

DOI: 10.55643/fcaptr.3.56.2024.4327

Олексій Доценко

аспірант, викладач, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна;
e-mail: dotsenko@karazin.ua
ORCID: [0000-0002-2028-1810](https://orcid.org/0000-0002-2028-1810)
(Corresponding author)

Ольга Глуценко

д.е.н., доцент, завідувачка кафедри фінансів, банківської справи та страхування, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна;
ORCID: [0000-0001-5856-3373](https://orcid.org/0000-0001-5856-3373)

Павло Проноза

д.е.н., професор, декан факультету фінансів і обліку, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків, Україна;
ORCID: [0000-0001-8130-4564](https://orcid.org/0000-0001-8130-4564)

Мар'яна Швайко

к.е.н., доцент кафедри фінансів, банківської справи та страхування, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна;
ORCID: [0000-0002-3911-0392](https://orcid.org/0000-0002-3911-0392)

Олександр Давидов

к.е.н., професор кафедри фінансів, банківської справи та страхування, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна;
ORCID: [0000-0003-0408-7097](https://orcid.org/0000-0003-0408-7097)

Received: 28/01/2024

Accepted: 27/05/2024

Published: 30/06/2024

© Copyright

2024 by the author(s)



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАТЕРНІВ ПОВЕДІНКИ ЦІН DeFi-АКТИВІВ У СКЛАДІ РИНКУ КРИПТОВАЛЮТ

АНОТАЦІЯ

Наукова робота присвячена дослідженню динамічних патернів поведінки цін DeFi-активів у складі ринку криптовалют. Сегмент DeFi демонструє безпрецедентний рівень зростання за останні 5 років свого існування. Унікальність інноваційного децентралізованого підходу до надання фінансових послуг в екосистемі дає можливість для надання нових високотехнологічних фінансових продуктів і послуг. Екосистема DeFi стає більш стабільною та має багато перспектив до розширення й удосконалення. Мета цього дослідження полягає у створенні кластерів патернів поведінки активів у сфері децентралізованого фінансування (DeFi) на криптовалютному ринку. Це охоплює визначення ключових інновацій, вивчення ринкових тенденцій динаміки активів, аналіз впливу DeFi на традиційні фінансові системи, а також оцінку можливих ризиків і викликів, пов'язаних із цим сегментом, який стрімко зростає. У дослідженні динамічні патерни цінової поведінки виявлено за допомогою методів ієрархічної кластеризації та карт Кохонена. Приділено увагу технологічним інноваціям, які формують ядро ефективної роботи DeFi-проектів, і функціональними аспектами екосистеми DeFi, таким, як: смартконтракти, ліквідні пули, стейблкоїни та демократичне управління. Виявлено, як екосистема DeFi впливає на фінансову систему, забезпечуючи простий доступ до класичних послуг; акцентовано увагу на загрозах шахрайства та крадіжок, особливо серед необізнаних користувачів. Наголошено на необхідності розроблення освітніх програм і досліджень для інструментів DeFi, удосконалення міжнародного правового регулювання, недосконалість якого в умовах сьогодення сповільнює розвиток DeFi. Дослідження виявило стійкі патерни ціноутворення DeFi-активів, що свідчить про їхню динамічність та відмінність від традиційних криптовалют. Отримані результати визначають DeFi-активи як стабільну криптовалютну екосистему, яку можна використовувати для вдосконалення й розробки нових DeFi-проектів, покращуючи функціональність екосистеми. Закономірності динаміки DeFi-активів можуть слугувати інструментом для управління та інвестування в умовах волатильного ринку.

Ключові слова: екосистема DeFi, смарт-контракти, сегментація ринку криптовалют, стейблкоїни, карти Кохонена, ієрархічна кластеризація, стійкі динамічні патерни цінової поведінки

JEL Класифікація: G11, G12, G15

ВСТУП

У сучасному світі фінансових інновацій екосистема децентралізованого фінансування DeFi є ключовим фактором, що формує ринок криптовалют. Від свого зародження DeFi демонструє неймовірне зростання, пропонуючи безпрецедентну прозорість, доступність та ефективність порівняно з традиційними фінансовими системами. Згідно з даними DeFi Pulse, загальна заблокована вартість (Total Value Locked, TVL) у DeFi досягла піку – 88 млрд дол. США у травні 2021 року, відображаючи значний інтерес інвесторів до цього нового сегмента. Подальше зростання TVL до 100 млрд дол. США у квітні 2023 року продовжує тренд щодо розвитку та масштабування цієї сфери (DeFi Pulse, 2023).

Розглянемо склад екосистеми DeFi. Екосистема DeFi пропонує ряд інноваційних фінансових інструментів і сервісів, включаючи децентралізовані біржі (DEX), платформи позик і заставних кредитів, стейкінг, автоматизовані маркет-мейкери (AMM) та інші фінансові інструменти, керовані смартконтрактами. Завдяки блокчейн-технологіям, DeFi відкриває нові горизонти для фінансової інклюзії користувачів фінансових послуг, зменшуючи залежність від традиційних банківських установ та інших фінансових посередників. Проте разом із зростанням популярності DeFi, збільшуються й ризики, пов'язані з безпекою, шахрайством і волатильністю ринку.

Однак структура ринку криптовалют, принципи процесів, що відбуваються в ньому, є недостатньо висвітленими в науковій літературі, що не дає змоги розробити заходи, які будуть спрямовані на захист від ризиків. Викладені вище факти привертають увагу наукової спільноти, актуалізуючи питання визначення структури ринку криптовалют і екосистеми DeFi.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Науковий інтерес до децентралізованого фінансування (DeFi) значно збільшився протягом останніх років, відображаючи зростання його впливу на ринок криптовалют. У своїх роботах Leshchenko та Savchuk (2021), а також Vishnevsky та Viter (2021) роблять акцент на ринковому огляді DeFi та інвестиційних можливостях, пропонуючи загальне уявлення про потенціал і ризики цієї сфери. Ці дослідження доповнюються аналізом Liashenko та Blagodur (2021) щодо юридичних аспектів і регуляторних викликів DeFi в Україні, які підкреслюють необхідність правового регулювання для забезпечення безпеки та стабільності в цій царині.

Роботи Novorun та Yurchenko (2021) розглядають переваги й недоліки DeFi, підкреслюючи його потенціал для України.

Voronin і Tolok (2020) досліджують емерджентність DeFi та його потенціал для українського ринку, вказуючи на шляхи інтеграції цієї технології в національну економіку.

У контексті глобального ринку дослідники Макаренко та Чернявська (2020) висвітлюють нові можливості, які DeFi пропонує для українського ринку, у той час як Prudius та Osetskiy (2020) вивчають роль DeFi в блокчейн-революції.

