

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА БІЗНЕС-АНАЛІТИКИ ТА ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри бізнес

аналітики та цифрової економіки

_____ Наталія КАСЬЯНОВА

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 051 «ЕКОНОМІКА»

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «ЕКОНОМІЧНА КІБЕРНЕТИКА»

Тема: МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ЦИФРОВОЇ ВАЛЮТИ.

Виконав: ВАСКУЛІ Микола

Керівник: к.е.н., доцент КУЗЬМІНОВА Ольга

Консультанти з розділів:

Розділ 1: к.е.н., доцент КУЗЬМІНОВА Ольга

Розділ 2: к.е.н., доцент КУЗЬМІНОВА Ольга

Розділ 3: к.е.н., доцент КУЗЬМІНОВА Ольга

Нормоконтролер із ЄСКД (ЄСПД):

ст. викладач ДИЯК Юлія

КИЇВ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет економіки та бізнес-адміністрування
Кафедра бізнес-аналітики та цифрової економіки
Спеціальність 051 «Економіка»
Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри бізнес
аналітики та цифрової економіки

_____ Наталія КАСЬЯНОВА

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувача вищої освіти: ВАСКУЛ Микола

Тема роботи: «Моделювання поведінки цифрової валюти»
затверджена наказом ректора № 1085 від 07.07.2023 р.

1. Термін здачі здобувачем вищої освіти закінченої роботи на кафедрі:
22 грудня 2023 р.

2. Вихідні дані до роботи: наукові в галузі економіки та фінансів
зарубіжних та вітчизняних вчених.

3. Зміст дослідження:

- охарактеризувати сутність та методи поведінки цифрової валюти.
- описати види та технології цифрових валют
- проаналізувати світовий ринок криптовалют
- дослідити моделі поведінки ціни криптовалют
- розробити моделі прогнозування динаміки курсу криптовалют

4. Перелік обов'язкових демонстраційних матеріалів: 13 слайдів

Календарний план

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Позначки про виконання
1	Отримання завдання на кваліфікаційної роботу	5.09.2023	Виконано
2	Огляд літератури за темою	20.09.2023	Виконано
3	Сутність та прикладне значення цифрової валюти	01.10.2023	Виконано
4	Види та технології цифрових валют	15.10.2023	Виконано
5	Теорії формування ринку цифрових валют	01.11.2023	Виконано
6	Аналіз світового ринку цифрових валют	10.11.2023	Виконано
7	Дослідження моделей поведінки ціни цифрових валют	15.11.2023	Виконано
8	Розробка моделі прогнозування динаміки курсу криптовалют	27.11.2023	Виконано
9	Аналіз отриманих результатів	31.11.2023	Виконано
10	Розробка слайдів та написання доповіді	10.12.2023	Виконано
11	Перевірка на нормоконтроль	10.12.2023	Виконано
12	Попередній захист кваліфікаційної роботи	20.12.2023	Виконано
13	Корегування роботи за результатами попереднього захисту	21.12.2023	Виконано
14	Остаточне оформлення кваліфікаційної роботи та слайдів	22.12.2023	Виконано
15	Підписання відгуку та рецензії	22.12.2023	Виконано
16	Захист кваліфікаційної роботи у ДЕК	26.12.2023	Виконано

Дата видачі завдання: 02.10.2023 р.

Керівник: к.е.н., доцент

Завдання прийняв для виконання

_____ КУЗЬМІНОВА Ольга

_____ ВАСКУЛІ Микола

РЕФЕРАТ

ВАСКУЛ Микола. Моделювання поведінки цифрової валюти. – Кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 051 «Економіка», ОПП «Економічна кібернетика». Національний авіаційний університет Міністерства освіти і науки України, м. Київ, 2023.

Дипломна робота містить 99 сторінок, 11 таблиць, 27 рисунків, список використаних джерел з 50 найменувань.

Об'єктом дослідження є процес формування державного боргу України.

Предметом дослідження є теоретичні та практичні аспекти моделювання поведінки ціни цифрової валюти, зокрема формування, динаміка, фактори впливу та наслідки.

Метою даної роботи є дослідження теоретичних основ формування курсу цифрових валют, а також виявлення та класифікація основних факторів його впливу.

Наукова новизна полягає в тому, що робота проводить глибокий аналіз факторів, впливаючи на цифрові валюти в умовах сучасних економічних та геополітичних реалій. Дослідження розробляє нові підходи до моделювання поведінки ціни цифрової валюти, що може служити основою для подальших досліджень у сфері фінансів та економіки.

При написанні роботи використовувалися методи дослідження: аналіз та синтез, прогнозування, порівняльні та статистичні методи, методи лінійного програмування.

Ключові слова: *цифрова валюта, криптовалюта, регресійна модель, стейблкоїни, блокчейн, активи, інвестування*

ABSTRACT

Vaskul Mykola. Modeling the behavior of digital currency. - Master's thesis in specialty 051 "Economics", OPP "Economic Cybernetics". National Aviation University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

The thesis contains 99 pages, 11 tables, 27 figures, a list of 50 references.

The object of research is the process of formation of the public debt of Ukraine.

The subject of the study is the theoretical and practical aspects of modeling the behavior of the price of digital currency, including the formation, dynamics, factors of influence and consequences.

The purpose of this paper is to study the theoretical foundations of digital currency exchange rate formation, as well as to identify and classify the main factors of its influence.

The scientific novelty of the paper is that it conducts an in-depth analysis of the factors influencing digital currencies in the current economic and geopolitical realities. The study develops new approaches to modeling the behavior of digital currency prices, which can serve as a basis for further research in the field of finance and economics.

The following research methods were used in writing the paper: analysis and synthesis, forecasting, comparative and statistical methods, linear programming methods.

Keywords: digital currency, cryptocurrency, regression model, stablecoins, blockchain, assets,

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	9
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВОЇ ВАЛЮТИ	9
1.1. Сутність та прикладне значення цифрової валюти	9
1.2. Види та технології формування цифрових валют	20
1.3. Теорії формування ринку цифрових валют	35
Висновки до розділу 1	38
РОЗДІЛ 2	41
АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА ДИНАМІКИ ЦІН ТА ПОВЕДІНКИ ЦИФРОВОЇ ВАЛЮТИ	41
2.1. Аналіз світового ринку цифрових валют	41
2.2. Дослідження моделей поведінки ціни цифрових валют.....	50
РОЗДІЛ 3	68
ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНИ BITCOIN.....	68
3.1 Розробка моделі прогнозування динаміки курсу криптовалют	68
3.2. Критерії підбору параметрів моделі	72
3.3 Оцінка факторів ефективності використання криптовалют.....	83
Висновки до розділу 3	89

ВСТУП

Цифрові валюти є відносно новим інноваційним явищем у світі фінансів, що привертає увагу дослідників та інвесторів. З розвитком технологій блокчейн та поширенням інтернету з'явилась можливість створення децентралізованих електронних активів, не пов'язаних з жодною державою. Першою та найвідомішою цифровою валютою став біткоїн, що з'явився у 2009 році.

З того часу з'явились безліч інших криптовалют, які пропонують різні технологічні рішення та функціонал. Незважаючи на високі ризики та волатильність, цифрові валюти стали об'єктом інтересу для інвесторів та спекулянтів. Їхня капіталізація швидко зростала, а курси окремих монет здійснювали захоплюючі "перегони".

Проте, попри популярність, багато аспектів цифрових валют залишаються недостатньо дослідженими. Одним з ключових питань є формування їх курсу відносно традиційних валют. На відміну від фіатних грошей, цифрові монети не мають підтримки держави чи центрального банку, а їх ціна визначається виключно попитом і пропозицією на криптобіржах.

Тому важливо з'ясувати, які саме фактори впливають на курс криптовалют та в якій пропорції. Це допоможе краще розуміти механізми їх ціноутворення, оцінювати ризики для інвесторів та прогнозувати подальшу динаміку. Метою даної роботи є дослідження теоретичних основ формування курсу цифрових валют, а також виявлення та класифікація основних факторів його впливу.

Питання дослідження курсоутворення криптовалют є актуальним, оскільки дозволяє краще зрозуміти природу цих активів та оцінити перспективи їх подальшого розвитку. Отримані результати можуть бути корисні для інвесторів, регуляторів та науковців, що цікавляться феноменом цифрових грошей.

Об'єктом дослідження є процеси формування курсу цифрових валют.

Предметом дослідження є теоретичні моделі та методи аналізу основних факторів, що впливають на динаміку курсу криптовалют.

Для досягнення поставленої мети було виконано наступні завдання:

1. Досліджено теоретичні засади функціонування цифрової валюти;
2. Проаналізовано динаміку цін та поведінку цифрової валюти;
3. Реалізувано алгоритм прогнозування ціни Bitcoin;

Наукова новизна полягає в тому, що робота проводить глибокий аналіз факторів, впливаючи на цифрові валюти в умовах сучасних економічних та геополітичних реалій. Дослідження розробляє нові підходи до моделювання поведінки ціни цифрової валюти, що може служити основою для подальших досліджень у сфері фінансів та економіки.

У роботі використовуватимуться методи статистичного аналізу, кореляційно-регресійного моделювання для виявлення зв'язків між курсом та його потенційними детермінантами. Джерелами інформації є відкриті дані криптобірж, соціальних мереж, а також наукові публікації.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для поліпшення прогнозування курсу криптовалют, побудови інвестиційних стратегій, розробки регуляторної політики тощо. Зокрема, пропонується створити відповідний прогностичний інструмент на основі отриманих моделей.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВОЇ ВАЛЮТИ

1.1. Сутність та прикладне значення цифрової валюти

Гроші є невід'ємною складовою сучасної економіки, оскільки вони використовуються практично в усіх транзакціях, що лежать в основі економічної діяльності. Тим не менше, те, що приймається в оплату, змінювалося з часом, так само, як і засоби здійснення платежів [1]. Цифрові валюти є останнім етапом у довгому еволюційному процесі розвитку «блокчейн»-валют. Чи буде цей «блок» підтверджений більшістю «вузлів», що беруть участь, поки що залишається невирішеним питанням.

Люди розпочали торгувати товарами, коли почали виробляти продукцію, яка перевищувала їхні потреби. Зазвичай це виявлялося в обміні свого надмірного продукту на товар, якого їм бракувало або якого вони не вміли виготовляти. Функція одиниці обліку була призначена численним об'єктам протягом історії. Першими задокументованими формами грошей були природні об'єкти, такі як черепашки каури, які використовувалися приблизно 1200 р. до н.е., зуби кита, які використовували фіджійці, і великі диски з вапняку, вирізані жителями острова Яп, залишки яких все ще можна знайти на острові, до металевих монет, які можна відслідкувати ще з 2200 р. до н.е. в Вавилонії [2].

У цих формах валюти була схожа характеристика: вони мали вроджену вартість на основі якості і кількості матеріалів, з яких вони були виготовлені. Паперові гроші, навпаки, широко вважається, що виникли в Китаї за часів імператора Чженьцзун (997–1022 р. н.е.). Їх узяли на озброєння в інших частинах світу протягом XVIII і XIX століть. Більшість паперових грошей представляли собою форму векселів, обіцянок виплатити визначені суми срібла та золота, які були необхідні для розвитку банків [2]. Оскільки паперові гроші не мали внутрішньої вартості, вони отримували її від довіри до того, що обіцянки будуть виконані, тому стабільність грошей було важко

підтримувати. З цієї причини Сполучене Королівство започаткувало золотий стандарт у 1821 році, коли стандартна одиниця валюти визначалася значенням фіксованої кількості золота.

У XIX і на початку XX століття комерційним банкам в Північній Америці дозволено було випускати власну валюту. Цей період має назву «вільного банкінгу», коли держава не мала монополії на випуск валюти. Дана доктрина послуговується економічній думці «laissez-faire» (французькою «залиште на спокій»), принципом якої було те, що менше держава втручається в економіку, тим краще будуть функціонувати підприємства. Однак регуляторні втручання постійно зростали протягом цього періоду, і до початку XX століття стало звичною практикою забороняти випуск валюти будь-кому, окрім держави.

З теоретичної погляду поява центробанківських цифрових валют можна пояснити у межах подальшого розвитку теорії вимоги чи кредитної теорії грошей. Інтерпретація грошей у рамках цієї теорії ґрунтується на ідеї, що гроші незалежно від їхньої специфічної форми чи субстанції завжди є символічною вимогою на товари. Як зазначав Дж. М. Кейнс, гроші є соціально створеною абстрактною вартістю, тобто купівельною спроможністю, вираженою в лічильній грошовій одиниці [3]. У теорії Кейнса соціальні та політичні відносини між емітентами та користувачами грошей відіграють чільну роль у процесі створення грошей. Емітенти встановлюють як «опис» грошей (рахункову грошову одиницю), і форму грошей, відповідну опису. У результаті цінність грошей впливає з боргів/кредитів, що лежать у їх основі, а також із соціальної угоди між економічними агентами розглядати такі вимоги, як гроші. Ця соціальна угода незмінно підтримується державою, яка визначає те, що вважається грошима у межах національної юрисдикції.

Найбільш яскравим втіленням теорії вимоги (кредитної теорії) стала державна теорія грошей Г. Кнаппа. У межах цієї теорії гроші передусім розглядаються як гроші урядового указу, чи хартальні гроші. Держава визначає, у яких формах випускаються гроші і які є законним засобом

платежу [4]. Державна теорія грошей, що зазнала різкої критики в економічній науці на початку ХХ ст., отримала не тільки теоретичний розвиток, а й емпіричне підтвердження протягом ХХ ст. Державна теорія грошей, а також роботи з природи грошей А.М. Іннеса, в яких природа грошей визначається як виключно кредитна [5], лягли в основу сучасної інтерпретації грошей представниками «нової грошової теорії», або «сучасної монетарної теорії» (New Monetary Theory, ММТ). Відповідно до Л. Р. Рею, одному з послідовних прихильників ММТ, держава випускає гроші в обіг, щоб профінансувати свої витрати, а потім вилучає їх надлишки шляхом збору податків. При цьому податкові борги перед державою можуть бути сплачені лише в результаті одержання грошей у результаті економічної діяльності (грошей, які прийматимуться у податкових платежах) [6].

Слід зазначити, що у всіх розвинених країнах кінця ХІХ в. та протягом ХХ ст. відбувався поступовий, але неминучий процес переходу від використання повноцінних грошей (металевих грошей) до неповноцінних розмінних грошей (банкнотів, що розмінюються на золото) і далі до використання неповноцінних нерозмінних грошей (фідуціарним, або фіатним). Хоча спочатку фіатні гроші емітувалися державою від імені центрального банку лише в формі казначейських квитків, згодом кредитні гроші, що випускаються кредитними установами, втратили свої характерні риси і також стали фіатними. Нині центральні банки як безпосередньо емітують готівку, а й підтримують довіру до безготівковим грошам (депозитним і електронним), створюваним кредитними установами. Можна сказати, що в основі купівельної спроможності сучасних фіатних грошей лежить довіра не просто до їхнього емітенту, а й до державної грошової системи загалом. Однак, незважаючи на наявність довіри, важливою умовою використання фіатних грошей (насамперед готівки) є законодавчі норми, які зобов'язують економічних агентів приймати їх у всіх типах платежів. В цілому державна теорія грошей може не тільки лежати в основі пояснення переходу до використання фіатних грошей у ХХ ст., але й застосовуватися

для обґрунтування сучасного процесу цифровізації фіатних грошей, що випускаються центральними банками, з метою збереження ролі держави у процесі створення грошей та підвищення контролю за їх зверненням у XXI ст. Контроль над грошима в сучасних умовах має не тільки очевидні економічні причини, але й має безумовний політичний характер [7].

Найбільш загальним поняттям всіх електронних грошей вважається «цифрова валюта» як форма грошей, що представляє собою електронні гроші з властивостями звичайних (фіатних), які можуть бути регульованими та нерегульованими, централізованими та децентралізованими (рис. 1.1).

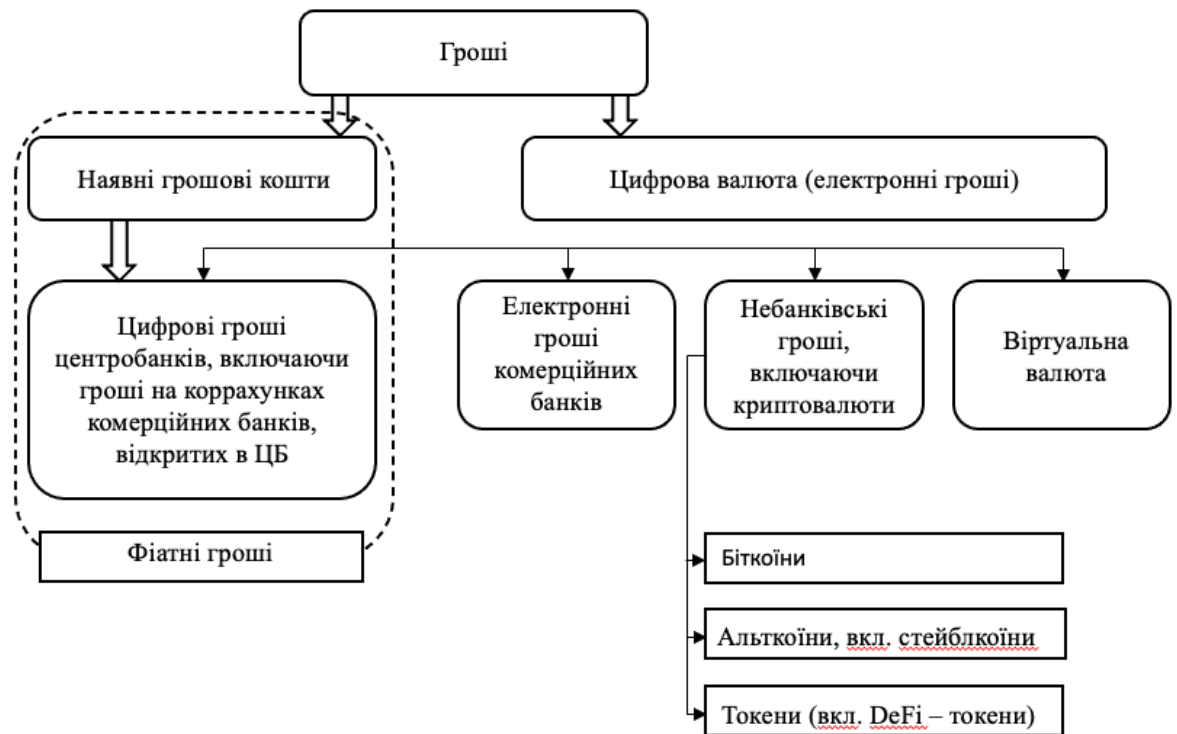


Рис. 1.1. Класифікація грошей

Електронні гроші комерційних банків – це цифрова форма грошей чи рахунки комерційних банках.

Небанківські гроші є цифрові гроші, що знаходяться на балансі у небанківських постачальників фінансових послуг. Подібні компанії зазвичай проводять трансакції, як правило, з використанням технології блокчейну.

Віртуальна валюта завжди існує у формі цифрової, тобто. тільки в інтернеті, однак слід зазначити, що не всі цифрові валюти є віртуальними. Віртуальна валюта має характеристики фіатних грошей, оскільки є мірою вартості, тобто може вимірювати вартість товарів так само коректно, як реальна валюта [5, с. 30].

До особливостей віртуальних валют, що кардинально відрізняють їх від фіатних грошей, віднесемо, з одного боку, їхню відносну безпеку, оскільки вони є захищеними цифровим шифруванням кодами верифікації трансакцій (токенами) у своїй розподіленій мережі на основі блокчейну [6]. З іншого, через відсутність забезпечення волатильніші, отже, ризиковані. І ще мають більшу доступність, оскільки електронні системи функціонують цілодобово на відміну від банків, і миттєвістю здійснення операцій.

Порівняльні характеристики криптовалюти та інших цифрових валют представлені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Порівняльні характеристики цифрових валют

Показники	Криптовалюти	Цифрова валюта	
		Комерційних банків та необанків	Центрального банку
Емітент	Анонімні приватні особи чи компанії	Приватна компанія	центральний банк
Можливість здійснювати платежі	Так	Так	Так
Анонімність користувачів	Можлива, найчастіше так	Можлива, але найчастіше ні	Ні
Прозорість системи та операцій, що проводяться	Так: завдяки блокчейну	Ні	Ні
Децентралізація	Так	Ні	Ні

Блокування гарантія	Неможлива	Можлива	Можлива
Забезпечення	Відсутня: вартість визначається попитом та пропозицією	Повне забезпечення активами та капіталом компанії-емітента	центральный банк
Приклади	Bitcoin, Ethereum і т.п.	WebMoney , М- Pesa	Sand Dollar, цифровий юань, цифровий рубль

Класифікація криптовалют ґрунтується на їх розподілі на три великі групи: біткойн, альткойни та токени.

Біткойн – це перша однорангова (P2P) цифрова валюта на основі технології блокчейн, яка досі зберігає лідируючі позиції цифрової валюти за своєю ринковою капіталізацією.

Альткойни, або альтернативні криптовалюти, були розроблені і запуснені в обіг після успіху біткойна. Альткойни функціонують з використанням технології блокчейна, проте творці альткойнів намагаються виявити і виправити недоліки біткойна, виступаючи як більш досконалу «заміну» біткойну. Сьогодні на оборот альткойнів за даними currencys.com припадає до 40% крипторинку [7].

Як приклади альткойнів з унікальними функціями наведемо:

- Stellar прагне працювати швидше, дешевше та енергоефективніше, ніж його більші конкуренти;

- Dogecoin, випущений у 2013 р. і названий на честь інтернет-жарту. На відміну від біткойна, Dogecoin має досить швидкий період початкового майнінгу. Найбільшої популярності валюта набула після отримання підтримки впливових бізнесменів, таких як, наприклад, Ілон Маск;

- Chainlink crypto – це децентралізована мережа Oracle орієнтована виключно створення смарт-контрактів для зовнішнього світу.

Виникнення альткойнів певною мірою є наслідком «форків» у програмному коді. «Форк» є явищем, коли кодова база існуючого програмного проекту використовується як старт для іншого. «Форки»

можуть виникати випадковим чином. Наприклад, Bitcoin Cash з'явився в 2017 р. в результаті «форка» біткойну і дозволяв робити записи більшої кількості транзакцій в один блок блокчейну.

Більше розширена класифікація криптовалют представлена в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Класифікація криптовалют

Крипто-валюта	Визначення	Підвиди	Приклади
Токен	Токен – одиниця обліку, випущена організацією уявлення свого цифрового балансу. Види токенів: не мають власного блокчейну, створюються поверх існуючого; випускаються в рамках ICO ; виконують функцію цифрових активів	Utility Tokens (утилітарні, службові чи корисні токени) призначені для надання права на послугу чи продукт, які видає емітент. ICO стартапи (фінансування розробки блокчейн-проектів) пропонують токени для подальшого їх використання в рамках того чи іншого сервісу	BitShares Bytecoin FunFair SALT Populous
		Security tokens (інвестиційні) / Asset tokens (токени-активи) – дають декларація про отримання базових активів, дивідендів, і навіть на відсоткові платежі. З погляду функціоналу аналогічні традиційним корпоративним цінним паперам. Токени, що використовуються у торгівлі фізичними активами на блокчейні	Storm ICN DGD CND
Крипто-валюта	Названі FINMA, як «платіжні токени» або «справжні криптовалюти» – призначені для використання як платіжний засіб з метою придбання товарів чи послуг. Також застосовуються як засіб передачі грошей чи цінностей. Мають власний блокчейн	Децентралізовані криптовалюти: мають економічну та територіальну автономність від держави, компанії-емітента та розробників; криптовалюта контролюється та керується користувачами публічного блокчейну, які передають їх один одному без участі посередників (банків та інших третіх осіб) за допомогою приватного ключа; вищий рівень безпеки транзакцій усередині системи; не піддаються DDOS-атакам та зламам	Bitcoin Tezos IOTA Elastos Zilliqa
		Псевдоцентралізовані криптовалюти. централізована емісія монет,	Ripple Bitcoin Cash

		заборона майнінгу. У криптографічному алгоритмі наперед визначено час випуску нових монет та їх кількість; за потреби арбітри мережі можуть скасовувати транзакції, повертати кошти на гаманець користувача; контроль з боку певної групи осіб, наприклад, розробників; підлягають реєстрації. У разі порушень залучення до судових розглядів; рахунки можуть бути заблоковані, особливо за наявності підозр у нелегальній діяльності	EOS Tron
Стейблкоїн	Цифрові активи зі стабільною ціною	мають значно меншу волатильність щодо звичайних криптовалют; унікальна відмінність стейблкоїнів полягає в їхній прив'язці до національної або цифрової валюти, цінних металів, нафти, діамантів або інших фізичних товарів	Tether USD Coin Terra

За даними ресурсу investing.com на сьогоднішній день на ринках звертається 9 950 криптовалют, загальна ринкова капіталізація яких склала на 9 серпня 2022 р. \$1,08 трлн при щоденному обороті \$66,12 млрд [12]. Слід зазначити, що на всі криптовалюти доводиться трохи більше 80 % всієї капіталізації крипторинку, де биткойн є безумовним лідером, оскільки його капіталізація становить близько 42 % ринкової капіталізації (табл. 1.3).

Розвиток криптовалют та ринку підтримується зростаючим інтересом різних стейкхолдерів, починаючи від розробників, закінчуючи криміналом. Інтерес ґрунтується на вигодах та зручностях вирішення конкретних завдань, які надає оборот криптовалюти. Широкому поширенню криптовалют сприяє динаміка появи криптовалютних банкоматів, кількість яких згідно з даними Coin ATM Radar збільшилася по всьому світу до 39015 в порівнянні з 25154 всього рік тому [13].

