер криптовалютного ринку, на якому постійно з'являються нові токени і технології, що впливають на динаміку існуючих взаємозв'язків. Спостережувана неоднорідність рівнів коінтеграції між різними категоріями криптовалют дає додаткове уявлення про складність ринку. Високий рівень коінтеграції серед токенів NFT/Gaming, metaverse та інтероперабельності (>90%) свідчить про те, що ці сектори можуть бути особливо чутливими до загальних ринкових факторів або мати схожу базу інвесторів. І навпаки, нижчі показники коінтеграції стейблкоїнів і токенів для зберігання даних (<80%) можуть свідчити про їхню відносну незалежність від ширших ринкових тенденцій, що, можливо, пов'язано з їхнім специфічним використанням або регуляторними міркуваннями.

Виявлення сильної коінтеграції між токенами платформ і токенами кредитного плеча, а також провідна роль стейблкоїнів у найбільш коінтегрованих парах підкреслює складні взаємозв'язки між різними функціональними категоріями в криптовалютній екосистемі. Ці висновки продовжують роботу А. Аслана та А. Сенсоа, які задокументували зростаючий зв'язок між основними криптовалютами, продемонструвавши, що такі взаємозв'язки поширюються на ширший спектр категорій токенів [25]. Аналіз власних значень

також підтверджує різну силу коінтеграції, причому концентрація других власних значень близька до нуля, а розкид перших вказує на спектр інтенсивності взаємозв'язків. Ця закономірність свідчить про те, що хоча багато криптовалютних пар мають довгострокові рівноважні зв'язки, сила і характер цих зв'язків суттєво відрізняються на різних ринках.

Дослідження динаміки внутрішньокриптовалютного ринку виявляє складні та нюансовані взаємозв'язки між обсягами торгів та силою коінтеграції. Дуже слабка негативна кореляція ($\rho = -0,0560$) між статистикою тесту на коінтеграцію та середнім обсягом торгів по парі, незважаючи на те, що вона є статистично значущою ($p = 4e-56$), вказує на те, що вищі обсяги торгів не обов'язково відповідають сильнішій коінтеграції. Цей висновок узгоджується з роботою Д. Баура і Л. Хоанга, які помітили, що обсяг торгів сам по собі не є надійним предиктором руху цін на криптовалюту або ринкових відносин [26].

Розпорошеність, що спостерігається на діаграмі розсіювання, та схожість розподілу обсягів між коінтегрованими та некоінтегрованими парами на 95% довірчому рівні свідчать про те, що обсяг торгів може не бути основним визначальним фактором статусу коінтеграції. Це спостереження узгоджується з висновками Н. Кіріазіса, який зазначив, що на динаміку ринку криптовалют впливає складна взаємодія факторів, які виходять за рамки простих метрик торгівлі [27]. Наявність екстремально високих значень як у коінтегрованих, так і в некоінтегрованих розподілах вказує на потенційні викиди або високо волатильні пари, які потребують подальшого дослідження.

Цікаво, що аналіз середньої сили коінтеграції між квантилями обсягів виявив відносно стабільну картину з помітним піком у найвищому квантилі. Ця нелінійна залежність свідчить про те, що надзвичайно високі обсяги торгів можуть бути пов'язані з сильнішою коінтеграцією, але цей ефект не є послідовним для всіх діапазонів обсягів. Це спостереження узгоджується з висновками С. Дрождз та ін., які виявили, що динаміка ринку криптовалют може демонструвати раптові зрушення і нелінійну поведінку, особливо в періоди високої торгової активності [28].

Загальні висновки вказують на те, що хоча обсяг торгів може відігравати певну роль у динаміці криптовалютного ринку, його вплив на силу коінтеграції не є прямим або послідовно передбачуваним. Ця складність підкреслює необхідність багатогранного підходу до аналізу криптовалютних ринків, як запропонували Ю. Лю та О. Цивінський, які підкреслили важливість врахування як специфічних для ринку, так і макроекономічних факторів для розуміння поведінки криптовалют [29]. Майбутні дослідження повинні вивчати додаткові змінні, такі як ринкові настрої, регуляторні зміни та технологічний прогрес, щоб отримати більш повне розуміння сил, що формують внутрішні відносини на криптовалютному ринку.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У цьому дослідженні виявлено значні закономірності в динаміці внутрішньокриптовалютного ринку через аналіз коінтеграційних зв'язків та обсягів торгів. Висока поширеність коінтеграції серед криптовалютних пар (79,06% на 95% довірчому рівні) демонструє високоінтегровану ринкову екосистему, хоча і з різним ступенем взаємозв'язку між різними сегментами. Особливої уваги заслуговує неоднорідний характер цієї інтеграції: токени NFT/Gaming, metaverse-токени та токени інтероперабельності демонструють надзвичайно високі рівні коінтеграції (>90%), тоді як стейблкоїни та токени для зберігання зберігають відносно незалежність з нижчими рівнями коінтеграції (<80%).

