

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

**Навчально-науковий інститут  
«Інститут інформаційних технологій в економіці»**

**Кафедра математичного моделювання та статистики**

**Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»**

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»  
Спеціальність 051 «Економіка»

Форма здобуття освіти: очна (денна)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

на тему **«Статистичний аналіз та прогнозування курсу криптовалют»**

*(назва теми)*

здобувача Басацького Микити Андрійовича

*(ПІБ)*

\_\_\_\_\_ *(підпис)*

Науковий керівник: кандидат економічних наук, доцент  
Катерина СІРЕНКО

\_\_\_\_\_ *(підпис)*

**Робота допущена до захисту перед екзаменаційною комісією з  
атестації здобувачів вищої освіти (ЕК)**

Завідувач кафедри: кандидат фізико-математичних наук,  
професор Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

\_\_\_\_\_ *(підпис)*

**Київ 2025**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

**Навчально-науковий інститут  
«Інститут інформаційних технологій в економіці»**

**Кафедра математичного моделювання та статистики**

**Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»**

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»  
Спеціальність 051 «Економіка»

**ПОГОДЖЕНО**

Керівник проектної групи (гарант)  
освітньо-професійної програми

Ольга ПРИТОМАНОВА

*(підпис)*

\_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри  
математичного моделювання та  
статистики

Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

*(підпис)*

\_\_\_\_\_ 2025 р.

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ**

**здобувача вищої освіти**

Басацького Микити Андрійовича

*(прізвище, ім'я, по батькові)*

\_\_\_\_\_ очної (денної)

**форми навчання**

*очної (денної), заочної, дистанційної*

на підготовку кваліфікаційної бакалаврської роботи

**на тему «Статистичний аналіз та прогнозування курсу криптовалют»**

Тему затверджено наказом ректора Університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

**Кваліфікаційна бакалаврська робота виконується на матеріалах**

відкритих джерел даних про курси криптовалют, наукових публікацій у періодичних виданнях, праць вітчизняних та зарубіжних авторів та інших відкритих джерел.

## План кваліфікаційної бакалаврської роботи

Розділ 1	Теоретичні аспекти дослідження ринку криптовалют
Розділ 2	Аналіз тенденцій розвитку та прогнозування курсу криптовалют

Об'єкт дослідження:	курс криптовалют
Предмет дослідження:	методи аналізу закономірностей, тенденцій розвитку та прогнозування курсу криптовалют
Мета кваліфікаційної бакалаврської роботи:	аналіз та прогнозування курсу криптовалют з метою виявлення основних факторів, що впливають на курс, а також дослідження методів та інструментів для їх оцінювання

### Конкретні завдання, які здобувач повинен виконати для досягнення поставленої мети:

**У розділі 1:** 1) дослідити сутність та особливості функціонування ринку криптовалют; 2) описати поняття курсу криптовалют, класифікації ризиків та методи їх регуляції; 3) охарактеризувати сучасний стан ринку криптовалют та підходи до оцінки волатильності курсу криптовалют.

**У розділі 2:** 1) проаналізувати закономірності та тенденції розвитку курсу криптовалют; 2) визначити фактори, що впливають на динаміку курсу криптовалют на прикладі Біткоїн та Ефіріум; 3) здійснити прогнозування курсу криптовалют.

Завдання підготував  
науковий керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Катерина СІРЕНКО  
(ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завдання одержав  
здобувач

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Микита БАСАЦЬКИЙ  
(ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Реферат

Кваліфікаційна бакалаврська робота містить вступ, два розділи, висновки та перелік використаних джерел. Обсяг роботи становить 50 сторінок, включає 9 рисунків, 5 формул та 30 використаних джерел, додатки.

### «Статистичний аналіз та прогнозування курсу криптовалют»

*Об'єктом дослідження є курс криптовалют.*

*Предметом дослідження є методи аналізу закономірностей, тенденцій розвитку та прогнозування курсу криптовалют.*

*Мета та завдання виконання дослідження.* Метою виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи є аналіз та прогнозування курсу криптовалют з метою виявлення основних факторів, що впливають на курс, а також дослідження методів та інструментів для їх оцінювання.

Відповідно до поставленої мети визначені такі завдання:

- дослідити сутність криптовалютного ринку та тенденції його розвитку;
- описати загальні характеристики криптовалютного ринку;
- проаналізувати курс чотирьох криптовалют за капіталізацією;
- зробити прогноз курсу біткоїна за допомогою моделей;
- оцінити точність моделей;

*Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів.* Під час дослідження були використані загальні наукові та спеціальні методи пізнання, зокрема статистичні та математичні методи, включаючи аналіз динаміки та структури, а також регресійний та кореляційний аналізи. Це дозволило детально вивчити сучасні методи аналізу ціноутворення на вторинному автомобільному ринку Німеччини. Також проведено аналіз цінової динаміки автомобілів різних марок та моделей. Інформаційну базу для практичних досліджень було сформовано на основі відкритих джерел даних сайту Kaggle, наукових публікацій у періодичних виданнях, праць вітчизняних та зарубіжних авторів, Інтернет-ресурсів та інших відкритих джерел.

Рік виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи – 2025.

*Рік захисту роботи – 2025.*

*Ключові слова:* криптовалютний ринок, біткоїн, криптовалюта, регресійний аналіз, економетрична модель.

В і д г у к  
про кваліфікаційну бакалаврську роботу  
здобувача освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика»  
навчально-наукового інституту  
«Інститут інформаційних технологій в економіці»  
Басацького Микити Андрійовича  
на тему: «Статистичний аналіз та прогнозування курсу криптовалют»

1. Актуальність теми: Актуальність теми полягає в необхідності детального аналізу та прогнозування курсу криптовалют через його стратегічну важливість для інвесторів, фахівців з фінансів та регуляторних органів, особливо в Україні, де активно розвиваються технології блокчейну. Комплексний аналіз курсу криптовалют дозволяє приймати обґрунтовані рішення в умовах зростаючої конкуренції та нестабільності фінансових ринків, а також сприяє розвитку фінансової грамотності та адаптації до нових викликів цифрової економіки.
2. Позитивні риси кваліфікаційної бакалаврської роботи: відповідність методів дослідження, оригінальність та обґрунтованість висновків і рекомендацій, якість оформлення й логічність викладу матеріалу.
3. Наявність самостійних розробок автора: Проведено ґрунтовний аналіз динаміки курсу чотирьох основних криптовалют, здійснено короткострокове прогнозування курсу криптовалют, проведено порівняльний аналіз прогнозування цінних рядів за допомогою моделей ARIMA, ETS та Prophet, що дозволило оцінити ефективність різних підходів.
4. Цінність теоретичних висновків та практичних рекомендацій: Одним із ключових аспектів дослідження було визначення ключових факторів, що впливають на формування курсу криптоактивів.
5. Наявність недоліків: Як побажання до майбутніх досліджень – додатково проаналізувати динаміку таких показників ринку криптовалют як: кількість транзакцій, ринкова капіталізація, тощо.
6. Загальна оцінка кваліфікаційної бакалаврської роботи та її допущення до захисту перед ЕК: Кваліфікаційна бакалаврська робота Басацького М.А. «Статистичний аналіз та прогнозування курсу криптовалют» є самостійним завершеним дослідженням, відповідає вимогам, що висуваються для даного типу робіт, може бути рекомендована до захисту перед ЕК. Рівень виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи «позитивний».

Науковий керівник:

к.е.н., доцент, доцент кафедри  
математичного моделювання та статистики

Сіренко К.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗМІСТ

<b>ЗМІСТ .....</b>	<b>2</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>3</b>
<b>РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ КРИПТОВАЛЮТ .....</b>	<b>5</b>
1.1 Сутність і роль криптовалют в економіці.....	5
1.2 Особливості функціонування ринку криптовалют .....	14
1.3 Методи аналізу часових рядів та фінансового прогнозування.....	19
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТ .....</b>	<b>29</b>
2.1 Збір та обробка даних .....	29
2.2 Динаміка курсу криптовалют: графічний аналіз .....	30
2.3 Побудова регресійної моделі .....	40
2.4 Прогнозування курсу криптовалют.....	42
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>49</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>51</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>53</b>

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Криптовалюти стали важливою частиною сучасної фінансової системи, викликаючи значний інтерес серед інвесторів, аналітиків та дослідників. Їх динамічний розвиток, висока волатильність та потенціал для інновацій у сфері цифрових фінансів зумовлюють необхідність глибокого статистичного аналізу і ефективного прогнозування. Такий підхід дозволяє не лише краще розуміти функціонування крипторинків, але й приймати зважені інвестиційні та управлінські рішення. Тому аналіз ринку криптовалют є не лише інструментом для отримання прибутку, але й засобом мінімізації ризиків та розуміння майбутнього глобальної фінансової системи.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій* свідчить про значний інтерес науковців до різних аспектів функціонування ринку криптовалют. Серед дослідників, які зробили значний внесок у розуміння криптовалют, варто виділити Гаррі Ротмана та Деніела Свіфта, які у своїх працях зосереджуються на волатильності криптовалютного ринку та його впливі на традиційні фінансові інструменти. Їхні дослідження часто розглядають економетричні моделі для прогнозування цінової динаміки цифрових активів.