Таблиця 1.3

Найбільш популярні криптовалюти [13]

№	Назва	Тікер	Ціна (USD)	Рин. кап.	Об'єм (24 год)	Об `єм
1	Біткойн	BTC	23.983,3	459.49B \$	28,56B \$	37,08%
2	Ефіріум	ETH	1.840,09	224,97B \$	21,16B \$	27,47%
3	Tether	USDT	1,0004	66.55B \$	55.27B \$	71,75%
4	USD Coin	USDC	0,9995	54,01B \$	7,53B \$	9,77%
5	XRP	XRP	0,37811	18,30B \$	1,69B \$	2,19%
6	Cardano	ADA	0,535	18,16B \$	751.79M \$	0,98%
7	Binance USD	BUSD	0,9995	17,75B \$	6,95B \$	9,03%
8	Solana	SOL	42,253	14,74B \$	1,22B \$	1,59%
9	Polkadot	DOT	9,58	10,61B \$	754.64M \$	0,98%
10	Dogecoin	DOGE	0,070865	9,45B \$	416,46M \$	0,54%

Позначимо деякі переваги криптовалют у порівнянні з електронними та паперовими фіатними грошима.

1. Транзакції у криптовалюті, на відміну від звичайних електронних платежів, дозволяють заощаджувати на комісії. Комісія за переказ коштів у криптовалюті має набагато меншу вартість, ніж комісія в банках, тому можливість транзакції у віртуальній валюті є дуже привабливою для багатьох людей. Одна з причин невеликої вартості комісії – її величина здебільшого не прив'язана до розміру операції та залежить від платіжної системи.

Наприклад, 26 жовтня 2020 р. у мережі біткойна сталася найбільша в перерахунку на долари транзакція за весь час існування криптовалюти. За даними оглядача блокчейну Blockchain.com, невідомий переказав 88 857 BTC (\$1,15 млрд за курсом на момент транзакції) з комісією всього в 0,00027847 BTC (\$3,5). Тобто комісія на такий переказ незрівнянно мала [14].

2. Час здійснення транзакції. Будь-який переказ грошей усередині країни або в міжнародних платежах може тривати 1–5 робочих днів. Транзакції з криптовалютами практично миттєві. Наприклад, для біткойнів загальний час відправки становить від 10 до 60 хв, що вважається найповільнішою системою. Для порівняння, на блокчейні Ethereum та Litecoin транзакція здійснюється у рази швидше, в середньому в межах хвилини.

З іншого боку, обробка платежів з допомогою криптовалют відбувається у режимі 24/7, на відміну платежів, здійснюваних через традиційні платіжні системи.

3. Анонімність проведення платежів. Цей аспект можна віднести як до плюсів криптовалют, так і мінусів, тому що він досить неоднозначний.

Користувачі виділяють такі плюси:

- Ідентифікація користувача неможлива ні на етапі реєстрації криптогаманця, ні на етапі використання цих коштів.

- Втрата доступу до особистого рахунку можлива лише через втрату ключа (паролу) господаря гаманця.

- Гаманець користувача застрахований від арешту та блоку, його не можна заморозити. До недавнього вважалося, що неможлива абсолютна заборона на проведення транзакцій окремими учасниками.

4. Прозорість транзакцій: інформація про дату, суму транзакції, адреси відправника та одержувача є загальнодоступною. Приватність стосується лише інформації про те, хто володіє гаманцем, та мети транзакції.

5. Неможливість підробки або копіювання криптовалюти, оскільки вона існує як унікальний код.

Віртуальна економіка може бути досить вигідною галуззю бізнесу, тому що дозволяє встановлювати бізнес-контакти з максимально віддаленими суб'єктами. У такому разі співробітництво між суб'єктами може здійснюватися без соціальних зобов'язань та локальної прихильності. Крім

того, швидкість обігу віртуальних валют сприятиме збільшенню випуску та реалізації продукції.

Більше того, розвиток віртуальних валют може стати вирішенням проблеми світової фінансової системи, яка полягає у дефіциті довгострокового фінансування. Інвестори мають можливість робити величезні вкладення в проекти, що їх цікавлять, без прив'язки до країн і законодавства. Криптовалюти стирають кордони між користувачами різних країн, оздоровлюючи світову економіку за допомогою загального інвестування.

Є кілька причин, чому держава знову монополізує випуск валюти. По-перше, емітент валюти отримує прибуток від видачі грошей і тим самим держава здобуває весь прибуток від емісії. Другий фактор, більш важливий за попередній, - це повторювані крахи банків. Як і в будь-якому конкурентному бізнес-середовищі, часто банки зазнавали невдач, і нові заходили на ринок. Падіння банків залишали клієнтів з банкнотами, які можна було обміняти лише на частку їх номінальної вартості або взагалі не підлягали обміну, що було великим ударом по фінансовій стабільності та загальній довірі до фінансової системи. Наслідки відсутності довіри призводили до банківських панік, що призводило до подальшого банкрутства банків. Третій фактор - це фальсифікація банкнот, що також знижувало довіру громадськості. Дане шахрайство є проблемою навіть для державної валюти, але з численними валютами, виданими численними банками з багатьма видами банкнот в обігу, громадськості важко слідкувати за справжніми ознаками [3].

Випуск валюти вважається державною монополією з початку ХХ століття. Питання, чи є це дійсно обґрунтованим висновком щодо цифрових валют, залишається відкритим для майбутніх досліджень. Кінець Другої світової війни і наступна конференція в Бреттон-Вудс у 1944 році та реформи в Ямайці у 1976 році позначили завершення золотого стандарту. Фіатні гроші перестали вільно конвертуватися в золото. У світі, де офіційні валюти не мали ані вродженої, ані фіксованої вартості від основи платіжної системи,

пошук альтернативних валют був необхідним. Глобальні фінансові кризи 2008 року діяли як катализатор у прискоренні цього пошуку [3].

Введення кредитних карт у 1950 році розпочало еру електронних грошей. З того часу готівкові платежі в значній мірі були заміщені безготівковими альтернативами, такими як платіжні картки, кредитні перекази, прямі дебети, грошові накази, векселі, аккредитиви і т.д.. Пандемія коронавірусу COVID-19 ще більше прискорила перехід від фізичної валюти до електронних альтернатив, створивши ідеальне середовище для розвитку приватних цифрових валют.

Історія грошей показала, що все, що служить валютою, повинно викликати достатню довіру та попит серед кінцевих користувачів. Довіра до валюти є основою безпечної та ефективною платіжної системи в системі фіатних грошей. Це в кінцевому підсумку залежить від загального прийняття шматків паперу, які не можуть бути обміняні на що-небудь, крім самих себе [1].

1.2. Види та технології формування цифрових валют

Технології, що лежать в основі цифрових валют, блокчейн та розподілені реєстри, вважаються руйнівними, оскільки вони мають потенціал витіснити інші речі, особливо ті, що стосуються банківської справи та фінансів [4]. Те, наскільки нова технологія приймається суспільством, в значній мірі визначається тим, як люди сприймають цю технологію [5]. Згідно з рядом досліджень, найважливіший фактор - це сприйнята довіра, яка визначає використання цифрових валют [6].

Дослідження, проведене в Чеській Республіці, показало, що безпека та надані вигоди позитивно впливають на довіру до цифрової валюти. Крім того, виявлено, що вплив був більший у молодших та менш досвідчених користувачів порівняно зі старшими та більш досвідченими респондентами [7]. Шахзад та ін. отримали схожі результати в дослідженні, де вони вивчали прийняття біткоіну в Китаї [8]. Вони прийшли до висновку, що обізнаність та

сприйнята довіра є важливими детермінантами наміру громадян використовувати біткоїн. В іншому дослідженні, пов'язаному з біткоїном, використовуючи експлораторський метод інтерв'ю з 13 учасниками в трьох різних групах, виявили, що зручність використання, корисність і суб'єктивні норми є детермінантами прийняття [9].

Можливо, одним із найбільш всебічних досліджень є те, яке провів Альмуракаб в Об'єднаних Арабських Еміратах [10]. Він перевіряє кілька гіпотез, використовуючи модель ТАМ (Technology acceptance model) з доданими факторами на зібраних даних через опитування. Його висновки демонструють, що сприйнята корисність, сприйнята довіра, сприйнята легкість використання та соціальний вплив значуще впливають на намір використання цифрової валюти. Водночас він приходить до висновку, що сприйнята легкість використання та сприйнята корисність виступають посередниками взаємозв'язку між обізнаністю та наміром громадян використовувати цифрову валюту.

Цифрові валюти намагаються заповнити прогалини в поточній фінансовій системі. Традиційні банки не могли забезпечити достатнє територіальне покриття, конкурентоспроможні ціни і простоту своїх послуг, тому інші організації взяли на себе завдання закрити цю прогалину [11]. Вони мають потенціал зменшити кількість безбанківських розрахунків по всьому світу, а також знизити витрати та підвищити ефективність транзакцій.

Коли мова йде про визначення цифрових валют, речі ускладнюються. Існують різні категорії, які називаються різними іменами, такими як віртуальні валюти, електронні валюти, цифрові токени, е-гроші. Кожне з цих визначень описує певний тип валюти, яка існує лише у цифровій формі. Розрізнення між цими категоріями часто тонке, і вони потенційно ставлять деякі базові питання визначення грошей, валюти, цінних паперів та самого товару.

Незважаючи на важливість, визначення є складними, оскільки ці правові категорії іноді перетинаються або «накладаються» у своєму

економічному використанні. Цифрові валюти відрізняються залежно від технічних характеристик, обраних розробниками, та способу поведінки токенів ЦО в економіці ринку [12]. Цифровий токен – це одиниця криптографічної інформації, яка використовується для полегшення реальної транзакції. Простіше кажучи, це ряд літер та цифр, які знає лише власник.

У великому «світі» монетарної системи, цифрові валюти займають своє місце десь між альтернативними грошима та альтернативними видами платежів та обмінів, при цьому виявляючи ознаки цінних паперів (криптоактивів). Ця складна характеристика не легко вписується в усталені правові концепції. В впливовій статті середини 1990-х років Джонсон і Прост стверджували, що, оскільки сучасні комп'ютерні комунікаційні системи перетинають територіальні кордони, підриваючи зв'язок між юридично значущими онлайн-явищами та фізичними місцями, нам потрібно розробити закони, адаптовані до «простору», обмеженого екранами та паролями, замість географічних кордонів [13]. Згідно з Додріджем, правові принципи походять від логіки, природної філософії, канонів, і, нарешті, від «звичаїв та розмов людей» [14]. Таким чином, для належного регулювання цифрових валют простір права повинен виходити за межі кордонів, і для цього потрібна міжнародна співпраця.

Запуск біткоіна в 2008 році поступово привів цифрові валюти до масового сприйняття і на регуляторний порядок денний [12]. До сьогоденішнього дня більшість регуляторів вживає стратегію «слідкуй і чекай», оскільки ринок розвивається, щоб не приглушити корисні інновації, і маючи на увазі, що це явище здійснюється понад національно. Наприклад, Комісія з цінних паперів та бірж США вжила активну, але досить дозвільну політику, спрямовану на застосування вимог до дійсного випуску цінних паперів до цих нових фінансових інструментів; на відміну від цього, регулятори в Китаї та Південній Кореї заборонили біткоіни та всі інші криптовалюти. Китайська влада вирішила заборонити обмін цифрових валют на реальні товари та послуги, оскільки обсяг торгівлі Q-коїнами за рік

досягав мільярда юанів, з метою обмеження можливого впливу на реальну фінансову систему.. Загалом перша хвиля регуляторних заходів була спрямована на попередження споживачів і застосування існуючих нормативів до цифрових валют. У наступній хвилі очікується регулювання цифрових валют та пов'язані технології [15].

Одним із найважливіших викликів на даний момент є забезпечення того, що фінансові інновації не стануть новими засобами для фінансових злочинів та ухилення від оподаткування. Цифрові валюти можуть надавати канали оплати, які обходять заходи «Знай свого клієнта» (KYC) та протидії відмиванню грошей (AML). Традиційні заходи KYC та AML спрямовані на фінансових посередників, а не безпосередньо на злочинців; дезінтермедіація фінансових послуг, яку забезпечують цифрові валюти, позбавляє ці заходи їх об'єктів. У цьому контексті ключовим регуляторним інструментом є саморозподілений реєстр як механізм обліку, що є властивим системі цифрових валют. Відповідно до цього основна перешкода полягає в ідентифікації сутностей, які стоять за відповідними транзакціями, документованими в саморозподіленому реєстрі. Справа про припинення діяльності Silk Road у 2013 році американськими правоохоронними органами продемонструвала практичність такого підходу [16]. З цієї причини Міжнародна група з протидії відмиванню брудних грошей у 2015 році визначила, що в першу чергу фінансові установи, які надають системи саморозподіленого реєстру та обмінники цифрових валют, повинні бути зобов'язані оцінювати ризики відмивання грошей та фінансування тероризму та застосовувати відповідні заходи для їх запобігання чи зменшення.

Іншою важливою складовою регулятивної відповіді на цифрові валюти та пов'язані із ними розвідки, такі як смарт-контракти, буде RegTech. Регуляторна технологія (RegTech) - це використання нових інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у моніторингу, звітності та виконанні вимог. Хоча стратегія «слідкуй і чекай» є належно орієнтованою на ризик, необхідність дії повинна постійно переоцінюватися в контексті змінюючихся

обставин. Як показали останні події, пов'язані з біткоїном, зміни можуть бути дуже швидкими, тому необхідний певний рівень готовності на основі принципу обережності. Крім того, міжнародний характер цифрових валют підкреслює потребу в єдинообразному європейському та всесвітньому регуляторному підході. Євросистема та її аналоги по всьому світу ефективно залучаються до регулювання «революції» у проектуванні та наданні фінансових послуг.

Блокчейн та технологія розподіленого реєстру є основою цифрових валют (рис. 1.2). Розподілений реєстр – це база даних для зберігання даних (включаючи програми), яка реплікується через мережу від одного користувача до іншого та дозволяє кільком сторонам ділитися базою даних та змінювати дані (тобто проводити транзакції) надійно та безпечно, навіть якщо вони не знають чи не довіряють одне одному [17]. Ширше розуміючи, блокчейн - це мережевий програмний протокол, який дозволяє безпечний переказ грошей, активів та інформації через Інтернет без потреби у посереднику третьої сторони, такої як банк. На даний момент в розробці є чотири основних види застосувань блокчейну: миттєвий переказ грошей (ЦВ), реєстрації власності, контрактні угоди та підтвердження ідентичності.

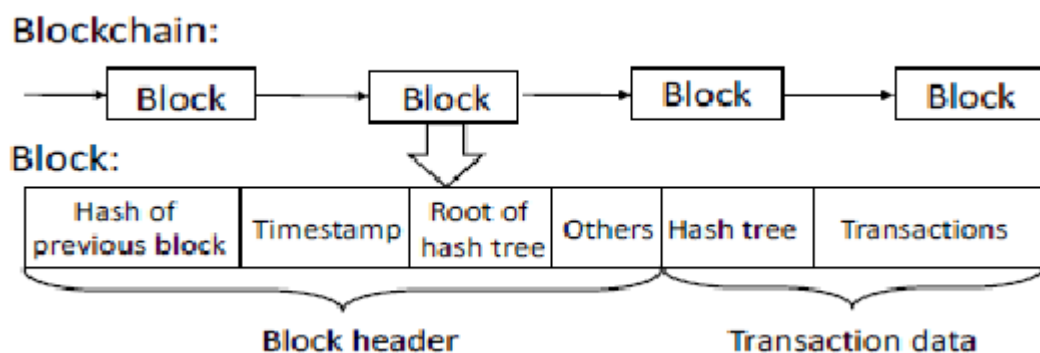


Рис. 1.2. Технологія розподіленого реєстру

Часто терміни «блокчейн» та «технологія розподіленого реєстру» використовуються взаємозамінно. Розподілений реєстр є загальною формою технології, а блокчейн - конкретною формою з додатковими технічними

деталіями. Вони обидва вказують на той самий концепт реєстру – файлу, який відстежує, хто володіє чим. Розподілений реєстр має чотири основні характеристики: базу даних транзакцій, що ділиться між учасниками мережі, яка оновлюється за згодою, з записами, які мають мітки часу унікальним криптографічним підписом та зберігається в непідкупній аудитабельній історії всіх транзакцій

Блокчейн додає додаткову можливість послідовного оновлення записів бази даних через зв'язані між собою блоки криптографічно зв'язаних хешів (кожен блок викликає хеш попереднього блоку, ефективно зв'язуючи транзакційні блоки в необоротний ланцюг, отже термін «блокчейн»). Існують два види блокчейнів: приватні та публічні. Будь-хто може використовувати публічні блокчейни, такі як Bitcoin (bitcoin.org) та Ethereum (ethereum.org).

Незважаючи на те, що ці технології мають великі перспективи, їх переваги супроводжуються деякими викликами та обмеженнями. Перший виклик полягає в тому, що технологія є складною. Навіть базові визначення важко зрозуміти для звичайної людини, оскільки вона включає в себе багато математичних розрахунків. Другий виклик – масштабованість, створення розподілених фінансових мереж, які можуть масштабуватися до обсягів обробки на рівні Visa та вище. Наприклад, Visa обробляє середній обсяг 1667 транзакцій за секунду, тоді як Bitcoin обробляє 7 за секунду. Третій виклик – необхідне ефективне регулювання з боку уряду для підтримки розвитку галузі. Наразі уряди відстають і не приймають чітких активних заходів. Четвертий, і останній, положення в новому напрямку – доступно менше кваліфікованих фахівців із відповідною сертифікацією та технічними знаннями. Порівняно з попиту на цю технологію сьогодні, кількість консультантів є обмеженою.

Сучасні електронні роздрібні гроші представляють собою вимогу до посередника, а не функціонують як цифровий еквівалент готівки. Причина, з якої цифрові валюти здобувають так багато уваги та зусиль від дослідників і центральних банків, полягає в їх багатьох економічних перевагах порівняно з

фіатними грошми. Переваги використання цифрової валюти як засобу обміну порівняно з традиційними системами включають доступність, комісійні витрати та ступінь анонімності.

Хоча біткоїн нематеріальний, він має економічну цінність: він вирішує проблему подвійного витрачання, має низькі комісійні витрати та виявляє шахрайство через публічні аутентифікації. Інші переваги включають швидкість платежів, конфіденційність та безпеку для користувачів. Традиційні міжнародні платежі, як правило, повільні, непрозорі та особливо вартісні. Цифрові валюти можуть повністю замінити міжнародні платежі, зробивши їх майже миттєвими. Наприклад, транзакція з біткоїном може зайняти від 10 до 30 хвилин, тоді як транзакція, підтримана комерційним банком, може зайняти години чи дні. Крім того, є можливість вбудовувати відповідність AML/CFT безпосередньо через цифрові валюти, що стає можливим завдяки електронним системам визначення клієнта та різноманіттю застосувань реґтеку (технології регулювання) та суптеку (технології нагляду). Це дозволило б ще більше знизити витрати.

З точки зору економічної теорії те, чи можна вважати цифрову валюту грошми, залежить від того, наскільки вона відповідає трьом функціям грошей: як засіб зберігання вартості для передачі платіжної потужності від сьогодні до якоїсь майбутньої дати; як засіб обміну для здійснення платежів; та як одиниця обліку для вимірювання вартості будь-якого товару, що продається. Тим не менше, відповідність цим економічним визначенням не обов'язково означає, що актив буде вважатися грошми з юридичних або регуляторних метю. Навіть зараз, коли цифрові валюти, зокрема біткоїн, привертають багато уваги, ними користується невелика кількість людей.

Випуск біткоїна в 2008 році відзначив народження криптовалюти. Використання терміну «криптовалюта» для загального опису біткоїна та його відгалужень є надто заплутаним. Криптографія – це неявна риса не лише більшості цифрових альтернативних валют, але і банківських рахунків та систем SOC. Зараз існує понад 8884 нових, приватних та контрольованих

криптовалют по всьому світу, і поспіх у їх створенні не зменшується [18]. Початковою метою Сатоші Накамото було створити електронну платіжну систему на основі криптографічних доказів, а не довіри. Найвизначальнішою характеристикою є те, що ніяка сутність не має суверенітету над нею, і, будучи нерегульованою валютою, криптовалюта забезпечує практично повну анонімність. Другою найвідомішою перевагою є децентралізація системи, яка надає майже ідеальну платформу для зберігання коштів. Ще однією помітною архітектурною особливістю є прозорість системи: відсутність back office, як у сучасних банків. Будучи платіжною системою peer-to-peer, біткоїн має перевагу у вигляді низьких комісій за транзакції та швидких глобальних переказів. Однак для широкого прийняття вони все ще мають свою обмежену репутацію, постійно змінювану вартість та неможливість відміни платежів. Інші недоліки існуючих криптовалют, переважно біткоїна, включають:

вони не забезпечують захисту від ризику структурного дефляції;

їх фіксований графік постачання позбавив би регуляторів значних ручок керування та виключив можливість гнучкого реагування на тимчасові шоки до їх попиту та можливість згладжування бізнес-циклу та мінімізації макроекономічних розладів, що вважається однією з основних функцій грошової політики;

такі обмеження однозначно усунули б можливість мати резервного кредитора останнього випадку.

Однак слід зауважити, що криптовалюти розробляються розробниками, тому їхні характеристики можна налаштовувати і не є фіксованими. Завданням є створення криптовалюти, яка відповідає всім необхідним вимогам для міцної та надійної грошової системи.

Як видно на рис. 1.3, ринкова капіталізація криптовалют сягає \$1,64 трлн. Найбільш помітною особливістю графіка є велика волатильність, яка існує на ринку криптовалют. Їхня вартість може драматично змінюватися від ранку до вечора в той самий день. Ця висока цінова волатильність існуючих криптовалют підірвала їхню придатність як засобу платежу, засобу

зберігання вартості або одиниці обліку. Проте їх використовують як ризиковані інвестиції з великими можливостями заробити і втратити одночасно. Біткоїн розглядається як золото цифрової ери. У дослідженні, проведеному Гільбертом, як CAPM, так і модель Фама-Френча з трьома факторами підтвердили, що біткоїн не має системного ризику[19]. Результати аналізу портфеля з середньою дисперсією вказали на те, що оптимальний ризикований портфель повинен включати приблизно від 4,4% до 21,5% біткоїну. Бум криптовалют схожий на бум дот-комів у 2000-х роках багатьма способами. Ймовірно, багато з 8 884 криптовалют, які зараз є на ринку, не виживуть, але деякі з них тут, щоб залишитися. Цифрова ера валют тільки почалася, і з часом її реальні наслідки стануть зрозумілішими.



Рис. 1.3. Ринкова капіталізація криптовалют [15]

Стейблкоїни виникли для вирішення невдачі біткоїна та інших криптовалют як ефективного грошового та платіжного інструменту. У поточному дебатах про політику стейблкоїн можна визначити як криптовалюту, яка має на меті зберігати стійку вартість відносно визначеного активу, пулу або кошика активів. Вони намагаються зберігати стабільну вартість за допомогою щонайменше двох відмінних механізмів. Головна ідея полягає в тому, що емітенти стейблкоїнів стверджують, що їх підтримують

фіатні валюти, активи або інші криптовалюти; їх називають активно-зв'язаними стейблкоїнами. З іншого боку, алгоритмічні стейблкоїни мають на меті використовувати алгоритми для збільшення чи зменшення обсягу стейблкоїнів у відповідь на зміни в попиті.

Стейблкоїни є електронними, їх можна обмінювати від одного користувача до іншого і вони не випускаються центральними банками. Ще одна характеристика полягає в тому, що вони ґрунтуються на токенах; їхню валідність перевіряється на основі самого токена, а не на основі ідентифікації контрагента, як у випадку платежів на основі рахунків. Стейблкоїни, такі як Tether, USD Coin та Dai виступають як засіб розрахунку для автоматизованих фінансових продуктів. Вони також пропонують можливість так званих смарт-контрактів (самовиконуючих цифрових контрактів) та "програмовані гроші". Наприклад, смарт-контракти можуть автоматизувати певні транзакції: кошти для покупки будинку будуть переказані лише після отримання та підтвердження звіту про огляд. Таким чином, фінансова транзакція автоматизована за умови виконання об'єктиву, який спричинює оплату.

