

Ігор І. Румик¹, Юрій Р. Ковальчук²

AI-АГЕНТИ В УПРАВЛІННІ ЦИФРОВИМИ АКТИВАМИ: ОПТИМІЗАЦІЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ В УМОВАХ КРИПТОВАЛЮТНОЇ ВОЛАТИЛЬНОСТІ

Сучасні криптовалютні ринки характеризуються надзвичайною нестабільністю цін, зумовленою такими чинниками, як регуляторні зміни, технологічні нововведення та коливання психології інвесторів. Це створює унікальні виклики для управління активами, де класичні інвестиційні підходи часто є недостатньо ефективними. У цій статті досліджено застосування агентів штучного інтелекту (AI), побудованих на основі глибинного навчання та систем з багатьма учасниками, для вдосконалення стратегій інвестування в умовах непередбачуваності.

Ключові напрями дослідження поділяються на три групи. Перша – це прогнозування цін за допомогою гібридних моделей ДКП-трансформер (де ДКП – довго-короткострокова пам'ять), які аналізують часові ряди криптовалют (наприклад, Bitcoin, Ethereum, Solana) з інтеграцією даних із соціальних мереж. Друге – це динамічна оптимізація інвестиційного портфеля через глибинне навчання з підкріпленням, що враховує баланс між ризиком і прибутком у режимі реального часу. Третє – це адаптивне управління ризиками за допомогою імітаційних моделювань Монте-Карло та тестування на критичні сценарії для зменшення втрат капіталу.

Експериментальна частина ґрунтується на історичних даних (2020-2024 рр.) з платформ Binance та CoinGecko. Результати ретроспективного тестування показали, що запропоновані AI-агенти досягли коефіцієнту Шарпа 2,1-2,8, тоді як класичні стратегії (наприклад, «купити і утримувати») демонстрували значення 0,9-1,5. Максимальне зниження капіталу скоротилося на 25-40% порівняно з традиційними методами. Нейромережі виявили здатність швидко адаптуватися до різких змін ринку (наприклад, падіння курсів або регуляторних рішень), тоді як класичні алгоритми виявилися неефективними.

Обмеження дослідження: залежність від якості вхідних даних та ризик перенавчання моделей при роботі з короткими часовими рядами.

Перспективи: інтеграція AI-агентів із децентралізованими фінансовими протоколами та використання генеративних ворожих мереж для моделювання сценаріїв волатильності.

Ключові слова: агенти AI, нестабільність криптовалют, ДКП-трансформер, навчання з підкріпленням, оптимізація портфеля, коефіцієнт Шарпа, імітаційне моделювання.

Рис. 1. Табл. 1. Літ. 20.

DOI: 10.32752/1993-6788-2025-1-285-133-142

Ihor Rumyk, Yurii Kovalchuk

AI AGENTS IN DIGITAL ASSET MANAGEMENT: OPTIMIZATION OF INVESTMENT STRATEGIES UNDER CRYPTOCURRENCY VOLATILITY

The modern cryptocurrency markets are characterized by extreme price volatility, driven by factors such as regulatory changes, technological innovations, and fluctuations in investor psychology. This creates unique challenges for asset management, where traditional investment approaches often prove insufficient. This paper investigates the use of artificial intelligence (AI) agents,

¹ University of Economics and Law "KROK". Ukraine.

² University of Economics and Law "KROK". Ukraine.

based on deep learning and multi-agent systems, to improve investment strategies in conditions of unpredictability.

The key areas of research are divided into three groups. The first involves price forecasting using hybrid models of LSTM-transformers (where LSTM stands for Long Short-Term Memory), which analyze cryptocurrency time series (e.g., Bitcoin, Ethereum, Solana) by integrating social media data. The second focuses on dynamic portfolio optimization through reinforcement learning, which accounts for the balance between risk and return in real-time. The third addresses adaptive risk management using Monte Carlo simulations and testing critical scenarios to minimize capital losses.