*Метою виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи* є аналіз та прогнозування курсу криптовалют з метою виявлення основних факторів, що впливають на курс, а також дослідження методів та інструментів для їх оцінювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- охарактеризувати основні криптовалюти, їх роль і значення в економіці;
- розглянути методи аналізу часових рядів і прогнозування фінансових інструментів;
- зібрати та підготувати дані про курси криптовалют за останні роки;
- побудувати регресійну модель впливу окремих факторів на курс;

- здійснити прогнозування на основі ARIMA та ETS моделей;
- оцінити точність побудованих моделей.

*Об'єкт дослідження* — курси криптовалют.

*Предмет дослідження* — методи аналізу закономірностей, тенденцій розвитку та прогнозування курсу криптовалют.

*Методи дослідження.* У процесі дослідження використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів: системний підхід – для комплексного дослідження ринку криптовалют як складної економічної системи; методи аналізу та синтезу – для визначення сутності та видів криптовалют; економіко-математичне моделювання – для прогнозування розвитку ринку криптовалют.

*Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів.* Теоретична значущість полягає у систематизації та розвитку теоретичних положень щодо сутності криптовалют, їхньої ролі як цифрових активів, особливостей функціонування децентралізованих фінансових систем та впливу на традиційну економіку. Методична значущість визначається удосконаленням методичних підходів до аналізу криптовалютного ринку. Практична значущість результатів досліджень полягає у визначенні сучасного стану, проблем та перспектив розвитку ринку криптовалют як на глобальному, так і на національному рівнях.

*Інформаційну базу дослідження* складають дані з API біржі Binance, статистичні бібліотеки Python, графічні пакети для візуалізації даних.

*Структура роботи.* Робота містить вступ, два розділи, висновки та перелік використаних джерел. Обсяг роботи становить 50 сторінок, включає 9 рисунків, 5 формул та 30 використаних джерел.

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ КРИПТОВАЛЮТ

### 1.1 Сутність і роль криптовалют в економіці

Поняття криптовалюта відноситься до особливого виду цифрових активів, які функціонують як засіб обміну і збереження вартості на основі технології розподіленого реєстру (блокчейну) та криптографічних методів захисту транзакцій. За визначенням експертів, криптовалюта – це «цифрова або віртуальна валюта, захищена криптографією, що унеможливорює підробку чи подвійні витрати» [1]. Криптовалюти не мають централізованого емітента – їх випуск і облік здійснюються децентралізованою мережею комп'ютерів. Відсутність контролю з боку держав чи центральних банків є однією з визначальних рис криптовалют, що теоретично робить їх імунними до державного втручання чи маніпуляцій [1]. Першою і найбільш відомою криптовалютою стала Bitcoin (BTC), запущена у 2009 році особою або групою осіб під псевдонімом Сатоші Накамото [2]. Bitcoin створив прецедент децентралізованих електронних грошей і став точкою відліку для всього ринку криптоактивів. Станом на середину 2020-х рр. існують тисячі різних криптовалют (також званих альткоїнами), серед яких ключові позиції займають Ethereum (ETH) – платформа смарт-контрактів та друга за капіталізацією криптовалюта, а також такі монети, як Ripple (XRP), Litecoin (LTC), Cardano (ADA), Solana (SOL), різноманітні стейблкоїни (USDT, USDC), що прив'язані до курсу долара США тощо.

Основними функціями криптовалют в економіці є: по-перше, альтернативний платіжний засіб – криптовалюти дозволяють здійснювати прямі електронні платежі між учасниками без посередників (банків), причому такі операції можуть бути

дешевшими та швидшими у міжнародному масштабі [1]. По-друге, криптовалюти слугують засобом накопичення та інвестиційним активом – значна частина користувачів розглядає Bitcoin та інші монети як аналог цифрового золота або ризикового інвестиційного інструменту, що може принести високий прибуток. У 2020–2021 рр. інтерес інституційних інвесторів до Bitcoin різко зріс, оскільки очікування щодо його довгострокового зростання стимулювали попит. По-третє, криптовалюти стали основою для появи нового сектору економіки – децентралізованих фінансів (DeFi) та технології смарт-контрактів, які знаходять застосування у фінансових послугах (кредитування, обмін активами, страхування) поза традиційною банківською системою.

Сучасний ринок криптовалют є результатом стрімкого технологічного прогресу, в основі якого лежить ціла сукупність новітніх рішень і розробок. Одним із наріжних каменів цієї інфраструктури є технологія блокчейн, яка слугує фундаментом для функціонування цифрових активів. Блокчейн являє собою розподілений реєстр транзакцій, який складається з послідовності блоків, об'єднаних між собою криптографічними засобами захисту. Кожен блок містить набір транзакцій, хеш попереднього блоку і спеціальний код — попсе, який забезпечує незмінність ланцюга. Завдяки цьому кожна нова транзакція перевіряється всією мережею, що фактично унеможлиблює її підробку або зміну в ретроспективі.

Блокчейни можуть бути як публічними, доступними кожному охочому, так і приватними — створеними для закритого використання в корпоративному середовищі. Такий поділ дає змогу гнучко адаптувати технологію до різних цілей: від відкритої фінансової діяльності до внутрішніх бізнес-процесів великих компаній. Водночас, для поліпшення масштабованості та зниження витрат на транзакції активно розвиваються рішення другого рівня — так звані Layer 2-протоколи, які функціонують як «надбудова» над основним блокчейном і дозволяють обробляти більшу кількість транзакцій за секунду.

Особливе місце в інфраструктурі криптовалют займають смарт-контракти. Це автоматизовані програмні скрипти, що самостійно виконують умови, прописані в їхньому коді. Вони значно розширили функціональні можливості криптовалютних мереж, дозволяючи створювати складні децентралізовані застосунки — від фінансових протоколів до цифрового мистецтва у вигляді NFT. Смарт-контракти вже сьогодні лежать в основі функціонування тисячі проєктів і є рушієм формування нової економіки — Web3.

Криптографічні алгоритми — ще один важливий компонент екосистеми криптовалют. Вони забезпечують як безпечність підпису транзакцій, так і надійність механізмів досягнення консенсусу в мережі. Переважна більшість криптовалют використовує алгоритм ECDSA, який базується на еліптичних кривих, однак із розвитком квантових комп'ютерів активно досліджуються альтернативні рішення, здатні протистояти майбутнім загрозам.

Ще одним елементом інфраструктури є гаманці — програмні або апаратні засоби для зберігання і управління криптоактивами. Вони поділяються на «гарячі» (підключені до інтернету) та «холодні» (офлайн-носії, як-от Ledger чи Trezor). Правильний вибір типу гаманця та дотримання елементарних правил безпеки мають вирішальне значення для збереження коштів користувача.

Таким чином, технологічна інфраструктура криптовалют постійно розвивається, відкриваючи нові можливості, але водночас потребує глибокого розуміння для її ефективного використання.

Зростаючий вплив криптовалют на світову економіку підтверджується цифрами. Як зазначено вище, сукупна ринкова капіталізація криптовалют у 2024 р. досягла приблизно \$3,91 трлн [4], причому домінування Bitcoin становило близько 50% від цієї суми[4]. Для порівняння, ще на початку 2019 р. ринок оцінювався менш ніж у \$0,2 трлн – тобто за 5 років масштаб зріс у десятки разів. Bitcoin, як провідна криптовалюта, пройшов шлях від цін менше \$1 у 2011 р. до понад \$60 тис. у 2021 р. і понад \$100 тис. у кінці 2024 р. [4]. Хоча криптовалюти спочатку декларувалися як

альтернативні валюти для повсякденних розрахунків, на практиці їхня роль наразі більше змістилася до спекулятивного інвестиційного активу і засобу заощадження, особливо у країнах з нестабільною національною валютою. В ряді країн з високою інфляцією або девальвацією національних грошей населення масово звертається до криптовалют як до сховища вартості [6]. За даними досліджень, деякі економіки, що розвиваються, увійшли до топ-країн за прийняттям криптовалют (наприклад, В'єтнам, Нігерія, Україна) – це зумовлено пошуком альтернативних фінансових інструментів у відповідь на економічну нестабільність [7].

Попри потенційні вигоди, широке розповсюдження криптовалют породжує низку викликів. Серед них – надмірна волатильність цін, що ускладнює використання криптовалют як повноцінних грошей. Курси провідних монет можуть коливатися на десятки відсотків за лічені дні чи навіть години під впливом спекулятивних настроїв і новинного фону. Дослідження підтверджують, що волатильність Bitcoin на порядки перевищує волатильність традиційних валют або золота [9]. Наприклад, протягом 2022 року ціна BTC обвалилася приблизно на 65%, а у 2023 році знову зросла більш ніж у 3 рази [10]. Така мінливість створює ризики як для індивідуальних інвесторів, так і для фінансової стабільності, якщо частка криптоактивів у економіці зростатиме. Інша проблема – регуляторна невизначеність та відсутність захисту споживачів. Оскільки криптовалюти діють поза традиційною регуляторною сферою, це спричиняє занепокоєння щодо можливих фінансових злочинів (відмивання коштів, незаконні транзакції), а також ризики для учасників ринку у разі банкрутства криптобірж або шахрайств. Регулятори по всьому світу наразі досліджують підходи до нагляду за криптовалютами: хтось запроваджує ліцензування криптобізнесу, хтось забороняє окремі операції. В Україні прийняття закону про віртуальні активи заклало основу для правового поля, сумісного з європейськими нормами (зокрема, очікується імплементація регламенту MiCA ЄС) [13]. Національний банк України наголосив, що криптовалюта не є законним платіжним засобом і не прив'язана до валюти жодної

держави, однак регулятор визнає перспективи розвитку цього сектору і необхідність контролювати ризики [13].