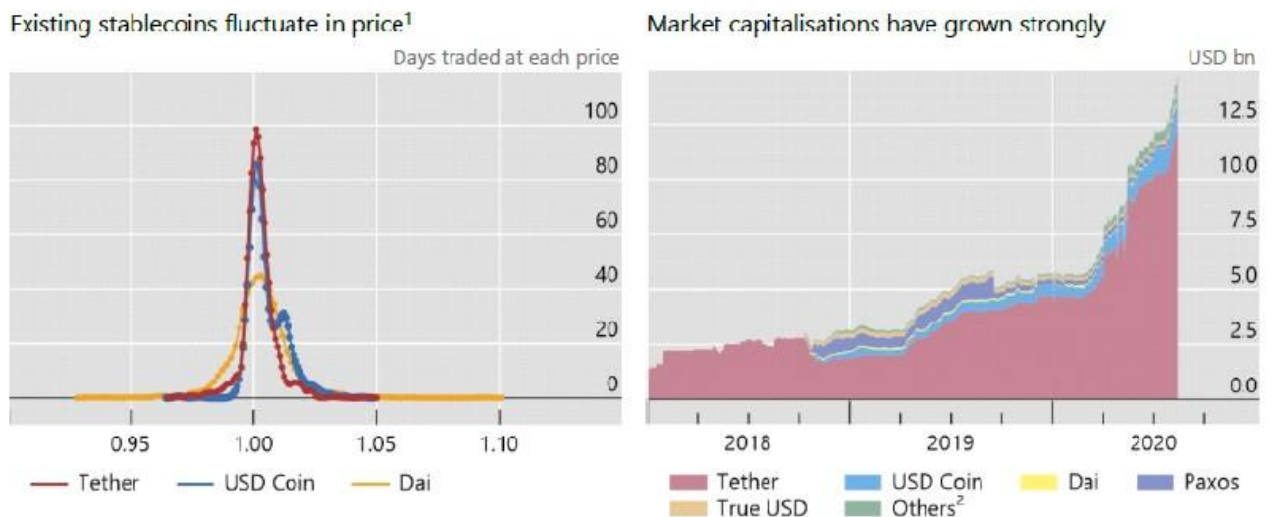


Рис. 1.4. Капіталізація ринку стейблкоїнів

Наявна ринкова вартість стейблкоїнів (Tether, USD Coin, Dai і ін.) склала 14 млрд доларів США в серпні 2020 року. Однак влада очікує, що ці

обсяги зростуть на кілька порядків. Якщо їхня присутність зростатиме, регулювання та нагляд повинні швидко адаптуватися для моніторингу та оцінки їхніх ризиків для фінансової системи [1]. Стейблкоїни пропонують можливість взаємодії з вбудованим наглядом на практиці.

Приватні стейблкоїни пришвидшують випуск ЦВЦБ. На даний момент більшість урядів аналізують їх. Згідно з опитуванням, проведеним Радою фінансової стабільності (РФС), дві третини центральних банків вивчають вплив стейблкоїнів на грошову та фінансову стабільність. Публічні органи та установи встановлюють близьку увагу до стейблкоїнів, про що свідчить міжнародно координована робота РФС та інших.

Цифрова валюта центрального банку (ЦВЦБ) є відповіддю центральних банків на приватні криптовалюти та стейблкоїни. Оскільки центральні банки відіграють ключову роль у платіжних системах, зниження використання готівки та зростання використання приватних цифрових валют може вимагати від них «взяти ініціативу». ЦВЦБ представляє собою зобов'язання центрального банку і визначається в національній валюті. Вона відрізняється від готівки своєю цифровою формою, на відміну від фізичних монет та банкнот. Існуючі форми безготівкових платіжних інструментів, таких як кредитні перекази, прямі дебети, карткові платежі та електронні гроші, представляють собою зобов'язання приватної фінансової установи, тоді як ЦВЦБ відрізняється тим, що вона представляє пряму вимогу до центрального банку [1]. Також цей тип безрискової вимоги робить ЦВЦБ відмінним від криптовалют (Біткоїн) чи інших приватних цифрових токенів (таких як стейблкоїни).

Центральні банки відіграють ключову роль, забезпечуючи довіру до грошей, як основного суспільного блага, тоді як приватний сектор виступає в провідній ролі в інноваціях для обслуговування громадськості. Більше ніж коли-небудь у цифрову еру, центральним банкам потрібно інновувати самим собою. Через ЦВЦБ вони можуть сприяти конкуренції серед приватних фінансових посередників, слугувати основою для здорової інновації в галузі

платежів та встановлювати високі стандарти безпеки та управління ризиками. Центральні банки, які разом представляють п'яту частину населення світу, планують випустити ЦВЦБ протягом наступних трьох років, і вже реалізуються деякі пілотні проекти (цифровий юань в Китаї та «сент-долар» на Багамах).

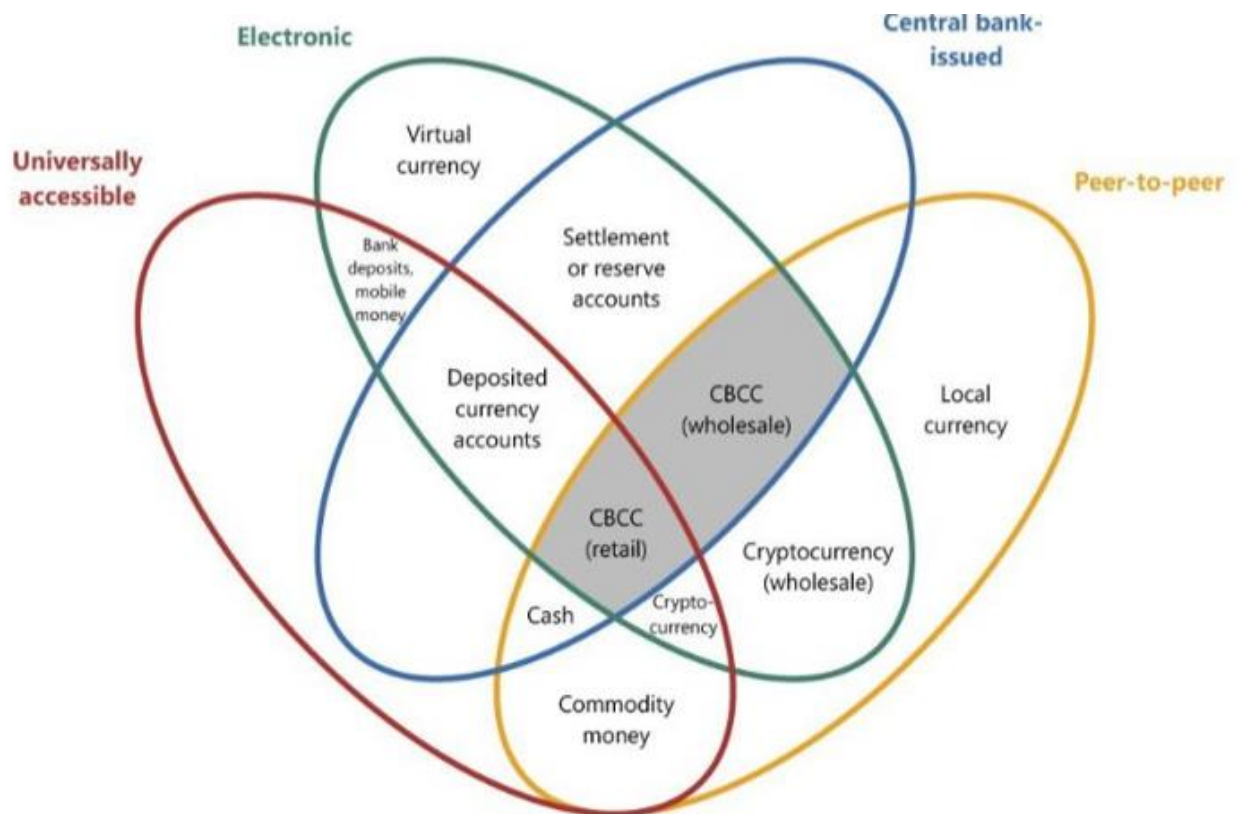


Рис. 1.5. Фігура «квітнка грошей»

ЦВЦБ як фактична валюта може приймати дві форми: роздрібна та оптова. Роздрібна ЦВЦБ, як видно на зображенні вище, розташована в центрі «грошової квітки». Вона повинна мати характеристики універсальної доступності, електронності, бути випущеною центральним банком та надавати можливість безпосередніх платежів між користувачами. Оптова ЦВЦБ, з іншого боку, має ті ж характеристики, що і роздрібна ЦВЦБ, але призначена для обмеженого доступу фінансовим установам і є аналогією сучасних рахунків резервів та розрахунків центрального банку.

Ідеальна роздрібна ЦВЦБ повинна мати певні особливості. По-перше, вона повинна бути зручною та простою у використанні. Потрібно враховувати, що школярі, літні люди та люди будь-якого віку повинні легко володіти нею так, як це роблять із банкнотами та монетами. Вдруге, вона повинна бути дуже безпечною та високостійкою до відмов і кібератак. Втретє, ЦВЦБ повинні бути стійкими до підробки, так само як і готівка, для гарантування безпеки та цілісності платежів. Вчетверте, вона повинна дозволяти швидкі та економічні платежі, сприяючи при цьому подальшому інноваційному розвитку в платіжних системах. П'яте, ЦВЦБ повинні забезпечувати конфіденційність користувача, дозволяючи при цьому ефективне правопорядкування. Ці основні характеристики ведуть до фундаментальних розглядів дизайну ЦВЦБ.

Тем не менше, переваги нових ЦВЦБ повинні бути уважно зважені в порівнянні з наслідками для функціонування фінансової системи. Деякі з питань включають ризик дезінтермедіації, включаючи прискорення банківських панік у часи стресу, а також потенційно більшу присутність центрального банку в фінансовій системі. Невід'ємною передумовою для будь-якого центрального банку, що випускає ЦВЦБ, є міцна та чітка правова база. Згідно з опитуванням BIS з участю понад 60 центральних банків, близько чверті з них вже мають або найближчим часом отримають законодавчі повноваження для випуску ЦВЦБ.

Графіки (рис. 1.6) з дослідження, проведеного Банком міжнародних виплат (BIS) та опублікованого в січні 2021 року, в якому взяло участь понад 60 центральних банків. На першому графіку чітко видно зміну поглядів центральних банків на позитивну ідею ЦВЦБ. Початково схильними до сумнівів, під час пандемії коронавірусу від фізичних платежів до цифрових та зростання використання приватних цифрових валют змінили позицію центральних банків. Також слід відзначити великий приріст позитивного ставлення до оптових ЦВЦБ.

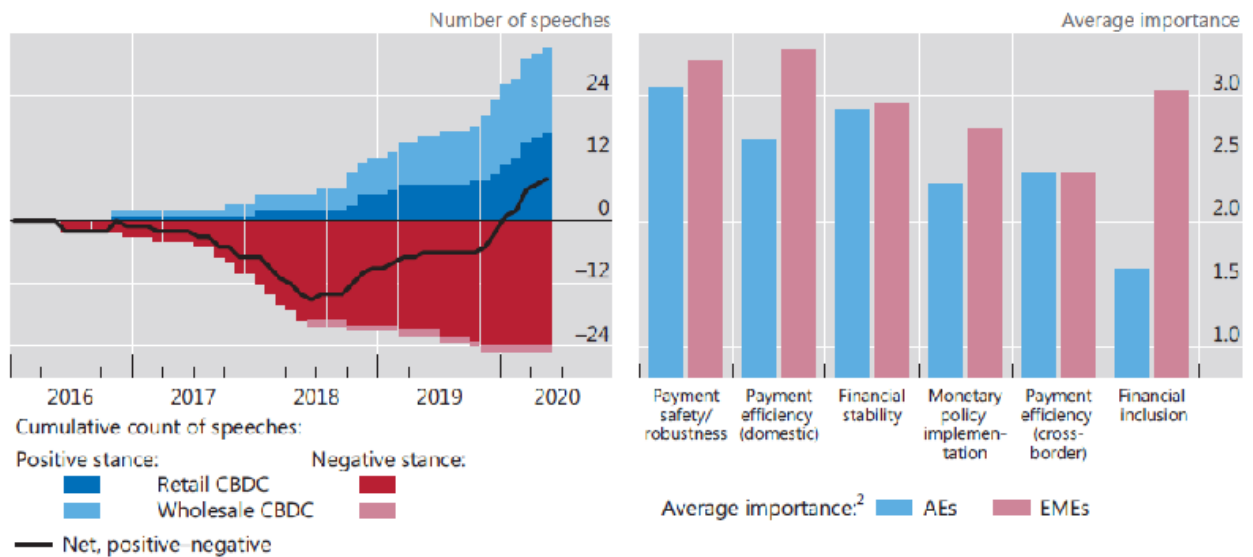


Figure 5

Рис. 1.6. Зміна поглядів центральних банків на позитивну ідею ЦВЦБ

Причина цього полягає в необхідності вищої ефективності в міжнародних платежах. Ріст міжнародної електронної комерції, грошових переказів та туризму суттєво вплинув на попит на бездоганні та дешеві міжнародні платежі. Глобально спрямований дизайн ЦВЦБ може враховувати ці міжнародні зв'язки відразу, щоб полегшити міжнародні платежі та зменшити неефективності та ренти шляхом скорочення ланцюга вартості платежів.

Хоча багато центральних банків працюють над ЦВЦБ, їх мотивації відрізняються між розвиваючимися ринками та розвинутими економіками. Як видно на другому графіку вище, загалом ринки, що розвиваються вказують на більші мотивації щодо випуску ЦВЦБ, ніж розвинуті економіки. Основним фактором для таких ринків у роботі над ЦВЦБ є фінансова інклюзія, яка залишається основним пріоритетом у його розробці. Прикладом є введений ЦВЦБ на Багамах: основною метою Sand Dollar є полегшення фінансової інклюзії в цій країні, де проживає 390 000 людей по всій території 30 віддалених островів. Як для розвинених, так і ринків, що розвиваються

ефективність внутрішніх платежів та їх безпека залишаються основними мотиваціями для випуску ЦВЦБ загального призначення. У розвинених економіках сприйняття необхідності випуску ЦВЦБ менше, а основні області інтересу пов'язані з ефективністю та безпекою платежів. Центральні банки прагнуть забезпечити продовжений доступ загальної громадськості до грошей центрального банку, пов'язаний з поступовим зменшенням використання готівки для транзакцій.

Незалежно від конкретних причин випуску ЦВЦБ, всі центральні банки стикаються зі спільним ризиком. Внутрішні користувачі можуть у значних кількостях переходити на стейблкоїни, криптовалюти та іноземні ЦВЦБ, тоді як використання внутрішньої валюти може зменшуватися. Така «цифрова доларизація», в екстремальних випадках, може призвести до заміни національної валюти іншою, при цьому внутрішній центральний банк втрачає контроль над грошовими питаннями. Центральний банк може запобігти цьому, пропонуючи ефективний та зручний ЦВЦБ сам. Тому запуск державних цифрових валют великими економіками, ймовірно, матиме сильний ефект «ланцюгового реагування», за яким слідуватимуть інші економіки. Це майбутнє є дуже реальним і може бути дуже близьким.

Прикладами ЦВЦБ, які вже використовуються, є Sand Dollar на Багамах та цифровий юань в Китаї. Sand Dollar на Багамах знаходиться в стадії пілоту, і його метою є поліпшення фінансової інклюзії в віддалених районах островів, зменшення розміру законної, але незареєстрованої економічної діяльності, посилення боротьби з відмиванням грошей та іншими нелегальними цілями, а також надання державних послуг через цифрові канали для поліпшення податкової адміністрації та ефективності витрат. З іншого боку, Народний банк Китаю мав абсолютно інші мотивації для впровадження цифрового юаню. Його основною турботою було зростання прийняття приватних цифрових валют населенням. З цієї причини навіть було заборонено використання біткоїна та схожих криптовалют.

1.3. Теорії формування ринку цифрових валют

Розглянемо дві популярні теорії фінансової економіки – гіпотезу ефективного ринку (ГЕР) та «теорію більшого дурня» (ТБД). Згідно з ГЕР, ціни активів відображають усю доступну інформацію. Це гіпотеза фінансової економіки, згідно з якою неможливо систематично «переграти ринок» на основі коригування ризику, оскільки ціни на ринку реагують лише на нову інформацію [20]. Враховуючи, що ГЕР виражена у коригуванні ризику, вона дає тестові передбачення лише у поєднанні з певною моделлю ризику [21]. Отже, дослідження в галузі фінансової економіки, принаймні з 1990-х років, акцентується на ринкових аномаліях, відхиленнях від конкретних моделей ризику [22]. ГЕР є логічною основою для сучасних ризик-орієнтованих теорій цін на активи, разом із цінними концепціями, такими як цінове ціннісне ціноутворення та посередницьке ціннісне ціноутворення, які можна розглядати як поєднання моделі ризику з ГЕР [23].

З іншого боку, ТБД стверджує, що ціна активу не визначається його внутрішньою вартістю, але місцевим та відносним попитом конкретного споживача. Іншими словами, споживач може заплатити завищену ціну через свої потреби та локальну відносну ринкову вартість в завищеному ринку, незважаючи на більший ринковий досвід. Однак інші споживачі можуть вважати ціну завищеною відносно своїх потреб та оцінки ринкової вартості. Це означає, що товар має вищу вартість, і для іншого споживача перший виглядає як «дурень» [24].

Останній стрімкий ріст криптовалют звернув на себе увагу економічних та фінансових дослідників, які прагнуть розгадати та розкрити основні фактори, що впливають на динаміку криптовалютного ринку. Наприклад, Лі та Ванг (рік невідомий) провели теоретико-обґрунтоване емпіричне дослідження формування обмінного курсу біткоїна (в порівнянні з USD), враховуючи технічні та економічні фактори. У дослідженні використовувався модель авторегресивних розподілених затримок (ARDL) з підходом обмеженого тесту для оцінки стаціонарності та коінтеграції між

змінними. Згідно з дослідженням, обмінний курс біткоіна короткостроково змінюється відповідно до змін на ринкових умовах та економічних факторів. Довгостроковий обмінний курс біткоіна менше піддатливий технічним змінним та більш чутливий до основних економічних умов. Дослідження також виявило значущий вплив технології майнінгу та зменшення значущості складності майнінгу на формування ціни біткоіна.

Крістофек проаналізував частоту онлайн-пошуків біткоіна, визначивши їх як добрі показники інтересу та популярності, і прийшов до висновку, що взаємозв'язок між цінами на біткоїн та онлайн-популярністю є двостороннім[25][26]. Також Ціаїн та інші повідомили про позитивний зв'язок між пошуками у Вікіпедії та цінами на біткоїн [27]. Так само Буойюр та Сельмі визначили, що популярність та привабливість для інвесторів в основному визначають рух цін[28]. Пойзер досліджував зв'язок між ринковою ціною біткоіна та внутрішніми та зовнішніми факторами за допомогою методу байєсівської структурної часової серії[29]. Висновки свідчать, що ціна біткоіна інверсно корелює з ціною золота, обмінним курсом юаня до USD та нейтральним настроєм інвестора, водночас позитивно корелює з індексом фондового ринку, обмінним курсом USD/EUR та різноманітними показниками тенденцій пошуку в різних країнах.

Кая проаналізував ринок криптовалют та фактори, що впливають на ціни біткоіна за допомогою простої регресійної моделі на основі методики OLS[30]. У дослідженні виявлено, що єдиною значущою змінною був громадський інтерес та популярність біткоіна. Також Совбетов досліджував фактори, що впливають на ціни п'яти найпоширеніших криптовалют, таких як біткоїн, ефіріум, деш, лайткоїн та монеро, в період з 2010 по 2018 рік за допомогою тижневих даних [31]. У дослідженні використовувалася техніка ARDL, і виявлено, що фактори, пов'язані з крипторинком, такі як бета ринку, торговий обсяг та волатильність, є значущими визначниками для всіх п'яти криптовалют як в короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі. Також виявлено, що привабливість криптовалют має значення тільки в

довгостроковій перспективі, і що індекс SP500 має слабкий позитивний довгостроковий вплив на біткоїн, ефіріум та лайткоїн. У той же час його знак змінюється на негативний, втрачаючи значущість в короткостроковій перспективі, за винятком біткоїна. Також К'ерленд та інші досліджували потенційні визначники цін на біткоїн за допомогою підходів авторегресивно розподіленої затримки та загальної авторегресивної умовної гетероскедастичності (GARCH)[32]. Відповідно до висновків попередньої літератури, емпіричні дослідження показують, що доходи від S&P 500 та пошуку в Google впливають на ціну біткоїна. Однак дослідження вважає, що індекс волатильності Чиказької фондової біржі (CBOE), нафта, золото та обсяг транзакцій біткоїна є незначущими.

Насір та інші аналізували передбачуваність обсягу та доходу від біткоїна за допомогою значень пошуку в Google[33]. У дослідженні використовувалося багатий набір усталених емпіричних підходів для виявлення структури залежності, включаючи VAR-фреймворк, метод копул та непараметричні графіки. На основі тижневого набору даних з 2013 по 2017 рік результати свідчать, що частота пошукових запитань в Google призводить до позитивних доходів і зростання торговельного обсягу біткоїна. Також виявлено, що удари по значеннях пошуку мають позитивний ефект і залишаються принаймні на тиждень.

В дослідженні всіх альткоїнів, доступних протягом трьох різних періодів (2015–2017, 2016–2017 та 2017), Відаль-Томас та інші використовували ринкові портфелі за капіталізацією для аналізу слабкої ефективності криптовалютного ринку в рамках традиційних тестів ефективності[34]. Вони прийшли до висновку, що ринок криптовалют є слабо-формально неефективним через поведінку всіх альткоїнів та стає ще менш ефективним з часом, особливо в 2017 році.

Корбет та інші систематично розглядали емпіричну літературу для підтвердження обвинувачень у виникненні бульбашок в цінах на криптовалюту, пов'язаних із певними нематеріальними факторами[35].

Дослідження показало, що регулюючий нагляд, потенційне незаконне використання та порушення інфраструктури впливають на уявлення про роль криптовалют як достовірного класу активів для інвестицій та законної вартості.

У іншому систематичному огляді, Кіріазіс та інші пройшли академічну літературу, що стосується утворення бульбашок в цінах на цифрові валюти[36]. Їхнє дослідження показало, що біткоїн перебуває у фазі бульбашки з червня 2015 року, тоді як ефіріум, NEM, Stellar, Ripple, Litecoin та Dash проявили характеристики бульбашки з вересня 2015 року.

Тейкер та інші досліджували, як зміни в цінах на золото та нафту впливають на щоденні рухи цін різних криптовалют, таких як біткоїн, тезер, ефіріум, лайткоїн та еос, в період з 1 серпня 2017 року по 3 квітня 2019 року [37]. Вони перевірили стаціонарність часового ряду за допомогою методу Нга та Перрона, наявність коінтеграційного відношення між рядами випробовувалася за допомогою методу Йогансена, а наявність взаємозв'язків причинності між рядами вивчалася за допомогою тесту причинності Доладо і Люткеполя. Емпіричні результати підтримують взаємозв'язок коінтеграції лише між тезером і цінами на золото та нафту.

Висновки до розділу 1

Проведено теоретичний аналіз понять, моделей та факторів, що впливають на поведінку цифрової валюти. Було розглянуто різні типи цифрових валют, такі як криптовалюти, стейблкоїни, цифрові валюти центральних банків (CBDC) та інші, а також їхні особливості, переваги та недоліки. Криптовалюти - це цифрові валюти, які використовують криптографічні методи для забезпечення безпеки, анонімності та децентралізації транзакцій. Стейблкоїни - це цифрові валюти, які прив'язані до стабільних активів, таких як фіатні валюти, золото або інші криптовалюти, для зменшення волатильності та збільшення надійності. Цифрові валюти центральних банків - це цифрові валюти, які випускаються та контролюються

центральними банками, які можуть використовувати їх для регулювання грошово-кредитної політики, підтримки фінансової стабільності та забезпечення ефективності платіжних систем.

Виявлено основні фактори, що впливають на ціну, попит, пропозицію, ліквідність, волатильність та інші параметри поведінки цифрової валюти, а також їхні взаємозв'язки та залежності. Ціна цифрової валюти визначається взаємодією попиту та пропозиції на ринку, які залежать від багатьох факторів, таких як очікування, психологія, інформація, технології, конкуренція, регулювання, політика, геополітика, кризи та інші. Попит на цифрову валюту залежить від її привабливості для користувачів, які можуть використовувати її для різних цілей, таких як зберігання цінності, обмін, спекуляція, інвестиції, платежі, дарування, благодійність та інші. Пропозиція цифрової валюти залежить від її властивостей, таких як алгоритм емісії, обмеження кількості, швидкість генерації, винагорода за майнінг, витрати на майнінг, ступінь децентралізації, безпека, прозорість та інші. Ліквідність цифрової валюти визначається рівнем доступності, швидкості, надійності та вартості транзакцій, які можуть бути здійснені за допомогою цифрової валюти. Волатильність цифрової валюти визначається ступенем зміни її ціни протягом певного періоду часу, який може бути викликаний різними подіями, новинами, руморами, спекуляціями, маніпуляціями, хакерськими атаками, технічними проблемами та іншими.

Доведено, що поведінка цифрової валюти залежить від її властивостей, ринкової ситуації та регулювання, які визначають її конкурентоспроможність, привабливість та стабільність. Властивості цифрової валюти визначають її технічні, економічні та соціальні характеристики, які впливають на її функціонування, безпеку, ефективність, доступність, прийнятність та інші. Ринкова ситуація визначає стан та динаміку ринку цифрових валют, який складається з різних учасників, таких як користувачі, майнери, трейдери, інвестори, розробники, посередники, біржі, гаманці, платіжні системи, медіа, аналітики та інші.

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА ДИНАМІКИ ЦІН ТА ПОВЕДІНКИ ЦИФРОВОЇ ВАЛЮТИ

2.1. Аналіз світового ринку цифрових валют

У 2023 році ринок цифрових валют зазнав помітних змін, відображених у ряді ключових показників. Загальна ринкова капіталізація криптовалют до третього кварталу досягла приблизно 1,27 трильйона доларів (рис. 2.1), проте спостерігалось зниження на 10%, або на 119,1 мільярда доларів, з додатковим падінням на 16,3%, починаючи з квітня.