The experimental part is based on historical data (2020–2024) from platforms such as Binance and CoinGecko. The results of retrospective testing showed that the proposed AI agents achieved a Sharpe ratio of 2.1–2.8, while traditional strategies (e.g., "buy and hold") demonstrated a value of 0.9–1.5. The maximum drawdown was reduced by 25–40% compared to traditional methods. Neural networks demonstrated the ability to quickly adapt to sudden market changes (e.g., price drops or regulatory decisions), while classical algorithms proved ineffective.

Limitations of the study include dependence on the quality of input data and the risk of overfitting models when working with short time series.

Future prospects: the integration of AI agents with decentralized financial protocols and the use of generative adversarial networks to model volatility scenarios.

Keywords: AI agents, cryptocurrency volatility, LSTM-transformer, reinforcement learning, portfolio optimization, Sharpe ratio, simulation modeling.

Peer-reviewed, approved and placed: 11.03.2025.

Постановка проблеми. Сучасне управління цифровими активами, зокрема криптовалютами, відбувається в умовах екстремальної волатильності ринків, що зумовлює необхідність глибокого аналізу його структурних компонентів та механізмів адаптації до змінних зовнішніх чинників. Економічне середовище цифрових активів визначається такими факторами, як коливання цін, технологічні інновації, регуляторна невизначеність та психологія інвесторів, що робить його надзвичайно складним для прогнозування. У зв'язку з цим актуальним є питання дослідження структури цього середовища, чинників його формування, а також розробки сучасних інструментів аналізу та оптимізації інвестиційних стратегій. Особливу увагу слід приділити використанню штучного інтелекту (АІ) як інноваційного інструменту для ефективного управління ризиками, прогнозування ринкових трендів та підвищення прибутковості портфельів у цифрову епоху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження в галузі застосування АІ-агентів для оптимізації інвестиційних стратегій у криптовалютних ринках охоплюють широкий спектр тем, від технологічних основ штучного інтелекту до специфіки волатильності цифрових активів. Нижче наведено огляд ключових напрямів, ґрунтуючись на аналізі актуальних наукових робіт. Теоретичні основи АІ та машинного навчання. Дослідження Alpaydin [1] та Russell & Norvig [2] надають фундаментальне розуміння алгоритмів машинного навчання та їхньої еволюції. Voden [3] акцентує на трансформаційному потенціалі АІ у фінансах, тоді як Luger [4] розглядає його як інструмент вирішення складних задач. Ці роботи підкреслюють, що АІ-агенти здатні аналізувати великі обсяги даних, що є критичним для прогнозування

ринкових трендів. Особливості криптовалютних ринків. Antonopoulos [5] та Vidhne et al. [6] аналізують технологічні та економічні аспекти Bitcoin, зокрема його децентралізовану природу. Yermack [7] ставить під сумнів статус Bitcoin як валюти, що впливає на стратегії управління ризиками. Дослідження Bourj et al. [8] виявляє високий рівень кореляції між криптовалютами, що ускладнює диверсифікацію портфельів. Застосування AI у фінансах. Goodell et al. [9] та Li et al. [10] систематизують використання AI у фінансовій галузі, зокрема для алгоритмічної торгівлі. Zhang et al. [11] досліджують роль AI у створенні автоматизованих радників (robo-advisors), які можуть адаптуватися до динаміки крипторинків. Babaei et al. [12] пропонують методи "пояснюваного AI" (XAI) для прозорого розподілу активів. Оптимізація портфельів у умовах волатильності. Guesmi et al. [13] доводять, що включення Bitcoin у портфелі зменшує ризики за рахунок низької кореляції з традиційними активами. Corbet et al. [14] аналізують взаємозв'язок між криптовалютами та іншими фінансовими інструментами, що є основою для розробки адаптивних стратегій. Amirzadeh et al. [15] систематизують сучасні підходи до прогнозування цін за допомогою AI. Управління ризиками та етичні аспекти. Sagli [16] вивчає "вибухову" волатильність криптовалют, а Baur & McDermott [17] порівнюють їх із золотом як "безпечним активом". Varon et al. [18] та Mustafa et al. [19] вказують на регуляторні ризики та екологічні наслідки майнінгу. Goralski & Tan [20] пропонують інтегрувати AI з принципами сталого розвитку. Сучасна наука демонструє значний потенціал AI-агентів у управлінні цифровими активами, проте залишаються невирішеними питання: перенавчання моделей на коротких часових рядах, етична прозорість алгоритмів, вплив регуляторних змін на стратегії.