Kovalenko й Chubenko (2020) розглядають поточний стан і перспективи DeFi, оцінюючи його переваги та ризики. Ці дослідження важливі для розуміння ширшого контексту DeFi на світовому ринку.

Міжнародні дослідження від Aramonte, Huang і Schrimpf (2021), Chiu та Koeprl (2019, 2022) пропонують глибший аналіз DeFi через призму економічної теорії, блокчейн-технологій і фінансових інновацій. Ці роботи важливі для розуміння внеску DeFi в глобальні фінансові системи та його потенційного впливу на майбутні економічні тенденції.

Окрім згаданих авторів, важливий вклад у розуміння блокчейн-технологій і їх застосування у фінансах вносять Ghosh, Gubareva, Zulfqar, та Bossman (2023), які досліджують взаємозв'язок між NFT, DeFi та квотами на викиди вуглецю під час екстремальних подій. Також Povkh та Tymchenko (2020) аналізують DeFi як альтернативу традиційним фінансовим системам, підкреслюючи його переваги для інвестиційного управління та фінансових інновацій. Makarov та Schoar (2022), а також Prasad (2022) розглядають криптовалюту й DeFi, вказуючи на їхній вплив на економічну активність і можливості для розвитку цифрової економіки.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Мета цього дослідження – сформувати кластери патернів поведінки активів екосистеми децентралізованого фінансування (DeFi) на ринку криптовалют. Це включає окреслення ключових інновацій, ринкових тенденцій динаміки активів, впливу DeFi на традиційні фінансові системи, а також оцінку потенційних ризиків і викликів, пов'язаних із цією галуззю, що швидко зростає.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- провести огляд ключових новацій у DeFi за останні роки;
- здійснити кластерний аналіз патернів динаміки фінансових інструментів сектора DeFi;
- визначити вплив DeFi на традиційні фінансові системи.

Предметом дослідження є динамічні патерни та особливості екосистеми DeFi, зокрема цінові поведінкові моделі.

Об'єктом дослідження є глобальний ринок криптовалют із особливим акцентом на DeFi-проекти й платформи, роль у сучасній економічній системі, взаємодію з традиційними фінансовими інституціями та вплив на інші процеси розвитку ринку криптовалют.

МЕТОДИ

У рамках проведеного аналізу були застосовані й універсальні, і специфічні методи наукового дослідження, що забезпечили комплексний підхід до аналізу визначених цілей і завдань. З метою досягнення поставлених цілей застосовано діалектичний метод аналізу для детального вивчення предмета дослідження й логічного виведення на основі систематизації ключових концепцій та ідей. У дослідженні компонентів екосистеми децентралізованих фінансових інструментів використані техніки аналітики, синтезу й порівняльного аналізу. Динаміку цінних моделей вивчали за допомогою ієрархічної кластеризації та карт Кохонена. Графічний метод був застосований для візуалізації даних і схематичного представлення й теоретичних, і практичних знахідок дослідження. Систематичний і структурний аналіз дозволив теоретично узагальнити отримані дані та сформулювати висновки.

РЕЗУЛЬТАТИ

Стаття містить усебічний аналіз процесу становлення сегмента DeFi, виявлення стійких патернів цінової динаміки активів, а також впливу на ринок криптовалют і викликів, із якими стикається ця нова сфера. Ми розглянемо ключові інновації, патерни динаміки та зростання, а також потенційні ризики й виклики. Аналіз базується на огляді актуальних досліджень, статистичних даних і ринкових тенденцій, які дозволяють глибше зрозуміти динаміку DeFi та її перспективи в майбутньому.

Екосистема DeFi має безліч високотехнологічних елементів. Ми акцентуємо увагу лише на частині з них, що складають технологічне ядро функціонування системи. Доречно почати саме з технологічних аспектів екосистеми, які реалізують базові функції роботи й забезпечують її існування. Першими слід розглянути смартконтракти, які є основою для більшості DeFi-додатків. Вони автоматизують виконання угод і складних фінансових операцій, зменшуючи необхідність у централізованих посередниках (Vishnevsky V., & Viter V., 2021). Розвиток децентралізованих бірж – DEX (англ. Decentralized exchange) відіграє важливу роль у забезпеченні доступу до торгівлі активами з високим ступенем ліквідності та безпеки.

Важливою складовою в екосистемі DeFi є ліквідність, якої досягають через механізми пулінгу ліквідності, де користувачі вкладають свої активи в спільні пули. Ці механізми не тільки сприяють ліквідності, але й дозволяють користувачам отримувати дохід у вигляді торгових комісійних, що забезпечує додаткову привабливість інвестицій у DeFi (Liashenko V. & Blagodyr O., 2021).

Ще один технологічний аспект DeFi-екосистеми складають стейблкоїни. Вони відіграють значну роль у зменшенні ризику волатильності, який є особливо високим у криптовалютному секторі. Вони прив'язані до стабільних активів, як-от долар США й забезпечують стабільність і надійність у цифрових транзакціях (Novorun T. & Yurchenko V., 2021).

Наступним високотехнологічним елементом DeFi-екосистеми є децентралізовані автономні організації – DAO (англ. DAO — decentralized autonomous organization), що є значним нововведенням та забезпечує демократичне управління в DeFi-проектах. За допомогою токенів або інших засобів користувачі організації мають можливість безпосередньо впливати на розвиток проектів через прозорі механізми голосування, що сприяє більшій довірі та відповідальності.

Інтеграція страхування в DeFi, зокрема через платформу Nexus Mutual, сприяє підвищенню довіри та безпеки інвестицій, захищаючи користувачів від потенційних ризиків, пов'язаних зі смартконтрактами та іншими факторами.

Розглядаючи глобальний контекст, бачимо, що зростання DeFi спричинило розвиток фінансових технологій, зокрема через упровадження нових форм децентралізованого кредитування, автоматизованого управління активами та торгівлі за допомогою DEX. Ці новації відкривають нові можливості для фінансової інклюзії та демонструють потенціал для майбутніх інновацій (Leshchenko O. & Savchuk O., 2021).

Загалом, останні роки виявилися переломними для DeFi, засвідчуючи його значення як інноваційного та перетворювального елемента в сучасних фінансових системах.

Для комплексного огляду розглянутих вище інновацій ми створили інтерактивну схему (Рисунок 1). Ця схема дасть візуальне й абстрактне уявлення та агрегацію описаних даних. На ній виділено два основні блоки інновацій, що

реалізують функціональне забезпечення роботи екосистеми DeFi. Блок організаційних складових підсистем екосистеми DeFi складається з: DEX (англ. Decentralized exchange); DAO (англ. DAO — decentralized autonomous organization); децентралізованих послуг. Блок функціональних складових підсистем екосистеми DeFi складається з: стейблкоїнів; смартконтрактів; пулів ліквідності.