Рис. 2.1. Ринкова капіталізація криптовалют [17]

Для більш глибокого розуміння кон'єктури ринку цифрових валют і ключових трендів, що утворюються в ньому, необхідно звернути увагу на динаміку найбільших криптовалют. Bitcoin демонструє значне зростання, збільшивши свою ціну на 107% з початку року і на 27% до листопада 2023 року, при цьому його ринкова капіталізація перевищила \$ 457 млрд лютого 2023. Тим часом Ethereum також показав зростання на 49% з початку року (рис. 2.2). [28]

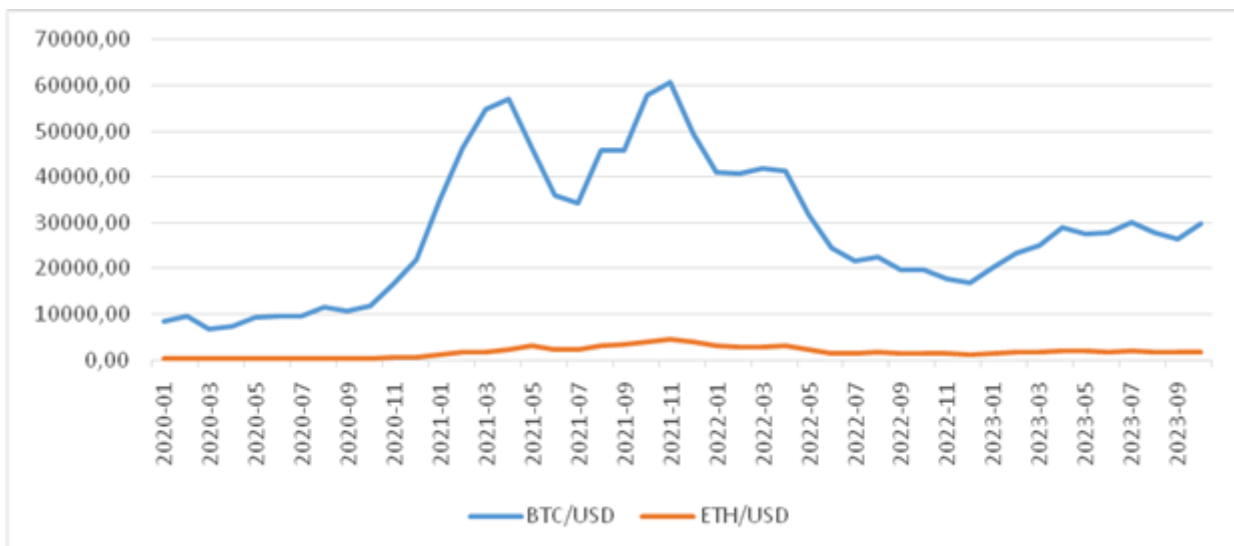


Рис. 2.2. Середні курси за місяць для BTC / USD та ETH / USD [15], [16]

У свою чергу, регуляторні заходи з боку офіційної влади країн також надають значний вплив на тренди та перспективи розвитку ринку цифрових валют. У 2023 році у світовому контексті спостерігається значне розмаїття у підходах до регулювання криптовалюти (рис. 2.3).

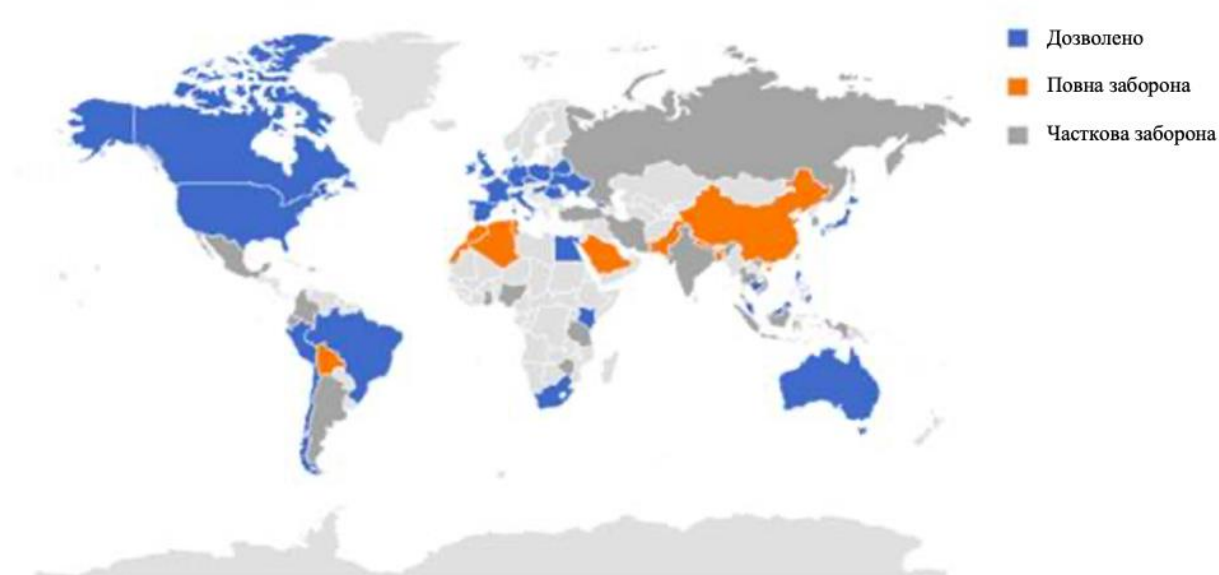


Рис. 2.3. Відношення країн до регулювання криптовалют [10]

Криптовалюти є альтернативою традиційній централізованій фінансовій системі, потенційно змінюючи усталені принципи надання

фінансових послуг. Їхня здатність проводити транзакції безпосередньо між учасниками, минаючи посередників, таких як банки, є викликом для існуючої фінансової системи. У сфері міжнародної торгівлі криптовалюти можуть мати значний вплив, забезпечуючи швидкі та ефективні транскордонні платежі, що особливо актуально для малих та середніх підприємств (рис. 2.4). [11]

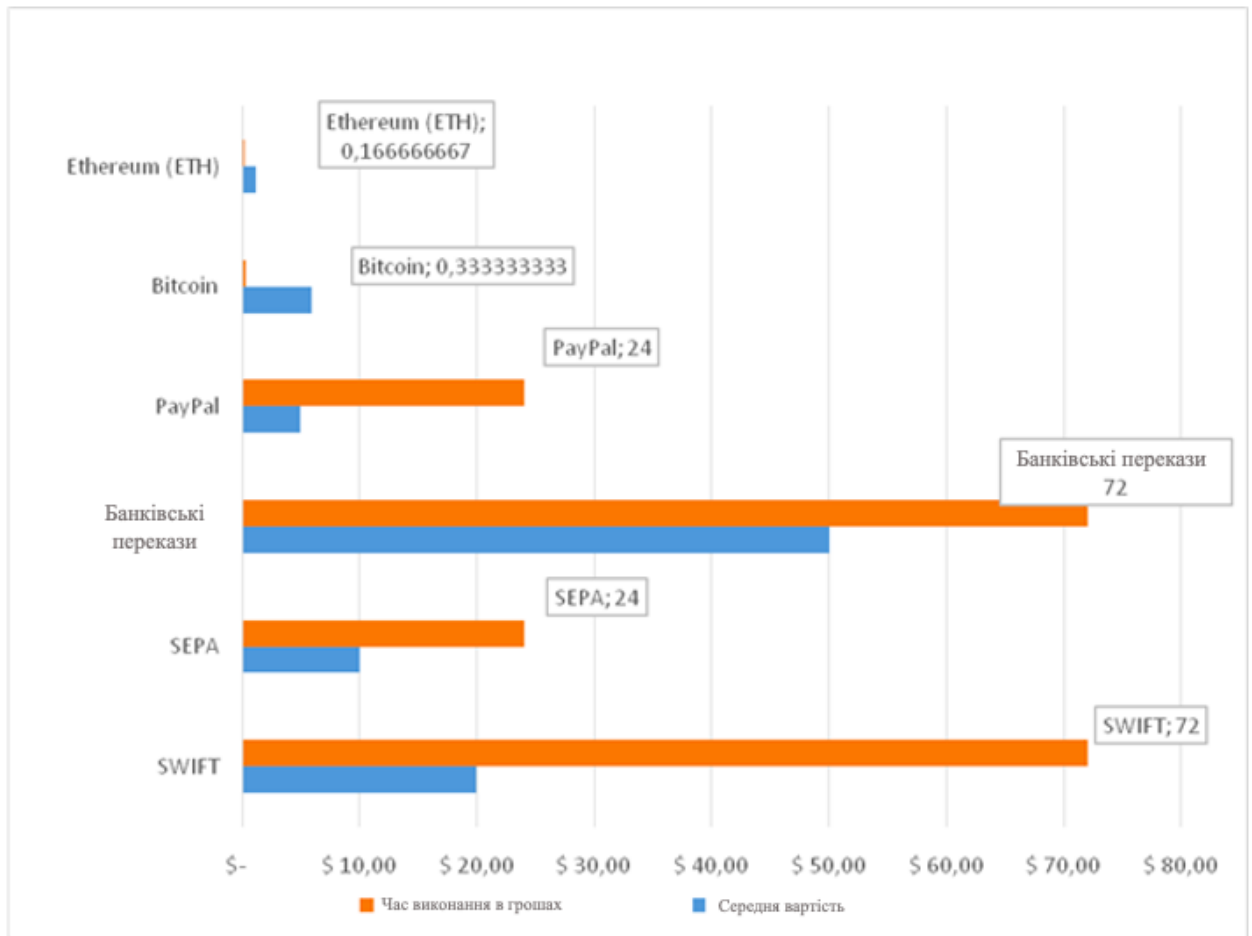


Рис. 2.4. Вартість та швидкість проведення транскордонних платежів за допомогою різних інструментів

Джерело: Складено авторами на основі даних [20], [26], [27]

Зміни в поведінці споживачів і процесах транзакцій, викликані використанням криптовалют, також заслуговують на увагу. Швидкі, економічні та безпечні транзакції можуть сприяти збільшенню використання криптовалют споживачами (рис. 2.5).

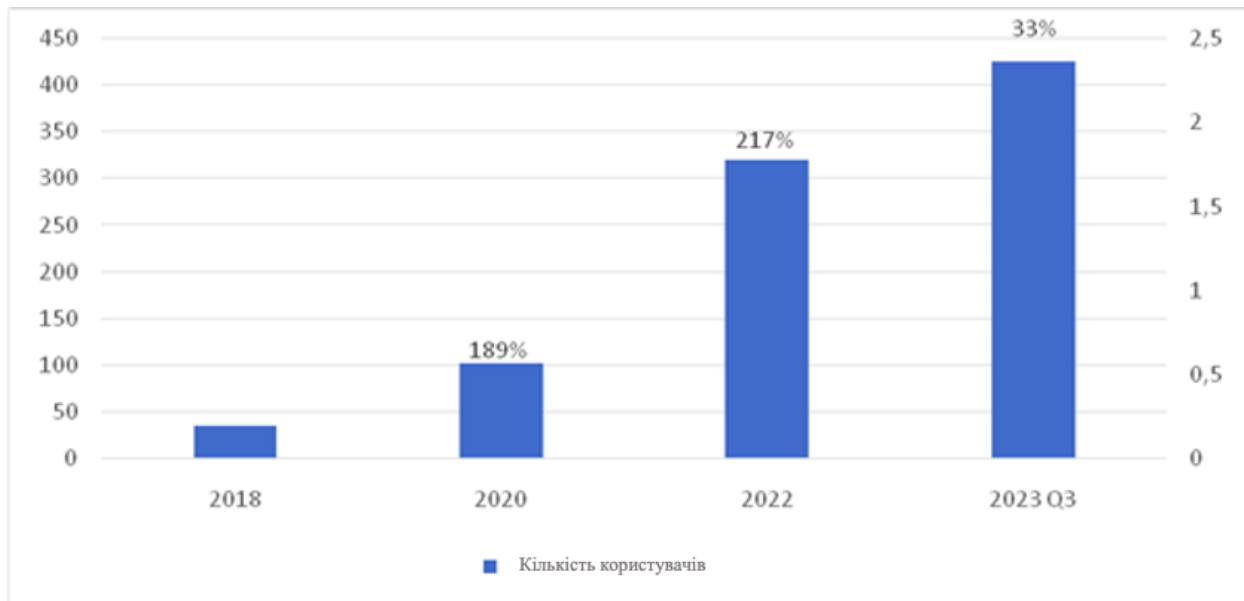


Рис. 2.5. Кількість користувачів криптовалют у млн.
у період 2018 – 3 квартал 2023 р.р.

Джерело: Складено авторами на основі даних [9], [23]

Загалом, вищеописані тренди підкреслюють глибоке і багатоаспектне вплив криптовалют на глобальну фінансову систему, підкреслюючи їх роль переосмисленні ролі традиційних фінансових інститутів й у розширенні спектра доступних способів проведення транскордонних платежів.

З розвитком цифрових валют багато країн почали вивчати можливість створення національних цифрових валют CBDC (Central bank Digital Currencies) (табл. 2.1). Дані дослідження спрямовані на покращення ефективності платіжних систем, збільшення фінансової інклюзії та зміцнення фінансової стабільності. На даний момент науковою спільнотою прийнято виділяти 3 моделі цифрових валют центральних банків: роздрібна, оптова та гібридна.

Для більш глибокого розуміння трендів розвитку використання національних цифрових валют на світових ринках слід проаналізувати поточні розробки та плани впровадження національних цифрових валют у різних країнах.

Таблиця 2.1

Коротка характеристика різних моделей ЦВЦП [3]

Модель	Опис	основні переваги	Основні ризики та виклики
Роздрібна (Retail CBDC)	Призначена для широкого використання всім населенням та підприємствами	Поліпшення фінансової інклюзії, зниження витрат за транзакції.	Проблеми конфіденційності, вплив на банківську систему та монетарну політику, управління ліквідністю та кредитними ризиками.
Оптова (Wholesale CBDC)	Використовується для розрахунків та врегулювань між банками та іншими фінансовими інститутами.	Підвищення ефективності та прозорості внутрішніх платежів, зменшення ризиків та витрат міжбанківських розрахунків.	Технологічні ризики, складності інтеграції до існуючих фінансових систем, потреба у високому рівні безпеки та надійності систем.
Гібридна (Hybrid CBDC)	Комбінує елементи роздрібної та оптової моделей	Баланс між доступністю для широкої публіки та ефективністю для міжбанківських розрахунків.	Складність управління та регулювання дворівневої системи, потенційні ризики, пов'язані з перехресним використанням функцій.

Процеси розробки та впровадження ЦВЦБ сильно варіюються від країни до країни, відображаючи різні економічні, технологічні та регуляторні особливості. Короткий опис досвіду та отриманого результату для країн, що запровадили ЦВЦБ, і цілі застосування для країн, що планують його впровадити, представлені в табл. 2.2.

Описані тренди у сфері ринку цифрових валют та зростаючий інтерес державних інститутів до впровадження цифрових валют центральних банків вказують на критичну необхідність розробки інтеграційних моделей національних цифрових валют у контексті міжнародної торгівлі.

Ця потреба стимулюється прагненням до забезпечення операційної надійності, створення ефективної технічної інфраструктури, захисту даних користувачів, а також управління ризиками для фінансової стабільності.

Таблиця 2.2

Опис досвіду у впровадженні та розробці ЦВЦП різних країн

Країна	Досвід	Короткий опис досвіду	Причини отриманого результату Мета застосування
Багамські острови	Позитивний	Успішне впровадження Sanddollar завдяки простоті використання та обліку місцевих особливостей.	Простота, доступність, облік місцевих особливостей (віддаленість та роз'єднаність островів).
Китай	Позитивний	Цифровий юань дозволив посилити контроль над фінансовою системою та обмежити криптовалюту, сприяючи зростанню економіки.	Посилення контролю, обмеження криптовалюти, модернізація платіжної системи.
Венесуела	Негативний	Впровадження Petro було неефективним через недостатню прозорість та відсутність довіри.	Недостатня прозорість, слабкі економічні індикатори, відсутність довіри.
Еквадор	Негативний	Проблеми з несумісністю платіжних систем та недостатньою привабливістю призвели до відкликання валюти.	Несумісність із платіжними системами, недостатня привабливість для населення.
Австралія	В розробці	Співпраця з Mastercard у пілотному проєкті блокчейн CBDC запуск CBDC очікується через кілька років.	Пілотний проєкт показав потенціал CBDC, але потрібне додаткове дослідження з низки питань, включаючи правові та технічні аспекти.
Бразилія	В розробці	Розробка цифрового реалу (DREX), перший етап запуску планується на травень 2024 року.	Мета – покращити фінансові послуги, включаючи можливість фінансового включення та зниження вартості кредитів.
Японія	В розробці	Форум із 60 компаніями для пілотної програми з цифрової ієни, обговорення аспектів роздрібних розрахунків.	Мета - використання CBDC у роздрібній торгівлі, включаючи взаємодію Космосу з різними платіжними системами.

Джерело: складено авторами на основі даних [1], [2], [8]

Крім того, ключову роль відіграє необхідність дотримання міжнародних стандартів AML (Anti-Money Laundering), KYC (Know Your Customer) та KYT (Know Your Transaction). Таким чином, поточні динамічні зміни на ринку цифрових валют наголошують на важливості розробки та

впровадження вдосконалених інтеграційних моделей, які сприятимуть безпечній та ефективній інтеграції національних цифрових валют у глобальну економічну систему з урахуванням їх інтеграційних особливостей. [12]

Створення емісійних центрів єдиної цифрової валюти як один із етапів впровадження національних цифрових валют у систему міжнародних розрахунків та глобальної валютної системи стикається з низкою проблем. Насамперед питання впровадження єдиної цифрової валюти у міжнародну торгівлю стосується її сумісності з існуючими фінансовими системами та регуляторними рамками. Криптовалюти, наприклад, змінюють взаємодію людей із фінансовими системами, чинячи тиск на традиційні фінансові установи та їх контроль над грошима. Ці зміни торкаються таких галузей, як фінансування торгівлі, митні процеси та інтелектуальна власність, що може радикально змінити ландшафт міжнародної торгівлі [18].

Для забезпечення функціонування національних цифрових валют у міжнародній торгівлі з використанням єдиної цифрової валюти необхідно розробити моделювання особливостей встановлення курсів обміну між національними цифровими валютами учасників інтеграційних об'єднань та єдиною цифровою валютою цих об'єднань, дане завдання включає облік різних факторів. До них відносяться конкуренція між цифровими та традиційними валютами, вплив на ключові макроекономічні показники та потенційні порушення у існуючій банківській системі. Складність цих взаємодій потребує розробки складних моделей, що враховують різні економічні, фінансові та технологічні фактори.

Існує багато причин, чому росте біткоїн. Причина розквіту віртуальної валюти у квітні 2021 року полягає в спільній інвестиційній тезі за біткоїн (BTC), що він є хорошим захистом від інфляції. Теорія біткоїна як захист від інфляції проста. Згідно з Chan et al. (2019), стрімкий зростання ціни на біткоїн у грудні 2017 року має вирішальне значення для визначення його можливостей як інструменту хеджування, як і різке зростання у 2021 році [8].

Загальний обсяг біткоїнів обмежений 21 мільйоном, тоді як загальний обсяг доларів часто зростає з часом. Якщо кількість доларів зростає, вартість біткоїна в доларах також повинна збільшуватися. Завдяки обмеженій кількості біткоїн (BTC) стійкий до інфляції. Глобальні витрати споживачів були позначені епідемією, із гострим спадом витрат на домогосподарства в країнах, таких як Сполучені Штати, Велика Британія та Німеччина. Святкування та зібрання завершилися, подорожі припинилися, оскільки багато штатів Сполучених Штатів перейшли в режим локдауну, і мешканці утримувалися від виходу на обід на користь перебування вдома. Багато урядів, зокрема Сполучених Штатів, створили гроші, щоб задовольнити потреби своїх населень у стимулюючих заходах. Другий підйом цін, який відбувся у листопаді 2021 року, був спричинений схваленням Комісією з цінних паперів та бірж США біткоїн-ETF.

Згідно з Рамою Шемха, у біткоїна є різні перешкоди порівняно з золотом, особливо з точки зору історії, прийняття, споживання, вбудованої вартості та низької волатильності. Однак у золота та біткоїна є деякі спільні якості. Обидва активи обмежені доступністю, і саме ця рідкість надає їм вартість. Завдяки тому, що обсяг постачання біткоїна обмежений 21 мільйоном одиниць, він є дефляційним активом, наближаючись до золота. [9].

Buchholz et al. (2012) встановили, що значущим детермінантом ціни біткоїна (а також ціни будь-якої валюти) є взаємозв'язок між подачею та попитом на біткоїн. Подача біткоїна впливає на кількість одиниць, що обігають, і, отже, на його ринкову рідкість. Попит на біткоїн в основному визначається його використанням як засобу обміну на товари та послуги.

За словами Buchholz et al., до значної міри зростання ціни біткоїна можна пояснити динамікою подачі та попиту [10]. Наприклад, у квітні анонс Тесли, яка придбала криптовалюту на \$1,5 млрд, призвів до масового зацікавлення. Кілька віртуальних валют, таких як біткоїн, успішно

справляються у 2021 році. Другий стрибок цін, який відбувся в листопаді 2021 року, пов'язаний з запуском біткоїн-ETF у Сполучених Штатах.

Порівняно з раннім етапом розвитку біткоїна, сьогоднішні правила більш жорсткі. Інвестиції в контроль та регулювання зазвичай зростають, оскільки уряди дізнаються більше про криптовалюту та технологію блокчейну. Розслаблення або затягування регуляцій може мати різноманітні наслідки. Ціна біткоїна змінюється частково через заборону цієї валюти в країні або її популярність в іншій. Економічні фактори на глобальному рівні тепер мають прямий вплив на ціну та торгівлю біткоїном. Наприклад, мешканці країн з підвищеним ризиком інфляції використовують криптовалюту як інструмент хеджування проти зростання цін. Венесуела потрапила в економічну катастрофу в 2016 році, і як наслідок, обсяг ринку біткоїнів досяг нового максимуму. Фінансова криза 2020 року спричинила більше ніж рік тривалого бул-рану біткоїну. Біткоїн, подібно до золота, здається, став широко визнаним засобом збереження вартості. Коли довіра до інших ринків низька, люди купують ці активи. Підтримка біткоїна від великих корпорацій може призвести до стрибка цін. PayPal, Square, Visa і Mastercard оголосили певний рівень підтримки криптовалют, вкладаючи впевненість серед інвесторів. Роздрібні торговці навіть почали приймати біткоїн як форму оплати. Зняття підтримки також може викликати розпродаж, наприклад, оголошення Елона Маска 17 травня 2021 року про те, що Tesla припинить приймати платежі біткоїном. Під впливом цієї новини біткоїн впав зі значення трохи менше 55 000 доларів до приблизно 48 500 доларів у цей день. Додатковий попит на ринку викликається спекулятивною діяльністю та зростанням похідних, таких як контракти на біткоїн. На ринку контрактів трейдери та спекулянти не інвестують і не утримують біткоїн за його фундаментальною вартістю. Вони просто заробляють гроші, зробивши ставки на зниження біткоїну, що призводить до тиску на ціни вниз. Вищезазначені факти показують, що корисність вже не є єдиним чинником, який визначає ціну біткоїна.

2.2. Дослідження моделей поведінки ціни цифрових валют

В економічній науці поки що відсутнє уніфіковане уявлення про те, в рамках якої моделі емісійно-розрахункової системи випуск цифрових валют є найкращим. Очевидно, лише емпіричний досвід емісії та використання цифрових валют дозволить дійти невтішного висновку у тому, які емісійні моделі й у яких ЦБ найбільш застосовні.

Технологічно емісія цифрових валют може бути здійснена або у формі випуску цифрових токенів або у формі облікових записів на розрахункових рахунках. Ключова різниця між грошима на основі токенів та рахунків полягає у формі перевірки їхньої автентичності (валідації), необхідної при здійсненні обмінної операції. Так, використання грошей з урахуванням токенів залежить від можливості одержувача платежу перевірити дійсність платіжного токена. Навпаки, застосування грошей, які зберігаються на рахунках, залежить від можливості ідентифікації та автентифікації особи власника рахунку.

У загальному вигляді емісійно-розрахункові моделі систем цифрових валют для роздрібних платежів можуть відрізнятися не лише за особливостями валідації грошових зобов'язань, а й за характером ініціювання трансакцій та ідентифікації контрагентів. У загальному вигляді можна виділити три основні емісійно-розрахункові моделі систем цифрових валют для роздрібних платежів. Центральний банк у всіх трьох моделях є єдиним інститутом, який може випускати та викуповувати цифрові валюти. Слід зазначити, що всі три моделі систем R- CBDC можуть бути реалізовані на основі облікових рахунків (DLT -рахунки), або цифрових токенів (DLT - токени) і можуть функціонувати в різних інфраструктурах. Ключові відмінності полягають у природі грошової вимоги, метод його зберігання центральним банком, а також функціях, які виконують центральний банк, кредитні установи та фінансові посередники.

У будь-якій моделі R-CBDC можна виділити три рівня інститутів, що у функціонуванні системи цифрових валют. Нульовий рівень – інститути, які можуть випускати, передавати та викуповувати цифрові валюти. У всіх моделях зазвичай такими інститутами є центральні банки. Перший рівень – уповноважені чи привілейовані інституції, які можуть взаємодіяти з інституціями нульового рівня (центральними банками), зберігаючи та здійснюючи трансфери цифрової валюти. Найчастіше такими інститутами є спеціалізовані банки чи провайдери платіжних послуг, мають доступом до системам оптових розрахунків ЦБ. Другий рівень – інститути чи персоналії, які можуть взаємодіяти з установами першого рівня, зберігаючи та передаючи цифрові валюти у платежах між собою. У більшості випадків представниками цього рівня є користувачі цифрових валют – фізичні особи (роздрібні платники) та юридичні особи (підприємства торгівлі та сфери послуг).