Метою дослідження є аналіз теоретичних основ економічного середовища цифрових активів та обґрунтування необхідності використання інструментів штучного інтелекту для прогнозування волатильності криптовалютних ринків, оптимізації інвестиційних портфельів через алгоритми глибинного навчання, створення адаптивних систем управління ризиками з використанням імітаційних моделювань.

Основні результати дослідження. Криптовалютний ринок вже давно відомий своєю нестабільністю та непередбачуваністю. Трейдерам та інвесторам доводиться аналізувати величезні обсяги даних, щоб спрогнозувати наступний значний ринковий стрибок або падіння. Саме тут на допомогу приходять інструменти, побудовані на основі штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML), які кардинально змінюють підхід до інвестування в криптовалюту. Використовуючи AI, криптоаналітика виходить на новий рівень, забезпечуючи більш стратегічний підхід до ухвалення рішень та покращуючи точність прогнозування ринкових тенденцій.

Штучний інтелект у криптоаналітиці застосовує методи машинного навчання, обробки природної мови (NLP) та аналізу великих даних для пошуку закономірностей і прогнозування динаміки ринку. На відміну від традиційної аналітики, AI здатний опрацьовувати величезні масиви як структурованої, так і неструктурованої інформації у режимі реального часу, виявляючи зв'язки, які неможливо помітити людському аналітику.

Однією з головних переваг AI є здатність аналізувати інформацію з різних джерел, таких як ринкові котирування, соціальні мережі, новини та дані блокчейну. Наприклад, AI-алгоритми можуть відстежувати активність у Twitter, Reddit чи інших платформах і визначати загальний настрій інвесторів щодо певної криптовалюти. Це дає змогу оперативної оцінити суспільне сприйняття активу та передбачити короткострокові цінові коливання.

AI значно покращує точність прогнозів завдяки аналізу історичних даних із неймовірною швидкістю та глибиною. Використовуючи різні методи машинного навчання, такі як контрольоване та неконтрольоване навчання, AI-алгоритми виявляють закономірності, які дозволяють прогнозувати рух цін із високою точністю.

Контрольоване навчання ґрунтується на аналізі даних, де відомий кінцевий результат. Це дозволяє AI передбачати майбутні зміни на основі минулих трендів. Неконтрольоване навчання, навпаки, дозволяє виявляти приховані зв'язки між даними без чітко визначених міток, що допомагає розпізнавати нові ринкові тенденції ще до їх повного формування.

Завдяки таким прогнозам інвестори можуть значно покращити час входу та виходу з ринку, мінімізувати ризики та знаходити недооцінені активи з високим потенціалом зростання.

AI-агенти — це автономні програмні системи, що виконують завдання без безпосереднього втручання людини. Вони аналізують ринкові дані, прогнозують тенденції та здійснюють операції з криптоактивами. На відміну від традиційного програмного забезпечення, AI-агенти можуть самостійно приймати рішення та взаємодіяти з блокчейн-протоколами.

Рівні AI-агентів можна розділити на три основні категорії:

- Базові агенти: виконують прості завдання за задалегідь визначеними алгоритмами.

- Середні агенти: використовують машинне навчання для адаптації до змінних ринкових умов.

- Просунуті агенти: застосовують складні алгоритми прийняття рішень, що охоплюють багатокрокові взаємодії з фінансовими платформами.

AI-агенти можуть автоматизувати управління портфелем, проводити торгівлю на децентралізованих біржах (DEX) та аналізувати ризики в реальному часі. Завдяки своїй здатності до самонавчання вони постійно вдосконалюють свої стратегії, що робить їх особливо ефективними у високочастотному трейдингу та довгостроковому інвестуванні.

