

АЛГОРИТМ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИПТОВАЛЮТНИХ АКТИВІВ

©2023 ЧЕРНОВА Н. Л., СЕРГІЄНКО О. А., ВОЛКОДАВ В. Ю.

УДК 336.7,330.4
JEL Classification: G1; C38

Чернова Н. Л., Сергієнко О. А., Волкодав В. Ю.

Алгоритм порівняльного аналізу просторово-часових характеристик криптовалютних активів

Для сучасного етапу розвитку криптовалютного ринку характерними є низка структурних властивостей та трансформацій, що спричиняють підвищений інтерес до криптовалюти як засобу розрахунків. Зазначений варіант здійснення платежів дозволяє прискорити швидкість операцій з переказу коштів, потребує суттєво нижчих комісійних винагород, не прив'язаний до часових інтервалів, ефективно вирішує проблему розрахунків з закордонними партнерами у будь-яких валютах і долає інфляційний ризик. Наявність вказаних переваг обумовлює актуальність вивчення криптовалютного ринку з метою визначення перспектив удосконалення сучасної практики безготівкових електронних платежів в Україні, що, своєю чергою, сприятиме підвищенню рівня конкурентоспроможності вітчизняних підприємств. Метою роботи є побудова та практична реалізація алгоритму порівняльного аналізу просторово-часових характеристик криптовалютних активів, застосування якого дозволить здійснювати обґрунтований вибір криптовалюти як безготівкового засобу розрахунків. Зазначений алгоритм містить такі основні кроки: аналіз сучасного стану та основних тенденцій розвитку криптовалютного ринку; визначення множини базових характеристик, за допомогою яких можливо здійснити опис криптовалюти як об'єкта у багатовимірному статистичному просторі; класифікація криптовалютних активів; розробка рекомендацій щодо остаточного вибору криптовалюти як засобу безготівкових розрахунків. Порівняльний аналіз криптовалют здійснюється за показниками ризику, доходності та ринкової капіталізації. Класифікація та упорядкування об'єктів у багатовимірному просторі ознак здійснено за допомогою алгоритмів кластерного аналізу. Попередньо проаналізовано структуру системи об'єктів-криптовалют у багатовимірному просторі за допомогою агрегативних методів, далі прийнято обґрунтоване рішення щодо оптимальної кількості кластерів та застосований ітеративний алгоритм кластеризації. Отримано розбиття об'єктів-криптовалют за чотири послідовних періоди, досліджено стабільність складу та структури отриманих груп у динаміці. В результаті виявлено групи, чії характеристики є прийнятними з точки зору кінцевої мети дослідження. В рамках зазначених груп визначено криптовалюти, що можуть бути використані для здійснення безготівкових розрахунків.

Ключові слова: криптовалюта, ризик, доходність, ринкова капіталізація, багатовимірний простір, міра відстані, кластер, засіб розрахунків.

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-4-226-233>

Рис.: 4. **Табл.:** 3. **Бібл.:** 12.

Чернова Наталя Леонідівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії та інтелектуальних технологій управління, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна)

E-mail: natacherchum@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0073-8457>

Сергієнко Олена Андріанівна – доктор економічних наук, професор, професор кафедри підприємництва, торгівлі і логістики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна)

E-mail: Elena.Sergienko@khpi.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-9218>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/O-3966-2015>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57219245125>

Волкодав Владислав Юрійович – аспірант кафедри підприємництва, торгівлі і логістики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна)

E-mail: Vladyslav.Volkodav@emmb.khpi.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3305-7516>

UDC 336.7,330.4
JEL Classification: G1; C38

Chernova N. L., Serhienko O. A., Volkodav V. Y. The Algorithm for Comparative Analysis of Spatio-Temporal Characteristics of Cryptocurrency Assets

The current stage of development of the cryptocurrency market is characterized by a number of structural properties and transformations that cause increased interest in cryptocurrency as a means of payment. This payment option allows you to speed up the money transfer operations, requires significantly lower commissions, is not tied to time intervals, effectively solves the problem of settlements with foreign partners in any currencies, and overcomes inflationary risk. The presence of these advantages determines the relevance of studying the cryptocurrency market in order to determine the prospects for improving the modern

practice of non-cash electronic payments in Ukraine, which, in turn, will contribute to increasing the level of competitiveness of domestic enterprises. The aim of the publication is to build and implement an algorithm for comparative analysis of the spatio-temporal characteristics of cryptocurrency assets, the use of which will allow to make a reasonable choice of cryptocurrency as a non-cash means of payment. This algorithm contains the following main steps: analysis of the current state and main trends in the development of the cryptocurrency market; determination of a set of basic characteristics with the help of which it is possible to describe cryptocurrency as an object in a multidimensional statistical space; classification of cryptocurrency assets; development of recommendations for the final choice of cryptocurrency as a means of non-cash payments. A comparative analysis of cryptocurrencies is carried out by indicators of risk, profitability, and market capitalization. Classification and ordering of objects in the multidimensional feature space are carried out using cluster analysis algorithms. The structure of the system of cryptocurrency objects in multidimensional space is preliminarily analyzed using agglomerative methods, then a reasonable decision is made on the optimal number of clusters and an iterative clustering algorithm is applied. A division of cryptocurrency objects into four consecutive periods has been obtained, the stability of the composition and structure of the resulting groups in dynamics has been studied. As a result, groups whose characteristics are acceptable from the point of view of the ultimate goal of the study are identified. Within these groups, the cryptocurrencies that can be used for non-cash payments have been identified.