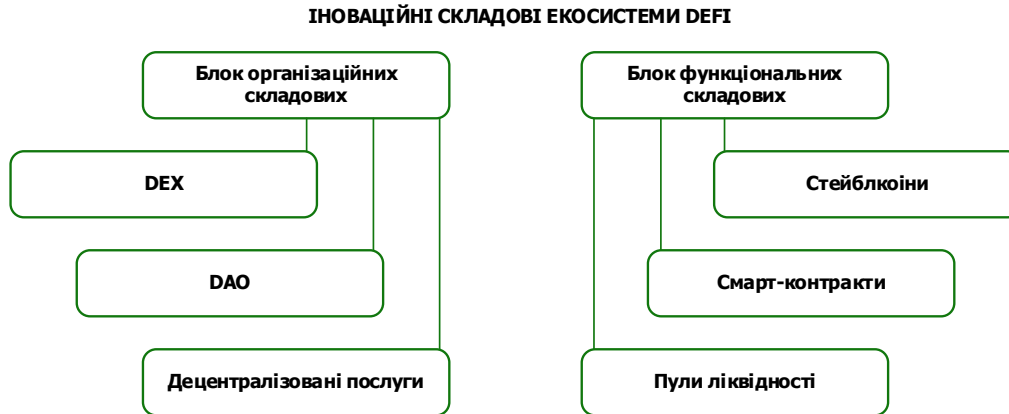


Рисунок 1. Візуалізація ключових інновацій і технологій функціонування DeFi. (Джерело: розроблено авторами на основі досліджень Leshchenko O. & Savchuk O. (2021), Vishnevsky V. & Viter V. (2021), Liashenko V. & Blagodyr O. (2021))

Однією з ключових переваг DeFi є низький поріг входу, що дозволяє широкому колові користувачів отримувати доступ до фінансових послуг. На відміну від традиційних банків, DeFi пропонує послуги без обмежень, пов'язаних із кредитною історією чи географічним положенням (Vishnevsky V. & Viter V., 2021). Це сприяє фінансовій інклюзії, особливо в регіонах із обмеженим доступом до традиційних банківських послуг.

З використанням смартконтрактів DeFi забезпечує високий рівень автоматизації та ефективності, що знижує вартість транзакцій і зменшує ризики, пов'язані з людським фактором (Liashenko V. & Blagodyr O., 2021). Смартконтракти не потребують довіри до третьої сторони, оскільки захищені криптографічним шифруванням і працюють автоматично. Таким чином, ця технологія призводить до зміни парадигми у фінансовому світі, де DeFi відкриває нові можливості для оптимізації фінансових процесів.

Однак розвиток DeFi ставить перед традиційними фінансовими системами низку викликів, особливо в царині державного правого регулювання та безпеки. Відсутність чітких регуляторних рамок може призводити до збільшення ризиків, включаючи фінансові злочини й шахрайство. Інтеграція DeFi-екосистеми з традиційною фінансовою інфраструктурою (державні та міжнародні фінанси) вимагає істотних змін і технологічних інновацій на вже сталому фінансовому ринку (Novorun T. & Yurchenko V. 2021).

DeFi сприяє залученню нових інвестицій і розвитку фінансових технологій, пропонуючи альтернативні підходи до кредитування, торгівлі та управління активами. Це стимулює традиційні фінансові установи до інновацій та адаптації до нових технологічних тенденцій. Наприклад, розвиток децентралізованих додатків кредитування, торгівлі за допомогою децентралізованих бірж і децентралізованого управління активами.

Загалом, DeFi представляє нову підсистему у фінансовому ринку, вносячи значні зміни в спосіб надання та отримання фінансових послуг. Ці зміни не лише створюють нові можливості для користувачів і інвесторів, але й вимагають від традиційних фінансових систем адаптації та інноваційного підходу.

Зважаючи на значне зростання популярності, інвестиційну привабливість і непрогнозовану ринкову поведінку DeFi-активів та суттєвий вплив на сучасні фінанси, слід обов'язково відзначити потенційні ризики та перспективи використання DeFi. Популярність DeFi зростає, але з цим зростанням приходять і нові виклики. Незважаючи на привабливі можливості, які пропонує DeFi, існують істотні ризики, які потребують уваги. До них ми відносимо:

- **безпеку та протидію злочинам.** Одним із найбільших ризиків для DeFi є питання безпеки. За даними CipherTrace, значна частина фінансових злочинів у криптовалютному секторі припадає на DeFi. Шахрайство, крадіжки та інші види фінансових злочинів становлять серйозну загрозу для цієї індустрії. Функціональна особливість транзакцій в DeFi – це безповоротність через відсутність третьої сторони. Тому користувачі повинні самостійно нести відповідальність за свої активи (Liashenko V. & Blagodyr O., 2021);

- **волатильність.** Висока волатильність криптовалют впливає на DeFi. Наприклад, різкі коливання в цінах на Ethereum можуть суттєво впливати на стабільність DeFi-продуктів і механізмів, таких як кредитування із заставою в криптовалюті. Необачні користувачі втрачають кошти через перевищення маржинальної заборгованості на біржах криптовалют під час різких коливань ринку. Поряд із можливостями це спричиняє необхідність використання стратегічного ризик-менеджменту (Vishnevsky V. & Viter V., 2021);
- **регуляторні виклики.** Регуляторні питання залишаються великою проблемою. Без чіткого регулювання, існує ризик правової невизначеності, що може ускладнити взаємодію DeFi з традиційними фінансовими системами та регуляторами. Державам і міжнародним правовим інституціям поступово вдається формувати ефективне правове поле, однак основна проблема полягає в контролі та моніторингові DeFi-ринку. Це у свою чергу буде провокувати конфлікт анонімності між користувачами та регуляторами, а також порушувати принципи автономної децентралізації (Hovorun T. & Yurchenko V., 2021);
- **доступність та освіту.** DeFi спрощує доступ до фінансових послуг, та існує високий ризик, пов'язаний із недостатньою обізнаністю користувачів. Без належної освіти та розуміння користувачі можуть зіткнутися з фінансовими втратами. Складність полягає в тому, що базові знання фінансової грамотності не є суттєвою складовою для підвищення рівня обізнаності у використанні децентралізованих фінансових інструментів. Втрати через необізнаність при роботі в екосистемі DeFi полягають саме у функціональних особливостях децентралізованих інструментів;
- **масштабування та управління проектами.** Зростання DeFi призводить до викликів у масштабуванні та управлінні проектами. Більшість платформ не готові обробляти велику кількість транзакцій, що може викликати технічні проблеми та знизити надійність систем. Звісно, існують механізми для збільшення пропускної спроможності транзакцій у мережах блокчейну, але такі процедури потребують попереднього консенсусу більшості користувачів мережі. DAO-проекти мають змогу автономної саморегуляції, але залишається безліч важливих DeFi-проектів в екосистемі, що не мають власного DAO для врегулювання подальшого розвитку та управління проектами децентралізовано;
- **ліквідність.** Проблеми з ліквідністю в DeFi можуть призвести до нестабільності ринку, особливо в періоди високої волатильності. Це створює комерційні ризики для інвесторів і користувачів, що можуть впливати на загальну стабільність фінансових ринків екосистеми DeFi. Але слід зважати на те, що для спекулятивної торгівлі волатильність являє собою потенційні прибутки, тому більшість користувачів погоджуються з ринком і продовжують користуватися фінансовими інструментами в цій екосистемі;
- **правові та етичні виклики.** DeFi стикається з правовими та етичними питаннями, включаючи захист прав споживачів, конфіденційність даних і запобігання відмиванню грошей. Це вимагає ретельного розгляду та розробки ефективних правових рамок. На сьогодні законодавство не може захищати інтереси користувачів, що користуються анонімними криптовалютами та закритими системами, оскільки ці процеси зашифровані та не підлягають моніторингові. Але деякі учасники ринку готові делегувати менеджмент своїх активів спеціальним фондам, що стають гарантами при захисті коштів користувачів.