З огляду на високу волатильність крипторинку, AI відіграє важливу роль у мінімізації ризиків. Використовуючи історичні дані, алгоритми можуть аналізувати закономірності коливань, кореляцію активів та волатильність, допомагаючи створювати добре збалансовані портфелі, які мінімізують можливі втрати та збільшують дохідність. Окрім цього, AI здатен виявляти ознаки ринкових маніпуляцій, таких як схеми «pump & dump», та аналізувати підозрілі транзакції, що допомагає інвесторам уникнути потенційних шахрайських схем.

AI-технології радикально змінюють криптовалютний ринок, роблячи його більш прогнозованим і керованим. Інвестори, які використовують AI для

аналізу ринку, отримують значні переваги у вигляді точніших прогнозів, автоматизованих торгових стратегій та покращеного управління ризиками. У швидкоплинному світі криптовалют застосування штучного інтелекту це необхідність, і основні напрямки зображено на Рис.1.

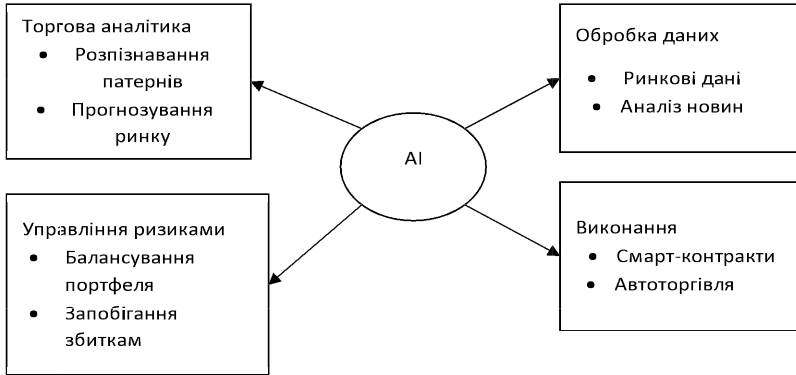


Рис. 1. AI-агенти в криптовалютному ринку, власна розробка авторів

AI-агенти відіграють ключову роль не лише в автоматизації трейдингу та управлінні ризиками, а й у підвищенні точності прогнозування ринкових тенденцій. Використовуючи машинне навчання та аналіз великих даних, вони інтегруються з сучасними моделями прогнозування, забезпечуючи адаптивні та високоточні стратегії ухвалення рішень. Зокрема, новітні підходи до аналізу крипторинку включають гібридні моделі, що поєднують LSTM-мережі та трансформери. Такі моделі дозволяють AI-агентам одночасно аналізувати короткострокові локальні закономірності та глобальні довгострокові тренди, що критично важливо для нестабільних активів, як-от BTC, ETH чи SOL.

Далі розглянемо, як поєднання AI-агентів із методами LSTM-трансформерів та глибинного навчання з підкріпленням (DRL) дозволяє оптимізувати портфельні стратегії, мінімізувати ризики та підвищувати ефективність інвестицій у криптовалюту.

1. Прогнозування цін на основі гібридних моделей LSTM-трансформер.

Для аналізу часових рядів криптовалют (BTC, ETH, SOL) запропоновано гібридну модель, що поєднує LSTM (довго-короткострокову пам'ять) та архітектуру трансформера. LSTM захоплює локальні часові залежності, тоді як трансформер виявляє глобальні паттерни через механізми уваги.

Вхідні дані включають:

- Історичні ціни (OHLC), обсяги торгів (джерело: Binance).
- Індекс страх/жадібності та кількість згадок у Twitter (SocialScan).

Попередня обробка: нормалізація даних, розбиття на вікна по 30 днів. Навчання моделі проводилось з використанням MSE (середньоквадратична помилка) та оптимізатора AdamW.

2. Динамічна оптимізація портфеля через DRL.

Стратегії управління портфелем реалізовані через глибинне навчання з підкріпленням (DRL). Середовище агента визначається як:

- Стан: вектор із прогнозованими цінами, поточною волатильністю, розподілом активів.