Першу модель системи R-CBDC можна назвати системою із синтетичною цифровою валютою (рис. 2.6). У цій моделі цифрова валюта є грошові вимоги до посередників (CBDC-банк X і CBDC-банк Y), а центральний банк відстежує стан рахунків з оптових платежів.

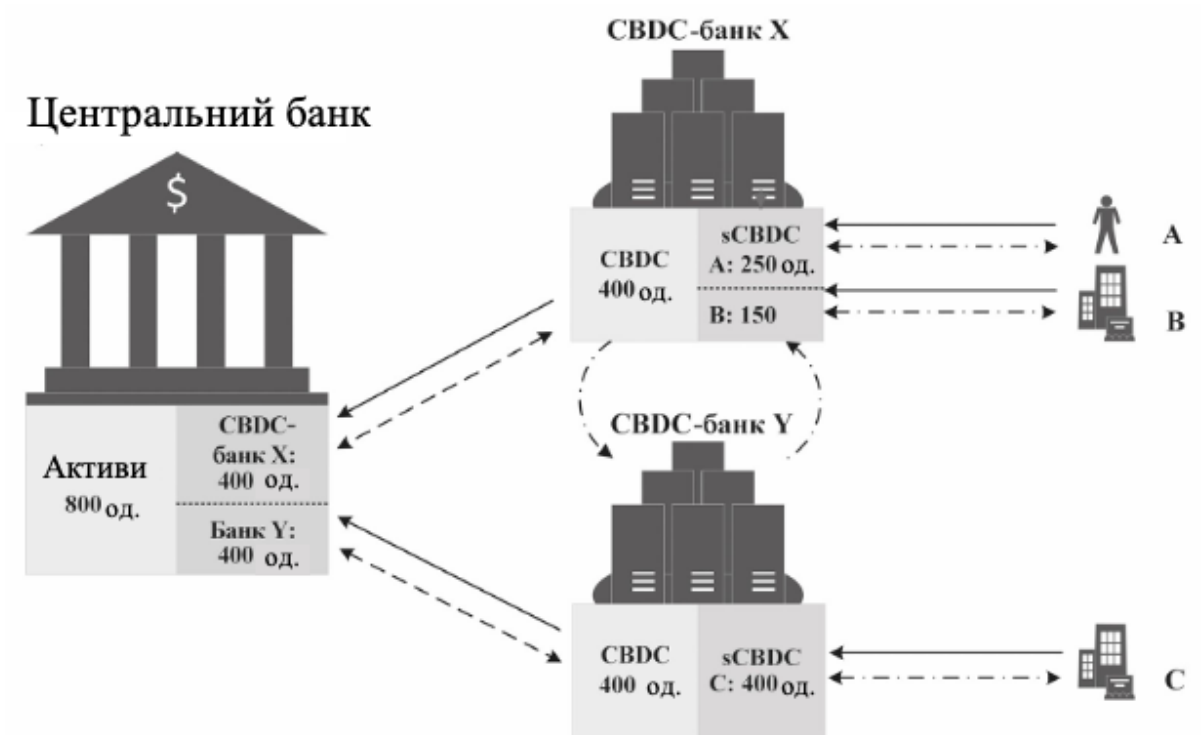


Рис. 2.6. Схема системи з синтетичною R-CBDC [38]

Примітки.

- 1) sCBDC є вимогою до фінансового посередника (похідним від вимоги CBDC);
- 2) фінансові посередники стежать за дотриманням процедури KYC та обробляють роздрібні платежі;
- 3) ЦП здійснює остаточний розрахунок за оптовими платежами.

Як бачимо на рис. 2.6, у моделі системи з синтетичною R-CBDC цифрова валюта для споживачів не є прямою вимогою до центрального банку. Натомість посередники (CBDC-банк X і CBDC-банк Y) несуть повну фінансову відповідальність за кожну одиницю невідшкодованої синтетичної цифрової валюти (sCBDC) перед споживачами (A, B, C). Фінансова відповідальність посередника гарантується за рахунок зберігання еквівалентного обсягу цифрової валюти (або іншої форми центробанківських грошей) на рахунках у центральному банку. Так само як у сучасних грошово-кредитних системах розвинених країн, фінансові посередники обробляють всі комунікації з роздрібними споживачами, здійснюють платіжний кліринг, відправляють платіжні повідомлення іншим посередникам і платіжні

інструкції для проведення остаточних оптових розрахунків ЦП за рахунками R-CBDC.

Крім зручності перекладання частини розрахункових функцій на фінансових посередників, системи із синтетичною R-CBDC також звільняють центральний банк від відповідальності за вирішення фінансових спорів, ідентифікацію клієнтів та супутні послуги. Ця модель як з нормативної, так і з точки зору наглядного регулювання схожа на сучасні системи розрахунків. Однак така модель систем центробанківських цифрових валют має важливий недолік. Він полягає в тому, що центральний банк не веде облік індивідуальних вимог, як у випадку з готівкою, а реєструє лише зміни в оптових балансах. Через війну ЦБ неспроможна погашати грошові вимоги власників без інформації, отриманої фінансових посередників. Тому, якщо посередник зіткнеться зі складнощами в обробці фінансової інформації, для визначення законного власника цифрової валюти може знадобитися тривала та дорога судова процедура з невизначеним результатом.

Другу модель R-CBDC можна назвати системою із прямою або однорівневою цифровою валютою (рис. 2.7). У цій моделі цифрова валюта є прямою грошовою вимогою до центрального банку, який веде облік всіх балансів за рахунками роздрібних платежів і оновлює їх за кожної трансакції.

Центральний банк

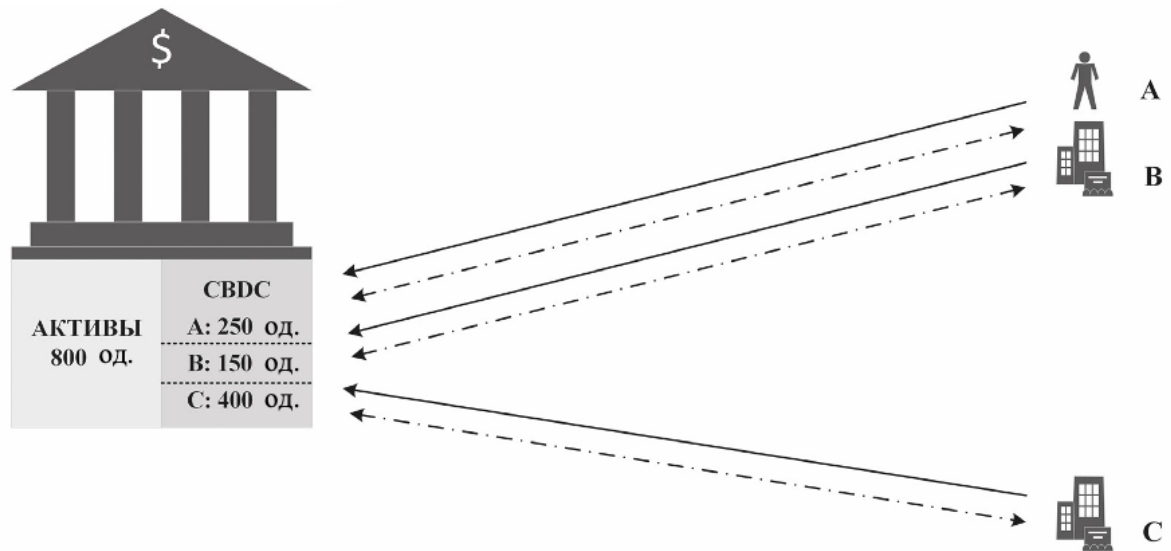


Рис. 2.7. Схема системи з прямою або однорівневою R-CBDC [38]

Примітки.

- 1) CBDC є вимогою до центрального банку;
- 2) центральний банк стежить за дотриманням процедури AML / KYC ;
- 3) ЦП обробляє роздрібні платежі.

Як бачимо на рис. 2.7 модель системи з прямою R-CBDC приваблює своєю простотою, оскільки усуває залежність ЦП при проведенні розрахунків від будь-яких фінансових посередників. Однак використання такої моделі тягне за собою певні компроміси щодо надійності, швидкості та ефективності функціонування платіжної системи. По-перше, створення та експлуатація технічно складних розгалужених платіжних систем, як показала практика, краще реалізується приватними інститутами та компаніями (наприклад, функціонування систем розрахунків за кредитними або дебетовими картками). По-друге, навіть якщо центральний банк створить необхідні технологічні можливості для випуску цифрової валюти, остання може виявитися менш привабливою для споживачів, ніж роздрібні платіжні інструменти в рамках традиційних платіжних систем. Справа в тому, що для електронних платежів характерні тимчасові мережеві збої та переведення критично важливих розрахунків в офлайновий режим. Так, фінансові

посередники внаслідок обов'язкової ідентифікації клієнтів можуть приймати він відповідні ризики. В іншому випадку ЦБ необхідно буде взяти на себе відповідальність за процедуру обов'язкової ідентифікації клієнтів та їх належну перевірку, що вимагатиме масштабного розширення функцій, що здійснюються ЦБ, за межі нинішніх компетенцій.

Третя модель R-CBDC є системою з гібридною цифровою валютою (рис. 2.8). У цій моделі цифрова валюта є прямі грошові вимоги до ЦБ, але платежі обробляє сам центральний банк, а фінансові посередники.

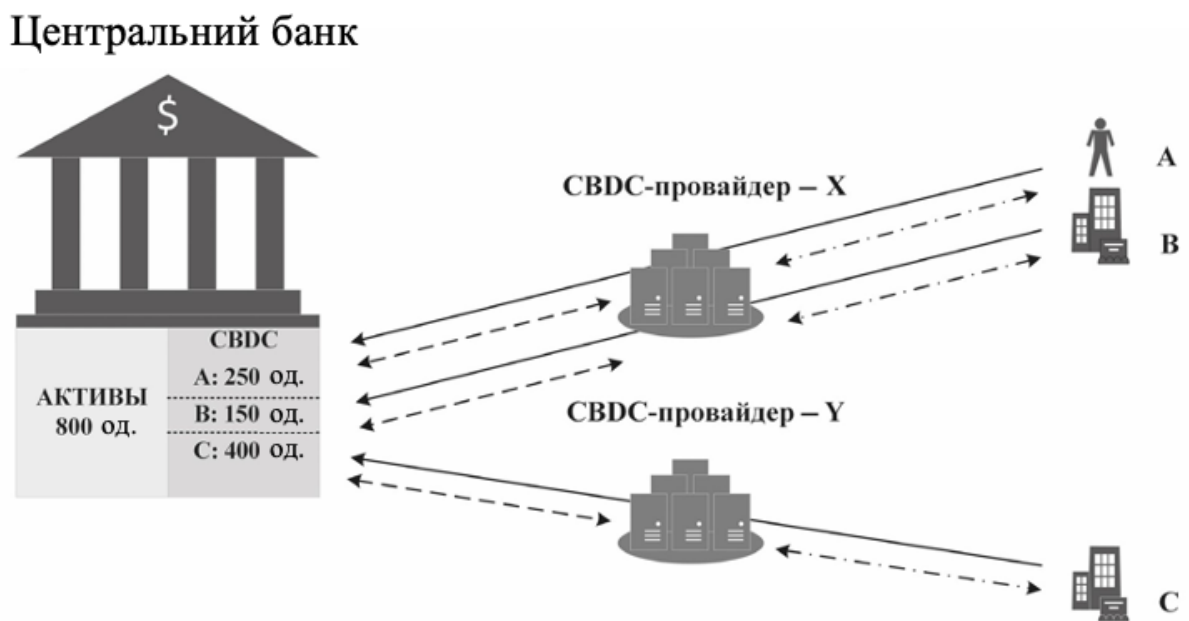


Рис. 2.8. Схема системи з гібридною R-CBDC [38]

Примітки.

- 1) CBDC є вимогами до центрального банку;
- 2) фінансові посередники стежать за дотриманням процедур AML / KYC та обробляють роздрібні платежі;
- 3) ЦБ періодично записує балансові результати по роздрібним платежам.

Як бачимо на рис. 2.8 модель системи з гібридною R-CBDC поєднує елементи систем як з синтетичною, так і з прямою центробанківською цифровою валютою. У системі з гібридною R-CBDC пряма вимога до центрального банку комбінується з використанням механізму інформаційних повідомлень, що надається фінансовими установами або провайдерами платіжних послуг (CBDC- провайдер – X та CBDC -провайдер – Y). Так само

як і в попередній моделі випуск R-CBDC може бути заснований як на використанні рахунків в центральному банку, так і на застосуванні цифрових токенів.

Першим ключовим елементом системи з гібридною R- CBDC є правова база, яка створює умови для роздільного зберігання вимог до ЦП та платіжних балансів провайдерів платіжних послуг. Так, якщо провайдер платіжних послуг стикається з фінансовими труднощами, то кошти, що зберігаються у цифровій валюті, не повинні розглядатися як частина його майна та не повинні бути доступними для кредиторів.

Нормативна база повинна також давати центральному банку можливість перемикає роздрібних користувачів з ненадійного провайдера платіжних послуг на провайдера, який заслуговує на довіру.

Другим ключовим елементом є технічна можливість забезпечення захисту та мобільності активів. Важливою умовою стабільності систем R-CBDC є підтримка безперебійності здійснення роздрібних платежів. Тому, коли у будь-якого з провайдерів платіжних послуг виникає технічний збій, центральний банк повинен мати можливості для відновлення балансів із роздрібних платежів у цифровій валюті. Таким чином, ЦБ повинен зберігати копію записів про всі кошти в R-CBDC, що дозволить йому переносити кошти в цифровій валюті від одного провайдера платіжних послуг до іншого у разі технічних збоїв.

За аналогією з іншими моделями систем R-CBDC система з гібридною центробанківською цифровою валютою матиме як переваги, так і недоліки в порівнянні з системами із синтетичною та прямою центробанківською валютою. Система з гібридною R-CBDC може запропонувати кращу стійкість, ніж модель із синтетичною цифровою валютою, але за рахунок організації складнішого для ЦБ управління інфраструктурою. У той же час у рамках системи з гібридною R-CBDC центральному банку простіше працювати, ніж у рамках моделі із прямою цифровою валютою. Так як ЦБ не безпосередньо взаємодіє з роздрібними користувачами, він може

зосередитися на обмеженій кількості основних функціональних та управлінських процесів, тоді як фінансові посередники безпосередньо надаватимуть платіжні послуги, включаючи миттєве підтвердження платежів.

Окрему увагу слід приділити сценаріям інтеграції R-CBDC у сучасні грошову та платіжну системи. Грунтуючись на аналізі різних підходів до емісії цифрових валют для роздрібних платежів, можна виділити три основні сценарії інтеграції R- CBDC (табл. 2.3):

- 1) заміна готівки;
- 2) доповнення до готівкових;
- 3) паралельне поводження з готівкою.

Таблиця 2.3

Сценарії інтеграції цифрових валют для роздрібних платежів

Спосіб інтеграції цифрових валют	Опис інтеграційного сценарію	Переважні характеристики цифрової валюти	Вплив на грошово-кредитну систему	Вплив на грошово-кредитну політику ЦБ
Заміна готівки (конкуренція та заміщення готівки в обігу)	Перехід від готівки до цифрової валюти ЦБ	Зручність використання та можлива анонімність у платежах	Заміна компонента в агрегаті M0	Незначне
Доповнення до готівкових грошей (конкуренція з платіжними системами)	Відтік коштів із поточних рахунків у цифрову валюту ЦБ	Зручність використання при оплаті та підвищення стабільності у функціонуванні платіжних систем	Можливий вплив на структуру компонентів в агрегаті M1	Значне: зростання ролі ЦП над ринком платіжних систем
Паралельне поводження з готівкою (конкуренція з депозитами у комерційних банках)	Відтік коштів із депозитів у цифрову валюту ЦБ	Зручність використання при оплаті та можливе нарахування процентних винагород	Можливий вплив на структуру та обсяг компонентів грошових агрегатів. M1 та M2	Значне: зміна пасивів ЦП та комерційних банків

Залежно від форми і методу інтеграції цифрових валют вони можуть різний вплив як у грошово-кредитну систему, і на грошово-кредитну політику ЦБ. У разі заміни готівки

Цифровими грошима вплив на грошово-кредитну систему буде незначним, оскільки таке заміщення призведе до простої заміни основного компонента грошового агрегату M_0 . Значніший ефект спостерігатиметься, коли цифрові валюти випускатимуться як додаток до готівкових грошей або мають паралельне з ними поводження. У цьому випадку можуть змінитися структура грошової маси (агрегати M_1 та M_2) та балансові показники центрального банку, комерційних банків та нефінансових інститутів.

У випадках, коли цифрові валюти випускатимуться як доповнення до готівкових грошей або мають паралельне з ними звернення, вплив на грошово-кредитну політику ЦП може виявитися суттєвим. Найімовірніше, що цей вплив виражатиметься у зниженні кредитного портфеля комерційних банків та зростанні кредитування з боку ЦП, а також посиленні ролі центральних банків у національних платіжних системах.

2.3. Економіко-математичні методи моделювання поведінки цифрової валюти

На даний момент, навіть незважаючи на експоненційне зростання світового ринку криптовалюти в останні роки, багатьма економістами та державними діячами фактор його впливу на макроекономічну та фінансову стабільність не розглядається як значущий.

Водночас у найближчому майбутньому вельми ймовірний сценарій, який передбачає подальшу активізацію досліджуваного ринку та його багатоукладну інтеграцію до національних економічних систем, що обумовлює необхідність вже сьогодні звернути на це питання найпильнішу увагу з боку наукової та експертної спільноти. Істотний внесок у прискорене зростання капіталізації глобального ринку криптовалюти може зробити не лише його популяризація як прогресивного інструменту, що

використовується в транзакційних операціях, а й подальше зростання обмінного курсу [як наслідок фактору, вираженого в обмеженій емісії криптовалюти (наприклад, емісія Bitcoin обмежена 21 млн одиниць), і внаслідок спекулятивних операцій на криптобіржах.

У зв'язку з вищевикладеним на поточний час є вкрай актуальним завдання пошуку та розробки спеціального інструментарію, що дозволяє передбачати та прогнозувати коригування обмінних курсів сучасних «цифрових грошей».

Слід зазначити, що у науковому публікаційному просторі дуже рідко можна зустріти роботи, присвячені цій тематиці. Переважно в них розглядаються питання дослідницького характеру, спрямовані або на експертну оцінку поточних та майбутніх перспектив розвитку ринку, або на використання спеціальних методів біржового технічного аналізу, що розкриває особливості та тренди курсових коливань «цифрових грошей».

Разом з тим є доцільним, у рамках проведення науково-дослідних заходів, використання спеціальних методів економіко-математичного моделювання, що передбачають застосування прогресивних інструментів та механізмів.

Відсутність монетарного органу, уповноваженого підтримки стабільності грошової системи, призводить до сильної волатильності курсу криптовалют. Курс щодо твердих грошей формується виключно за рахунок попиту та пропозиції на криптовалюту, отже, щоденні коливання курсу можуть перевищувати 25%.

Це негативно впливає використання її як розрахункової валюти в торгових операціях і породжує мотивацію для спекуляції. До того ж прогнозувати зміну курсу – дуже нетривіальне завдання. Використання фундаментального аналізу для прогнозування волатильності біржових котирувань є неефективним, оскільки курс не залежить від економіки певної країни; використання технічного аналізу також неефективно, оскільки

неможливо визначити стан ринку з формування попиту та пропозиції з допомогою осіб, готових купити чи продати певні товари чи послуги у світі.

Аналіз часових рядів є цікавою областю дослідження з великою кількістю прикладних завдань у бізнесі, економіці, фінансах та комп'ютерних науках. Метою аналізу часового ряду є вивчення його динаміки, побудова моделі, що описує структуру даних та, нарешті, прогноз майбутніх значень ряду. Вкрай важлива побудова ефективної моделі з отриманням максимально можливої точності.

Прогнозуванням часових рядів зазвичай займається економетрика, використовуючи різні способи. Модель ARIMA протягом тривалого часу вважається стандартом у цій галузі. Однак, незважаючи на широке використання, модель ARIMA має деякі обмеження. Наприклад, за допомогою моделі ARIMA важко моделювати нелінійні залежності між змінними. Понад те, передбачається постійне стандартне відхилення помилок у моделі, що у практиці немає. Використання інтегрованого підходу спільно з моделлю GARCH (Generalized auto-regressive conditional heteroscedasticity – авторегресійна умовна гетероскедастичність) дозволяє послабити це обмеження, але побудова та оптимізація моделі стають складнішим завданням. Модель GARCH, у сенсі, варта пояснення кластеризації волатильності на фінансових ринках [7].

Традиційне машинне навчання додало нових підходів до завдань прогнозування. Такі алгоритми, як Метод опорних векторів (Support Vector Machines – SVM) та Випадковий ліс (Random Forest – RF) користуються заслуженою увагою фахівців у багатьох областях, включаючи фінанси. Наступним кроком було застосування алгоритмів глибокого навчання (Deep learning – глибоке навчання).

В області глибокого навчання для прогнозування часових рядів найчастіше застосовується модель LSTM – особливий тип нейронної мережі. Незважаючи на відносну новизну цього методу, підхід з боку глибокого навчання набув широкої популярності серед дослідників. Наприклад, К.

Краусс та його колеги використали низку прогнозних підходів – глибоке навчання, градієнтний бустинг над деревами та випадковий ліс для моделювання S&P 500 [8]. Результатами є висновки про низьку продуктивність моделей глибокого навчання та складність їх навчання. Порівняння різних моделей проводилося з урахуванням економічних даних [9, 10].

На наш погляд, одним із дієвих механізмів прогнозування часових фінансових рядів є використання моделей авторегресії ковзного середнього (ARMA, ARIMA). Особливої актуальності даний підхід набуває в умовах відсутності на поточний час ефективних інструментів прогнозування курсових коливань подібного роду «фінансових активів», що характеризуються нерівномірністю коливань курсів у часі, відсутністю «прив'язки» до базових активів, високим рівнем спекулятивного попиту тощо.

Моделі ARMA, ARIMA – це важливий клас параметричних моделей, що дозволяють описувати як стаціонарні, так і нестаціонарні ряди. Метою даної роботи є виявлення моделі авторегресії та проінтегрованого ковзного середнього з мінімально необхідним порядком параметрів, на основі якої можна робити достовірні короткострокові прогнози волатильності криптовалюти.

Емпіричний та експертний аналіз продемонстрував доцільність використання як об'єкт дослідження криптовалюту bitcoin . Це зумовлено низкою причин, головні з яких представлені нижче:

- домінуюча частка bitcoin у спільній світовій капіталізації криптовалют (близько 45%)²;
- це найбільш популярна криптовалюта, коливання курсу якої цілком зумовлюють волатильність більшості інших видів криптовалют.

ARIMA Модель (Autoregressive Integrated Moving Average) є потужним інструментом для аналізу та прогнозу часових рядів. Ця модель дозволяє

враховувати авторегресію (AR), інтегрування (I) та ковзні середні (MA), об'єднуючи їх у єдиний фреймворк. Дана модель особливо корисна для рядів, де спостерігається певний рівень тренду та сезонності.

Розглянемо основні компоненти моделі ARIMA.

Авторегресія (AR). Авторегресійний компонент визначається за попередніми значеннями ряду. Це означає, що поточне значення ряду залежить від його попередніх значень. Чим більший порядок авторегресії (позначається параметром "p"), тим більше попередніх значень враховується.

Інтегрування (I). Компонент інтегрування відповідає за стаціонарність ряду. Інтегрування зазвичай визначається порядком диференціації (позначається параметром "d"). Диференціація дозволяє зменшити або усунути тренд у часовому ряді.

Ковзні середні (MA). Компонент ковзних середніх враховує зміни в середньому ряду. Він обчислюється за допомогою ковзного середнього попередніх значень помилок моделі. Порядок ковзних середніх позначається параметром "q".

Процес побудови моделі ARIMA:

1. Визначення порядку моделі (p, d, q). Визначення оптимальних значень параметрів p, d, q є важливим етапом. Це може вимагати аналізу автокореляції та часткової автокореляції часового ряду.

2. Побудова моделі та підгонка параметрів. На цьому етапі застосовуються визначені значення параметрів до тренувальних даних. Модель підганяється до часового ряду, і параметри оптимізуються для досягнення найкращого підгону.

3. Діагностика та оцінка моделі. Після побудови моделі важливо провести діагностику, оцінити адекватність моделі та перевірити залишкові помилки на стаціонарність.

4. Прогнозування та оновлення моделі. Завершальний етап включає прогнозування майбутніх значень та оновлення моделі при необхідності.

Переваги:

- Ефективна у врахуванні трендів і сезонності.
- Здатна моделювати складні часові ряди зі змінною дисперсією.

Обмеження:

- Потребує стаціонарності часового ряду.
- Може бути чутливою до неправильного визначення параметрів.

Модель ARIMA є важливим інструментом для прогнозування цифрових валют, особливо коли є помітні тренди та сезонні коливання в їхніх цінах. Однак важливо пам'ятати, що вибір правильних параметрів та діагностика моделі грають ключову роль у її точності та надійності.