З макроекономічної точки зору постає питання: що впливає на курси криптовалют? Класичні фінансові теорії припускають, що ціна активу визначається фундаментальними факторами (потік майбутніх доходів, корисність тощо). Але у випадку Bitcoin та інших криптовалют відсутні традиційні фундаментальні показники (дивіденди, процентний дохід), тож їхній курс формується переважно балансом попиту і пропозиції на ринку. Деякі дослідження вказують, що криптовалютні ринки менш залежні від макроекономічних факторів, ніж ринки акцій чи валют [10]. Зокрема, за даними S&P Global, волатильні монетарні режими (м'яка або жорстка грошово-кредитна політика) впливали на бум і спади крипторинку лише частково, а ключовими драйверами цін радше були внутрішні “ідіосинкратичні” фактори крипторинку – рівень довіри інвесторів, темпи впровадження та інновації, ліквідність торгів [10]. Встановлено, що історично динаміка цін BTC слабо корелювала з динамікою фондових індексів чи макропоказників: криптовалюти мають практично нульову експозицію до традиційних ринкових факторів (процентних ставок, індексу S&P 500, цін на золото тощо) [11]. Втім, у 2020–2022 рр. спостерігалось посилення кореляції між біткоїном та фондовими ринками США – так, у розпал пандемії та наступного біржового буму кореляція між Bitcoin і індексом S&P 500 досягала  $\sim 0,6$  [11]. Це свідчить, що за умов надлишкової ліквідності та підвищеного апетиту до ризику криптовалютний ринок рухається в унісон із акціями, виконуючи роль своєрідного високоризикового “важеля”. Проте при зміні ринкового середовища (наприклад, різке посилення монетарної політики у 2022 р.) криптовалюти знову демонструють автономність – їх падіння може бути значно глибшим за фондові активи, а відновлення – більш стрімким. Таким чином, криптовалюти – це новий, самостійний сегмент фінансового ринку з унікальними характеристиками, що поєднує риси платіжного засобу, спекулятивного товару та технологічного активу. Їхнє дослідження потребує застосування спеціалізованих методів аналізу, зокрема

статистичних, щоб зрозуміти закономірності формування курсу і навчитися прогнозувати його майбутні зміни.

Попри всі виклики, пов'язані з нестабільністю, регуляцією та безпекою, майбутнє ринку криптовалют виглядає багатообіцяючим. З кожним роком відбувається його глибша інтеграція у глобальну фінансову систему. Провідні фінансові інститути вже не тільки досліджують криптовалютні технології, але й активно впроваджують їх у свої бізнес-моделі.

Однією з найпомітніших тенденцій останніх років є зростаюча інституціоналізація криптовалютного сектору. Наприклад, схвалення перших біржових фондів (ETF) на основі Bitcoin у США стало поворотним моментом, що фактично легітимізував цей актив у очах традиційних інвесторів. Такі інструменти роблять криптовалюту доступними для широкого кола учасників ринку — від приватних осіб до пенсійних фондів.

Не менш важливим напрямом розвитку є поява цифрових валют центральних банків (CBDC), які, на відміну від децентралізованих криптовалют, повністю контролюються державами. Китай уже активно тестує цифровий юань, а Європейський центральний банк проводить дослідження щодо запуску цифрового євро. Такі проєкти можуть радикально змінити ландшафт грошового обігу і поставити під питання роль традиційних банків.

Швидко розвивається й сфера децентралізованих фінансів (DeFi), яка пропонує альтернативу банківським послугам. Користувачі можуть отримувати кредити, обмінювати активи чи заробляти на стейкінгу без необхідності звернення до фінансових посередників. Це відкриває нові горизонти фінансової інклюзії, особливо в країнах із нерозвиненою банківською інфраструктурою.

Крім того, слід згадати про Web3 — концепцію наступного покоління Інтернету, в основі якого лежить ідея децентралізованого володіння контентом і даними. Криптовалюти в цій парадигмі виступають не лише платіжним засобом, а й способом управління, стимулювання та монетизації.

Таким чином, попри всі ризики та невизначеність, криптовалюти залишаються одним із найдинамічніших і перспективних напрямів у фінансовій сфері. Їхнє подальше поширення залежатиме як від технічного прогресу, так і від здатності адаптуватися до регуляторного середовища.

У процесі дослідження сутності та функціонування криптовалют важливо порівняти їх із традиційними фінансовими інструментами, що дозволяє точніше оцінити їхню роль, переваги та недоліки. Незважаючи на те, що криптовалюти іноді позиціонуються як "цифрове золото" або "валюта майбутнього", їхні характеристики в багатьох аспектах відрізняються як від фіатних грошей, так і від класичних інвестиційних активів.

Порівняно з національними валютами, криптовалюти мають децентралізовану природу, тобто не емітуються центральним банком і не регулюються монетарною політикою. Це означає, що такі активи є менш підконтрольними державі, що з одного боку забезпечує більшу фінансову свободу, але з іншого — позбавляє інвестора гарантій та захисту. Криптовалюти також не забезпечуються матеріальними активами або державною довірою, а їхня цінність визначається виключно ринковим попитом і пропозицією. Це кардинально відрізняє їх від традиційних валют, курс яких контролюється через інструменти центрального банку, зокрема процентну ставку або валютні інтервенції.

Порівняння з золотом також є поширеним, адже обидва активи розглядаються як засіб збереження вартості. Проте на відміну від золота, яке має матеріальну форму та історично перевірену стабільність, криптовалюти є цифровими, і хоча мають обмежену емісію (наприклад, Bitcoin має жорстко фіксований запас у 21 мільйон одиниць), вони схильні до значно більшої волатильності. Золото традиційно використовується як «тиха гавань» у часи економічної турбулентності, тоді як криптовалюти ще не отримали такого статусу — їхня поведінка в кризових умовах є непередбачуваною.

Якщо порівнювати криптовалюти з фондовими інструментами — акціями та облигаціями — то спільною рисою є можливість отримання прибутку від зміни ціни. Проте акції представляють частку у власності підприємства та надають право на дивіденди, а облигації — фіксований дохід. У той час як криптовалюти не генерують жодного регулярного доходу, їхня вартість формується виключно спекулятивним шляхом або у випадках використання в якості засобу обміну.

Також варто зазначити, що з позицій теорії портфельного інвестування криптовалюти мають низьку або навіть нульову кореляцію з традиційними активами в окремі періоди, що робить їх потенційно привабливими для диверсифікації. Утім, така корисність значною мірою залежить від ринкової фази: у періоди глобальних шоків кореляція між Bitcoin та фондовими індексами може зростати, знижуючи ефект захисту від ризику.

Отже, криптовалюти поєднують у собі риси різних фінансових інструментів, але водночас мають низку унікальних характеристик. Їхня роль на ринку продовжує трансформуватись і ще не визначена остаточно. Для інвестора важливо усвідомлювати, що криптовалюти не є прямим замінником жодного з традиційних активів, а радше створюють нову категорію — цифрових ризикових активів зі значним потенціалом, але й відповідними ризиками.

Окрім фінансового та технологічного аспекту, криптовалюти дедалі більше впливають на соціально-економічне життя суспільства. Вони змінюють уявлення про гроші, доступ до фінансових послуг, економічну свободу та навіть способи підтримки суспільно важливих ініціатив.

Одним із найяскравіших проявів такого впливу є підвищення рівня фінансової інклюзії. У країнах з нестабільною економікою, слабо розвиненою банківською інфраструктурою або високим рівнем інфляції, криптовалюти стали реальним інструментом доступу до світових фінансових потоків. Люди, які не мають рахунку в банку, але мають смартфон, можуть зберігати і передавати кошти, уникати валютних обмежень та зберігати купівельну спроможність своїх заощаджень. Зокрема, у країнах

Латинської Америки та Африки, таких як Венесуела або Нігерія, криптовалюти активно використовуються для збереження вартості та міжнародних переказів.

Ще один важливий вимір — використання криптовалют у благодійності та волонтерстві. Під час воєнних дій або природних катастроф криптовалюти стають інструментом оперативного збору коштів. Наприклад, під час повномасштабного вторгнення Росії в Україну у 2022 році криптовалютні фонди забезпечили швидке надходження мільйонів доларів на підтримку Збройних сил, гуманітарні потреби та медичну допомогу. Такі перекази не залежать від роботи банківської системи, не підлягають цензурі та миттєво доходять до одержувачів.

Разом із тим, зростаюча популярність криптовалют несе і соціальні ризики. Зокрема, поширення шахрайських схем, псевдоінвестиційних проєктів і «фінансових пірамід» на базі криптовалют призводить до масових втрат, особливо серед недосвідчених користувачів. Нерідко трапляються випадки, коли люди, піддавшись рекламі чи рекомендаціям блогерів, вкладають значні кошти у криптопроєкти, які зникають з ринку за лічені тижні.