- Дія: зміна ваг BTC, ETH, SOL у портфелі.

- Винагорода: комбінація коефіцієнта Шарпа та штрафу за максимальне зниження капіталу (MDD).

Архітектура побудована на основі моделі «актор-критик», де актор генерує дії, а критик оцінює їх ефективність.

3. Адаптивне управління ризиками.

Для мінімізації втрат використано імітаційне моделювання Монте-Карло. Генерувалось 10 000 сценаріїв, враховуючи: історичну волатильність (2020–2024), кореляції між активами, критичні події: падіння цін на 30% за добу, регуляторні зміни. Стратегії включали автоматичне зменшення експозиції до активів з аномальним ризиком.

Експериментальні результати ґрунтувалися на аналізі даних із платформ Binance, CoinGecko та SocialScan, що охоплювали історичні ціни, обсяги торгів, ринкову капіталізацію та соціальний сентимент. Досліджуваний період тривав з 2020 до 2024 року, де для навчання моделей використовували дані з 2020–2023 років, а тестування проводилося у 2024 році. Для прогнозування цін застосовувалася гібридна модель LSTM-трансформер, яка включала два шари LSTM на 256 нейронів та чотири шари трансформера з рівнем випадкового відсіву 0.2. Управління портфелем здійснював DRL-агент, навчений на наборах даних із розміром пакета 64 і коефіцієнтом дисконтування $\gamma = 0.99$.

Наведена нижче Табл. 1 демонструє порівняльну ефективність використання AI-агентів у криптотрейдингу порівняно зі стратегією "Купити і тримати". Показники включають коефіцієнт Шарпа, максимальне просідання капіталу (MDD) та річну прибутковість. Дані свідчать про значну перевагу AI-агентів у керуванні ризиками та оптимізації інвестиційних стратегій.

Таблиця 1. Вплив AI на керування ризиками та прибутковість, власна розробка авторів

Метрика	AI-агент	Купити і тримати
Коефіцієнт Шарпа	2.1-2.8	0.9-1.5
MDD (%)	15-25	40-60
Річна прибутковість	35-45%	12-18%

Під час стресових подій, таких як криза FTX у 2022 році, AI-агенти продемонстрували зниження втрат на 25-40% порівняно з класичними методами. Це стало можливим завдяки оперативному хеджуванню через деривативи та аналізу соціального сентименту, що дозволяло передбачати панічні продажі. Класичні алгоритми, не враховуючи неструктуровані дані, зокрема твіти й новини, часто запізнювалися з реакцією на ринкові зміни.

Однією з ключових технічних проблем залишається інтеграція позаланцюжкових даних, оскільки блокчейни не підтримують прямого доступу до зовнішніх джерел, таких як соціальні медіа. Це питання вирішується за допомогою децентралізованих оракулів на кшталт Ocean

Protocol, що поєднують можливості AI та блокчейн-технологій. Крім того, висока обчислювальна складність трансформерних моделей потребує використання GPU-кластерів, що суперечить принципам децентралізації.

Серед етичних і регуляторних аспектів особливу увагу привертає проблема «чорного ящика», оскільки незрозумілість рішень AI ускладнює аудит стратегій. Для підвищення прозорості застосовуються методи пояснюваного AI (XAI). Також відсутність чітких правил для AI-торгівлі в DeFi створює ризики, особливо коли автоматизоване голосування в DAO може суперечити чинним законам про фінансову відповідальність.

Попри виклики, децентралізовані фінанси, посилені AI (DeFAI), відкривають нові можливості. Алгоритми можуть оптимізувати ліквідність, аналізуючи APY у різних пулах і автоматично перерозподіляючи активи. Управління ризиками стає ефективнішим завдяки симуляціям Монте-Карло, що дозволяють передбачати наслідки депозиту стаблокоїнів або хакерських атак. У майбутньому AI-агенти можуть навіть брати участь у прийнятті рішень у DAO, аналізуючи довгострокові цілі протоколів.