Взаємозв'язок між обсягом торгів та інтеграцією ринку виявився складнішим, ніж очікувалося, з лише слабкою негативною кореляцією ($\rho = -0,0560$) між обсягом торгів та статистикою тесту на коінтеграцію. Цей висновок ставить під сумнів традиційні припущення про роль торговельної активності в динаміці ринку і свідчить про те, що обсяг торгів сам по собі не є надійним індикатором ринкової інтеграції. Нелінійний зв'язок, що спостерігається між квантилями обсягу, з помітним піком у найвищому квантилі, ще більше підкреслює складність цих ринкових відносин.

Ці висновки мають практичне значення для учасників ринку, регуляторів та дослідників. Для інвесторів високий ступінь ринкової інтеграції вимагає складних стратегій диверсифікації портфеля, які враховують міжкатегорійні ризики. Для регуляторів взаємопов'язаний характер ринку вказує на необхідність підходів до нагляду, що враховують системні ризики. Майбутні дослідження мають дослідити часову стабільність цих коінтеграційних взаємозв'язків та їхню еволюцію за різних ринкових умов, особливо в періоди стресу або значних технологічних змін.

References

1. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*.
2. Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics Letters*, 165, 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.01.004>
3. Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431. <https://doi.org/10.2307/2286348>
4. Bouri, E., Gupta, R., & Roubaud, D. (2018). Herding behaviour in cryptocurrencies. *Finance Research Letters*, 29, 216-221. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.07.008>
5. Bouri, E., Gupta, R., Tiwari, A. K., & Roubaud, D. (2017). Does Bitcoin hedge global uncertainty? Evidence from wavelet-based quantile-in-quantile regressions. *Finance Research Letters*, 23, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.02.009>

6. Shanaev, S., Shuraeva, A., Vasenin, M., & Kuznetsov, M. (2020). Cryptocurrency value and 51% attacks: Evidence from event studies. *Journal of Alternative Investments*, 22(3), 65-77. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3290016>
7. Tapscott, D., & Tapscott, A. (2017). How blockchain will change organizations. *MIT Sloan Management Review*, 58(2), 10-13.
8. Choi, K. J., Lehar, A., & Stauffer, R. (2021). Bitcoin microstructure and the Kimchi premium. *Management Science*, 67(11), 7055-7072. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3189051>
9. Chu, J., Zhang, Y., & Chan, S. (2019). The adaptive market hypothesis in the high frequency cryptocurrency market. *International Review of Financial Analysis*, 64, 221-231. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2019.05.008>
10. Bollen, J., Mao, H., & Zeng, X. (2011). Twitter mood predicts the stock market. *Journal of Computational Science*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2010.12.007>
11. Feng, W., Wang, Y., & Zhang, Z. (2018). Informed trading in the Bitcoin market. *Finance Research Letters*, 26, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.11.009>
12. Brandvold, M., Molnár, P., Vagstad, K., & Valstad, O. C. A. (2015). Price discovery on Bitcoin exchanges. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 36, 18-35. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2015.02.010>
13. Elendner, H., Trimbom, S., Ong, B., & Lee, T. M. (2018). The cross-section of crypto-currencies as financial assets: Investing in crypto-currencies beyond Bitcoin. In *Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion, Volume 1* (pp. 145-173). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810441-5.00007-5>
14. Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). Global cryptocurrency benchmarking study. Cambridge Centre for Alternative Finance, 33, 33-113.
15. Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
16. Cheah, E. T., & Fry, J. (2015). Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin. *Economics Letters*, 130, 32-36. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2015.02.029>
17. Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, 59(6), 1551-1580. <https://doi.org/10.2307/2938278>
18. Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration—with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1990.mp52002003.x>
19. Granger, C. W. J. (1986). Developments in the study of cointegrated economic variables. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 48(3), 213-228. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1986.mp48003002.x>
20. Lütkepohl, H. (2005). *New introduction to multiple time series analysis*. Springer Science & Business Media.
21. Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383-417. <https://doi.org/10.2307/2325486>
22. Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. <https://doi.org/10.2307/2975974>
23. Baur, D. G., & Lucey, B. M. (2010). Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold. *Financial Review*, 45(2), 217-229. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6288.2010.00244.x>
24. Drożdż, S., Minati, L., Oświęcimka, P., Stanuszek, M., & Wątarek, M. (2020). Signatures of the crypto-currency market decoupling from the Forex. *Future Internet*, 12(2), 29. <https://doi.org/10.3390/fi11070154>
25. Aslan, A., & Sensoy, A. (2020). Intraday efficiency-frequency nexus in the cryptocurrency markets. *Finance Research Letters*, 35, 101298. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.09.013>
26. Baur, D. G., & Hoang, L. T. (2021). A crypto safe haven against Bitcoin. *Finance Research Letters*, 38, 101431. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101431>
27. Kyriazis, N. A. (2019). A survey on efficiency and profitable trading opportunities in cryptocurrency markets. *Journal of Risk and Financial Management*, 12(2), 67. <https://doi.org/10.3390/jrfm12020067>
28. Drożdż, S., Minati, L., Oświęcimka, P., Stanuszek, M., & Wątarek, M. (2020). Competition of noise and collectivity in global cryptocurrency trading: Route to a self-contained market. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 30(2), 023122. <https://doi.org/10.1063/1.5139634>
29. Liu, Y., & Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *The Review of Financial Studies*, 34(6), 2689-2727. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa113>