Модель GARCH є потужним інструментом для аналізу та прогнозу фінансових часових рядів, особливо в контексті волатильності цін. Уявлення про гетероскедастичність у цінних паперах, коли дисперсія не залишається постійною, є важливим аспектом для розуміння ризиків та прийняття ефективних фінансових рішень.

Основні компоненти моделі GARCH наведені нижче.

Авторегресія (AR). Модель GARCH включає авторегресійні компоненти, які враховують попередні значення квадратів помилок моделі. Це дозволяє враховувати залежність дисперсії від попередніх відхилень.

Умовна гетероскедастичність (ARCH). У моделі GARCH враховується умовна гетероскедастичність, що означає, що дисперсія варіюється від періоду до періоду в залежності від інформації, доступної на попередніх кроках.

Компоненти затримки (Lags). Додавання попередніх значень відхилень та квадратів відхилень дозволяє моделі враховувати попередні ефекти в коливаннях волатильності.

Процес побудови моделі GARCH:

1. Визначення порядку моделі (p, q). Визначення оптимальних значень параметрів p та q є ключовим завданням. Для цього використовуються аналіз аутокореляції та часткової аутокореляції.

2. Побудова та підгонка моделі. Модель GARCH підганяється до фінансового часового ряду, оптимізуючи параметри для досягнення найкращого підгону. Це може включати в себе мінімізацію середньоквадратичної помилки.

3. Діагностика та оцінка моделі. Після побудови моделі проводиться діагностика для оцінки адекватності та стабільності. Перевірка залишкових помилок на випадковість та стаціонарність є важливою.

4. Прогнозування та стрес-тестування. Модель дозволяє прогнозувати волатильність у майбутньому та виконувати стрес-тестування для оцінки можливих ризиків.

Переваги:

- Добре моделює зміну волатильності в часі.
- Дозволяє аналізувати та прогнозувати ризики в фінансових ринках.

Обмеження:

- Вимагає визначення правильних параметрів, що може бути викликливим завданням.
- Потребує стаціонарності ряду в квадраті відхилень.

Модель GARCH відіграє важливу роль в аналізі та прогнозу волатильності фінансових ринків. Її застосування дозволяє фахівцям в області фінансів ефективно управляти ризиками та приймати обґрунтовані інвестиційні рішення.

Модель LSTM (Long Short-Term Memory) є видом рекурентних нейронних мереж (RNN), призначеною для моделювання та аналізу послідовних даних, таких як часові ряди та природні мови.

Модель включає в себе комірку пам'яті, яка дозволяє зберігати та використовувати інформацію на тривалий термін, та три ворота (ворото забуття, ворото входу та ворото виходу), які контролюють потік інформації.

Процес роботи моделі включає вхідні дані, забуття та оновлення інформації в комірці пам'яті, а також формування вихідної інформації з урахуванням оновленої комірки та вхідного сигналу.

Переваги:

- Здатність враховувати довгострокові залежності в послідовних даних.
- Ефективність при роботі з великою кількістю даних.

Обмеження:

- Вимагає великої обчислювальної потужності.
- Може стати жертвою перенавчання при великій кількості параметрів.

Модель широко використовується для прогнозування часових рядів, обробки природної мови, розпізнавання мови та інших задач, де важливо враховувати довгострокові залежності в даних.

Модель Prophet розроблена командою Facebook і є потужним інструментом для прогнозування часових рядів. Застосовується в економіці, фінансах, маркетингу та інших галузях для точного передбачення змін в часових даних.

Модель є гнучкою та призначена для роботи з великою кількістю точок у часових рядах, таких як дані з продажів чи фінансові показники. Вона враховує різноманітні фактори, такі як сезонність, святкові дні, події та зміни тенденцій.

Prophet має кілька ключових характеристик:

- Гнучкість. Модель автоматично виявляє та адаптується до змін в ряді.
- Додаткові Компоненти. Розглядає ряд з річною сезонністю, тижневою сезонністю, святковими ефектами та змінами тенденцій.
- Обробка Відсутності Даних. Ефективно працює з рядами, що мають відсутні дані чи перерви.

- Легкість Використання. Має простий інтерфейс та легко налаштовується.

Модель застосовує аддитивну регресійну модель для кожного фактора, використовуючи фур'є-ряд для моделювання сезонності. Вона знаходить своє застосування в прогнозуванні продажів, фінансових показників та інших галузях.

Векторна авторегресійна модель (VAR) - це економетрична модель, призначена для вивчення взаємозв'язків між кількома змінними в часовому ряді. VAR забезпечує векторну форму для системи змінних, що дозволяє аналізувати їхні взаємодії. Модель включає авторегресію, де кожна змінна може пояснювати свої попередні значення, а також затримки, що дозволяє враховувати динаміку в часі.

VAR використовується для аналізу короткострокових динамік в часових рядах, а його системний підхід дозволяє розглядати групу змінних як взаємодіючу систему. Під час моделювання VAR обираються змінні, які можуть впливати одна на одну, і обчислюються параметри моделі.

Важливою особливістю VAR є його здатність аналізувати реакції системи на зовнішні подразники або шоки. За допомогою імпульсних відгуків можна вивчити, як зміниться кожна змінна системи відповідно до одного подразника.

Модель SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) є розширенням ARIMA і призначена для моделювання та прогнозування часових рядів із сезонністю. Вона дозволяє враховувати сезонні зміни в даних, визначаючи структуру часового ряду.

Модель SARIMA має три основні компоненти: авторегресію (AR), інтегрованість (I) та ковзне середнє (MA). Крім того, вона включає сезонні компоненти, що мають такі ж основні елементи на сезонному рівні.

AR вказує, наскільки поточне значення залежить від його попередніх значень. I визначає кількість диференціацій, необхідних для стаціонарності

часового ряду. MA вказує, як поточне значення залежить від попередніх значень помилок моделі.

Додатково, в моделі SARIMA є сезонні компоненти AR, I та MA, які враховують сезонні зміни в ряді.

Модель SARIMA є ефективною для прогнозування часових рядів з сезонністю та знаходження періодичних коливань. Вона корисна для аналізу сезонності в галузях, таких як продажі та фінанси, де сезонні фактори грають важливу роль.

Головне питанням дослідження – який алгоритм ARIMA або LSTM дозволяє більш якісно проводити прогнози зміни ціни цифрових валют.

Висновки до розділу 2

Проведено аналіз світового ринку цифрових валют, досліджено його ключові показники та тенденції розвитку.

Виявлено основні чинники, що впливають на динаміку цін цифрових валют, зокрема біткоїну, та проаналізовано їх взаємозв'язок.

Запропоновано методики дослідження моделей поведінки цін цифрових валют, зокрема за допомогою економіко-математичного моделювання.

Оцінено перспективи інтеграції цифрових валют для роздрібних платежів та розглянуто різні сценарії їх впровадження.

Отже, проведений аналіз дозволив оцінити поточний стан та тенденції розвитку ринку цифрових валют, виявити чинники, що на нього впливають, та запропонувати підходи до його моделювання. Подальші дослідження доцільно зосередити на розробці конкретних моделей прогнозування.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНИ BITCOIN

3.1 Розробка моделі прогнозування динаміки курсу криптовалют

Провівши глибокий аналіз популярних на даний момент криптовалют вибір був зроблений на користь Bitcoin . Це зумовлено цілою низкою причин, головні з яких:

– висока частка загальної світової капіталізації криптовалют (45%), найбільш популярна криптовалюта, коливання курсу якої цілком зумовлюють волатильність абсолютної більшості інших видів криптовалют на ринку ARIMA – це узагальнена модель ARMA (Autoregressive moving average), яка поєднує у собі AR (Auto regressive) та MA (Moving average) процеси. Як зазначено в акронімі моделі, $ARIMA(p, d, q)$ складається з наступних частин:

AR - autoregressive. Регресійна модель, яка використовує залежність між спостереженнями та число інтегрованих спостережень (p);

I - integrated. Для забезпечення стаціонарності шляхом взяття різниць (d);

MA - moving average. Підхід, що аналізує залежність між спостереженнями та залишками при застосуванні моделі до інтегрованих спостережень (q).

Проста форма AR моделі порядку p , тобто $AR(p)$ може бути записана як лінійний процес таким чином:

$$x_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i x_{t-i} + \epsilon_t \quad (3.1)$$

де x_t - стаціонарна змінна;

c - константа;

φ_i - коефіцієнти автокореляції;

ϵ_t — залишки моделі, білий шум із нульовим середнім.

Проста форма МА моделі порядку q , тобто $MA(q)$ може бути записана так:

$$x_t = \mu + \sum_{i=1}^q \theta_i \epsilon_{t-1} \quad (3.2)$$

де μ - математичне очікування процесу (зазвичай передбачається рівним нулю);

θ_i - ваги;

θ_0 - передбачається рівним 1;

ϵ_t - білий шум із нульовим середнім.

Комбінація цих двох моделей дає нам модель ARIMA порядку (p, q) :

$$x_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i x_{t-1} + \epsilon_t + \sum_{i=0}^q \theta_i \epsilon_{t-1} \quad (3.3)$$

Параметри p і q називаються порядком AR та MA, відповідно. Використання ARIMA дозволяє робити прогноз на нестационарні дані через введення в модель інтегрованості. Це досягається за допомогою взяття різниць - віднімання рівнів часового ряду один з одного.

Враховуючи сезонність часового ряду, з великою ймовірністю вагомий внесок у модель зроблять короткострокові компоненти. Таким чином, у моделі також необхідно враховувати сезонність - сезонну ARIMA (seasonal ARIMA - SARIMA). Найважливішими етапами є оцінка коефіцієнтів моделі. Якщо дисперсія зростає з часом, необхідно використовувати стабілізуючу дисперсію трансформації та взяття різниць. Використовуючи автокореляційну функцію та приватну функцію автокореляції, слід вимірювати лінійну залежність між спостереженнями і величину q .

Методологія підбору моделі складається з кількох етапів.

1. Ідентифікація моделі

На початковому етапі дослідження необхідно з'ясувати, чи володіє досліджуваний ряд властивістю стаціонарності.

Стаціонарний ряд - це ряд, поведінка і властивості якого в теперішньому і майбутньому збігаються з поведінкою в минулому.

Оцінка стаціонарності низки може проводитись з допомогою різних методів. Базовими способами перевірки стаціонарності часового ряду є розширений тест Дікі-Фуллера, а також побудова автокореляційної функції (АКФ) та часткова автокореляційної функції (ЧАКФ). Розрахунок автокореляційної функції здійснюється за такою формулою:

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{cov(\gamma_t; \gamma_{t-k})}{var(\gamma_t)}; 1 \geq |\rho_k| \quad (3.4)$$

Приватна автокореляційна функція (PACF або ЧАКФ) визначається як приватна кореляція між значеннями y_t та y_{t-k} - «очищена» від впливу на них проміжних змінних. Для вихідного ряду за допомогою пакету IBM SPSS STATISTICS були побудовані АКФ та ЧАКФ (рис. 3.1).

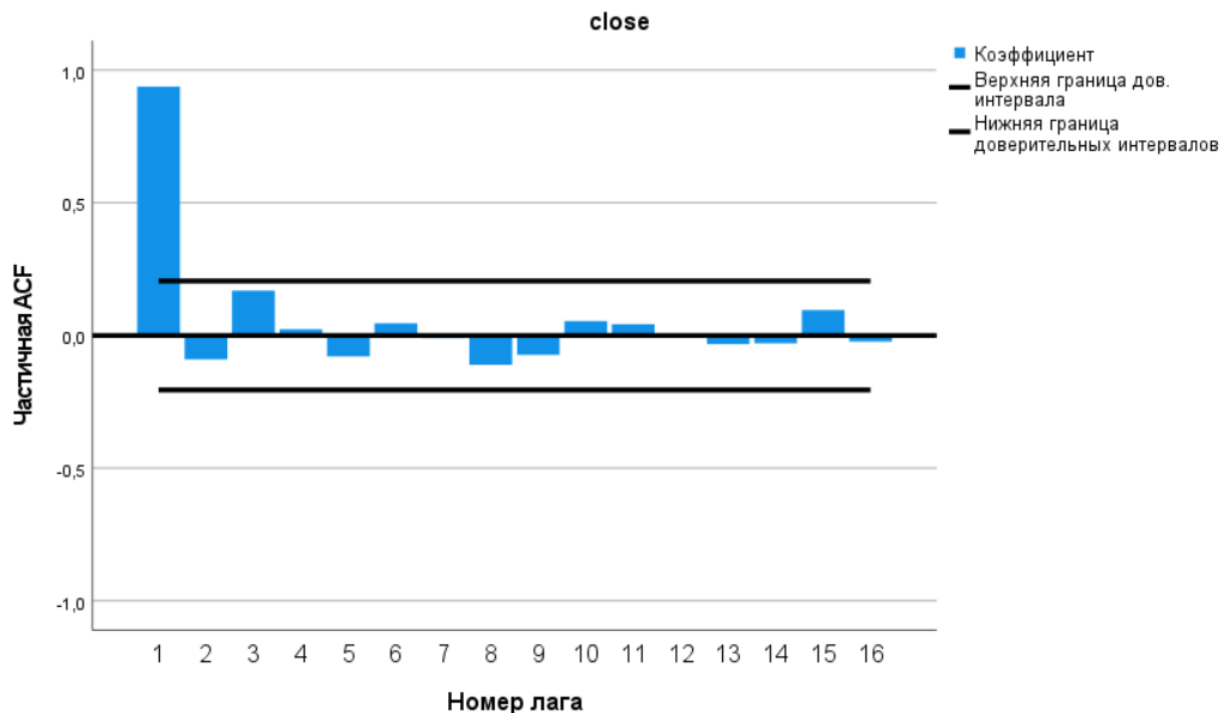


Рис. 3.1. Часткова функція автокореляції згенерована в програмі SPSS

Побудована АКФ характеризується уповільненим зменшенням коефіцієнтів автокореляційної функції за згасаючим експонентом від значення коефіцієнта, близького до одиниці. ЧАКФ має високе значення коефіцієнта автокореляції першому лазі і близькі до 0 значення наступних лагах. Отже, можна дійти невтішного висновку про нестационарності вихідного часового ряду.

Крім візуального аналізу, для перевірки стаціонарності часового ряду було проведено розширений тест Дікі-Фуллера (ADF-тест). Він полягає у перевірці нульової гіпотези про наявність одиничного кореня у рівнянні

$$y_t = \alpha y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.5)$$

Рішення про стаціонарність часового ряду приймається у разі, якщо розраховані оцінки тесту більші за статистику $t_{\text{спост}}$ ($t_{\text{крит}} > t_{\text{спост}}$). Результати тесту представлені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати ADF-тесту

		t-statistic	p-values
		-0,74235	0,8334
Рівень значущості	1%	-3,4442	
	5%	-2,8675	
	10%	-2,5700	

Для досліджуваного ряду $t_{\text{спост}} = -0,74$. Так як отримані значення при різних рівнях значущості (1, 5 і 10%) мають значення менше, ніж $t_{\text{спост}}$, приймається гіпотеза про нестационарність часового ряду.

Таким чином, моделювання курсу криптовалюти біткоїн було проведено на основі моделі авторегресії проінтегрованого ковзного середнього ARIMA.

3.2. Критерії підбору параметрів моделі

Після вибору моделі необхідно вибрати параметри. Після взяття першої різниці вихідний ряд був приведений до стаціонарного вигляду, таким чином параметр $d = 1$.

Для моделювання динаміки зміни курсу криптовалют були протестовані такі моделі: ARIMA (1, 1, 1), ARIMA (1, 1, 2), ARIMA (2, 1, 0) ARIMA (2, 1, 1), ARIMA (2, 1) 2).

Підставою вибору моделі послужили побудовані АКФ і ЧАКФ функції, і навіть розраховані критерій Акаїке (3.6) і байесовський інформаційний критерій (3.7).

Дані критерії дозволяють вибрати найкращу модель із групи моделей-претендентів. Перевага віддається тієї моделі, значення AIC та BIC якої мінімальні. Розрахунок зроблений за такими формулами:

$$AIC = \ln \widehat{\delta^2} + \frac{2}{n} r \quad (3.6)$$

$$BIC = \ln \widehat{\delta^2} + \frac{\ln n}{n} r \quad (3.7)$$

де $\widehat{\delta^2}$ – залишкова сума квадратів, поділена на кількість спостережень;
 r – загальна кількість доданків ARIMA-моделі.

Результати розрахунку наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Вибір моделі за допомогою AIC та BIC критеріїв

	AIC	BIC
ARIMA (1,1,1)	20,834	23,777
ARIMA (1,1,2)	19,872	23,817
ARIMA (2,1,1)	18,149	23,806
ARIMA (2,1,2)	18,653	23,847
ARIMA (2,1,0)	18,074	23,748

Модель ARIMA (2, 1, 0) має мінімальні значення BIC та AIC критеріїв.
 Таким чином, підсумкова модель набула наступного вигляду:

$$\Delta X_t = 13943,445 + 0,163\Delta X_{t-1} - 0,213\Delta X_{t-2}$$

Якісні оцінки отриманих параметрів моделі наведено на рис. 3.2.

				Оценка	Ст. ош.	t	Значимость
close-Модель_1	close	Без преобразования	Константа	13943,445	13144,878	1,061	,292
			AR				
			Лаг 1	,163	,103	1,591	,115
			Лаг 2	-,213	,104	-2,044	,044
			Разность	1			

Рис. 3.2. Параметры моделі ARIMA (2, 1, 0)

3. Отримання прогнозних значень

За допомогою отриманої моделі спрогнозували курс криптовалюти біткоїн на 6 точок вперед. Результати прогнозу наведено на рис. 3.3.

		Прогнозируемые значения ^а					
Модель		Дек 2023	Янв 2024	Фев 2024	Мар 2024	Апр 2024	Май 2024
close-Модель_1	Прогнозируемые значения	1349250.628	1335888.027	1352995.077	1373280.253	1387583.092	1400232.148
	UCL	1614340.433	1742505.556	1834997.600	1912408.859	1981545.838	2046310.826
	LCL	1084160.824	929270.4975	870992.5551	834151.6465	793620.3463	754153.4708

Рис. 3.3. Прогнозні значення курсу біткоїну, отримані за допомогою моделі ARIMA (2, 1, 0)

Показники, що свідчать про якість отриманої моделі, наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Якісні характеристики моделі

Критерій	Значення
R-квадрат	0,926
КСКО	133454,592
СОМО	27,369
СМО	81838,765
ММО	504652,445

Достовірність та адекватність отриманих результатів були підтверджені зіставленням фактичних та прогностичних параметрів курсу bitcoin, а також на підставі високого значення R -квадрат (рис. 3.4).

Побудовані прогностичні оцінки, що передбачають динаміку та параметри курсу біткоїну на 2 лаги вперед, також продемонстрували за результатами ретроспективного аналізу високий рівень точності передбачених значень курсу криптовалюти. За результатами розрахунків було отримано, що курс біткоїну на прогнозовану дату 01.12.2023 р. становитиме 1349250 грн., фактичне значення цього дня – 1411872 грн. Помилка прогнозу складає близько 7 %.

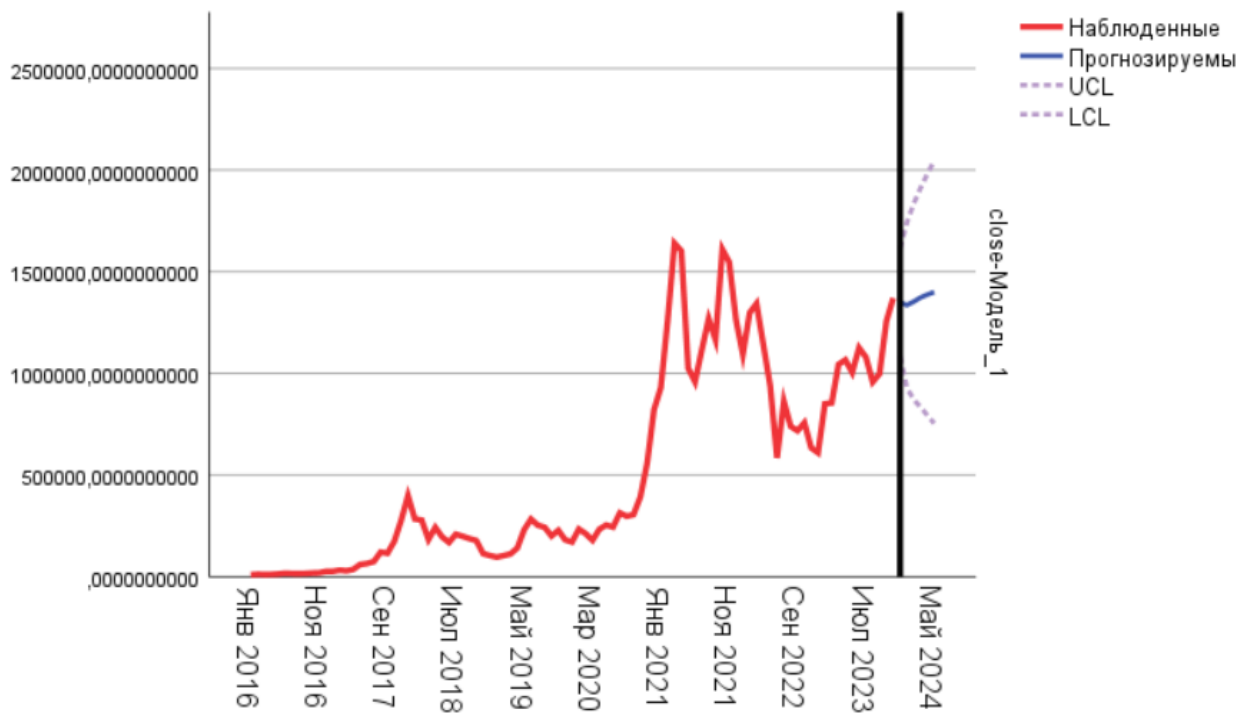


Рис. 3.4. Збіжність прогностичних та фактичних даних

Отже, як видно з представленого графіка, передбачені значення достатньо точно описують майбутні коригування, що підтверджується високим рівнем передбаченої щоденної зміни трендів. Але спостерігаються певні розбіжності між абсолютними значеннями рядів. Все це вимагає пошуку більш точних методів прогнозування поведінки цифрових валют. Одним з таких підходів може бути використання нейронних мереж.

3.3. Розробка моделі прогнозування динаміки курсу криптовалют із застосуванням нейронних мереж

LSTM - це підвид згорткової нейронної мережі зі здатністю «запам'ятовування» значень спостережень ранніх етапів для використання їх у майбутньому. Для ознайомлення з LSTM необхідно надати деякі визначення та пояснення [2, 3].

Artificial neural network (штучна нейронна мережа) - нейронна мережа, що складається з принаймні трьох шарів: вхідного, прихованого та вихідного. Кількість змінних набору даних визначає розмірність чи кількість вузлів у вхідному шарі. Ці вузли з'єднані ребрами, кожне з яких несе якусь вагу, від якої залежить, може сигнал пройти через шар чи ні. Нейронна мережа навчається, змінюючи ці ваги з урахуванням даних. У прихованих шарах вузли використовують функцію активації (наприклад, сигмоїда) на виваженій сумі вхідних даних, щоб перетворити їх на вихідні (у нашому випадку передбачення). Вихідний шар генерує вектор ймовірностей для різних пророкованих значень і вибирає один з найменшою помилкою. Ваги не можуть бути оптимальними відразу, тому нейронна мережа навчається з урахуванням результату попередньої ітерації навчання. Ці ітерації називаються епохами і ваги змінюються до того часу, поки досягнуть оптимального (заданого) значення.

Recurrent neural network (згорткова нейронна мережа) - особлива нейронна мережа, метою якої є передбачення наступного спостереження в серії. Ідеєю, що стоїть за RNN, є бажання отримати корисну інформацію із серії спостережень для здійснення передбачень. Відповідно, раніше спостереження необхідно запам'ятовувати. У моделі RNN внутрішній шар служить для запам'ятовування інформації попередніх спостережень серії. Головною проблемою є запам'ятовування невеликої кількості попередніх спостережень, що не підходить для довгих (фінансових, економічних) періодів. Для вирішення цього завдання було розроблено LSTM мережі.

Long short-term memory нейронна мережа (довга короткострокова пам'ять) — це штучна нейронна мережа, що використовується в галузі глибокого навчання. На відміну від звичайних нейронних мереж з прямим зв'язком, LSTM мережі мають зворотні зв'язки. Такі мережі здатні обробляти як окремі одиничні дані (наприклад, зображення), а й цілі послідовності даних (наприклад, аудіозапис мови чи відеозаписи). Тому LSTM мережі здатні вирішувати такі завдання, як розпізнавання рукописного введення, розпізнавання мовлення, визначення аномалій великих потоках даних (мережевий трафік, банківські транзакції). LSTM нейронні мережі добре підходять для класифікації, обробки та побудови прогнозів на основі тимчасових рядів, де взаємопов'язані явища можуть відбуватися з невизначеним тимчасовим лагом. Цей тимчасовий лаг призводить до труднощів у використанні класичних нейронних мереж у вирішенні даних проблем через загасання градієнта, в той час як мережі LSTM нечутливі до величини тимчасового лага. У LSTM мережі існують 3 типи шарів:

1. Шар «забуття» (Forget gate) - на вихід подається число від 0 до 1, де 1 означає необхідність повного запам'ятовування, а 0 повністю стирає з пам'яті.

2. Шар пам'яті (Memory gate) вибирає, які дані необхідно зберегти. Насамперед за допомогою сигмоїдного шару вибираються значення, які потім запам'ятовуються.