Певну загрозу становить і формування залежності від криптотрейдингу — феномен, схожий на азартну гру. Постійне відстеження котирувань, емоційна прив'язаність до ринкових подій та очікування легкого прибутку можуть негативно впливати на психологічний стан користувачів, зокрема молоді. Це новий виклик, який потребує як освітніх ініціатив, так і розробки механізмів саморегуляції всередині криптоспільноти.

Попри вказані загрози, соціальний вплив криптовалют важко переоцінити. Вони змінюють саму концепцію фінансів як централізованого процесу, де ключові рішення ухвалюються банками та державами. Криптовалюти надають індивіду можливість безпосереднього контролю над власними активами, що можна розглядати як крок до економічної автономії та посилення демократичних тенденцій у фінансовій системі.

Таким чином, соціально-економічний вплив криптовалют є багатограним і контрастним: з одного боку — розширення можливостей, з іншого — нові виклики. Від того, як суспільство адаптується до цієї технології, залежатиме не лише ефективність її використання, але й те, чи зможемо ми уникнути супутніх ризиків.

## 1.2 Особливості функціонування ринку криптовалют

Ринок криптовалют є відносно новим сегментом глобального фінансового простору, що характеризується низкою специфічних особливостей, які відрізняють його від традиційних фінансових ринків. Насамперед це пов'язано із його технологічною основою — блокчейн-технологією, яка дозволяє здійснювати фінансові транзакції без централізованих посередників[14]. Завдяки блокчейну криптовалюти забезпечують прозорість транзакцій, їх незмінність та високий рівень безпеки [14]. Децентралізація — одна з ключових особливостей криптовалютного ринку. Відсутність єдиного центру регулювання чи контролю робить цей ринок незалежним від державних структур і традиційних фінансових інститутів [15]. Ринок криптовалют функціонує завдяки одночасній роботі численних вузлів (нодів) мережі, які знаходяться у різних куточках світу і працюють за єдиними алгоритмами консенсусу (Proof-of-Work, Proof-of-Stake, тощо) [15]. Це дозволяє уникнути концентрації влади, зменшує ризики маніпулювання та забезпечує відкритий доступ до фінансових операцій незалежно від географічних кордонів.

Ще одна характерна риса — висока волатильність. Криптовалютні активи часто демонструють значні коливання цін протягом короткого періоду. Так, зміни вартості на десятки відсотків за день або навіть за кілька годин є звичним явищем.

Така волатильність викликана низкою причин: значною роллю спекулятивних настроїв на ринку, реакцією учасників на важливі новини (технологічні оновлення, регуляторні рішення, заяви відомих особистостей), низькою ліквідністю окремих активів, а також недосконалістю ринку і відсутністю чіткої нормативної бази [16].

Важливою особливістю ринку криптовалют є також його глобальний та безперервний характер функціонування. На відміну від традиційних фондових ринків, які мають чітко визначені години роботи, криптовалютний ринок функціонує цілодобово (24/7) без перерв, вихідних чи свят. Ця особливість забезпечує безперервність торгівлі та можливість оперативно реагувати на зміни ринкових умов, але водночас ускладнює контроль та регулювання операцій з боку офіційних структур [17].

Криптовалютні біржі є ключовим елементом інфраструктури ринку цифрових активів. Вони виконують функцію торгових платформ, де користувачі можуть купувати, продавати, обмінювати та зберігати криптовалюти. На відміну від традиційних бірж, криптобіржі працюють безперервно, 24/7, та охоплюють глобальну аудиторію, що сприяє високій ліквідності цифрових активів і швидкому реагуванню на новини ринку [18].

Існують два основних типи криптобірж: централізовані (CEX) та децентралізовані (DEX). Централізовані біржі, такі як Binance, Coinbase та Kraken, функціонують за аналогією з традиційними брокерами. Вони надають інтерфейс для торгівлі, зберігають кошти користувачів на внутрішніх гаманцях і виконують функції клірингу та розрахунку [19]. Їхні переваги – висока швидкість виконання ордерів, зручний інтерфейс і підтримка фіатних валют. Проте основний недолік – централізація управління і зберігання активів, що створює ризики хакерських атак і банкрутства платформи, як у випадку з біржею FTX у 2022 році [20].

Децентралізовані біржі (DEX), наприклад Uniswap, SushiSwap або PancakeSwap, працюють на основі смарт-контрактів у блокчейн-мережах. Вони не потребують реєстрації чи KYC, і дозволяють торгівлю напряму з гаманця користувача

через механізми автоматизованих маркетмейкерів (АММ) [21]. Такі біржі мають нижчі бар'єри для доступу, проте поступаються за масштабами ліквідності, зручністю та швидкістю торгівлі.

Криптові біржі також є об'єктами особливої уваги регуляторів. У ряді країн їм необхідно отримувати ліцензії, виконувати правила АМЛ/КУС та надавати прозору звітність. Порушення цих вимог може призводити до штрафів і заборон діяльності – наприклад, Binance неодноразово стикалася з регуляторними обмеженнями у США, Великобританії та ЄС [22]. Низька регульованість деяких бірж також сприяє поширенню ринку скам-проектів, маніпуляцій і непрозорих практик. Таким чином, криптовалюти біржі є центральним вузлом цифрової економіки, проте потребують подальшого розвитку інституційних стандартів та гарантій безпеки.

На ринку криптовалют існує також низький рівень нормативно-правового регулювання, що формує особливий тип ризику — регуляторний [17]. Більшість країн світу досі не мають чіткого законодавчого врегулювання обігу криптовалют, що породжує ситуації юридичної невизначеності та нестабільності. Рішення окремих держав щодо обмеження або повної заборони операцій з криптовалютами можуть різко впливати на ціни активів та загальний стан ринку [17]. Ринок криптовалют також має унікальну особливість — псевдоанонімність учасників. Хоча всі транзакції у блокчейні є публічними та доступними для перегляду, особистість власників рахунків (гаманців) залишається невідомою, якщо сам користувач не відкриває своєї особистої інформації [23]. Це створює додаткові виклики для державних регуляторів, оскільки ускладнює боротьбу з фінансовими злочинами та шахрайством, а також забезпечує приватність та конфіденційність користувачів. Інформаційна чутливість ринку — важливий фактор функціонування криптовалютного ринку. Важливі новини та події здатні миттєво змінювати ситуацію на ринку, впливаючи на настрої трейдерів та інвесторів. Приклади таких подій — технічні оновлення блокчейн-мереж (наприклад, перехід Ethereum на Proof-of-Stake), заяви регуляторних органів (наприклад, заборона операцій у певних країнах), а також гучні заяви впливових осіб

(Ілон Маск, Білл Гейтс тощо) [16]. В результаті ринок може демонструвати різкі стрибки ціни як вгору, так і вниз у відповідь на інформаційний фон.

Ще одна особливість — наявність спекулятивної складової. Значна частина учасників криптовалютного ринку — це спекулятивні трейдери, які орієнтовані на отримання короткострокового прибутку від швидких змін цін активів [23]. Такий спекулятивний характер ринку посилює волатильність та створює додаткові ризики, водночас він сприяє високій ліквідності найбільш популярних криптовалютних активів.

Важливо також відзначити і роль майнінгу у функціонуванні ринку криптовалют. Майнери забезпечують підтримку роботи блокчейну, підтвердження транзакцій та випуск нових криптомонет, отримуючи за це винагороду. Цей процес забезпечує емісію нових криптовалют та є ключовим елементом економічної моделі багатьох криптовалютних мереж, зокрема Bitcoin, що безпосередньо впливає на пропозицію монет на ринку та їхню вартість [14].

Сьогодні світовий ринок криптовалют переживає етап значної трансформації та інтеграції. Після періоду бурхливого зростання і подальших корекцій, що були характерними для попередніх років, ринок демонструє ознаки зрілості. Спостерігається посилення інституційного інтересу, про що свідчить збільшення інвестицій від великих фінансових компаній та запуск нових інвестиційних продуктів, таких як спотові ETF на біткойн у США. Це відкриває двері для ширшого кола інвесторів та підвищує легітимність криптовалют як класу активів. Регуляторні органи по всьому світу активно працюють над створенням правових рамок для криптовалют, що має на меті підвищити прозорість, захист інвесторів та запобігання відмиванню грошей, хоча підходи до регулювання суттєво відрізняються в різних юрисдикціях.

Одним з ключових трендів є подальший розвиток децентралізованих фінансів (DeFi) та не взаємозамінних токенів (NFT), які, попри певні виклики, продовжують пропонувати інноваційні рішення у сферах кредитування, обміну, геймінгу та

мистецтва. Збільшується кількість блокчейн-проектів, що зосереджуються на розв'язанні реальних проблем і створенні практичної цінності, відходячи від спекулятивної природи. Крім того, компанії активно вивчають можливості блокчейн-технологій для оптимізації логістичних ланцюгів, управління даними та створення нових бізнес-моделей. Зростання екосистем другого рівня (Layer 2) та нових консенсусних механізмів спрямоване на підвищення масштабованості та ефективності блокчейнів, що є критично важливим для їхнього масового впровадження.