Зростання DeFi-екосистеми відкриває нові перспективи розвитку у фінансовій індустрії, але разом із цим приходять виклики, які потребують уваги й розуміння. Це включає покращення механізмів безпеки, розробку чітких регуляторних рамок, інформування та освіти потенційних користувачів.

Одне з наукових завдань нашого дослідження полягає в переконанні існування стійких патернів динамічної поведінки та ціноутворення на активи сектора DeFi. Багато проектів DeFi реалізують основні функціональні аспекти екосистеми, такі як смартконтракти, стейблкоїни, DAO, забезпечення ліквідності. Тобто всі ті аспекти, що були до цього розглянуті в роботі, реалізовані окремими компаніями та проектами. Наприклад, протокол проекту Aave (назва котирування токена AAVE) забезпечує кредитування та надання ліквідності. Або протокол блокчейну Ethereum (назва котирування токена ETH) забезпечує функціонування значної кількості смартконтрактів на ринку, але характерним фактором екосистеми є стійкі взаємозв'язки та реакція на зміни складових системи. Кореляційний аналіз активів для підтвердження взаємозв'язку між активами DeFi може показати хибні результати, оскільки DeFi є складовою загального ринку криптовалют і підлягає впливу коливань біткоїну. Таким чином, кореляційний аналіз лише покаже значну кореляцію переважної кількості інших активів до біткоїну. Для реалізації нашого наукового завдання краще підійде кластерний аналіз щоденної динаміки активів криптовалютного ринку та сегмента DeFi, і при позитивному результаті ми отримаємо кластери, що включають значну кількість вибірки DeFi-активів.

Наукова гіпотеза полягає в існуванні динамічних патернів ціноутворення на фінансові інструменти сектора DeFi. Активи DeFi повинні мати схожі характеристики поведінки між собою та різні відносно інших криптовалют. Для того щоб перевірити гіпотезу, ми провели кластерний аналіз на основі даних відсоткового щоденного приросту різних

криптовалютних активів та активів DeFi включно. Усі дані є у відкритому доступі на інформаційному ресурсі Yahoo Finance. Усього було відібрано 115 активів, серед яких частка DeFi-активів становить 27 одиниць. У цьому дослідженні ми обмежили кількість факторів та варіації даних для оптимізації розрахункової моделі, але надалі аналіз будемо проводити й на інших параметрах і даних. Для підтвердження якості та вірогідності результатів ми використали два методи кластеризації за допомогою програмування в RStudio (версія: R-version 4.2.3 (Shortstop Beagle)). Як методи ми обрали ієрархічну кластеризацію та метод карти Кохонена.

Вибірка даних складається з рядів котирувань криптовалют станом на 05.11.2023, до неї було включено дані закриття ціни щодня впродовж 366 днів. Загалом було виявлено 116 криптовалют із рейтингу за капіталізацією та вибрано з переліку перші активи, що переважно мають найбільшу капіталізацію серед інших, зокрема 27 криптовалют включені до індексу DeFi (Таблиця 1).

Таблиця 1. Вигляд бази аналізу перших 5 активів. Примітка: зображено лише перші 5 активів із переліку бази вибірки через труднощі розміщення повної таблиці даних. (Джерело: розроблено авторами за матеріалами Yahoo Finance)

Назва	05.11.2023	04.11.2023	03.11.2023	02.11.2023	01.11.2023	31.10.2023
1INCH-USD	0,328411	0,315842	0,31081	0,308407	0,313141	0,292952
AAVE-USD	88,059914	90,14991	90,105553	91,946869	88,983017	81,446167
ADA-USD	0,342301	0,328542	0,329021	0,323142	0,307459	0,293107
ALGO-USD	0,118985	0,114809	0,111732	0,111305	0,11426	0,109366
ALPHA-USD	0,084449	0,084272	0,083677	0,080226	0,081013	0,07753

Ми визначили відсоткові відношення кожного дня до попереднього, щоб установити показники приросту активів на кожний наступний день. Таким чином база вибірки зменшилася на -1 колонку таблиці. Також ми замінили назви валют, що відносяться до сегмента DeFi, додатковою позначкою «DeFi» для зручності інтерпретації даних і візуалізації, тож база даних набула такого вигляду (Таблиця 2).

Таблиця 2. Часткове зображення бази аналізу перших 5 активів після приведення до форми щоденних приростів. Примітка: зображено лише перші 5 активів із переліку бази вибірки через труднощі розміщення повної таблиці даних. (Джерело: розроблено авторами за матеріалами Yahoo Finance)

Назва	05.11.2023	04.11.2023	03.11.2023	02.11.2023	01.11.2023	31.10.2023
DEFI-1INCH-USD	3,979521	1,618995528	0,779165194	-1,511779	6,891573	-1,519471
DEFI-AAVE-USD	-2,318356169	0,04922782062	-2,002587	3,330806	9,253781	-2,802529
ADA-USD	4,187897	-0,145583	1,819324	5,100843	4,896505	-3,180019
DEFI-ALGO-USD	3,637346	2,753911	0,383631	-2,586206897	4,474882505	-2,604839
DEFI-ALPHA-USD	0,210034	0,711068	4,301598	-0,971449	4,492454534	-4,31939

За допомогою коду в RStudio було побудовано дендрограму за методом ієрархічного кластерного аналізу (Рисунок 2).