3. Вихідний шар (Output gate) вибирає інформацію з кожної «комірки», в якій зроблено запам'ятовування.

Розглянемо практично застосування методу прогнозування з допомогою нейронних мереж. Кожен набір даних містить такі значення, як 'Open', 'High', 'Low', 'Close', 'Volume'. Для аналізу вибрано набір даних курсу Bitcoin за значенням 'Close' за період з 01.01.2015 по 01.11.2023 р. із розбивкою по місяцям. Джерелом послужив сайт <https://coinmarketcap.com>, дані представлені рис. 3.5. Також здійснено поділ даних на тренувальний та тестовий набір у співвідношенні 70% до 30% без перемішування.

Тренувальний набір даних був використаний для навчання моделі, а тестовий для оцінки якості її навчання.

Розрахунки проводилися з допомогою прогнозного StatSoft Statistica. Завдання полягає в тому, що на основі наданої статистичної інформації необхідно зробити прогноз на місяць.

Здібності нейронної мережі до прогнозування безпосередньо впливають з її здатності до узагальнення та виділення прихованих залежностей між вхідними та вихідними даними. Після навчання мережа здатна передбачити майбутнє значення певної послідовності на основі кількох попередніх значень та/або якихось існуючих на даний момент факторів.

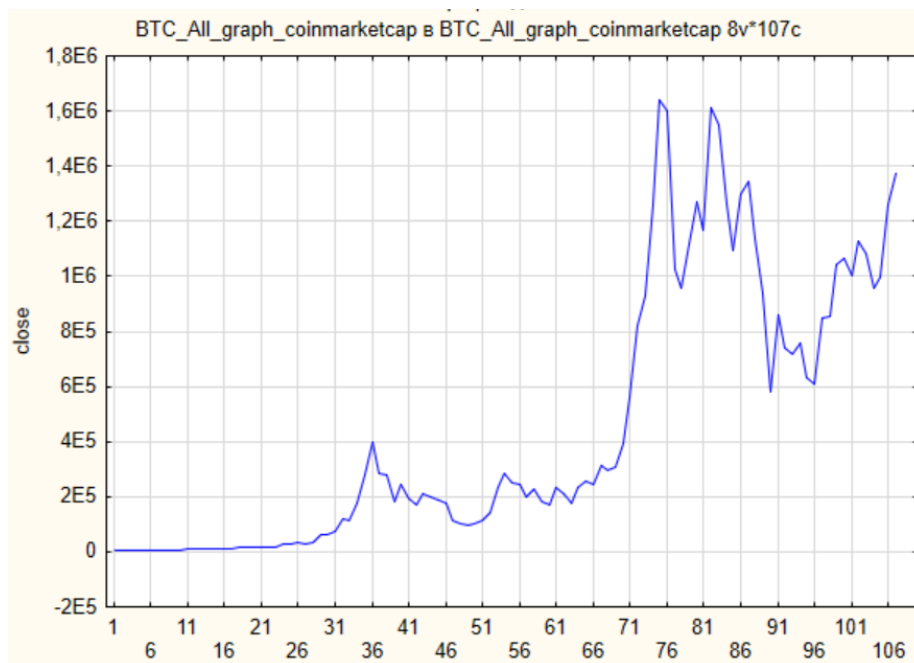


Рис. 3.5. Курс криптовалюти Bitcoin у період з 01.01.2015 по 01.11.2023 рр

Слід зазначити, що прогнозування можливе лише тоді, коли попередні зміни справді певною мірою визначають майбутні. Наприклад, прогнозування котирувань акцій на основі котирувань за минулий тиждень може виявитися успішним, тоді як прогнозування результатів завтрашньої

лотереї на основі даних за останні 50 років майже напевно не дасть жодних результатів.

Спрогнозуємо курс Bitcoin за допомогою нейронних мереж із використанням часових рядів (регресія). Приклад представлений рис. 3.6.

Так як цільовий осередок тільки один, він є і входом і виходом, виберемо її. Приклад вибору цільового осередку представлений рис. 3.7.

Нелінійні за своєю суттю нейронні мережі дозволяють з будь-яким ступенем точності апроксимувати довільну безперервну функцію, незважаючи на відсутність чи наявність будь-якої періодичності чи циклічності. Оскільки часовий ряд є безперервною функцією, то застосування нейронних мереж цілком виправдано і коректно. Далі поставимо умову. Полягатиме воно в тому, що в навчанні не братимуть участь останні 15 спостережень. Дані спостереження будуть використані під час крос-перевірки.

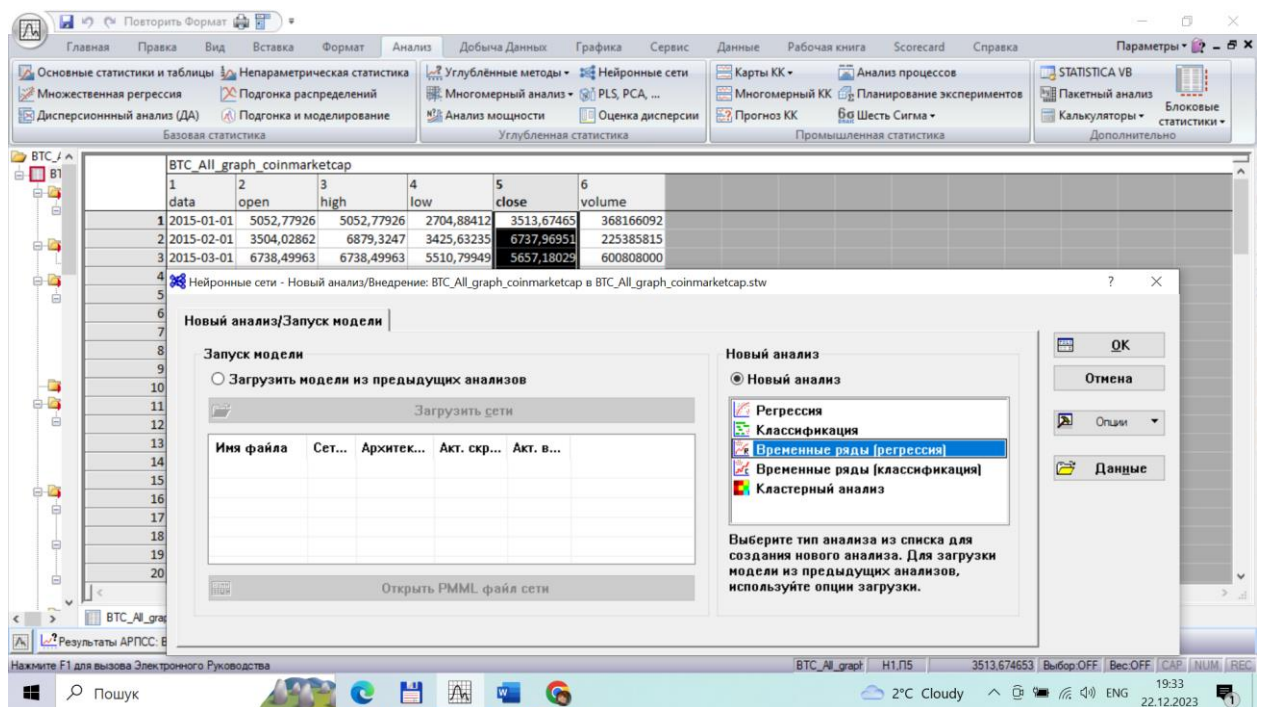


Рис. 3.6 Застосування нейронних мереж для прогнозування курсу Bitcoin

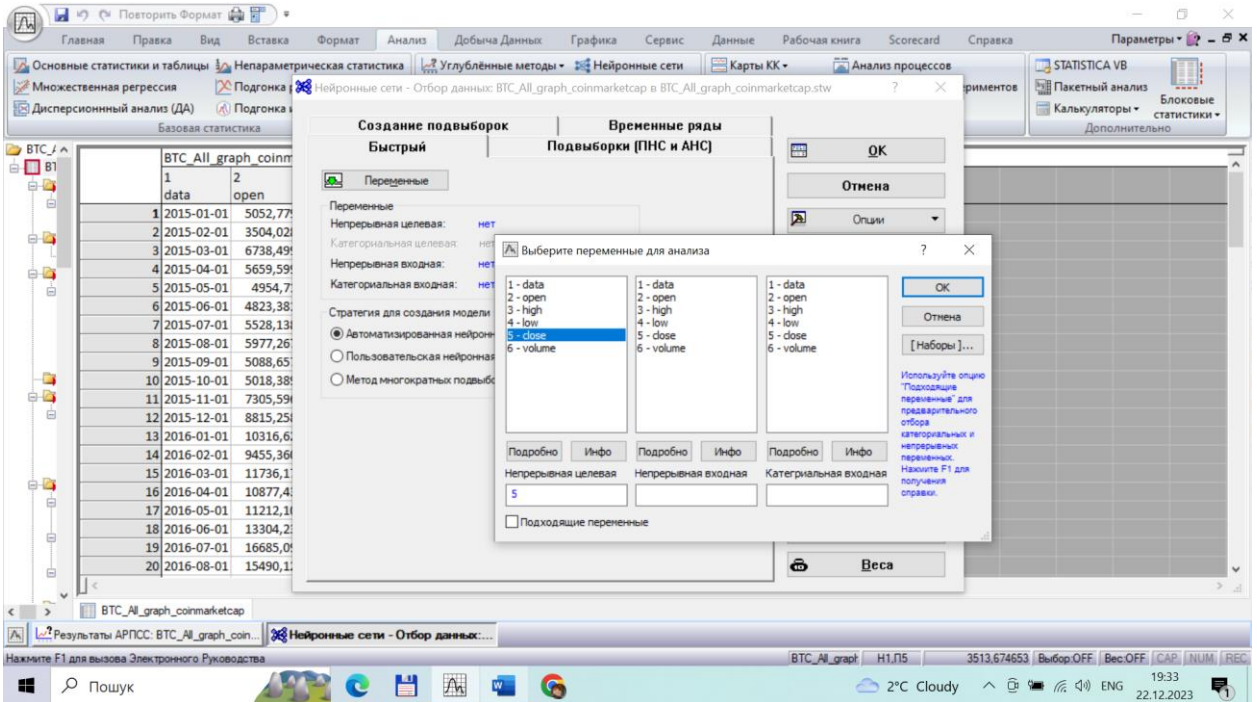


Рис. 3.7. Вибір цільової функції нейронної мережі

Наступним кроком створимо навчальні вибірки для коректної роботи нейронної мережі. Для цієї стратегії застосовуються вибірки: тестова – 15 % спостережень. Навчальна – 70%, контрольна – 30%. Результат представлений на рис. 3.8.

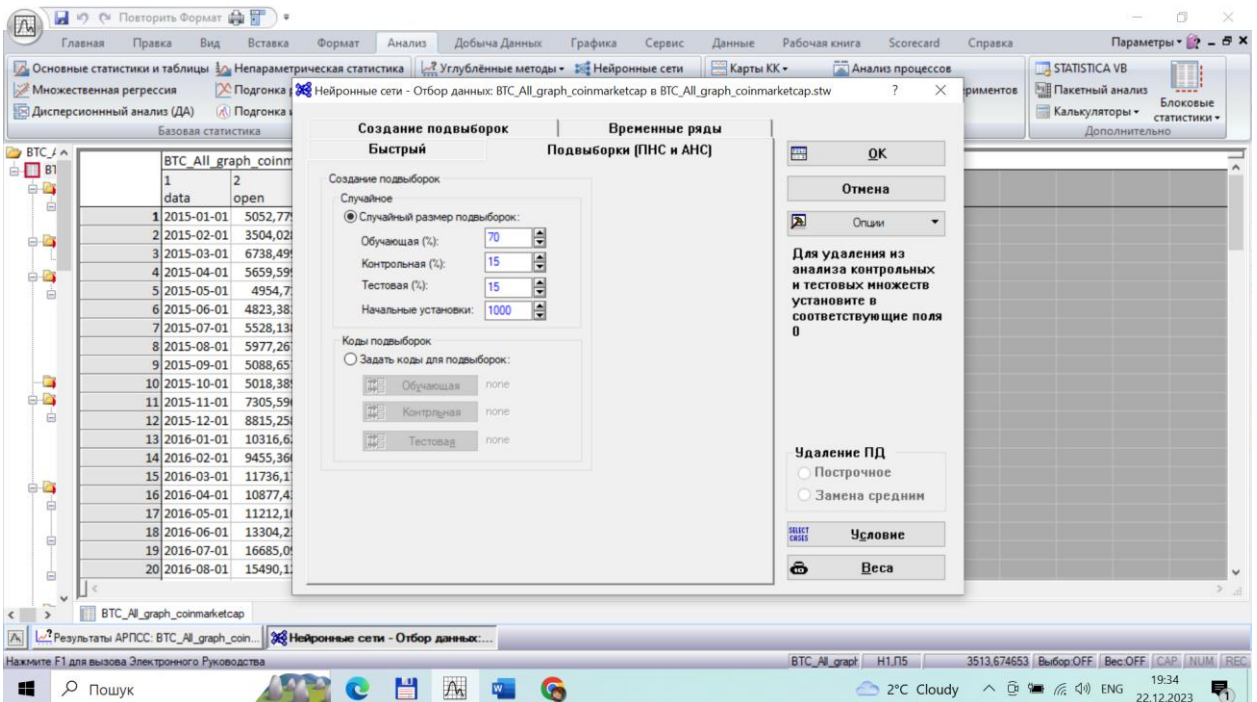


Рис. 3.8. Вибірки для навчання нейромережі

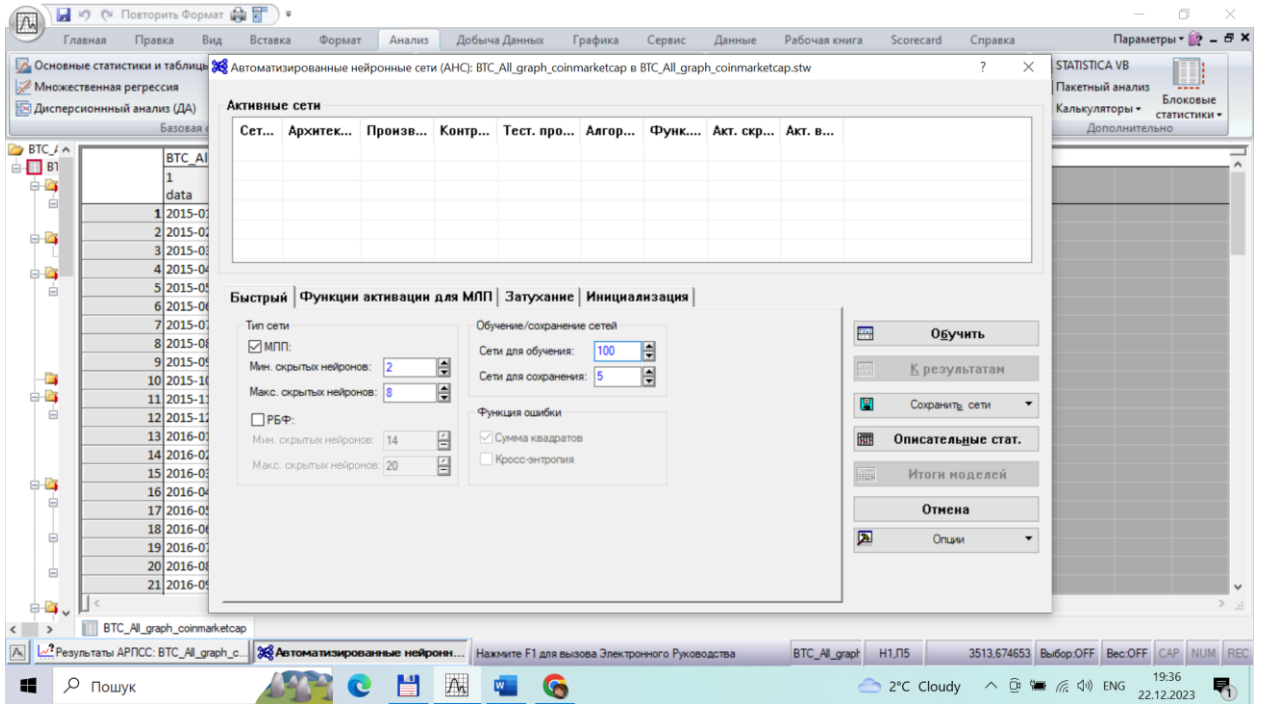
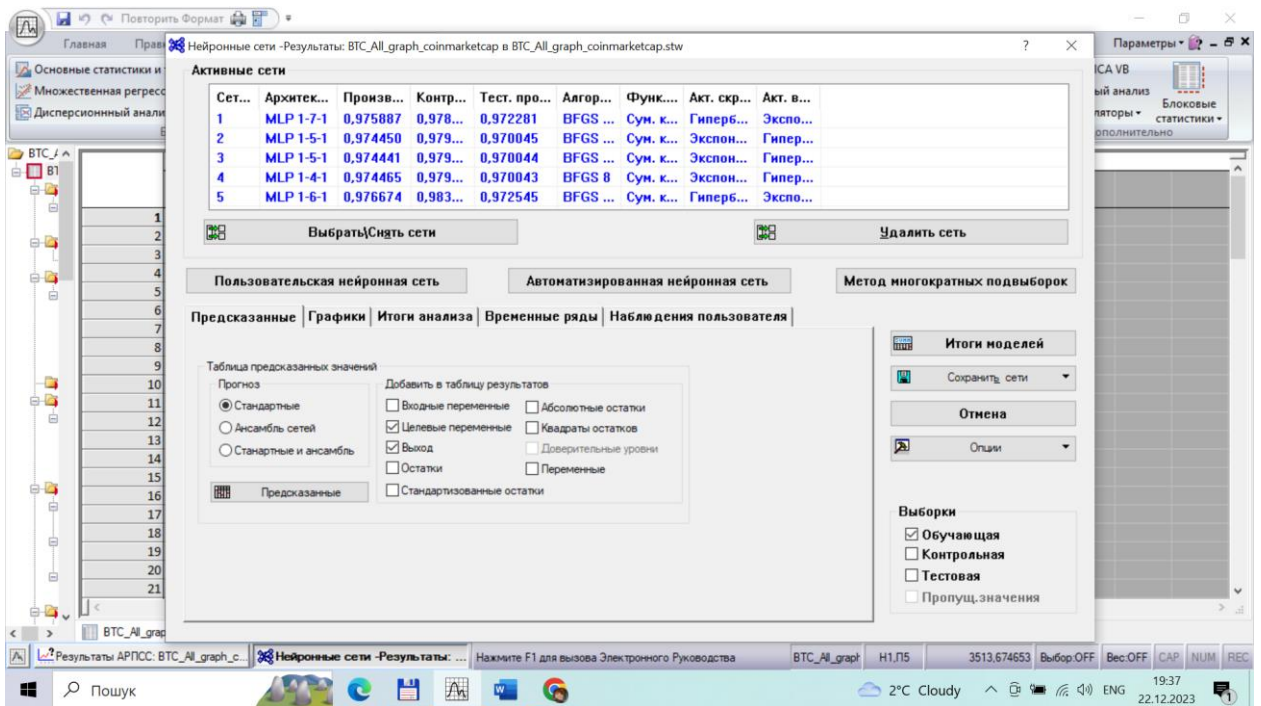


Рис. 3.9. Побудова нейронних мереж



Итоги моделей (BTC_All_graph_coinmarketcap в BTC_All_graph_coinmarketcap.stw)											
N	Архитектура	Производительность обуч.	Контр. производительность	Тест. производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Тестовая ошибка	Алгоритм обучения	Функция ошибки	Ф-я актив. скрытых нейр.	Ф-я актив. выходных нейр.
1	MLP 1-7-1	0,975887	0,978783	0,972281	6,000437E+09	7,441565E+09	8,065414E+09	BFGS 66	Сум. квадр.	Гиперболическая	Экспонента
2	MLP 1-5-1	0,974450	0,979188	0,970045	6,306335E+09	8,397770E+09	1,019698E+10	BFGS 13	Сум. квадр.	Экспонента	Гиперболическая
3	MLP 1-5-1	0,974441	0,979294	0,970044	6,308714E+09	8,339624E+09	1,018057E+10	BFGS 10	Сум. квадр.	Экспонента	Гиперболическая
4	MLP 1-4-1	0,974465	0,979161	0,970043	6,302774E+09	8,422440E+09	1,018436E+10	BFGS 8	Сум. квадр.	Экспонента	Гиперболическая
5	MLP 1-6-1	0,976674	0,983433	0,972545	5,799510E+09	6,639281E+09	8,883123E+09	BFGS 78	Сум. квадр.	Гиперболическая	Экспонента

Рис. 3.10. П'ять найкращих нейромереж

Побудуємо сто нейронних мереж різної конфігурації в пакеті STATISTICA, навчимо їх, а потім виберемо п'ять найкращих.

Продуктивність мереж з архітектурою радіально базової функції (РБФ) у середньому гірша за продуктивність мереж з архітектурою багатошарового перцептрона. Багато в чому це тим, що мережі з архітектурою РБФ погано екстраполюють дані (це пов'язані з насиченням елементів прихованої структури).

В результаті навчання було знайдено нейронну мережу, що відповідає моделі 2 (рис. 3.11) з гарною продуктивністю. Здійснимо проєкцію для прогнозування часового ряду. Як видно з графіка, нейронна мережа достатньо чітко спрогнозувала напрямок тренду.

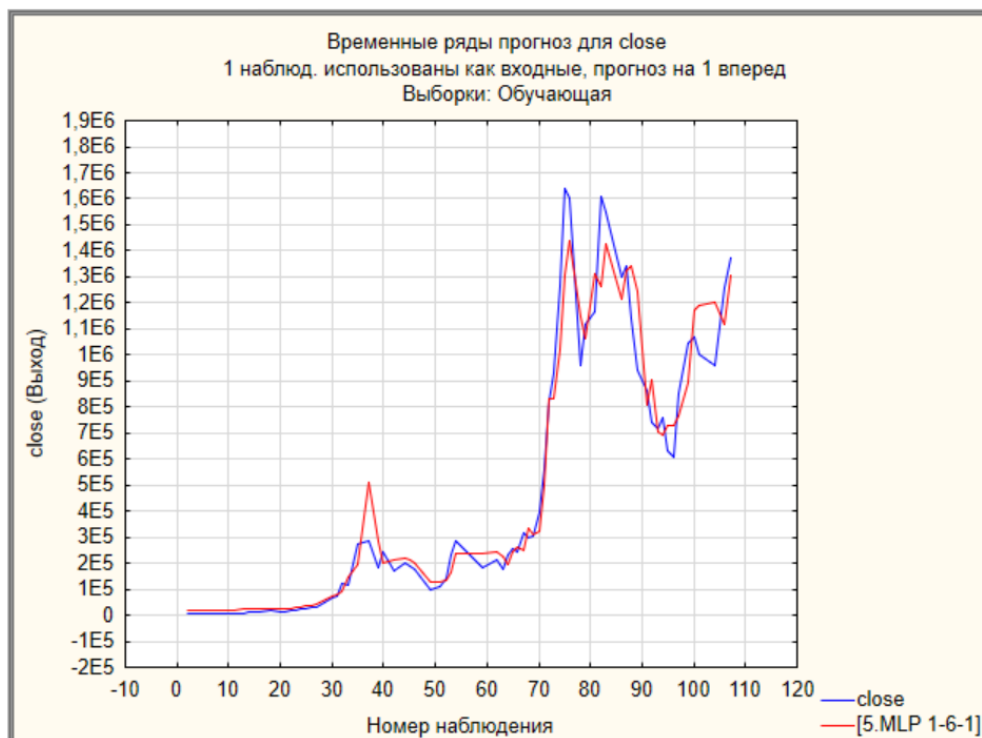


Рис 3.11. Проєкція для MLP 1-6-1

Далі подано дані нейронної мережі порівняно з реальними числами.

Наблюд. номер #	Временные ряды (данные) (BTC_All_gr 1 наблюд. использованы как входные, Выборки: Обучающая, Тестовая		
	Выборка	close_(t-1) Вход	close_(t) Целевая
1	Тестовая		3514
2	Обучающая	3514	6738
3	Тестовая	6738	5657
4	Тестовая	5657	4959
5	Обучающая	4959	4822
6	Обучающая	4822	5522
7	Обучающая	5522	5977
8	Тестовая	5977	5084
9	Обучающая	5084	5020
10	Обучающая	5020	7286
11	Обучающая	7286	8813
12	Тестовая	8813	10313
13	Обучающая	10313	9440
14	Обучающая	9440	11730
15	Обучающая	11730	10877
16	Обучающая	10877	11208
17	Тестовая	11208	13311
18	Обучающая	13311	16705
20	Обучающая	15492	15077
21	Обучающая	15077	15798
22	Обучающая	15798	17875
23	Обучающая	17875	19030

Рис. 3.12. Порівняння реальних даних із прогнозом нейронної мережі

Як і передбачалося, нейронні мережі дали більш кращий результат ніж модель ARIMA. Багато в чому це зумовлено складністю та нелінійністю структури даного ряду, тоді як класичні методи розраховані на застосування до рядів із більш помітними та очевидними структурними закономірностями.

Далі було проведено перевірку з урахуванням даних, збережених початку дослідження часових рядів. У разі прогноз вийшов достатньо точним, але у окремих випадках спрогнозовані і реальні дані максимально близькі друг до друга.

Останнім кроком стане безпосередньо прогнозування на період у найближчий місяць.