Незважаючи на прогрес, ринок криптовалют залишається волатильним і стикається з низкою викликів, включаючи питання енергоспоживання деяких мереж, безпеку даних, ризики кібератак та збереження анонімності. Проте, загальний напрямок вказує на дедалі більшу інтеграцію криптовалют та блокчейн-технологій у світову економіку. Існує потенціал для того, щоб вони стали невід'ємною частиною фінансової інфраструктури, надаючи нові можливості для інвестицій, платежів та інновацій. Подальший розвиток буде значною мірою залежати від успішної адаптації до регуляторних вимог, технологічних вдосконалень та прийняття з боку широкої громадськості.

Отже, ринок криптовалют функціонує за власними унікальними правилами, що формують специфічне середовище з високими ризиками і водночас широкими можливостями. Розуміння цих особливостей є ключовим для прийняття ефективних інвестиційних рішень, успішного трейдингу та управління ризиками на цьому ринку. Врахування вказаних характеристик необхідне для розробки якісних моделей прогнозування та аналітичних інструментів, що дозволяють адекватно оцінювати поточну ситуацію на ринку та прогнозувати його подальший розвиток.

### 1.3 Методи аналізу часових рядів та фінансового прогнозування

Часовий ряд – це послідовність спостережень певного показника, впорядкована в часі (наприклад, щоденні значення курсу Bitcoin за п’ятирічний період) [24]. Аналіз часових рядів дозволяє виявити приховані патерни (тренди, цикли, сезонність) та використовувати їх для прогнозування майбутніх значень [24]. У фінансовій сфері, зокрема при аналізі цін активів, часові ряди часто характеризуються складною поведінкою: можливі тренди зростання чи спаду, циклічні коливання, різкі стрибки (шоки) та висока волатильність [24]. Тому для їх аналізу та прогнозування розроблено ряд статистичних та математичних методів. Розглянемо найбільш поширені з них, які застосовуються і в контексті криптовалютних курсів.

Класифікація часових рядів здійснюється за кількома критеріями. Залежно від статистичних властивостей ряду розрізняють *стаціонарні* та *нестаціонарні* часові ряди. Стаціонарним називається ряд, в якого основні статистичні параметри (математичне сподівання, дисперсія) не змінюються з часом, а коваріантність залежить лише від лага (зсуву в часі), але не від конкретного моменту часу. Такі ряди коливаються навколо деякого сталого середнього рівня. Нестаціонарні ряди, навпаки, мають змінні характеристики – наприклад, присутній тренд або довгострокові зміни варіативності. Більшість фінансових часових рядів, зокрема курси акцій чи криптовалют, є нестаціонарними: їх середній рівень і амплітуди коливань змінюються з плином часу під впливом економічних чинників. Для аналізу нестаціонарних рядів часто застосовують перетворення, що приводять їх до стаціонарного вигляду – наприклад, різницювання (обчислення змін, тобто різниць між послідовними значеннями) або перехід до логарифмічних масштабів. Іншим критерієм класифікації є наявність сезонної компоненти: сезонні часові ряди характеризуються вираженими періодичними коливаннями з фіксованим періодом (наприклад, кварталні коливання ділової активності або річні цикли цін на сільгосппродукцію), тоді як несезонні ряди

не мають такої періодичності. Окремо виділяють одновимірні (одночасно аналізується один показник у часі) та багатовимірні часові ряди (одночасний аналіз кількох пов'язаних показників; приклад – динаміка цін кількох криптовалют чи макроекономічних індикаторів, що можуть впливати один на одного).

Методи прогнозування часового ряду розвивалися протягом останнього століття як відповідь на практичні потреби аналізу та досягнення статистичної науки. Перші спроби моделювання часових залежностей можна віднести до 1920-х років: британський статистик Юл (G. Udny Yule) у 1927 р. застосував авторегресійну модель для аналізу ряду чисел сонячних плям.

Авторегресія (AR) стала фундаментом для більш складних моделей, адже вперше явно врахувала вплив попередніх значень на наступні. У наступні десятиліття розвивались і інші ідеї: в 1950-х були запропоновані методи згладжування (Brown, Holt, Winters), що набули популярності в економіці та інженерії завдяки простоті. Справжній прорив у прогнозуванні часового ряду стався на початку 1970-х, коли Джордж Бокс і Гвіллім Дженкінс опублікували працю з методологією побудови ARIMA-моделей. Метод Бокса–Дженкінса систематизував підхід до аналізу та прогнозування: від визначення необхідних перетворень ряду, через ідентифікацію структури моделі по автокореляціях, до оцінювання і перевірки діагностичних критеріїв. ARIMA-моделі стали широко застосовуватися для економічних часових рядів – від макроекономічних показників (ВВП, інфляція) до цін фінансових активів. Одночасно розвивалися і спеціалізовані моделі для фінансів: у 1980-х Р.Енгле запропонував модель ARCH (пізніше розширену до GARCH) для прогнозування волатильності фінансових рядів, враховуючи ефект кластерингу волатильності (перемінності дисперсії цін). Це дало аналітикам інструмент оцінки фінансових ризиків, доповнивши прогнозування середнього рівня (ціни) прогнозуванням варіації (ризик). У 1990-х – 2000-х роках, з появою потужніших комп'ютерів, у фінансову аналітику стали проникати нейронні мережі та інші алгоритми штучного інтелекту. Зокрема, пробувалися багатошарові перцептрони для прогнозування фондових

індексів, методи опорних векторів (SVM) для класифікації напрямку руху цін тощо. Спочатку ці методи не завжди перевершували класичні – часто через обмежений обсяг даних і відсутність пояснюваності. Проте з часом, особливо у 2010-х, із накопиченням великих масивів історичних даних та вдосконаленням алгоритмів (LSTM-мережі, градієнтний бустинг), машинне навчання почало демонструвати кращі результати в деяких задачах фінансового прогнозу. Наприклад, глибокі нейронні мережі виявилися здатними знаходити приховані нелінійні залежності, не видимі для ARIMA. Водночас, практика показала, що в умовах дефіциту даних або високого шуму надто складні моделі можуть перенавчатися і програвати простішим. Це призвело до розуміння, що універсального методу немає: успіх прогнозу залежить від специфіки даних і горизонту прогнозування. Новітнім трендом 2010-х стало створення автоматизованих фреймворків прогнозування. Одним із них став згаданий вище Facebook Prophet (2017), який поєднав ідеї класичного декомпозиційного прогнозування з сучасними обчислювальними можливостями, зробивши прогнозування доступнішим для нефакхівців. Паралельно популярності набули змагання з прогнозування (наприклад, конкурси M-макро-прогнозів), які показали, що комбінування багатьох моделей та експертних думок дає кращий результат, ніж окремо взята модель. Це сприяло розвитку ансамблевих методів і практики Forecasting Combination. Таким чином, підходи до прогнозування фінансових часових рядів пройшли еволюцію від простих емпіричних правил (наївних прогнозів, середніх значень) через строгі статистичні моделі (ARIMA, експоненційне згладжування, ARCH/GARCH) до гнучких алгоритмів машинного навчання та автоматизованих систем. Кожен наступний етап розширював можливості аналітиків: зростала здатність моделей вловлювати складніші структури даних. Водночас, фундаментальні обмеження залишаються – непередбачуваність майбутнього та залежність від припущень моделі. Як влучно зазначив Джордж Бокс, «усі моделі неправильні, але деякі з них корисні». Сучасний стан прогнозування – це поєднання різних методів, вибір яких диктується природою задачі; класичні ARIMA і ETS нерідко слугують відправною точкою та базою для порівняння, тоді як нові

методи (Prophet, нейронні мережі) пропонують додаткові інструменти для підвищення точності і гнучкості прогнозів. В майбутньому варто очікувати подальшої інтеграції статистичних підходів з методами штучного інтелекту, що дозволить ще ефективніше аналізувати фінансові часові ряди у все більш динамічному і комплексному середовищі.

Одним із базових підходів до аналізу є декомпозиція часового ряду на складові: тренд, сезонність, циклічність та випадкові коливання [25]. Якщо ряд має виражений тренд (довгострокову тенденцію зростання чи зниження) або сезонну складову (регулярні коливання з певною періодичністю), це враховується при моделюванні [25]. У випадку курсу криптовалют явна сезонність відсутня (на відміну від, скажімо, попиту на електроенергію з сезонним характером), але можуть спостерігатися цикли “бичачих” та “ведмежих” ринків тривалістю кілька років, пов’язані, наприклад, з подіями халвінгу біткоїна (періодичним зменшенням винагороди майнерам, що історично кожні ~4 роки спричиняло новий ціновий цикл) [25]. Первинний огляд криптовалютного ряду часто включає побудову графіка значень у часі, розрахунок базових статистик (середнього, медіани, стандартного відхилення, автокореляції) та перевірку стаціонарності [25]. Стаціонарним називається такий часовий ряд, статистичні властивості якого (середнє і дисперсія) не змінюються з часом [25]. Більшість фінансових часових рядів (включно з криптовалютами) є нестаціонарними, оскільки мають тренди та зміни волатильності з часом. Для роботи з ними часто застосовують перетворення – наприклад, аналізують прирости (доходності) замість абсолютних рівнів цін, або застосовують різницювання (обчислення різниці між поточним і попереднім значенням), щоб отримати стаціонарний ряд [25].