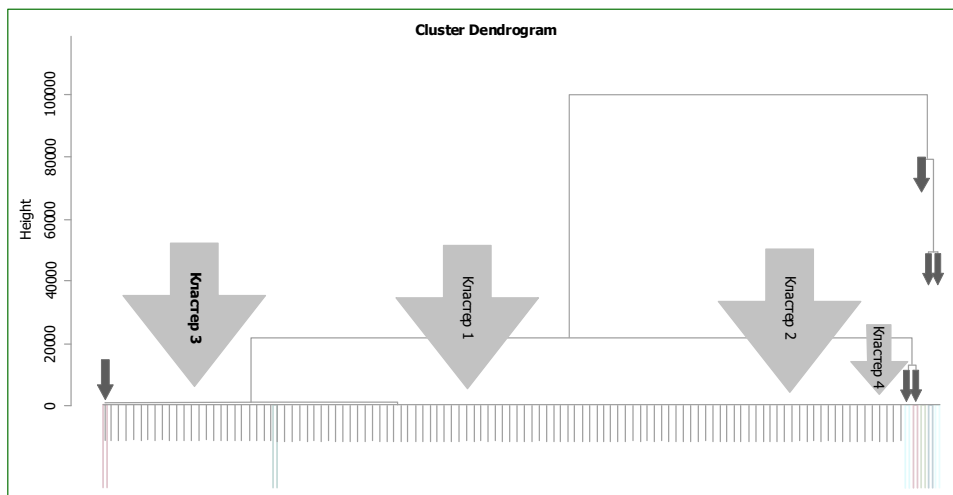


Рисунок 2. Візуальні результати кластерного аналізу за методом ієрархічної кластеризації. (Джерело: розроблено авторами за допомогою програмного забезпечення R Studio)

Було встановлено кластери динамічних патернів поведінки криптовалют:

- **Кластер 1:** DEFI-1INCH-USD, DEFI-AAVE-USD, ADA-USD, DEFI-ALGO-USD, DEFI-ALPHA-USD, APE18876-USD, AR-USD, ATOM-USD, AVAX-USD, AXS-USD, DEFI-BAKE-USD, BAT-USD, DEFI-BEL-USD, CHZ-USD, COMP5692-USD, DEFI-CRV-USD, DASH-USD, DOGE-USD, DOT-USD, EOS-USD, ETC-USD, FIL-US, FLOW-USD, FTM-USD, HBAR-USD, ICP-USD, DEFI-KAVA-USD, DEFI-KNC-USD, DEFI-LINK-USD, DEFI-LRC-USD, LTC-USD, MANA-USD, MATIC-USD, NEAR-USD, NEO-USD, QTUM-USD, ROSE-USD, DEFI-RSR-USD, DEFI-RUNE-USD, SAND-USD, SHIB-USD, SOL-USD, DEFI, SPELL-USD, THETA-USD, DEFI-UNI7083-USD, VET-USD, XEM-USD, XTZ-USD, DEFI-YFI-USD, ZEC-USD, ZIL-USD, DEFI-ZRX-USD;
- **Кластер 2:** APT21794-USD, DEFI-BAND-USD, BCH-USD, BSV-USD, DYDX-USD, DEFI-FLM-USD, FXS-USD, GALA-USD, GRT6719-USD, IMX10603-USD, INJ-USD, KAS-USD, LDO-USD, MINA-USD, DEFI-MKR-USD, OP-USD, POLY-USD, DEFI-REN-USD, RNDR-USD, RPL-USD, DEFI-SFP-USD, DEFI-SNX-USD, STX4847-USD, DEFI-SXP-USD, DEFI-TRB-USD, TWT-USD, DEFI-UNFI-USD, XEC-USD, XLM-USD, XRD-USD, XRP-USD;
- **Кластер 3:** DEFI-BAL-USD, BGB-USD, BNB-USD, BTC-USD, CAKE-USD, CRO-USD, EGLD-USD, ETH-USD, FRAX-USD, GT-USD, HT-USD, KCS-USD, KLAY-USD, LEO-USD, OKB-USD, PAXG-USD, QNT-USD, TON11419-USD, TRX-USD, WTRX-USD, XAUT-USD, XDC-USD, XMR-USD;
- **Кластер 4:** BTTOLD-USD;
- **Кластер 5:** BXC5168-USD;
- **Кластер 6:** CFX-USD, FTT-USD, HEX-USD, WEMIX-USD;
- **Кластер 7:** RLB-USD;
- **Кластер 8:** TNC5524-USD;
- **Кластер 9:** TREX-USD;
- **Кластер 10:** UIP-USD.

Згідно з даними результату ієрархічної кластеризації динаміки криптовалют можемо зробити висновки за кластерами:

- **Кластер 1** зібрав значну кількість DeFi-орієнтованих валют та інших популярних криптовалют, які мають тенденцію щодо спільної динаміки. Це може свідчити про те, що ці криптовалюти реагують на загальні ринкові події та потрапляють під дію тих самих ризиків і можливостей у контексті ринкових коливань. Загалом до кластера потрапило 18 криптовалют DeFi, що сягає 66% від загальної кількості активів з індексу DeFi. У розрізі конкретно цього кластера їх частка сягає 37,5%, що також суттєво вказує на подібні поведінкові патерни.
- **Кластер 2** містить криптовалюти, які, можливо, менш пов'язані з DeFi, але можуть мати інші спільні риси, такі як реакція на регуляторні новини або вплив на інновації в блокчейн-технологіях. До цього кластера потрапило лише 8 криптовалют із DeFi-сегмента, що може вказувати на часткову схожість поведінки низки активів.
- **Кластер 3** включає декілька найбільших за ринковою капіталізацією валют, у тому числі Bitcoin і Ethereum. Це може свідчити про те, що вони мають більш стабільні інвестиційні профілі та можуть відігравати роль «безпечних гаваней» або показників загального стану криптовалютного ринку. До цього кластера потрапила лише одна криптовалюта сегмента DeFi.
- **Кластери 4-10** містять значно менше валют, а деякі навіть ізольовані в одиничних кластерах. Це може вказувати на унікальність їхніх ринкових характеристик або більшу волатильність, порівняно з іншими криптовалютами.

Далі ми перевірили схожість динамічних патернів поведінки активів DeFi за допомогою методу кластеризації Карт Кохонена. Для цього використано аналогічну базу та створено матрицю нейронів 4 на 4, тобто 16 нейронів. Було виконано 10000 ітерацій навчання нейронної мережі. Графічний результат має такий вигляд (Рисунок 3).