Keywords: cryptocurrency, risk, profitability, market capitalization, multidimensional space, measure of distance, cluster, means of payment.

Fig.: 4. **Tabl.:** 3. **Bibl.:** 12.

Chernova Natalia L. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Software Engineering and Intelligent Control Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (2 Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)

E-mail: natacherchum@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0073-8457>

Serhiienko Olena A. – Doctor of Sciences (Economics), Professor, Professor of the Department of Entrepreneurship, Trade and Logistics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (2 Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)

E-mail: Elena.Sergienko@khp.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-9218>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/O-3966-2015>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57219245125>

Volkodav Vladyslav Yu. – Postgraduate Student of the Department of Entrepreneurship, Trade and Logistics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (2 Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)

E-mail: Vladyslav.Volkodav@emmb.khpi.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3305-7516>

Вступ. Історія криптовалютного ринку починається у 2009 році з появою першої криптовалюти Bitcoin. Станом на кінець 2023 р. було зафіксовано вже понад 8 тисяч різноманітних криптовалют. Безперечним лідером за рівнем капіталізації серед них залишається Bitcoin, чия частка становить приблизно 50 % загального ринку. Також у першу п'ятірку входять Ethereum (18 %), Tether (6 %), BNB (2,7 %), XRP (2,5 %). Відносні частки усіх інших учасників ринку не перевищують величину 2 %. Загальна капіталізація криптовалютного ринку на кінець 2023 р. в абсолютних величинах становила понад 1,5 трин. дол. США та продовжує зростати [1; 2].

Якщо здійснювати порівняння за рівнем капіталізації серед окремих секторів світового ринку, криптовалютний ринок безумовно програє в абсолютних величинах. Але ряд властивостей криптовалюти роблять її привабливою не тільки як інвестиційний актив, але і як засіб розрахунків.

На сучасному етапі розвитку світової грошово-кредитної системи як фізичні, так і юридичні особи все частіше використовують саме криптовалюту як альтернативний засіб безготівкових платежів. Згідно з [3] безготівкові розрахунки – це перерахування певної суми коштів з рахунків платників на рахунки отримувачів коштів, а також перерахування банками за дорученням підприємств і фізичних осіб коштів, унесених ними готівкою в касу банку, на рахунки отримувачів коштів. У сучасному світі все більша кількість компаній реалізують свої товар

та послуги, пропонуючи своїм клієнтам розрахуватися криптовалютою. Так, згідно з [4] список зазначених компаній включає таких світових лідерів, як: Microsoft, Subway, Overstock, Expedia, AirBaltic, PayPal, KFC. Також у цьому списку є і українські компанії, а саме Фокстрот, Stylus, Varus, «ТехноЇжак» і WOG.

На сьогодні використання криптовалюти шириться світом, і головним обмеженням для бізнесу при переході на здійснення розрахунків у такій формі є законодавство. Згідно з [5] найбільш ефективними на сьогодні є законодавчі норми, що існують у таких країнах, як Мальта, Німеччина, Сингапур, Естонія, Канада, Гібралтар, Нідерланди, США, Португалія та Люксембург.

Серед основних переваг використання криптовалюти як засобу платежів слід зазначити такі [6–10]:

- швидкість здійснення платежів, що забезпечується завдяки відсутності посередників;
- значно нижчі комісії за переказ коштів порівняно з іншими платіжними системами;
- можливість здійснення платежів у довільний момент часу, без урахування робочих годин і днів тижня;
- можливість здійснення прямих розрахунків з іноземними партнерами, зниження витрат на конвертацію іноземної валюти у національну та навпаки;
- можливість врахування інфляційного ризику, який притаманний фіатним валютам;

- забезпечення конфіденційності особових даних учасників угоди.

Наявність вказаних переваг обумовлює актуальність вивчення криптовалютного ринку з метою визначення перспектив удосконалення сучасної практики безготівкових електронних платежів в Україні, що, своєю чергою, сприятиме підвищенню рівня конкурентоспроможності вітчизняних підприємств.

Метою роботи є побудова та практична реалізація алгоритму порівняльного аналізу просторово-часових характеристик криптовалютних активів, застосування якого дозволить здійснювати обґрунтований вибір криптовалюти як безготівкового засобу розрахунків.

Викладення основних результатів дослідження.