Існує широкий спектр моделей для прогнозування фінансових часових рядів – від класичних статистичних до сучасних методів машинного навчання. У цій роботі зосереджено увагу на трьох підходах, які вже зарекомендували себе у часовому прогнозуванні і можуть бути застосовані до криптовалют: моделі сімейства ARIMA, методи експоненційного згладжування (ETS) та модель Prophet. Вибір саме цих

моделей обґрунтований тим, що вони поєднують в собі відносну простоту реалізації, інтерпретованість результатів та здатність врахувати різні аспекти динаміки ряду. ARIMA та ETS є класичними статистичними методами, які часто використовуються як бенчмарки при прогнозах, тоді як Prophet – сучасний алгоритм, розроблений спеціально для складних часових рядів зі змінними трендами. Нижче розглянуто теоретичні засади кожного підходу та їх особливості.

У фінансовому прогнозуванні широко використовуються моделі сімейства ARIMA (autoregressive integrated moving average – авторегресійна інтегрована модель ковзного середнього). Модель ARIMA була популяризована в рамках методології Бокс-Дженкінс (Бокс-Дженкінс) для аналізу часового ряду [25]. ARIMA поєднує три компоненти: авторегресію (AR), інтегрування (I) і ковзне середнє (MA). Авторегресійна модель (AR) передбачає, що поточне значення ряду залежить від певного числа попередніх значень (лагів) із певними коефіцієнтами. Модель ковзного середнього (MA) припускає, що поточне значення формується під впливом попередніх випадкових збурень (шумів) із певними вагами, тобто є усередненням останніх помилок прогнозу. Інтегрування (I) означає взяття різниць (разових або багаторазових) з метою досягнення стаціонарності ряду. ARIMA-модель позначається як  $ARIMA(p, d, q)$ , де  $p$  – порядок авторегресії,  $d$  – порядок інтегрування (кількість разів, на яку потрібно диференціювати ряд для усунення тренду/нестабільності середнього),  $q$  – порядок компонент ковзного середнього [21]. Наприклад,  $ARIMA(1,1,1)$  означає, що після взяття першої різниці ряду ( $d=1$ ) будується модель, яка залежить від 1 лагового значення самого ряду ( $p=1$ ) і 1 лагового значення шуму ( $q=1$ ). ARIMA-моделі є дуже гнучкими і можуть набувати різних форм – від простого випадкового блукання (коли  $p=0, d=1, q=0$ ) до складних багатолагових конструкцій.

Головна ідея ARIMA – прогноз майбутнього значення базується на лінійній комбінації минулих значень самого ряду і минулих помилок прогнозу [26]. Таким чином модель “навчається” на історичних залежностях: якщо, наприклад, після падіння ціни в попередній день зазвичай відбувається зростання, ARIMA з

авторегресійним компонентом може це вловити. Проте важливо відзначити припущення: ARIMA екстраполює минулі закономірності в майбутнє. Відтак, у періоди різких структурних зрушень чи криз точність таких моделей різко падає, адже вони припускають, що майбутнє буде подібним до минулого [26]. У контексті криптовалют це особливо критично – непередбачувані ринкові події (заборони регулювання, хакерські атаки, крахи бірж) можуть спричинити зміни тренду, які ARIMA не зможе завчасно врахувати.

Процедура побудови ARIMA моделі (метод Бокса-Дженкінса) включає кілька етапів: (1) перевірка стаціонарності та приведення ряду до стаціонарного (визначення  $d$ ); (2) аналіз автокореляційної (ACF) та часткової автокореляційної функцій (PACF) для припущення порядків  $p$  і  $q$ ; (3) оцінювання параметрів моделі методами максимальної правдоподібності; (4) перевірка діагностичних критеріїв (критерії Акаїке – AIC, Шварца – BIC, а також незалежність залишків за тестом Лjung-Бокса); (5) використання моделі для прогнозування. У застосуванні до криптовалют ARIMA-моделі вже використовувалися в ряді досліджень і практичних рішень. Вони демонструють непогану точність для короткострокових прогнозів, проте в довгостроковому горизонті часто поступаються більш простим підходам на кшталт припущення постійності (random walk). Наприклад, в роботі 2022 р. зазначено, що ARIMA моделі добре схоплюють основну тенденцію на короткому проміжку (5–10 днів), але на довшому горизонті їх передбачувальна сила суттєво знижується. Це узгоджується з ефективністю ринків: якщо ціновий ряд близький до випадкового блукання, то найкращий прогноз на далеке майбутнє – це поточне значення.

Альтернативним підходом до прогнозування часового ряду є методи експоненційного згладжування. Суть експоненційного згладжування полягає в тому, що для прогнозу майбутніх значень використовуються зважені середні минулих спостережень, причому ваги зменшуються експоненційно для більш давніх даних [27]. На відміну від ARIMA, що будує формальну регресійну залежність, експоненційне згладжування

більше фокусується на поступовому коригуванні прогнозу у міру надходження нових даних.

Експоненційне згладжування зарекомендувало себе як потужний практичний метод прогнозування багатьох економічних і бізнес-показників, особливо коли потрібен короткостроковий прогноз [27]. Зокрема, методи ETS успішно застосовувалися в прогнозуванні попиту, продажів, макроекономічних показників, а також у фінансовій сфері для прогнозу цін. Їхня перевага – простота реалізації і малі обчислювальні витрати, стійкість до шуму (за рахунок згладжування шумові коливання усуваються). Недолік – вони не враховують явних причинно-наслідкових факторів, а тільки внутрішні патерни ряду. Для криптовалют, що мають високу волатильність і нерегулярні “сплески” ціни, експоненційне згладжування може давати згладжений трендовий прогноз, проте ризикує прогавити різкі розвороти ринку. Тому інколи ETS-моделі комбінують з іншими підходами або ж адаптують параметри згладжування динамічно.

Окрім суто часових моделей, для пояснення та прогнозування курсів криптовалют використовуються багатофакторні регресійні моделі, де в ролі незалежних змінних виступають певні зовнішні фактори. Це можуть бути макроекономічні показники (наприклад, глобальні процентні ставки, індекс долара USD, показники інфляції), динаміка традиційних ринків (індекси акцій, ціна золота), внутрішньоринкові індикатори (обсяг торгів, кількість активних адрес у мережі, хешрейт для Bitcoin), чи навіть показники попиту з інтернету (Google Trends, активність у соцмережах). Мета таких моделей – встановити, чи впливають ці фактори статистично значущо на ціну криптовалюти і як саме. Наприклад, припускалося, що Bitcoin може бути хеджем проти інфляції або девальвації – тобто його курс зростатиме при прискоренні інфляції. Проте досвід останніх років не дав однозначного підтвердження цій гіпотезі [28]. Аналогічно, висувалися припущення про кореляцію Bitcoin з фондовим ринком: деякі періоди показують позитивний зв’язок (коли індекс

S&P 500 росте, росте і BTC, як у 2020–2021 рр.), інші – від’ємний або нульовий зв’язок. Регресійний аналіз дозволяє кількісно оцінити силу і напрям впливу.

Prophet – це відносно новий підхід до прогнозування часових рядів, запропонований дослідниками Facebook (Meta) у 2017 році. Prophet являє собою адитивну модель, що складається з кількох компонент: гладкого функціонального тренду, сезонних коливань та додаткових регресорів (за потреби). Формально модель можна представити як:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon(t) \quad (1.1)$$

*де  $g(t)$  – функція тренду (лінійного чи логістичного з можливими змінами нахилу в точках changepoints);*

*$s(t)$  – сезонні компоненти (річні, тижневі тощо, що моделюються через дискретне перетворення Фур’є);*

*$h(t)$  – ефекти свят та подій (короткострокові виправлення);*

*$\epsilon(t)$  – випадкова похибка.*

Таким чином, Prophet намагається поєднати переваги традиційного декомпозиційного підходу і гнучкість статистичних регресій.

На відміну від ARIMA та ETS, які потребують ручного добору параметрів і припущень про стаціонарність, Prophet автоматично обробляє багато аспектів. Він не вимагає строго стаціонарного ряду – довгостроковий тренд моделюється окремо, тому вихідні дані можна використовувати без диференціювання. Prophet стійкий до пропусків та нерегулярних інтервалів у даних, оскільки базується на часових мітках (date/time) і інтерполює при необхідності. Суттєва перевага – можливість нелінійного тренду: модель допускає зміну темпів зростання на основі автоматично визначених точок змін (changepoints). У випадку криптовалют це надзвичайно корисно, адже ринок переживає фази прискорення і уповільнення, які важко описати однією лінією. Prophet також дозволяє врахувати сезонність, якщо вона присутня (для крипторинку можна протестувати, наприклад, річну сезонність чи тижневий цикл активності) та додати важливі дати (наприклад, дати халвінгів чи інших подій) як особливі регресори.

Модель Prophet оцінює параметри тренду за допомогою байєсового підходу, застосовуючи апіорні обмеження для уникнення перенавчання (наприклад, лапласівський апіор на величину зміни тренду в `changepoint`, щоб обмежити надто різкі перегини). Користувач може задавати максимальну кількість точок зміни тренду, а модель вибере оптимальні позиції, де історичний ряд змінював напрямок. Для сезонності Prophet використовує гармонічні функції (синуси і косинуси потрібної частоти), що дозволяє моделювати навіть складні сезонні візерунки. Важливо, що Prophet повертає не лише прогноз, а й довірчі інтервали, оцінюючи невизначеність кожної компоненти шляхом симуляцій (наприклад, припускаючи, що майбутні зміни тренду будуть аналогічні історичним за частотою та розміром).