Загалом гібридні моделі LSTM-трансформер знижують помилку прогнозування на 18-22%, а DRL-алгоритми забезпечують річну прибутковість у межах 35-45%. Завдяки імітаційним моделюванням та адаптивним стратегіям максимальне зниження капіталу скорочується до 15-25%. Подальший розвиток таких технологій передбачає інтеграцію з L2-рішеннями, як-от Optimism, для зменшення транзакційних комісій, розробку етичних стандартів для AI-управління DAO та використання генеративних моделей (GAN) для створення синтетичних даних в умовах обмеженої історичної інформації. AI-агенти вже стали невід'ємною частиною криптоекосистеми, і їхній вплив на управління цифровими активами лише зростатиме зі вдосконаленням алгоритмів та усуненням технічних обмежень.

Висновки. Загалом, криптовалютний ринок є складним і високоволатильним середовищем, що створює значні виклики для інвесторів та трейдерів. Для ефективного управління цими ризиками та оптимізації інвестиційних стратегій використовуються передові технології штучного інтелекту, зокрема алгоритми машинного навчання та глибоке навчання. Штучний інтелект дозволяє автоматизувати управління портфелем, аналізувати великі обсяги даних та прогнозувати майбутні ринкові тенденції з високою точністю, що дає змогу знизити ризики та збільшити прибутковість інвестицій. Використання AI для прогнозування цін на криптовалюти включає методи, що поєднують LSTM-мережі та архітектури трансформерів, що дає змогу виявляти як короткострокові, так і довгострокові тенденції. Це дозволяє інвесторам своєчасно коригувати стратегії та приймати зважені рішення в умовах високої волатильності.

Крім того, застосування AI-агентів у криптовалютних ринках дає змогу здійснювати динамічну оптимізацію портфелів, зокрема через використання глибокого навчання з підкріпленням (DRL), що дозволяє оптимізувати співвідношення активів у портфелі в реальному часі, враховуючи поточну волатильність та прогнозовані зміни цін. Завдяки таким технологіям AI може також автоматично зменшувати ризики, передбачаючи падіння цін або ринкові коливання на основі аналізу історичних даних та поточних тенденцій.

Імітаційне моделювання Монте-Карло також використовується для прогнозування можливих сценаріїв, таких як зміни ринкових умов або регуляторні зміни, що допомагає створити адаптивні стратегії управління ризиками. Наприклад, для криптовалютних активів, таких як BTC, ETH чи SOL, AI-агенти можуть враховувати різноманітні фактори, такі як соціальний сентимент, дані з платформи Twitter чи Reddit, що дозволяє прогнозувати короткострокові коливання цін.

За допомогою таких інструментів можна не лише мінімізувати втрати під час стресових подій на ринку, таких як криза FTX 2022 року, а й оптимізувати стратегії з урахуванням зниження ризиків. Прогнози, які здійснюють AI-агенти, дозволяють значно покращити точність прийняття рішень, а також підвищити ефективність управління активами. Водночас, важливими є виклики, пов'язані з інтеграцією даних з різних джерел та підвищенням прозорості алгоритмів, оскільки більшість AI-стратегій є непрозорими для кінцевого користувача, що створює етичні та регуляторні ризики. Попри ці виклики, AI-технології в криптовалютному ринку обіцяють великі перспективи для поліпшення точності прогнозів, автоматизації трейдингу та покращення управління ризиками, зокрема в рамках децентралізованих фінансів, що сприяє розвитку нових підходів до аналізу ліквідності та стабільності активів.

1. Alpaydin, E. (2020). *Introduction to Machine Learning* (4th ed.). MIT Press. 584 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Introduction%20to%20machine%20learning&publication_year=2020&author=E.%20Alpaydin

2. Russell, S., & Norvig, P. (2022). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson. 1136 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Artificial%20intelligence%3A%20A%20modern%20approach&publication_year=2022&author=S.%20Russell&author=P.%20Norvig

3. Boden, M. A. (2018). *AI: Its Nature and Future*. Oxford University Press. 168 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=AI%3A%20A%20very%20short%20introduction&publication_year=2018&author=M.A.%20Boden