У рамках поточного дослідження пропонується алгоритм порівняльного аналізу просторово-часових характеристик криптовалютних активів, який містить такі основні кроки:

- аналіз сучасного стану та основних тенденцій розвитку криптовалютного ринку;
- визначення множини базових характеристик, за допомогою яких можливо здійснити опис криптовалюти як об'єкта у багатовимірному статистичному просторі;
- класифікація криптовалютних активів;

- розробка рекомендацій щодо остаточного вибору криптовалюти як засобу безготівкових розрахунків.

Нижче наведено результати реалізації зазначених етапів алгоритму. Вихідні дані являють собою часові ряди денних цін, джерело даних – сайти Yahoo Finance [11] та Barchart[12].

Розглянемо сучасний стан та основні тенденції розвитку криптовалютного ринку. Зазначений ринок є одним із найбільш волатильних світових ринків. Так, згідно з рис. 1 бачимо, що річні темпи приросту біткоїну порівняно з ринком акцій за період 2016–2023 рр. були значно більшими та коливалися у межах від 100 % до 837 %. Водночас ринок акцій демонстрував значно стабільніші показники приросту у межах від 100 % до 130 %.

На рис. 2 наведено базисні річні темпи зростання криптовалютного ринку та ринку акцій. Бачимо, що за період 2015–2023 рр. криптовалютний ринок здійснив значний стрибок, продемонструвавши темпи зростання, що у рази перевищували аналогічні показники ринку акцій. Таким чином, при подальшому вивченні зазначеного ринку потрібно брати до уваги такі базові групи ознак, за якими можливо здійснювати порівняльний аналіз криптовалют: ризик, дохідність, ринкова капіталізація.

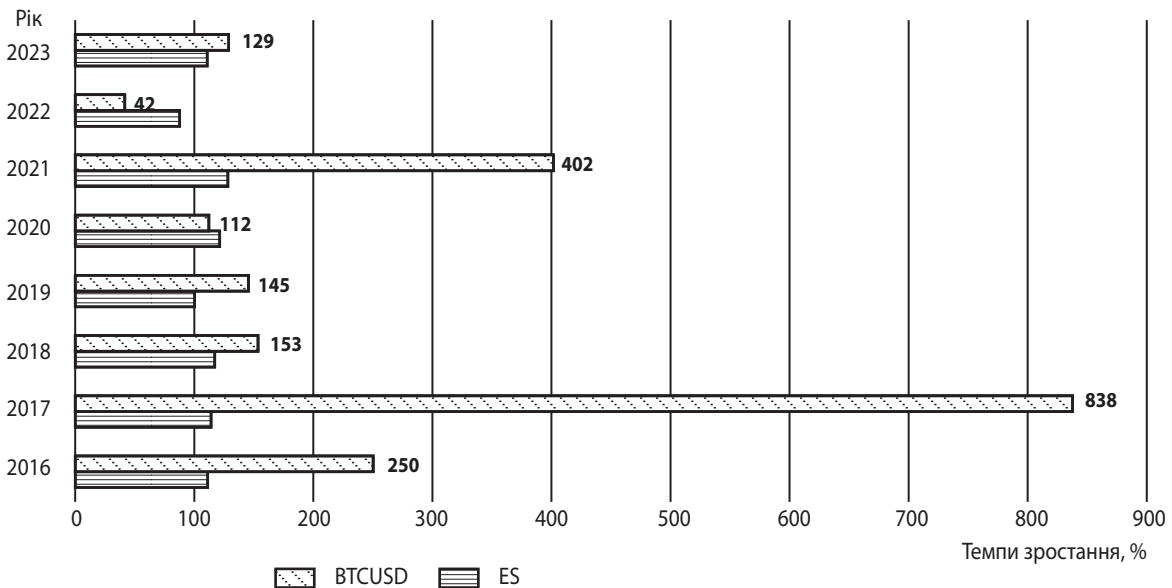


Рис. 1. Річні темпи зростання криптовалютного ринку (BTCUSD) та ринку акцій (ES)

Джерело: розраховано авторами за матеріалами [11; 12]

Кожна криптовалюта розглядається як багатовимірний об'єкт:

$$C = (y, r),$$

де y – показник дохідності;

r – показник ризику.

Показники ризику та дохідності розраховуються за формулами середнього квадратичного відхилення та дисперсії.

Показник $y_{i,s}$ визначає рівень дохідності i -го активу у s -му році та обчислюється за формулою:

$$y_{i,s} = \frac{1}{n} \sum_t x_{it}.$$

Показник $r_{i,s}$ визначає рівень ризику i -го активу у s -му році та обчислюється за формулою:

$$r_{i,s} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_t (y_{i,s} - x_{i,t})^2}.$$

Попередньо вихідний масив даних потрібно нормувати:

$$x_{it} = (p_{i,t} - p_{i,t-1}) / p_{i,t},$$

де $p_{i,t}$; $p_{i,t-1}$ – ціна i -го активу у поточний та попередній моменти часу відповідно.