Модель Prophet має низку важливих переваг, які роблять її привабливою для прогнозування часових рядів із нестабільною динамікою, зокрема в контексті криптовалютного ринку. Однією з головних переваг є гнучкість тренду: Prophet здатен моделювати *piecewise*-тренди з автоматичним виявленням точок, де тенденція змінюється – зокрема, прискорення або уповільнення зростання. Це дозволяє моделі краще адаптуватися до фази ринку, яка змінюється, і не зводити весь період до одного фіксованого нахилу. Крім того, Prophet має високу ступінь автоматизації: модель фактично працює “з коробки”, тобто для її запуску необхідний мінімум налаштувань, і вона самостійно визначає багато параметрів. Така властивість особливо цінна в сценаріях, де потрібно швидко отримати прогноз без глибокого статистичного аналізу чи значного втручання з боку аналітика. Prophet також підтримує врахування як сезонних компонентів, так і подій: користувач може додавати як регулярні сезонні шаблони (наприклад, річну або тижневу сезонність), так і нерегулярні події (наприклад, дати халвінгів або великі новини), що в інших моделях зазвичай вимагало б ручного введення даммі-змінних або використання спеціалізованих сезонних моделей на кшталт ARIMA. Ще однією важливою перевагою є стійкість до пропусків та викидів: Prophet толерує відсутні значення в даних і менш чутливий до поодиноких

екстремальних сплесків, оскільки тренд у моделі оцінюється глобально, а не лише локально.

Водночас Prophet має і низку обмежень, які варто враховувати. Модель менш ефективна на коротких стаціонарних рядах, де відсутні яскраво виражені тренди або сезонність. У таких випадках Prophet може не дати переваги над простішими моделями, такими як ARIMA або навіть банальний наївний прогноз. Відносна новизна цієї моделі також створює виклик у плані інтерпретації: хоч загальна логіка Prophet є відкритою, внутрішні параметри, особливо після оцінки байєсовими методами, складніше пояснити, ніж у класичних лінійних моделях. Для традиційних аналітиків і статистиків Prophet іноді сприймається як “чорний ящик”, і результати моделі можуть бути менш прозорими. Крім того, Prophet потребує достатньо довгої історії даних для виявлення точок зміни тренду та сезонних компонентів; на коротких проміжках часу вона або переналаштовується на шум, або не фіксує важливих зламів, особливо якщо вони відбуваються ближче до краю вибірки. Ще одним недоліком є обмежена здатність Prophet враховувати волатильність: модель моделює лише середній рівень і сезонні відхилення, не беручи до уваги змінну дисперсію, як це роблять, наприклад, моделі GARCH. У зв'язку з цим у періоди високої турбулентності ринку прогнози Prophet можуть бути надто оптимістичними і недооцінювати ширину можливих відхилень, що знижує їхню точність і надійність у стресових умовах.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТ

#### 2.1 Збір та обробка даних

Для проведення кількісного аналізу було сформовано вибірку історичних даних щодо курсу чотирьох провідних криптовалют за капіталізацією – Bitcoin (BTC) та Ethereum (ETH), Solana (Sol), Binance Coin (BNB) та Ripple (XRP). Код Python, який був використаний у даній роботі, міститься у додатку А. Як базовий показник обрано щоденний курс закриття (closing price) в парі до долара США, оскільки це стандартний орієнтир вартості криптоактивів на глобальних ринках. Дані отримано через офіційний API біржі Binance – однієї з найбільших криптовалютних бірж за обсягами торгів. Використано діапазон спостережень з 1 січня 2021 року по 1 березня 2025 року, що охоплює різні фази ринку: і періоди стрімкого зростання (2021, 2024 рр.), і глибокі корекції (2022 р.). Ці дані включають в себе такі показники: ціни відкриття, закриття, мінімальні та максимальні значення, обсяги торгів.

Внаслідок обробки було створено єдиний DataFrame, де кожен стовпчик відповідає часовому ряду цін відповідної криптовалюти. Отримані сирі дані було очищено та підготовлено. Зокрема, переведено часові мітки UTC у формат дати, відфільтровано дублі та можливі пропуски (на крипторинках торги йдуть 24/7 без вихідних, тому пропусків дат немає, але слід зважати, що дні, коли традиційні ринки закриті, все одно дають цінові дані).

## 2.2 Динаміка курсу криптовалют: графічний аналіз



Рисунок 2.1 – Графік курсу Bitcoin з 01.01.2021 по 01.03.2025

*Джерело: розроблено автором*

Графік демонструє кілька яскраво виражених циклів зростання та падіння. Впродовж 2021 року BTC досягав пікових значень понад 60 000 USD, після чого у 2022 спостерігалось різке зниження до рівня менше 20 000 USD. Від середини 2023 року розпочалося поступове зростання, яке в 2024 переросло в стрімке зростання до історичних максимумів понад 100 000 USD. Наприкінці періоду видно ознаки

корекції. BTC демонструє циклічний характер із високою волатильністю, що відповідає подіям ринку (халвінги, ETF-запуски, геополітика). (рис.2.1)

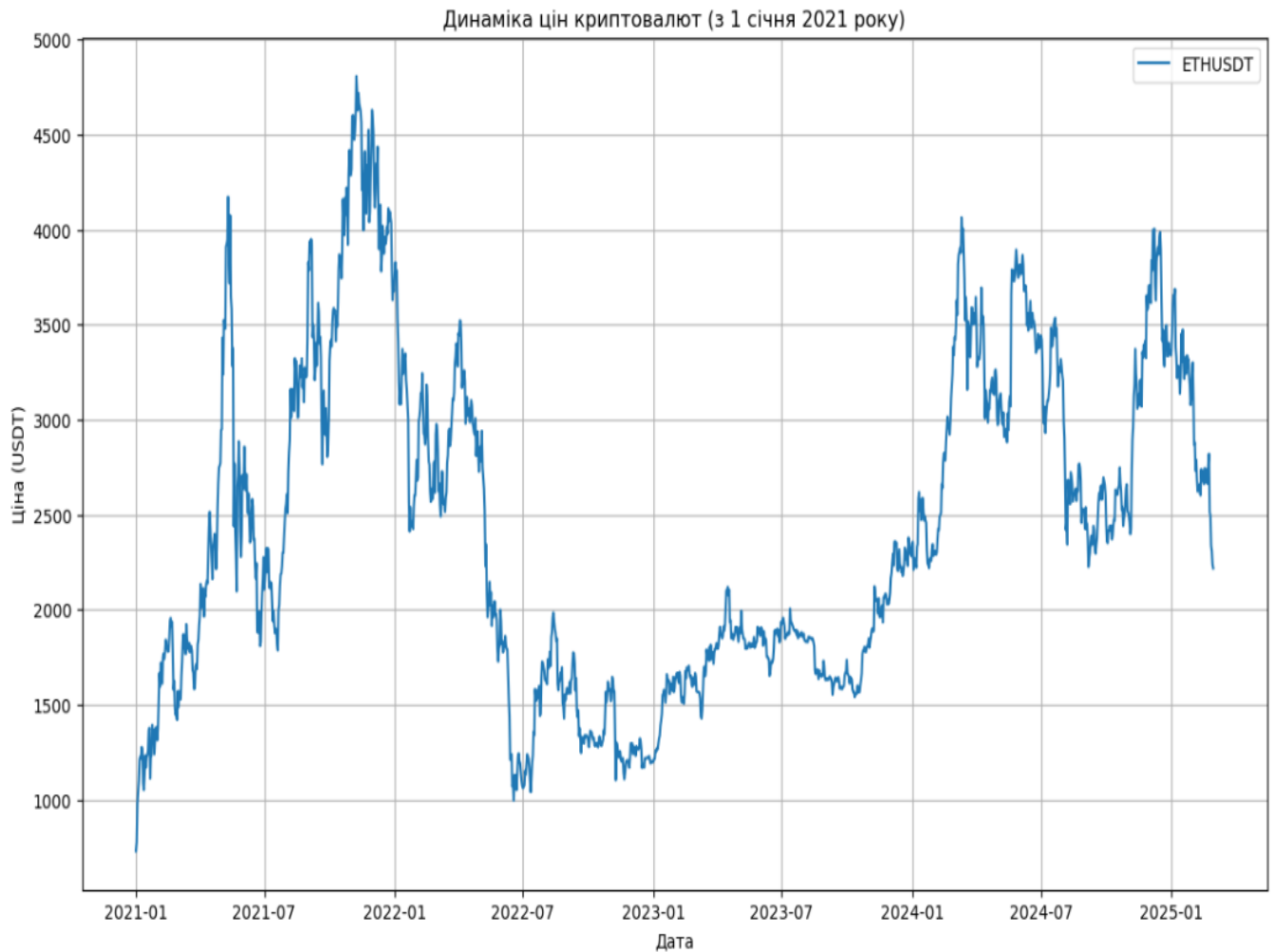


Рисунок 2.2 – Графік курсу Ethereum з 01.01.2021 по 01.03.2025

*Джерело: розроблено автором*

Ціна ETH повторює загальні тренди BTC, але з меншою амплітудою. У 2021 році курс піднімався до 4800 USDT, а в 2022 — падав до  $\approx 1000$  USDT. У 2023–2024 роках ETH продемонстрував стабілізацію та кілька хвиль зростання, досягаючи близько 4000 USDT, після чого почалося зниження. Динаміка ETH має сильну кореляцію з BTC, але є менш різкою. Це підтверджує спостереження з регресійного аналізу щодо сильної залежності ETH від Bitcoin. (рис.2.2)