4. Luger, G. F. (2009). *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving* (6th ed.). Pearson. 928 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Artificial%20intelligence%3A%20Structures%20and%20strategies%20for%20complex%20problem%20solving&publication_year=2009&author=G.F.%20Luger

5. Antonopoulos, A. M. (2017). *Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies* (2nd ed.). O'Reilly Media. 398 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Mastering%20bitcoin%3A%20Unlocking%20digital%20cryptocurrencies&publication_year=2017&author=A.M.%20Antonopoulos

6. Bohme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, Technology, and Governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213–238. DOI: <https://doi.org/10.1257/jep.29.2.213>

7. Yermack, D. (2015). Is Bitcoin a Real Currency? In *Handbook of Digital Currency* (pp. 31–44). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802117-0.00002-3>

8. Bouri, E., Vo, X. V., & Saeed, T. (2021). Return Equicorrelation in the Cryptocurrency Market: Analysis and Determinants. *Finance Research Letters*, 38, 101489. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612320300891/pdf?md5=8e93b8cc412c043ae162363ff197f78d&pid=1-s2.0-S1544612320300891-main.pdf>

9. Goodell, J. W., Kumar, S., Lim, W. M., & Pattnaik, D. (2021). Artificial Intelligence and Machine Learning in Finance: A Bibliometric Review. *Research in International Business and Finance*, 55, 101365. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214635021001210>

10. Li, X., Sigov, A., Ratkin, L., Ivanov, L. A., & Li, L. (2023). Artificial Intelligence in Finance: A Comprehensive Review. *Expert Systems with Applications*, 213, 119270. URL:

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Artificial%20intelligence%20applications%20in%20finance%3A%20A%20survey&publication_year=2023&author=X.%20Li&author=A.%20Sigov&author=L.%20Ratkin&author=L.A.%20Ivanov&author=L.%20Li

11. Zhang, Y., Loh, W. L., Shuen, A., & Wang, W. (2018). Robo-Advisors: Trends, Challenges, and Opportunities. *Journal of Financial Planning*, 31(11), 46–55. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612322002021>
12. Babaei, G., Giudici, P., & Raffinetti, E. (2022). Explainable AI for Cryptocurrency Asset Allocation. *Decision Support Systems*, 154, 113706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113706>
13. Guesmi, K., Saadi, S., Abid, I., & Ftiti, Z. (2019). Portfolio Diversification with Bitcoin. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 60, 72–93. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165176518300041>
14. Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Cryptocurrencies and Financial Assets: A Dynamic Relationship. *Algorithms*, 11(4), 428. DOI: <https://doi.org/10.3390/a15110428>
15. Amirzadeh, R., Nazari, A., & Thiruvady, D. (2022). AI in Cryptocurrency Markets: A Survey. *Expert Systems with Applications*, 198, 116813. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612318303350>
16. Cagli, E. C. (2019). Explosive Volatility in Cryptocurrency Prices. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 525, 510–519. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426609003343>
17. Baur, D. G., & McDermott, T. K. (2010). Is Gold a Safe Haven? *Journal of Banking & Finance*, 34(8), 1886–1898. URL: <https://doi.org/10.13109/9783666403699.toc>
18. Baron, J., O'Mahony, A., Manheim, D., & Dion-Schwarz, C. (2015). The Ethics of Virtual Currencies. *Business Ethics Quarterly*, 25(4), 525–550. DOI: <https://doi.org/10.1017/beq.2015.35>
19. Mustafa, F., Lodh, S., Nandy, M., & Kumar, V. (2022). Cryptocurrency and Sustainability: Challenges and Opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129893. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1472811719300138>
20. Goralski, M. A., & Tan, T. K. (2020). AI and Sustainable Development. *Sustainability*, 12(5), 2115. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12052115>

1. Alpaydin, E. (2020). *Introduction to Machine Learning* (4th ed.). MIT Press. 584 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Introduction%20to%20machine%20learning&publication_year=2020&author=E.%20Alpaydin

2. Russell, S., & Norvig, P. (2022). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson. 1136 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Artificial%20intelligence%3A%20A%20modern%20approach&publication_year=2022&author=S.%20Russell&author=P.%20Norvig