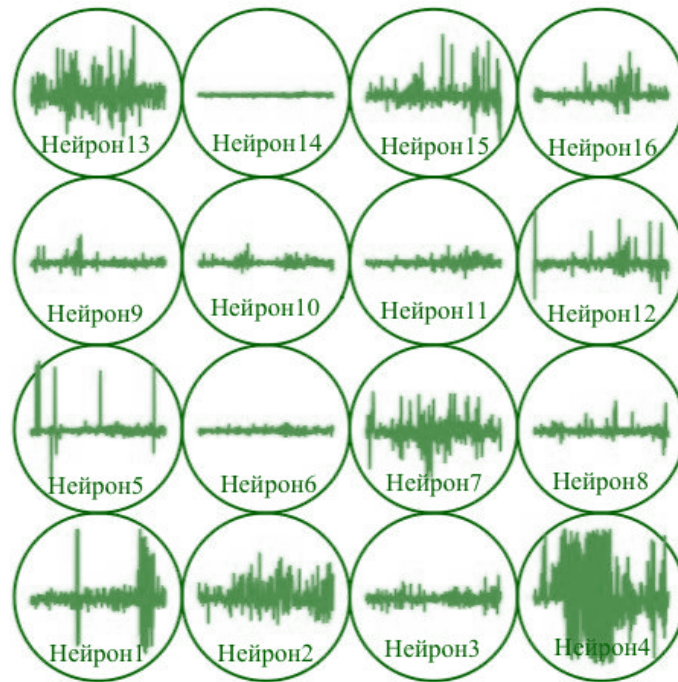


Рисунок 3. Візуальні результати кластерного аналізу за методом Карт Кохонена (у вигляді нейронів). (Джерело: розроблено автором за допомогою програмного забезпечення R Studio)

Проаналізуємо місткість нейронів, отриманих за допомогою аналізу. Отримано такі результати:

- нейрон 1: SOL-USD;
- нейрон 2: UIP-USD;
- нейрон 3: XEC-USD;
- нейрон 4: ICP-USD;
- нейрон 5: DEFI-1INCH-USD, DEFI-AAVE-USD, ADA-USD, DEFI-ALGO-USD, DEFI-ALPHA-USD, APE18876-USD, APT21794-USD, AR-USD, ATOM-USD, AVAX-USD, AXS-USD, DEFI-BAKE-USD, DEFI-BAL-USD, DEFI-BAND-USD, BAT-USD, DEFI-BEL-USD, CFX-USD, CHZ-USD, CRO-USD, DEFI-CRV-USD, DASH-USD, DOGE-USD, DOT-USD, DYDX-USD, EGLD-USD, ETC-USD, ETH-USD, FIL-USD, FLOW-USD, FTT-USD, GALA-USD, HBAR-USD, HEX-USD, HT-USD, IMX10603-USD, KAS-USD, DEFI-KAVA-USD, KCS-USD, DEFI-KNC-USD, LDO-USD, LEO-USD, DEFI-LINK-USD, DEFI-LRC-USD, LTC-USD, MANA-USD, MATIC-USD, MINA-USD, NEAR-USD, PAXG-USD, POLY-USD, QTUM-USD, DEFI-REN-USD, RLB-USD, RNDR-USD, ROSE-USD, RPL-USD, SAND-USD, DEFI-SFP-USD, SHIB-USD, DEFI-SNX-USD, DEFI-SPELL-USD, TRX-USD, TWT-USD, WEMIX-USD, WTRX-USD, XLM-USD, XMR-USD, XRD-USD, XRP-USD, XTZ-USD;
- нейрон 6: DEFI-RSR-USD, TON11419-USD;
- нейрон 7: BTTOLD-USD;
- нейрон 8: BCH-USD, BGB-USD, BNB-USD, BSV-USD, BTC-USD, BXC5168-USD, DEFI-COMP5692-USD, EOS-USD, DEFI-FLM-USD, FXS-USD, GT-USD, INJ-USD, KLAY-USD, DEFI-MKR-USD, NEO-USD, OKB-USD, OP-USD, DEFI-RUNE-USD, DEFI-SXP-USD, TNC5524-USD, DEFI-UNFI-USD, DEFI-UNI7083-USD, VET-USD, XAUT-USD, XDC-USD, XEM-USD;
- нейрон 9: THETA-USD, TREX-USD;
- нейрон 10: GRT6719-USD;
- нейрон 11: FTM-USD;
- нейрон 12: STX4847-USD;
- нейрон 13: FRAX-USD;
- нейрон 14: CAKE-USD;
- нейрон 15: QNT-USD;

- **нейрон 16:** DEFI-TRB-USD.

Відповідно до отриманих нейронів можемо дійти певних висновків.

Ізольовані нейрони (1-4, 6-7, 9-16). Кожна з цих криптовалют була виділена в окремий нейрон, що може вказувати на унікальні ринкові характеристики або особливу поведінку цієї валюти. Можливо, вони мають непропорційно великі коливання або ж реагують на специфічні ринкові події, не пов'язані з іншими активами.

Нейрон 5. Цей нейрон об'єднав велику кількість різноманітних криптовалют, що може свідчити про загальну схожість у їхніх денних коливаннях. Це може бути пов'язано зі схожими реакціями на глобальні події, спільними трендами в блокчейн-індустрії або подібними інвестиційними патернами серед трейдерів. Також слід відзначити, що до нього потрапило 17 DeFi активів, що сягає близько 64% від загального переліку активів з індексу.

Нейрон 8. Включає відомі валюти, такі як Bitcoin і Ethereum, а також інші значні валюти. Цей кластер може відображати більш зрілі або високоліквідні криптовалюти, які можуть мати меншу волатильність порівняно з іншими.

Застосування методів ієрархічної кластеризації та карт Кохонена дало змогу підтвердити гіпотезу про патернову поведінку активів в екосистемі DeFi. Нейрони та кластери показують близьку схожість динамічної поведінки коливань цін активів групи DeFi. Через два різні методи кластеризації ми отримали майже однакові показники, що може слугувати додатковим підтвердженням наукової вірогідності отриманих результатів. Економічний зміст цих результатів полягає в підтвердженні статусу «екосистеми» для низки активів групи DeFi, оскільки виявлено, що їхні функціональна, організаційна та поведінкова складові мають сталі риси. Також важливим та економічно значимим фактором підтвердження створення окремої екосистеми на ринку криптовалют стає відокремлення за динамічною поведінкою групи активів DeFi від Bitcoin і Ethereum, оскільки переважна кількість попередніх досліджень показувала результати в сторону підтвердження взаємозв'язку між усіма криптовалютами через призму кореляційного аналізу цін відносно Bitcoin і Ethereum, а не за кластерами динаміки приросту, як ми проводили дослідження в цій роботі.

ДИСКУСІЯ

Існує значна кількість напрацювань стосовно сегментації ринку криптовалют, які мають на меті визначити найбільш інвестиційно привабливі кластери. Зокрема вагомими є роботи таких учених, як Ha S., Moon BR, Marti G., Nielsen F., Wińkowski M., Donnat P. Наша авторська позиція полягає у виокремленні екосистеми DeFi як найбільш інноваційного сектора ринку криптовалют, який буде набувати впливовості та з часом генеруватиме тренди на ринку. У нашому дослідженні набула подальшого розвитку сегментація ринку криптовалют шляхом застосування методів ієрархічної кластеризації та карт Кохонена із застосуванням денних приростів, що дало змогу ґрунтовно довести існування DeFi як окремої екосистеми ринку.