Виходячи з розподілу криптовалют по рівню капіталізації для подальшого аналізу у рамках поточного до-

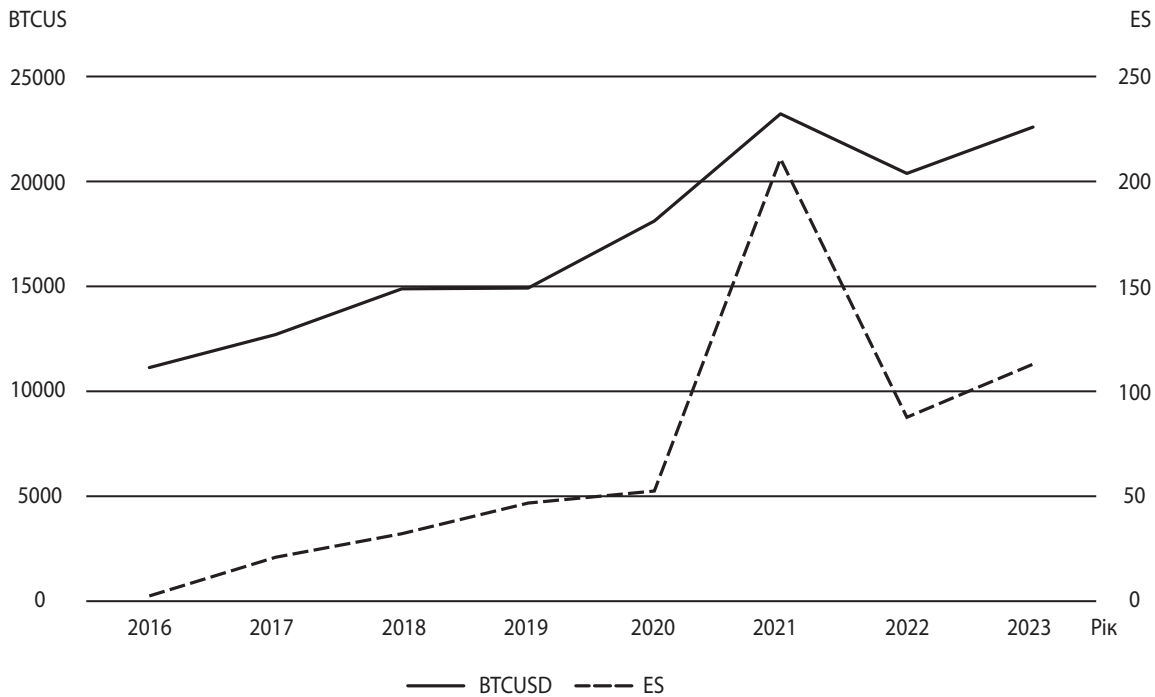


Рис. 2. Базисні темпи зростання криптовалютного ринку (BTCUSD) та ринку акцій (ES), %. База – 2015 рік

Джерело: розраховано авторами за матеріалами [11; 12]

слідження були відібрані криптовалюти, що заходяться в топі рейтингу за цим показником на кінець 2023 р. [1], а саме:

- Bitcoin (BTCUSD);
- Ethereum (ETHUSD);
- Tether (USDTUSD);
- Binance Coin (BNBUSD);
- XRP (XRPUSD);
- Cardano (ADAUSD);
- Dogecoin (DOGEUSD);
- Solana (SOLUSD);
- Tronix (TRXUSD);
- Polkadot (DOTUSD).

Для того щоб здійснити упорядкування об'єктів у багатовимірному просторі ознак, потрібно визначити так звану міру близькості. Серед найбільш розповсюджених мір близькості потрібно зазначити кореляційні міри та міри відстані.

Кореляційна міра, або коефіцієнт кореляції, визначає ступінь лінійного зв'язку між об'єктами. Для випадку вивчення потенційних відмінностей поміж криптовалютами ця міра не є репрезентативною, адже загальновідомим є той факт, що майже усі криптовалюти мають дуже тісний кореляційний зв'язок. Це підтверджується кореляційною матрицею, що наведена нижче (розрахунки проведено за часовими рядами денних цін за період 2020–2023 рр.).

Таблиця 1

Матриця парних коефіцієнтів кореляції

	BTCUSD	ETHUSD	USDTUSD	BNBUSD	XRPUSD	ADAUSD	DOGEUSD	SOLUSD	TRXUSD	LTCUSD
BTCUSD	1,00									
ETHUSD	0,86	1,00								
USDTUSD	0,17	0,11	1,00							
BNBUSD	0,76	0,92	0,03	1,00						
XRPUSD	0,82	0,83	0,18	0,80	1,00					
ADAUSD	0,83	0,84	0,15	0,74	0,84	1,00				
DOGEUSD	0,67	0,78	0,16	0,78	0,86	0,83	1,00			
SOLUSD	0,66	0,86	0,07	0,74	0,64	0,72	0,54	1,00		
TRXUSD	0,74	0,80	-0,02	0,89	0,83	0,68	0,74	0,57	1,00	
LTCUSD	0,89	0,71	0,30	0,65	0,84	0,78	0,75	0,47	0,67	1,00