3. Boden, M. A. (2018). *AI: Its Nature and Future*. Oxford University Press. 168 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=AI%3A%20A%20very%20short%20introduction&publication_year=2018&author=M.A.%20Boden

4. Luger, G. F. (2009). *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving* (6th ed.). Pearson. 928 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Artificial%20intelligence%3A%20Structures%20and%20strategies%20for%20complex%20problem%20solving&publication_year=2009&author=G.F.%20Luger

5. Antonopoulos, A. M. (2017). *Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies* (2nd ed.). O'Reilly Media. 398 p. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Mastering%20bitcoin%3A%20Unlocking%20digital%20cryptocurrencies&publication_year=2017&author=A.M.%20Antonopoulos

6. Bohme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, Technology, and Governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213–238. DOI: <https://doi.org/10.1257/jep.29.2.213>

7. Yermack, D. (2015). Is Bitcoin a Real Currency? In *Handbook of Digital Currency* (pp. 31–44). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802117-0.00002-3>

8. Bouri, E., Vo, X. V., & Saeed, T. (2021). Return Equicorrelation in the Cryptocurrency Market: Analysis and Determinants. *Finance Research Letters*, 38, 101489. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612320300891/pdf?md5=8e93b8cc412c043ae162363ff197f78d&pid=1-s2.0-S1544612320300891-main.pdf>

9. Goodell, J. W., Kumar, S., Lim, W. M., & Pattnaik, D. (2021). Artificial Intelligence and Machine Learning in Finance: A Bibliometric Review. *Research in International Business and Finance*, 55, 101365. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214635021001210>
10. Li, X., Sigov, A., Ratkin, L., Ivanov, L. A., & Li, L. (2023). Artificial Intelligence in Finance: A Comprehensive Review. *Expert Systems with Applications*, 213, 119270. URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Artificial%20intelligence%20applications%20in%20finance%3A%20A%20survey&publication_year=2023&author=X.%20Li&author=A.%20Sigov&author=L.%20Ratkin&author=L.A.%20Ivanov&author=L.%20Li
11. Zhang, Y., Loh, W. L., Shuen, A., & Wang, W. (2018). Robo-Advisors: Trends, Challenges, and Opportunities. *Journal of Financial Planning*, 31(11), 46–55. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612322002021>
12. Babaei, G., Giudici, P., & Raffinetti, E. (2022). Explainable AI for Cryptocurrency Asset Allocation. *Decision Support Systems*, 154, 113706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113706>
13. Guesmi, K., Saadi, S., Abid, I., & Ftiti, Z. (2019). Portfolio Diversification with Bitcoin. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 60, 72–93. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165176518300041>
14. Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Cryptocurrencies and Financial Assets: A Dynamic Relationship. *Algorithms*, 11(4), 428. DOI: <https://doi.org/10.3390/a15110428>
15. Amirzadeh, R., Nazari, A., & Thiruvady, D. (2022). AI in Cryptocurrency Markets: A Survey. *Expert Systems with Applications*, 198, 116813. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612318303350>
16. Cagli, E. C. (2019). Explosive Volatility in Cryptocurrency Prices. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 525, 510–519. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426609003343>
17. Baur, D. G., & McDermott, T. K. (2010). Is Gold a Safe Haven? *Journal of Banking & Finance*, 34(8), 1886–1898. URL: <https://doi.org/10.13109/9783666403699.toc>
18. Baron, J., O'Mahony, A., Manheim, D., & Dion-Schwarz, C. (2015). The Ethics of Virtual Currencies. *Business Ethics Quarterly*, 25(4), 525–550. DOI: <https://doi.org/10.1017/beq.2015.35>
19. Mustafa, F., Lodh, S., Nandy, M., & Kumar, V. (2022). Cryptocurrency and Sustainability: Challenges and Opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129893. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1472811719300138>
20. Goralski, M. A., & Tan, T. K. (2020). AI and Sustainable Development. *Sustainability*, 12(5), 2115. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12052115>