Дослідження проведене з усвідомленням обмежень про існування динамічних патернів ціноутворення на фінансові інструменти сектора DeFi, що відрізняє його від попередніх наукових напрацювань. Щоденний відсотковий приріст криптовалют є беззаперечним індикатором зацікавлення інвесторів, активності ринку та зміни ціноутворення в часі, що дає змогу об'єктивно визначати часові зміни в ціноутворенні різних груп криптовалют і виокремити екосистему DeFi як окрему його складову.

З одного боку, DeFi сприяє ліквідності на ринку криптовалют, надаючи інвесторам нові можливості заробітку та диверсифікації, що може збільшити вартість активів і привабити нових учасників. Це також вносить інновації у фінансовий сектор, знижуючи вартість транзакцій через відсутність посередників.

Але з іншого боку, стрімке зростання DeFi може збільшити волатильність через спекуляції та високий ризик, а також через випадки зламування DeFi-платформ, що підриває довіру до цього сектора.

ВИСНОВКИ

Розв'язано важливу науково-практичну проблему: удосконалення розуміння структури екосистеми DeFi в складі ринку криптовалют шляхом визначення кластерів поведінки активів DeFi, що ґрунтується на їх емпіричній оцінці.

Значення проведених досліджень полягає в тому, що екосистема DeFi є осередком інноваційного розвитку ринку криптовалют, що активно впливає на традиційні фінансові продукти й послуги. Відповідно, покращення розуміння

структури екосистеми DeFi зробить процеси, що відбуваються в ній, прогнозованими. У свою чергу, це дасть змогу передбачити ризикові явища, уникнути їх, а в разі неможливості – суттєво пом'якшити негативні прояви.

У статті розглянуто технологічні інновації й актуалізовано функціональні особливості роботи в екосистемі DeFi, серед яких: смартконтракти як основа автоматизації фінансових процесів в екосистемі DeFi; пули ліквідності, що сприяють ліквідності активів і надають додаткові можливості отримання доходу; стейблкоїни, що забезпечують надійність транзакцій і знижують волатильність при зберіганні активів; демократичне управління DeFi-проектів через системи DAO. Ці та інші інновації, що складають технологічне ядро функціонування екосистеми, дають можливість існування та ефективного використання DeFi-проектів.

Екосистема DeFi суттєво впливає на розвиток сучасної фінансової системи, відкриває нові та спрощує доступ до класичних фінансових послуг. Поряд із якісно позитивними факторами впливу встановлено, що екосистема DeFi має значні загрози шахрайства та крадіжок активів, переважно це стосується випадків необізнаності користувачів. Також декілька років залишається нерозв'язаним питанням міжнародне правове регулювання, що перешкоджає подальшому стрімкому розвитку DeFi-екосистеми. Але, незважаючи на тимчасові труднощі, проекти DeFi планомірно розвиваються на фоні зростання й адаптації криптовалют у складі фінансового ринку.

У ході дослідження було проведено кластерний аналіз за методами ієрархічної кластеризації та карт Кохонена з метою виявлення й аналізу стійких патернів динамічної цінової поведінки DeFi-активів у системі ринку криптовалют. За результатами ієрархічної кластеризації було виявлено кластер, що містив 66% DeFi-активів із загальної кількості, що доводить наявність стійких патернів цінової поведінки. Також до цього кластера не потрапили «старі» криптовалюти, зокрема проекти, позначені котируваннями одних із перших криповалют – BTC та ETH, що також підкреслює унітарність кластера та виділення нових проектів, зокрема DeFi. Щоб переконатися у вірогідності отриманих даних, було проведено також кластерний аналіз за методом карт Кохонена та отримано як результат виділення кластера за схожими патернами поведінки криптоактивів, серед яких частка DeFi сягає 64%. За цим методом до кластера (нейрона) потрапило більше криптовалют, ніж за використання іншого методу ієрархічної кластеризації, але частка DeFi-проектів залишається значною, що показує стійкість динамічних патернів ціноутворення. На основі отриманих даних можна стверджувати, що DeFi-екосистема справді має стійкі динамічні патерни ціноутворення на активі сегмента DeFi.

Отримані результати дослідження мають суттєве значення у встановленні сегмента DeFi як стійкої екосистеми на ринку криптовалют. Результати можна використати для розробки нових та вдосконалення вже існуючих DeFi-проектів для поліпшення роботи функціональних одиниць екосистеми, які забезпечують її роботу. Виявлені закономірності динамічних патернів активів сегмента DeFi можуть стати інструментом інвестування в активи та управління ними на волатильному криптовалютному ринку. Отримані під час аналізу дані актуалізують потребу в подальшому розвитку нормативно-правових актів, освітніх програм із навчання інструментів DeFi та подальших досліджень за цією темою.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ВНЕСОК АВТОРІВ

Розробка концепції: Доценко О., Глущенко О.

Супровід даних: Доценко О.

Формальний аналіз: Доценко О.

Методологія: Доценко О.

Програмне забезпечення: Доценко О.

Джерела: Доценко О.

Контроль: Глущенко О.

Перевірка: Глущенко О.

Дослідження: Доценко О.

Візуалізація: Доценко О.

Управління проектом: Глущенко О.

Залучення фінансування: Проноза П., Швайко М., Давидов О.

Написання – рецензування та редагування: Глущенко О.

Написання - оригінальний рукопис: Доценко О.

ФІНАНСУВАННЯ

Автор(и) не отримував(-ли) фінансування для цього рукопису.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автор(и) заявляє(-ють) про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