Джерело: власні розрахунки

Як бачимо, більшість коефіцієнтів перевищують поріг 0.5. Виключенням є тільки Tether (USDTUSD) – для цієї криптовалюти характерним є відсутність кореляційного зв'язку з будь-якою іншою з досліджуваних криптовалют. Поясненням цього факту є те, що Tether – це стейблкоїн, який безпосередньо прив'язаний до долара США, тому динаміка часового ряду цін цього активу дещо відрізняється. Щодо усіх інших криптовалют очевидно, що досліджувати відмінності між ними за допомогою коефіцієнта кореляції не варто, тому що ця міра не дає можливості відобразити об'єктивно наявні суттєві відмінності між ними.

Таким чином, у якості міри близькості будемо використовувати міри відстані. Міра відстані – це дійсна функція $d(C_p, C_j)$, яка в загальному випадку повинна задовольняти таким властивостям:

- $d(C_p, C_j) \geq 0$ для усіх C_p, C_j з множини $C = \{C_i\}$, $i = [1, n]$;
- $(C_p, C_j) = 0$, тоді і тільки тоді, коли $C_i = C_j$;
- $(C_p, C_j) = (C_j, C_i)$;

		Дохідність	
Ризик		Високий ризик, низька дохідність	Високий ризик, висока дохідність
		Низький ризик, низька дохідність	Низький ризик, висока дохідність

Рис. 3. Умовна схема інтерпретації кластерів

Попередньо проаналізуємо структуру системи об'єктів-криптовалют у багатовимірному просторі за допомогою агломеративних методів ієрархічної кластеризації, згідно з якими спочатку кожен об'єкт розглядається як окремий кластер. Потім здійснюється послідовне об'єднання найбільш схожих об'єктів у пари доти, поки всі об'єкти не стануть членами одного й того кластера. Таким чином, ці методи будують не одне розбиття вибірки на кластери, що не перетинаються, а систему вкладених кластерів.

Для реалізації ієрархічного алгоритму потрібно визначити формулу розрахунку відстані між кластерами. Існує декілька варіантів реалізації зазначеної формули, а саме метод одиночного зв'язку, метод повного зв'язку, центроїдний метод, метод Уорда та інш. У рамках поточного дослідження будемо використовувати метод Уорда.

Побудуємо дендрограми для кожного з досліджуваних років періоду 2020–2023 рр. та проведемо порівняльний аналіз їх структури (див. рис. 4).

Відповідно до отриманих дендрограм бачимо, що в аналізованій вихідній множині криптовалют є об'єкти, які суттєво відрізняються – для цих об'єктів характерним є відносно великі значення показників відстаней, на яких вони були приєднані до фінального кластера. Якщо проаналізувати склад групи аутлайерів по роках, бачимо, що він має деякі відмінності. Так, для 2020 р. чітко прослідковується наявність двох основних груп та двох одиничних груп, що містять аутлайери (USDTUSD та SOLUSD). Для 2021 року безперечним аутлайером є DOGEUSD – його поведінка була настільки несхожа на поведінку усіх інших

- $(C_p, C_j) \leq (C_p, C_k) + (C_k, C_j)$ для довільних C_p, C_j, C_k з множини $C = \{C_i\}$, $i = [1, n]$

Існує декілька найбільш розповсюджених мір відстані, серед яких в рамках цього дослідження ми зупинимось на Евклідовій відстані:

$$E(C_i, C_j) = \sqrt{(y_i - y_j)^2 + (r_i - r_j)^2},$$

де y_j, r_j – показники дохідності та ризику для j-го багатовимірного об'єкта.

Для класифікації об'єктів у багатовимірному просторі застосуємо методи кластерного аналізу, які дозволяють отримати розбиття вихідних даних на відносно однорідні групи, таким чином, щоб елементи, що входять в одну групу, були максимально «схожі», а елементи з різних груп були максимально «відмінними» один від одного. Попередньо плануємо отримати розбиття на 4 кластери, змістовну інтерпретацію котрих зображено на умовній схемі (див. рис. 3).

об'єктів, що його було приєднано останнім та на дуже великій відстані (близько 0,08) тоді як усі попередні об'єднання залишилися на показнику відстані близько 0,03. Також в цьому році аутлайером є SOLUSD. До речі, для останнього об'єкта його відстань приєднання до загального кластера приблизно збігається з аналогічним показником 2020 р. В цьому році, як і в попередньому, можна виділити чотири групи. Розглянемо ситуацію у 2022 році – тут бачимо SOLUSD та ADAUSD, які можна інтерпретувати як аутлайери. Причому бачимо, що їх об'єднання у пару було здійснено в останню чергу, коли вже усі інші об'єкти були хоча б раз об'єднані з кимось іншим. Також бачимо, що і далі в процесі подальшого об'єднання ця група була додана до загального кластера в останню чергу на відносно великій відстані. В цілому структура 2022 р. також може бути розбита на чотири кластери, як і в попередніх роках. Для 2023 р. чітко прослідковуються три кластерні групи, одна з них знову містить SOLUSD, а також XRPUSD.