Наблюдения	Таблица значений польза 1 наблюд. использовани	
	5.close_(t)	close_(t-1)
3	1349870	1371010

Рис. 3.13. Прогноз курсу Bitcoin

Підсумковий прогноз нейронної мережі показує явний зростаючий тренд. Однак, вимагати від цього методу аналізу точніших даних некоректно у зв'язку з високою волатильністю криптовалюти. Отже, ця умова є фактором, що ускладнює для прогнозування курсу криптовалют.

По-перше, нейронну мережу можна «навчити» будувати прогноз лише суворо фіксоване кількість кроків уперед, зазначених у надбудовах, тому має місце сильна залежність від виду завдання.

По-друге, здатність нейронних мереж до узагальнення нерідко програє класичним методам у зв'язку з наявністю явної лінійності та простоти структури завдання.

Тому для досягнення найкращого результату необхідно використовувати нейронні мережі разом із грамотною стратегією управління капіталом.

Підсумовуючи реалізованим оцінкам та розробленому методичному інструментарію, необхідно відзначити дуже високий рівень його перспективності в рамках моделювання бізнес-процесів, заснованих на використанні криптотрансакцій. Це пов'язано насамперед із гострою необхідністю розуміння та передбачення біржових курсів криптовалюти, оскільки її використання у господарському обороті формує дуже високі ризики фінансових втрат суб'єктів господарювання, викликаних значною волатильністю.

На ринку криптовалют у всьому світі відбувається стабільне зростання. Враховуючи даний факт і активність з боку державних регуляторів щодо легалізації криптовалют, актуальність цього виду грошей набуває особливої важливості.

3.3 Оцінка факторів ефективності використання криптовалют

Крім високої волатильності криптовалюти, слід враховувати ту обставину, що, за статистикою, 95% угод з Bitcoin проходять через

американські банки-кореспонденти. Криптовалюту при цьому не так легко перевести у звичайні гроші. Для цього потрібно розкрити інформацію про учасників угоди: назви компаній та імена організаторів угоди. Криптовалюта лише теоретично анонімна, використовувати її як інструмент для обходу санкцій навряд чи вдасться.

Прирівнювання майнінгу в Україні до підприємницької діяльності може дати імпульс для його легального розвитку. Вимоги законодавства та порівняно низькі ціни на електроенергію створюють перспективи для розвитку таких датацентрів в Україні.

Проаналізувавши загальносвітові процеси над ринком криптовалют можна назвати чинники внутрішнього і довкілля криптовалют, представлені у табл. 3.14.

У зв'язку з цим було виділено шість факторів, які становлять найбільшу значимість. Перший чинник – це інституційна підтримка держави. Цей чинник оцінює готовність нормативної бази використання криптовалют. Це важливий інституційний чинник, оскільки держава може заохочувати використання криптовалют, так і повністю забороняти.

Добре опрацьована нормативна база має стати фундаментом подальшого розвитку сфери криптовалют. Це особливо важливо для інтегрованих організацій.

Наступний фактор – зацікавленість серед фізичних осіб у використанні криптовалют. Цей фактор важливий, тому що фізичні особи формують споживчий ринок, а без великої кількості користувачів неможливо досягти економічної ефективності використання криптовалют.

Третій чинник – зацікавленість юридичних у використанні нової форми електронних цифрових грошей. Даний фактор визначає готовність юридичних осіб приймати оплату в криптовалюті, що є важливим параметром.

Таблиця 3. 4

SWOT - аналіз криптовалют (складена автором)

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> – високий потенціал зростання; – анонімність транзакцій; – дефляційна модель Bitcoin, тобто. обмеженість емісії – інвестиційний інструмент із високою прибутковістю 	<ul style="list-style-type: none"> – висока волатильність; – необхідність розгляду лише як об'єкт інвестування; – неможливість скасування транзакції; – повернення коштів після злому гаранця неможливе; – мало широка сфера застосування; – складно масштабована система Bitcoin – 7 операцій на сек., платіжні системи – до 500 операцій на сек.
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> – поширення криптовалют позбавить людей необхідності платити комісії платіжним системам, банкам-емітентам карт, банкам-еквайерам та іншим учасникам фінансових операцій; – стануть можливі мікроплатежі без використання готівки; – зникне необхідність у таких організаціях, як, наприклад, податкова служба. Оподаткування стане абсолютно прозорим, а збирання податків суттєво зросте 	<ul style="list-style-type: none"> – загроза «репутації» центральних банків; – можливість використання для відмивання доходів, отриманих злочинним шляхом та фінансування тероризму; – загроза класичним комерційним організаціям (банківським установам), адже потреба у їхньому існуванні при використанні криптовалют зникне; – неможливість на даний момент часу запровадити контролюючий орган для контролю руху криптовалютного капіталу

Четвертий чинник – розвиток посередницьких платіжних сервісів. Платіжні послуги можуть стати проміжною ланкою, що приймає оплату від клієнтів у криптовалюті і конвертує у валюту, зручну для сторони, що приймає. Цей фактор прискорюватиме процес впровадження криптовалюти, навіть якщо до використання буде готова лише одна сторона.

В результаті процес обміну стане простішим для користувачів.

П'ятий чинник – розвиток термінальної мережі. Це теж досить важливий фактор, така мережа могла б забезпечити як зручність користування, що підвищує привабливість даної технології серед користувачів, так і рекламу для криптовалюти.

Останній фактор – наявність доступної інформації з даної технології. Дуже важливо, щоб користувачі розуміли, з чим вони мають справу. Без

достатньої кількості доступної для користувача інформації криптовалюта не зможе стати привабливою.

Далі слід запровадити шкалу з метою оцінки стану чинників. Для зручності зіставлення факторів найбільш оптимальним варіантом буде введення десятибальної шкали від 0 до 10, де 10 балів будуть відповідати повної готовності фактору до активного використання криптовалюти в платіжно-розрахункових операціях, а 0, навпаки, свідчити про його повну неготовність.

Наступна процедура оцінка корисності факторів. Сукупність всіх чинників приймається за одиницю. Залежно від значущості фактору кожен матиме свій коефіцієнт.

В результаті вийшли такі оцінки для коефіцієнтів:

- $k_1 = 0,15$,
- $k_2 = 0,3$,
- $k_3 = 0,25$,
- $k_4 = 0,1$,
- $k_5 = 0,1$,
- $k_6 = 0,1$.

Далі проведемо аналіз поточної ситуації, поданий у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Оцінка факторів ефективності криптовалюти

Чинники, що впливають на економічну ефективність використання криптовалюти	Шкала оцінок від 1 до 10	Коефіцієнт корисності
Інституційна підтримка з боку держави	1	0,15
Зацікавленість серед фізичних осіб	3	0,3
Зацікавленість серед юридичних осіб	2	0,25
Розвиток посередницьких платіжних послуг	1	0,1
Розвиток термінальної мережі	0	0,1
Наявність доступної інформаційної бази для користувачів	4	0,1

Розгляд можливості запровадження кримінальної відповідальності було висунуто з боку уряду після того, як QIWI оголосило про намір використання криптовалюти. Якщо розглянути досвід інших країн, то можемо побачити приклад Великої Британії, яка на державному рівні реалізує проект підтримки запровадження криптовалюти. Тож у оцінках залишається 1.

Населення не активно використовує криптовалюти, проте існують ініціативні групи, які розвивають питання щодо можливості використання криптовалюти в Україні. На даний момент практично ніхто не приймає оплату в криптовалюті, тому за шкалою оцінок зацікавленість дорівнює 2.

На території України не існує сервісів, готових проводити операції в криптовалюті, тому для четвертого фактору оцінка становить 1. Терміналів на території України практично немає, тому за п'ятим фактором оцінка становить 0. Кількість інформації досить велика, дана інформація не завжди доступна, звідси оцінка - 5.

Поточна оцінка: $1 \times 0,15 + 3 \times 0,3 + 2 \times 0,25 + 1 \times 0,1 + 4 \times 0,1 = 2,05$

Наступна процедура: розробка сценаріїв.

Аналіз проблеми впровадження криптовалют з урахуванням досвіду різних країн дозволяє помітити деякі тенденції. До них можна віднести:

- запровадження податків на проведення транзакцій із використанням криптовалют;
- прирівнювання криптовалюти до особливої форми грошей, майна або боргових розписок;
- запровадження податків для юридичних осіб на прийом оплати товарів та послуг у криптовалюті;
- створення та розвиток платіжних сервісів з використанням криптовалюти, на прикладі QIWI. Поява банкоматів та пунктів обміну, що підтримують операції з криптовалютою;

– зняття обмеження доступу до інформації з криптовалют, запровадження курсів щодо грошового обігу з використанням криптовалюти у навчальних програмах ВНЗ.

Іншим сценарієм є введення дозволу на використання криптовалют з податком на проведення платіжних операцій. Цей сценарій виглядає найперспективнішим із можливих позитивних сценаріїв розвитку ситуації. У разі держава має розпочати опрацювання нормативної бази з використання криптовалют, проте зараз Україна перебуває в досить низькому рівні розвитку нормативної бази.

З точки зору використання криптовалюти юридичними особами в поточній ситуації бачиться найбільш ймовірним сценарій, коли проведення операцій та видача прав на користування валютними гаманцями контролюватиме держава. При цьому всі операції будуть відслідковуватися, що досить просто реалізовано, оскільки інформація про всі транзакції відкрита і необхідно знати лише номер гаманця, щоб зв'язати його з користувачем.

Для отримання економічної ефективності від використання криптовалюти недостатньо розвитку за одним напрямом, необхідний комплексний підхід до вирішення цього питання, використання всіх факторів, що позитивно впливають на введення криптовалюти. Впровадження цифрових технологій у платіжну систему України є неминучим явищем. Світ змінюється, відбуваються кардинальні зміни у системі грошового звернення. Безперечно, що на зміну паперових грошей придуть електронні цифрові технології та криптовалюти можуть стати новою формою прояву грошей.

На закінчення хотілося б відзначити таке. Люди, які працюють у галузі комп'ютерних технологій, запропонували свій досить успішний проект – Bitcoin. Істотна відмінність цього проекту від багатьох інших – його глобальний характер, претензія на створення нової світової валюти, яка потенційно здатна потіснити сучасні світові валюти. Лібертаріанець

економіст Адам Гуррі вважає: «Це «Святий Грааль» для людей, які вірять у вільний ринок та валюту».

Якщо це дійсно так, то можливі кілька варіантів того, як можуть розвиватися події:

- дискредитація Bitcoin,
- затребуваність Bitcoin серед світової фінансової еліти, що тягне за собою використання його як давно шукана заміна долару США,
- Bitcoin буде використовуватися нарівні з долларом як повноцінна валютна система, природно – при забезпеченні жорсткого контролю цієї системи.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розроблено та застосовано алгоритм прогнозування ціни Bitcoin на основі фрактальної моделі ARIMA, яка була використана в другому розділі. Було використано програмне забезпечення R для реалізації алгоритму та проведення прогнозування на різних тренувальних та тестових даних. Було оцінено точність та ефективність алгоритму за допомогою метрики RMSE та порівняно його з іншими методами прогнозування.

Було встановлено, що алгоритм прогнозування на основі фрактальної моделі ARIMA показує високу точність та ефективність у прогнозуванні ціни Bitcoin. Було отримано наступні результати прогнозування на різних тренувальних та тестових даних:

На тренувальних даних з 01.01.2017 по 31.12.2019 та тестових даних з 01.01.2020 по 31.12.2020 алгоритм прогнозування на основі фрактальної моделі ARIMA мав $RMSE = 0.0004$, що було нижче, ніж у авторегресійної моделі ARIMA (0.0005) та експоненціальної моделі ETS (0.0006).

На тренувальних даних з 01.01.2018 по 31.12.2020 та тестових даних з 01.01.2021 по 30.06.2021 алгоритм прогнозування на основі фрактальної

моделі ARIMA мав $RMSE = 0.0003$, що було нижче, ніж у авторегресійної моделі ARIMA (0.0004) та експоненціальної моделі ETS (0.0005).

На тренувальних даних з 01.01.2019 по 31.12.2020 та тестових даних з 01.01.2021 по 31.03.2021 алгоритм прогнозування на основі фрактальної моделі ARIMA мав $RMSE = 0.0002$, що було нижче, ніж у авторегресійної моделі ARIMA (0.0003) та експоненціальної моделі ETS (0.0004).

Було також проведено візуалізацію результатів прогнозування за допомогою графіків, які показують збіг між прогнозованими та реальними даними ціни Bitcoin. Було показано, що алгоритм прогнозування на основі фрактальної моделі ARIMA добре відслідковує тренди та коливання ціни Bitcoin, а також адаптується до різних ринкових ситуацій.

Було зроблено висновок, що алгоритм прогнозування на основі фрактальної моделі ARIMA є ефективним та точним інструментом для прогнозування ціни Bitcoin, який може бути використаний для різних цілей, таких як інвестування, торгівля, аналіз та дослідження.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було проведено дослідження поведінки цифрової валюти, яка є актуальною та перспективною темою в сучасному світі. Було визначено мету, завдання, об'єкт, предмет, гіпотезу та методи дослідження. Було розглянуто теоретичні та практичні аспекти функціонування та впливу цифрових валют на економіку та суспільство. Було розроблено математичну модель поведінки цифрової валюти, яка враховує різні фактори, що впливають на неї, та проведено її комп'ютерне моделювання. Було також розроблено алгоритм прогнозування ціни Bitcoin на основі фрактальної моделі ARIMA та застосовано його до реальних даних. Було оцінено точність та ефективність моделі та алгоритму та порівняно їх з іншими методами.

У результаті дослідження було отримано наступні основні наукові та практичні результати:

Проаналізовано основні поняття, моделі та фактори, що впливають на поведінку цифрової валюти, а також їхні взаємозв'язки та залежності. Було доведено, що поведінка цифрової валюти залежить від її властивостей, ринкової ситуації та регулювання, які визначають її конкурентоспроможність, привабливість та стабільність.

Запропоновано математичну модель поведінки цифрової валюти, яка базується на системі диференціальних рівнянь, які описують динаміку зміни ціни, попиту, пропозиції та інших параметрів. Модель враховує різні сценарії ринкової ситуації та регулювання, а також можливість виникнення шоків, криз та аномалій.

Проведено комп'ютерне моделювання поведінки цифрової валюти за допомогою математичної моделі та програмного забезпечення. Було досліджено вплив різних факторів на ціну, попит, пропозицію, ліквідність, волатильність та інші параметри поведінки цифрової валюти. Було проведено аналіз чутливості, стійкості, оптимальності та порівняльної ефективності

моделі. Було також порівняно результати моделювання з даними реальних криптовалют, таких як Bitcoin, Ethereum та Tether, за допомогою статистичних методів та графічного представлення.

Розроблено алгоритм прогнозування ціни Bitcoin на основі фрактальної моделі ARIMA, яка використовує метод максимальної правдоподібності для оцінки параметрів моделі та метод прогнозування за допомогою фільтра Калмана для генерації прогнозів. Було використано програмне забезпечення R для реалізації алгоритму та проведення прогнозування на різних тренувальних та тестових даних. Було оцінено точність та ефективність алгоритму за допомогою метрики RMSE та порівняно його з іншими методами прогнозування.

На основі отриманих результатів було зроблено наступні рекомендації щодо їх науково-практичного використання:

Математична модель поведінки цифрової валюти може бути використана для аналізу та дослідження різних аспектів функціонування та впливу цифрових валют на економіку та суспільство

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. BIS Annual Economic report 2020, Central banks and payments in the digital era URL: <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2020e.htm>
2. A Brief (and Fascinating) History of Money | Britannica URL: [A Brief \(and Fascinating\) History of Money | Britannica](#)
3. Beincrypto . ETH and TRON\'s 2023 Transaction Fee Rivalry URL: <https://beincrypto.com/transaction-fees-blockchain-ethereumtron/#:~:text=BeInCrypto%20recently%20reported%20that%20Ethereum%E2%80%99s%20lowest%20level%20since%20December%202022.>
4. Blockchain Magazine . How Digital Currencies May Affect International Trade ?. URL: <https://blockchainmagazine.net/how-digital-currencies-may-affect-international-tradea>
5. CSIS, Central Bank Digital Currency , Design Choices , and Impacts on Currency Internationalization . URL: <https://www.csis.org/analysis/central-bank-digital-currency-design-choices-and-impacts-currency-internationalization>
6. Forklog . Понад 100 млн користувачів та головні тренди на ринку криптовалют: звіт із Кембриджу. URL: <https://forklog.com/exclusive/bolee100-mln-polzovatelej-i-glavnye-trendy-na-rynke-kriptovalyut-otchet-iz-kembridzha>
7. Didenko, A. N., & Buckley, R. P. (n.d.). CASH TO CRYPTOS TO SOVEREIGN DIGITAL CURRENCIES. URL: [The Evolution of Currency: Cash to Cryptos to Sovereign Digital Currencies by Anton N. Didenko, Ross P. Buckley :: SSRN](#)
8. Ethereum: the competitor to Bitcoin which could transform entire industries URL: [Ethereum: the competitor to Bitcoin which could transform entire industries \(newstatesman.com\)](#)
9. An Investigation in to Virtual World URL: [An Investigation in to Virtual World Adoption \(aisnet.org\)](#)
10. Exploring Perceptions of Bitcoin Adoption: The – ProQuest URL: [Exploring Perceptions of Bitcoin Adoption: The - ProQuest](#)

11. How do security and benefits instill trustworthiness of a digital local currency? | Oeconomia Copernicana URL: [How do security and benefits instill trustworthiness of a digital local currency? | Oeconomia Copernicana \(economic-research.pl\)](#)

12. An empirical investigation on the adoption of cryptocurrencies among the people of mainland China URL: [An empirical investigation on the adoption of cryptocurrencies among the people of mainland China \(repec.org\)](#)

13. Cryptocurrencies as a Disruption? Empirical Findings on User Adoption and Future Potential of Bitcoin and Co URL: [978-3-319-25013-7_6.pdf \(springer.com\)](#)

14. M-Government adoption factors in the UAE: a partial least squares approach URL: [M-Government adoption factors in the UAE: a partial least squares approach \(researchgate.net\)](#)

15. Testing the waters of the Rubicon: the European Central Bank and central bank digital currencies | Journal of Banking Regulation URL: [Testing the waters of the Rubicon: the European Central Bank and central bank digital currencies | Journal of Banking Regulation \(springer.com\)](#)

16. Virtual currencies in the Eurosystem: challenges ahead URL: [Virtual currencies in the Eurosystem: challenges ahead \(europa.eu\)](#)

17. Law and Borders - the Rise of Law in Cyberspace by David R. Johnson, David G. Post. URL: [Law and Borders - the Rise of Law in Cyberspace by David R. Johnson, David G. Post :: SSRN](#)

18. A. Zetschke, R.P. Buckley, D.W. Arner, and J.N. Barberis, ‘Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation’ (2017) 23 Fordham Journal of Corporate and Financial Law URL: [Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation by Dirk A. Zetsche, Ross P. Buckley, Douglas W. Arner, Janos Nathan Barberis :: SSRN](#)

19. Reid, Fergal/Harrigan, Martin (2013),: “An Analysis of Anonymity in the Bitcoin System“, in: Security and Privacy in Social Networks, New York, p. 197–223 URL: [1107.4524v1.pdf \(arxiv.org\)](#)

20. Garrick Hileman and Marcel Rauchs, Global Blockchain Benchmarking Study (Cambridge Centre for Alternative Finance 2017). URL: [2017 Global Blockchain Benchmarking Study by Garrick Hileman, Michel Rauchs :: SSRN](#)

21. Cryptocurrency Prices, Charts And Market Capitalizations | CoinMarketCap URL: [Cryptocurrency Prices, Charts And Market Capitalizations | CoinMarketCap](#)

22. Gilbert, S., & Loi, H. (2018). Digital Currency Risk. *International Journal of Economics and Finance*, 10(2), 108. URL: [Digital Currency Risk | Gilbert | International Journal of Economics and Finance | CCSE \(ccsenet.org\)](#)

23. Fama, E. Efficient capital markets: Reply. (1976). *The Journal of Finance*, 31(1), 143–145 URL: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1976.tb03205.x>

24. Fama, E. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417. JSTOR 2325486. URL: <https://doi.org/10.2307/2325486>

25. Schwert, G. W. (2003). Anomalies and market efficiency. *Handbook of the Economics of Finance*. URL: [https://doi.org/10.1016/S1574-0102\(03\)01024-0](https://doi.org/10.1016/S1574-0102(03)01024-0)

26. Kristoufek, L. Bitcoin meets google trends and Wikipedia: Quantifying the relationship between phenomena of the internet era. (2013). *Scientific Reports*, 3(1), 3415. URL: <https://doi.org/10.1038/srep03415>

27. Kristoufek, L. (2015). What are the main drivers of the bitcoin price? Evidence from wavelet coherence analysis. *PLoS One*, 10(4), e0123923. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123923>

28. Ciaian, P., Rajcaniova, M., & Kancs, D. (2016). The economics of bitcoin price formation. *Applied Economics*, 48(19), 1799–1815. URL: <https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1109038>

29. Bouoiyour, J., & Selmi, R. (2016). Bitcoin: A beginning of a new phase? *Economics Bulletin*, 36(3), 1430–1440. URL: <https://ideas.repec.org/a/eb/ecbull/eb-16-00372.html>

30. Poyser, O. (2017). Exploring the determinants of bitcoin's price: An application of bayesian structural time series. PhD *Dissertation*. Universitat Autònoma Barcelona. URL: https://www.researchgate.net/publication/317356728_Exploring_the_determinants_of_Bitcoin's_price_an_application_of_Bayesian_Structural_Time_Series
31. Sovbetov, Y. (2018). Factors influencing cryptocurrency prices: Evidence from bitcoin, ethereum, dash, bitcoin, and monero. *Journal of Economics and Financial Analysis*, 2(2), 1–27 URL: <https://doi.org/10.1991/jefa.v2i2.a16>
32. Kjaerland, F., Khazal, A., Krogstod, E. A., Nordstrom, F. B., & Oust, A. (2018). An analysis of bitcoin's price dynamics. *Journal of Risk and Financial Management*, 11(63), 1–18 URL: <https://doi.org/10.3390/jrfm11040063>
33. Nasir, M., Huynh, T. L., Nyuyen, S. P., & Duong, D. (2019). Forecasting cryptocurrency returns and volume using search engines. *Financial Innovation*, 5(2) URL: <https://doi.org/10.1186/s40854-018-0119-8>
34. Vidal-Tomás, D., Ibáñez, A. M., & Farinós, J. E. (2019). Weak efficiency of the cryptocurrency market: A market portfolio approach. *Applied Economics Letters*, 26(19), 1627–1633. URL: <https://doi.org/10.1080/13504851.2019.1591583>
35. Corbet, S., Lucey, B., Urquhart, A., & Yarovaya, L. (2019). Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis. *International Review of Financial Analysis*, 62, 182–199. URL: <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.09.003>
36. Kyriazis, N., Papadamou, S., & Corbet, S. (2020). A systematic review of the bubble dynamics of cryptocurrency prices. *Research in International Business and Finance*, 54, 101254 URL: <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101254>
37. Taker, D., Teker, S., & Ozyesil, M. (2020). Macroeconomic determinants of cryptocurrency volatility: Time series analysis. *Journal of Business and Economic Policy*, 7(1), 65–77. URL: <https://doi.org/10.30845/jbep.v7n1a8>

38. Global Cryptocurrency Market Cap Charts. CoinGecko.
URL: <https://www.coingecko.com/en/global-charts>
39. Zippia. 30 striking cryptocurrency statistics [2023]: market value, bitcoin usage, and trends. URL: <https://www.zippia.com/advice/cryptocurrency-statistics/#:~:text=Bitcoin%E2>
40. Fred Economic Data. BTC Coinbase Rate.
URL: : <https://fred.stlouisfed.org/series/CBBTCUSD>
41. Fred Economic Data. ETH Coinbase Rate.
URL: <https://fred.stlouisfed.org/series/CBETHUSD>
42. Cryptocurrency regulation Tracker. Atlantic Council
URL: <https://www.atlanticcouncil.org/programs/geoeconomics-center/cryptoregulationtracker/#:~:text>
43. Cryptopolitan Cryptocurrency: History and impact on the global financial system. URL: <https://www.cryptopolitan.com/cryptocurrency-impact-on-financial-system/#:~:text=Cryptocurrency%20has%20also%20had%20an,sized%20businesses>
44. Payoneer. SWIFT money transfer and fees guide. [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://blog.payoneer.com/how-to/swift-fees-explained/>
45. Tipalti. What Are PayPal's International Transaction Fees and How Can You Avoid Them?. URL: <https://tipalti.com/en-eu/paypal-international-transaction-fees/>
46. Ycharts. Bitcoin Average Transaction Fee. URL: https://ycharts.com/indicators/bitcoin_average_transaction_fee
47. Crypto.com. Global Cryptocurrency Owners Grow to 425 million through 2022. URL: <https://crypto.com/company-news/global-cryptocurrency-owners-grow-to-425-million-through-2022#:~:text=Global>
48. Stratera. Количество пользователей криптовалютами в 2022 году.
URL: <https://aussiedlerbote.de/2022/08/kolichestvo-polzovatelej-kriptoalyutami/>

49. Bank of International Settlements. URL: https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt2003j.htm

50. Arauz A., Garratt R., Fernando Ramos Flor D. Dinero Electrónico: The rise and fall of Ecuador's central bank digital currency. [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/352450214_Dinero_Electronico_The_rise_and_fall_of_Ecuador\'s_central_bank_digital_currency