1. Aramonte, S., Huang, W., & Schrimpf, A. (2021). DeFi Risks and the Decentralisation Illusion. *Bank for International Settlements (BIS) Quarterly Review*, 21–36. https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt2112b.pdf
2. Catalini, C. (2018). Blockchain Technology and Cryptocurrencies: Implications for the Digital Economy, Cybersecurity, and Government. *Georgetown Journal of International Affairs*, 19, 36–42. <http://www.jstor.org/stable/26567525>
3. Chiu, J., & Koepl, T. V. (2019). Blockchain-Based Settlement for Asset Trading. *The Review of Financial Studies*, 32(5), 1716–1753. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhy122>
4. Chiu, J., Kahn, C. M., & Koepl, T. V. (2022). Grasping Decentralized Finance through the Lens of Economic Theory. *Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'économique*, 55(4), 1702–1728. <https://doi.org/10.5683/SP3/DIXFK9>
5. Chiu, J., Koepl, T. V., Yu, H., & Zhang, S. (2023). Understanding DeFi through the Lens of a Production-Network Model. Bank of Canada. Staff Working Paper 2023-42. <https://doi.org/10.34989/swp-2023-42>
6. Chu, D. (2018). Broker-dealers for virtual currency: regulating cryptocurrency wallets and exchanges. *Columbia Law Review*, 118(8), 2323–2360. <https://www.jstor.org/stable/26542511>
7. Ghosh, B., Gubareva, M., Zulfiqar, N., & Bossman, A. (2023). Is there a nexus between NFT, DeFi and carbon allowances during extreme events? *China Finance Review International*. https://www.researchgate.net/publication/375723167_Is_there_a_nexus_between_NFT_DeFi_and_carbon_allowances_during_extreme_events
8. Ha, S., & Moon, B.R. (2018). Finding attractive technical patterns in cryptocurrency markets. *Memetic Comp*, 10, 301–306. <https://doi.org/10.1007/s12293-018-0252-y>
9. Hassani, H., Huang, X., & Silva, E. (2018). Big-Crypto: Big Data, Blockchain and Cryptocurrency. *Big Data and Cognitive Computing*, 2(4), 34. <https://doi.org/10.3390/bdcc2040034>
10. Hovorun, T., & Yurchenko, V. (2021). Decentralized Finance: Advantages and Disadvantages for Ukraine. *Economic Science for Rural Development Proceedings*, 59, 98–105. <https://doi.org/10.15407/esrd2021.59.98>
11. Kovalenko, I., & Chubenko, A. (2020). Decentralized Finance: Prospects and Risks. *Journal of Innovative Technology and Education*, 7(1), 35–43. <https://doi.org/10.18481/SQCEC.2020.1.35-43>
12. Laabs, Martin and Đukanović, Siniša. (2018). "Blockchain in Industrie 4.0: Beyond cryptocurrency". *Information Technology*, 6(3). 143–153. <https://doi.org/10.1515/itit-2018-0011>
13. Leshchenko, O., & Savchuk, O. (2021). DeFi in Ukraine: market overview, regulation and prospects for development. *CEUR Workshop Proceedings*, 2833, 104–113. <https://doi.org/10.18653/v1/iwss21a19>
14. Liashenko, V., & Blagodyr, O. (2021). Decentralized Finance in Ukraine: Legal Aspects and Regulatory Challenges. *Journal of Legal, Ethical and Regulatory Issues*, 24(1), 1–10. <https://doi.org/10.3384/lerji.2021.24.1.01>
15. Makarenko, I., & Cherniavska, O. (2020). Decentralized Finance: new opportunities for the Ukrainian market. *Economics and forecasting*, 2, 41–54. <https://doi.org/10.30575/2415-0528.2020.08018>
16. Makarov, I., & Schoar, A. (2022). Cryptocurrencies and Decentralized Finance (DeFi). *Brookings Papers on Economic Activity*, Spring, 141–196. <https://doi.org/10.3386/w29478>
17. Marti, G., Nielsen, F., Bińkowski, M., & Donnat, P. (2021). A Review of Two Decades of Correlations, Hierarchies, Networks and Clustering in Financial Markets. *Progress in Information Geometry. Signals and Communication Technology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65459-7_10
18. Phillips, R.C., & Gorse, D. (2018) Cryptocurrency price drivers: Wavelet coherence analysis revisited. *PLoS ONE*, 13(4), e0195200. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195200>
19. Povkh, S., & Tymchenko, I. (2020). Decentralized Finance as an Alternative to Traditional Financial Systems. *Investment Management and Financial Innovations*, 17(4), 116–128. <https://doi.org/10.30665/imfi.2020.17.4.011>
20. Prasad, Eswar. (2022). Comment on 'Cryptocurrencies and Decentralized Finance (DeFi)'. *Brookings Papers on Economic Activity*, Spring, 206–212. <https://doi.org/10.3386/w29509>
21. Prudius, V., & Osetskyi, V. (2020). Decentralized Finance and the Blockchain Revolution. *Business Inform*, 4, 166–173. <https://doi.org/10.30477/ebiz.2020.04.016>
22. Vishnevsky, V., & Viter, V. (2021). Decentralized Finance: Market Overview and Investment Opportunities. *Journal of*

Finance and Economics, 9(3), 113-121.
<https://doi.org/10.31224/ife.2021.9.3.113>

23. Voronin, D., & Tolok, S. (2020). The emergence of DeFi and its potential for Ukraine. *Financial Space*, 6(3), 14-20.
<https://doi.org/10.36096/2307-2520-2020-6-3-14>

Oleksii Dotsenko, Olha Hlushchenko, Pavlo Pronoza, Mariana Shvaiko, Oleksandr Davydov

DYNAMIC DEFI ASSETS PRICING PATTERNS FORMATION IN THE CRYPTOCURRENCY MARKET

The scientific work is devoted to the study of dynamic behavior patterns of the prices of DeFi assets as part of the cryptocurrency market. The DeFi segment has shown an unprecedented level of growth over the past 5 years of its existence. The uniqueness of the innovative decentralized approach to the provision of financial services in the ecosystem provides opportunities to provide new high-tech financial products and services. The DeFi ecosystem is becoming stable and has many prospects for expansion and improvement. All these factors determine the relevance of this work and research on this topic. The purpose of this research is to create clusters of asset behavior patterns in the field of decentralized finance (DeFi) on the cryptocurrency market. This includes identifying key innovations, examining market trends in asset dynamics, analyzing the impact of DeFi on traditional financial systems, and assessing possible risks and challenges associated with this rapidly growing segment. During the research, various general scientific and special methods of scientific knowledge were used for a comprehensive approach to solving tasks and achieving the goal. Dynamic patterns of price behavior are revealed using methods of hierarchical clustering and Kohonen maps. The article discusses the technological innovations and functional aspects of the DeFi ecosystem, such as smart contracts, liquid pools, stablecoins, and democratic governance. These innovations form the core of the effective operation of DeFi projects. Aspects of how the DeFi ecosystem affects the financial system have been identified, providing easy access to classic services, but there are threats of fraud and theft, especially among uninformed users. The question of international legal regulation remains open, slowing down the development of DeFi. The study found consistent pricing patterns of DeFi assets, which demonstrates their dynamic patterns and differences from traditional cryptocurrencies. The obtained research results define DeFi as a stable cryptocurrency ecosystem. They can be used to improve and develop new DeFi projects, improving the functionality of the ecosystem. The regularities of the dynamics of DeFi assets can serve as a tool for managing and investing in a volatile market. The findings also point to the need for further development of the regulatory environment, educational programs and research for DeFi tools.

Keywords: DeFi ecosystem, smart contracts, cryptocurrency market segmentation, stablecoins, Kohonen maps, hierarchical clustering, stable dynamic patterns of price behavior

JEL Classification: G11, G12, G15