Таким чином, попередньо можна зробити висновок про припустимість розбиття вихідної множини криптовалют на кількість кластерів, зазначену на схемі вище. Однак кластеризації, отримані за допомогою ієрархічного методу, дають змогу лише оцінити ступень відмінностей в цілому поміж окремими об'єктами та їх групами та не дозволяють визначитися щодо фінального оптимального розбиття та інтерпретації груп відносно вихідних показників ризику та дохідності.

На наступному етапі в рамках поточного кроку алгоритму був застосований неієрархічний метод кластериза-

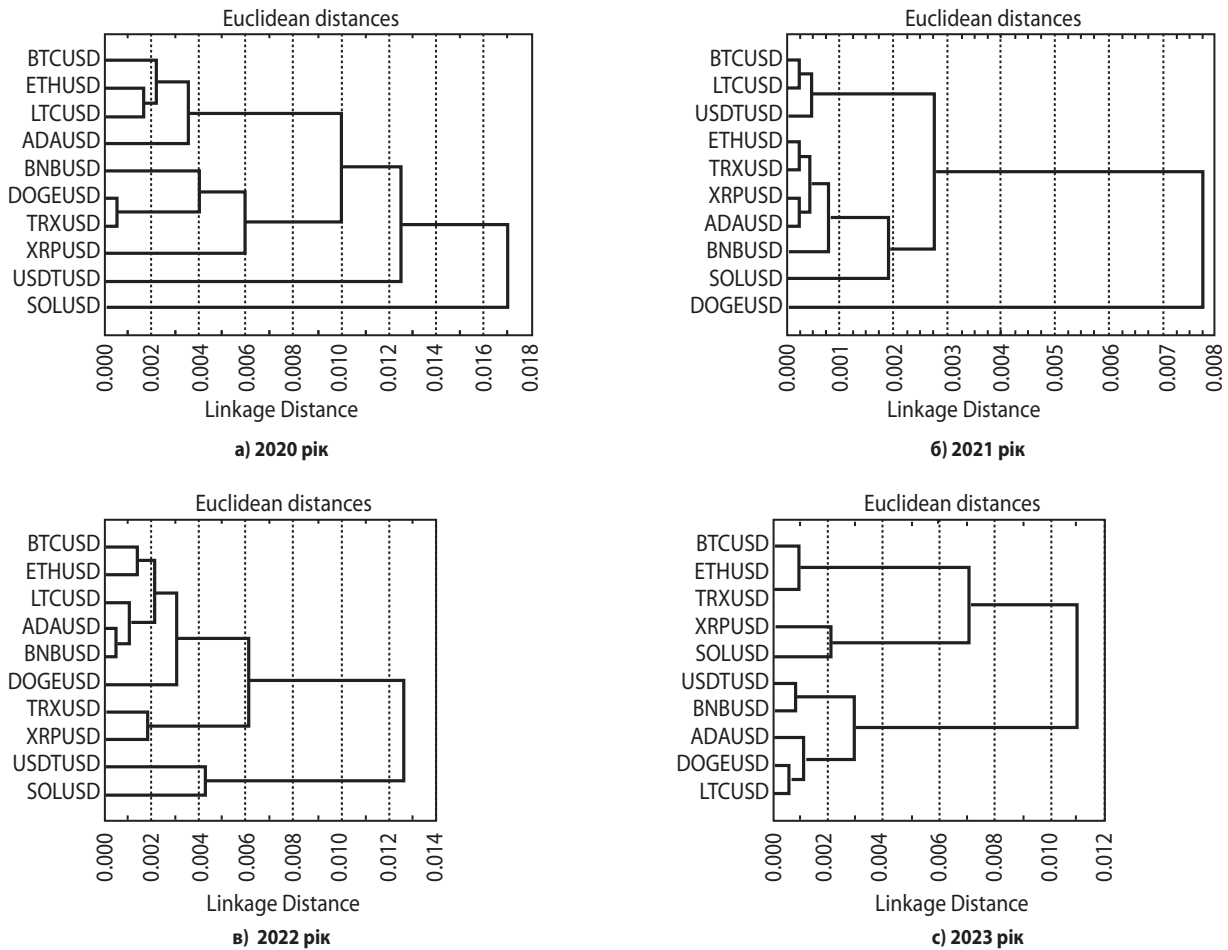


Рис. 4. Дендрограми результатів застосування ієрархічного агломеративного методу

Джерело: власні розрахунки

ції – метод *k*-середніх, який дозволяє апріорі задати бажану кількість кластерів у фінальному групуванні. Зазначений метод є ітеративним оптимізаційним методом – процедура повторюється доти, доки не досягнеться оптимум критерію розбиття. Схематично алгоритм методу можна описати таким чином:

Задається початкове наближення центрів всіх кластерів.

Кожному з об'єктів ставимо у відповідність кластер виходячи з мінімізації відстані між об'єктом та центром відповідного кластера.

Перераховуємо центри новостворених кластерів.

Розраховуємо значення цільової функції розбиття та порівнюємо її з пороговим значенням. Алгоритм завершено, якщо поріг цільової функції досягнуто. Інакше повертаємось до п. 2.

Результати реалізації зазначеного алгоритму наведено нижче (див. табл. 2 – табл. 3).

Згідно з даними табл. 2 бачимо що склад кластерів не є абсолютно стабільним – у наявності є випадки міграції об'єктів з кластера в кластер. З іншого боку, можливо все ж таки прослідкувати і деякі ознаки стабільності. Так, наприклад такі валюти, як BTCUSD, ETHUSD, USDTUSD, ніколи не потрапляли у кластери з високим рівнем ризику, але мігрували поміж кластерами з високою та низькою дохідністю; DOGEUSD, SOLUSD – навпаки, ніколи не були віднесені до груп з низьким рівнем ризику та також мігрували поміж кластерами з високою та низькою дохідністю.

Згідно з даними табл. 3 можливо оцінити відносну стабільність класифікації окремих криптовалют за показником частоти віднесення їх до певного кластера. Слід зазначити, що в рамках поточного дослідження жодний об'єкт не продемонстрував абсолютну стабільність класифікації. Відносно стабільність показали такі об'єкти: ETHUSD (три рази був класифікований у кластер «низький ризик, висока дохідність»), USDTUSD (три рази був класифікований у кластер «низький ризик, низька дохідність») та TRXUSD (три рази був класифікований у кластер «низький ризик, висока дохідність»).

Слід окремо зазначити абсолютно нестабільний об'єкт – це LTCUSD, який чотири рази був класифікований у різні кластери. Також є об'єкти, які два рази були класифіковані в один і той самий кластер та ще два рази – в два інших кластери, тому їх поведінку з точки зору характеристик ризику та дохідності теж можна описати як нестабільну – це BNBUSD, XRPUSD та ADAUSD.

Висновки. Для того щоб серед множини криптовалют, які в поточному моменті представлені на ринку, обра-

Таблиця 2

Розподіл об'єктів між кластерами по роках

Рік	Кластер			
	Високий ризик, висока дохідність	Високий ризик, низька дохідність	Низький ризик, висока дохідність	Низький ризик, низька дохідність
2020	SOLUSD	XRPUSD, DOGEUSD, TRXUSD	BTCUSD, ETHUSD, BNBUSD, ADAUSD, LTCUSD	USDTUSD
2021	DOGEUSD	SOLUSD	ETHUSD, BNBUSD, XRPUSD, ADAUSD, TRXUSD	BTCUSD, USDTUSD, LTCUSD
2022	BNBUSD, XRPUSD, DOGEUSD, LTCUSD	SOLUSD	USDTUSD, TRXUSD	BTCUSD, ETHUSD, ADAUSD
2023	XRPUSD, SOLUSD	ADAUSD, DOGEUSD, LTCUSD	BTCUSD, ETHUSD, TRXUSD	USDTUSD, BNBUSD

Джерело: власні розрахунки

Таблиця 3

Частота присутності об'єктів у кластерах

Об'єкт кластеризації	Високий ризик, висока дохідність	Високий ризик, низька дохідність	Низький ризик, висока дохідність	Низький ризик, низька дохідність
BTCUSD	0	0	2	2
ETHUSD	0	0	3	1
USDTUSD	0	0	1	3
BNBUSD	1	0	2	1
XRPUSD	2	1	1	0
ADAUSD	0	1	2	1
DOGEUSD	2	2	0	0
SOLUSD	2	2	0	0
TRXUSD	0	1	3	0
LTCUSD	1	1	1	1

Джерело: власні розрахунки

ти найбільш прийнятний варіант для використання у безготівкових розрахунках, потрібно, щоб зазначена криптовалюта задовольняла низькі вимоги, додаткових до базових властивостей, які є характерними для активів цього класу та були перелічені на початку дослідження. Очевидно, що за інших рівних умов криптовалюта повинна мати відносно низький рівень волатильності, для того щоб забезпечити певну стабільність розрахунків та уникнути втрат через курсову різницю. Тому згідно з запропонованим алгоритмом та отриманим практичним результатом його реалізації пропонується обирати криптовалюти, які в динаміці були класифіковані у кластери з низьким рівнем ризику. В першу чергу, потрібно звернути увагу на такі криптовалюти, як USDTUSD та ETHUSD. Безперечною перевагою USDTUSD є той факт, що це криптовалюта з найнижчим рівнем показника ризику.

З іншого боку, якщо прийняти до уваги додаткові критерії, наприклад критерій диверсифікації засобів розрахунків, слід звернути увагу на ETHUSD – ця валюта, на відміну від попередньої, не пов'язана з динамікою долара США, який все ще залишається безумовним лідером у сис-

темі міжнародних розрахунків. Також безперечно потрібно взяти до уваги BTCUSD – показники ризику для цієї валюти схожі з аналогічними показниками для ETHUSD.

У рамках поточного дослідження були розглянуті лише три базових характеристики криптовалюти, а саме ринкова капіталізація, ризик і дохідність. У якості наступного кроку потрібно розширити цей список, взявши до уваги показники, що описують аспекти легітимного дозволу використання криптовалюти юридичними особами у безготівкових розрахунках.

ЛІТЕРАТУРА

1. Coinbase. URL: <https://www.coinbase.com/>
2. Tradingview. URL: <https://www.tradingview.com/markets/cryptocurrencies/>
3. Державна податкова служба України. URL: <https://zpr.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/print-410954.html>
4. Криптовалюта та світовий бізнес: хто вже почав використовувати токени для розрахунку. URL: <https://rubryka.com/2023/04/25/kryptovalyuta-ta-svitoviy-biznes/>

5. Top 10 Crypto-Friendly Countries. URL: <https://sanctions-scanner.com/blog/top-10-crypto-friendly-countries-787>

6. Ліснічук, О., Боярин, Ю. Переваги та недоліки використання криптовалют на підприємствах: сучасний досвід та перспективи розвитку. *Сталий розвиток економіки*. 2019. № 1 (42). С. 84–90. URL: <https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/view/57>

7. Ivashchenko A. I. Using Cryptocurrency in the Activities of Ukrainian Small and Medium Enterprises in order to Improve their Investment Attractiveness. *Problemi ekonomiki*. 2016. No. 3. P. 267–273.

8. Ankur Grover Integrating cryptocurrency payments: A comprehensive guide for businesses. *The Economic Times*. URL: <https://economictimes.indiatimes.com/markets/cryptocurrency/integrating-cryptocurrency-payments-a-comprehensive-guide-for-businesses/articleshow/104036406.cms?from=mdr>

9. Uzialko A. What small businesses should know about cryptocurrency. *Business News Daily*. URL: <https://www.businessnewsdaily.com/6181-bitcoin-for-small-business.html>

10. Phu Dao-Le Flécher, Nirjhar Nigam, Sondes Mbarek. Current trends in accounting for digital/cryptoassets: an empirical analysis of accounting practices from UK, US, Canada and Europe. BAR Special Issue – Paper Development Workshop on Blockchain: Impact on Accounting and Accountants, *The British Accounting Review*. 2023.

11. Yahoo Finance. URL: <https://finance.yahoo.com/>

12. Barchart. URL: <https://www.barchart.com/>

REFERENCES

“Ankur Grover Integrating cryptocurrency payments: A comprehensive guide for businesses”. *The Economic Times*. <https://economictimes.indiatimes.com/markets/cryptocurrency/integrating-cryptocurrency-payments-a-comprehensive-guide-for-businesses/articleshow/104036406.cms?from=mdr>

Barchart. <https://www.barchart.com/>

Coinbase. <https://www.coinbase.com/>

Derzhavna podatkova sluzhba Ukrainy. <https://zp.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/print-410954.html>

Ivashchenko, A. I. “Using Cryptocurrency in the Activities of Ukrainian Small and Medium Enterprises in order to Improve their Investment Attractiveness”. *Problemi ekonomiki*, no. 3 (2016): 267–273.

“Kryptovaliuta ta svitovyi biznes: khto vzhe pochav vykystovuvaty tokeny dlia rozrakhunku” [Cryptocurrency and Global Business: Who Has Already Started Using Tokens for Settlement]. <https://rubryka.com/2023/04/25/kryptovalyuta-ta-svitoviy-bizne/>

Lisnichuk, O., and Boiaryn, Yu. “Perevahy ta nedoliky vykystannia kryptovaliuty na pidpriemstvakh: suchasnyi dosvid ta perspektyvy rozvytku” [Advantages and Disadvantages of Using Cryptocurrency in Enterprises: Modern Experience and Prospects for Development]. *Stalyi rozvytok ekonomiky*. 2019. <https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/view/57>

Phu, Dao-Le Flécher, Nirjhar, Nigam, and Sondes, Mbarek. “Current trends in accounting for digital/cryptoassets: an empirical analysis of accounting practices from UK, US, Canada and Europe”. *BAR Special Issue - Paper Development Workshop on Blockchain: Impact on Accounting and Accountants*. The British Accounting Review, 2023.

“Top 10 Crypto-Friendly Countries”. <https://sanctions-scanner.com/blog/top-10-crypto-friendly-countries-787>

Tradingview. <https://www.tradingview.com/markets/cryptocurrencies/>

Uzialko, A. “What small businesses should know about cryptocurrency”. *Business News Daily*. <https://www.businessnewsdaily.com/6181-bitcoin-for-small-business.html>

Yahoo Finance. <https://finance.yahoo.com/>

Стаття надійшла до редакції 15.12.2023 р.

Статтю прийнято до публікації 27.12.2023 р.