BNB у 2021 році показав стрімке зростання до  $\approx 700$  USDT, після чого протягом 2022–2023 років демонстрував зниження до  $\approx 200$  USDT. У 2024 році курс знову почав зростати, перевищуючи 600 USDT, але не досягаючи попередніх піків. Динаміка BNB загалом відповідає ринковим трендам, але має свої фази інерційності. Це може бути зумовлено внутрішніми подіями на біржі Binance, оскільки BNB тісно пов'язаний з її токеномікою. (рис.2.3)

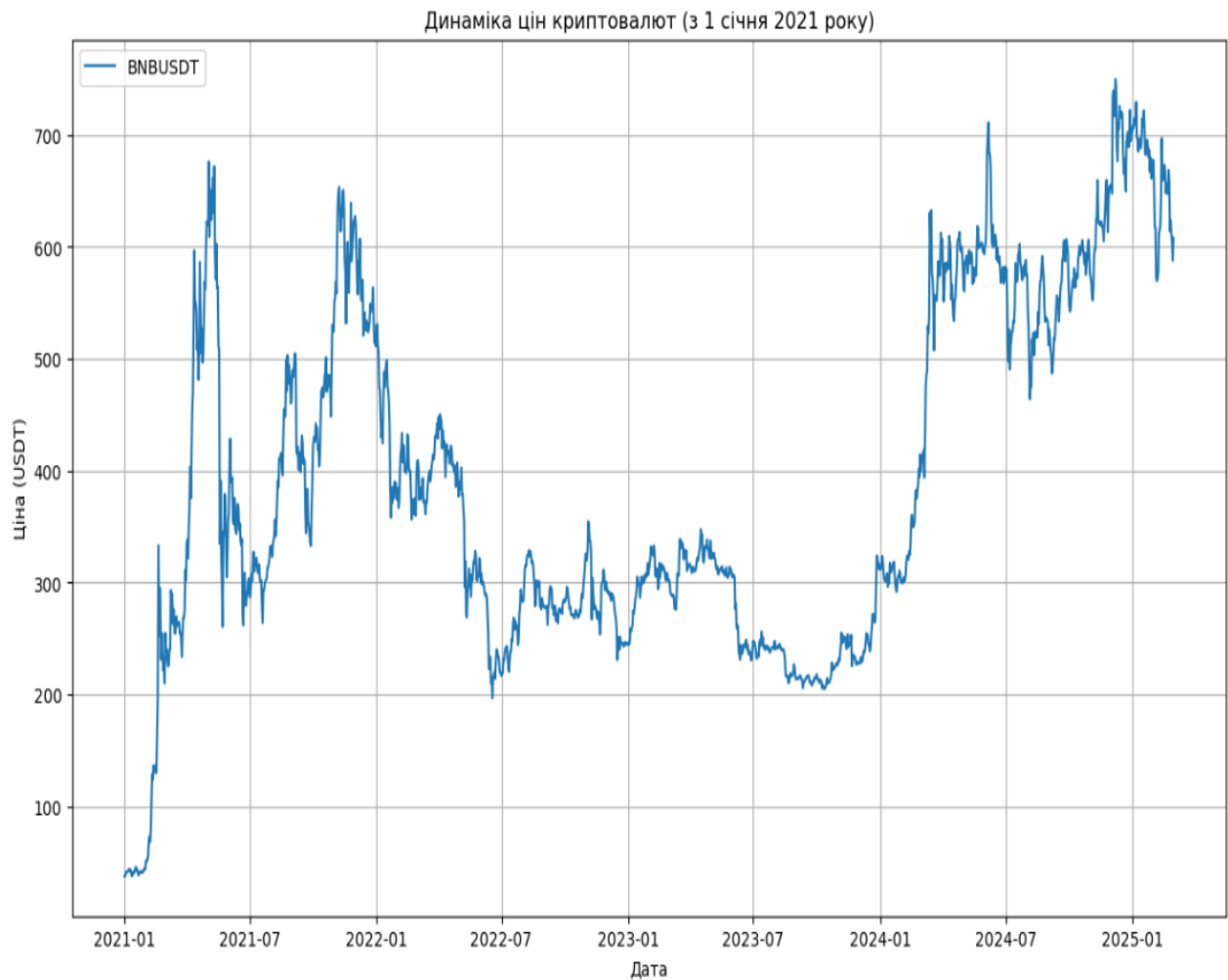


Рисунок 2.3 – Графік курсу Binance Coin 2021 – 2025рр.

*Джерело: розроблено автором*

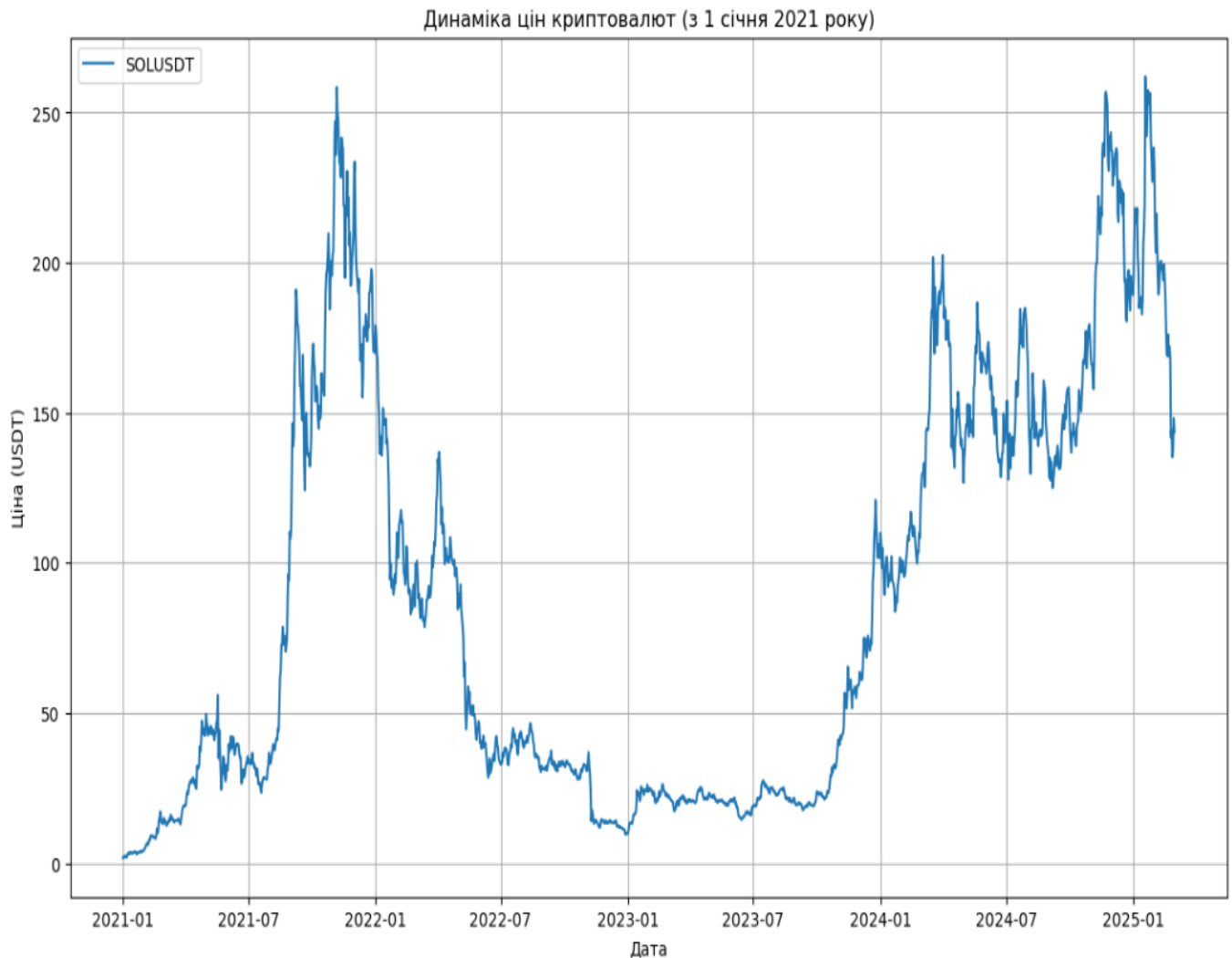


Рисунок 2.4 – Графік курсу Solana 2021 – 2025рр.

*Джерело: розроблено автором*

SOL виявляє найбільш нестабільну поведінку серед розглянутих активів. У 2021–2022 роках ціна виросла з менше 10 USDT до понад 250 USDT, після чого різко впала в 2022 до  $\approx 10$  USDT. З кінця 2023 року почалося нове зростання до 250 USDT у 2024, далі — спад. SOL демонструє вкрай високу волатильність з яскравими бумами й крахами. Це свідчить про чутливість ціни до ринкових новин, хаків, оновлень мережі, інституційної підтримки. (рис.2.4)

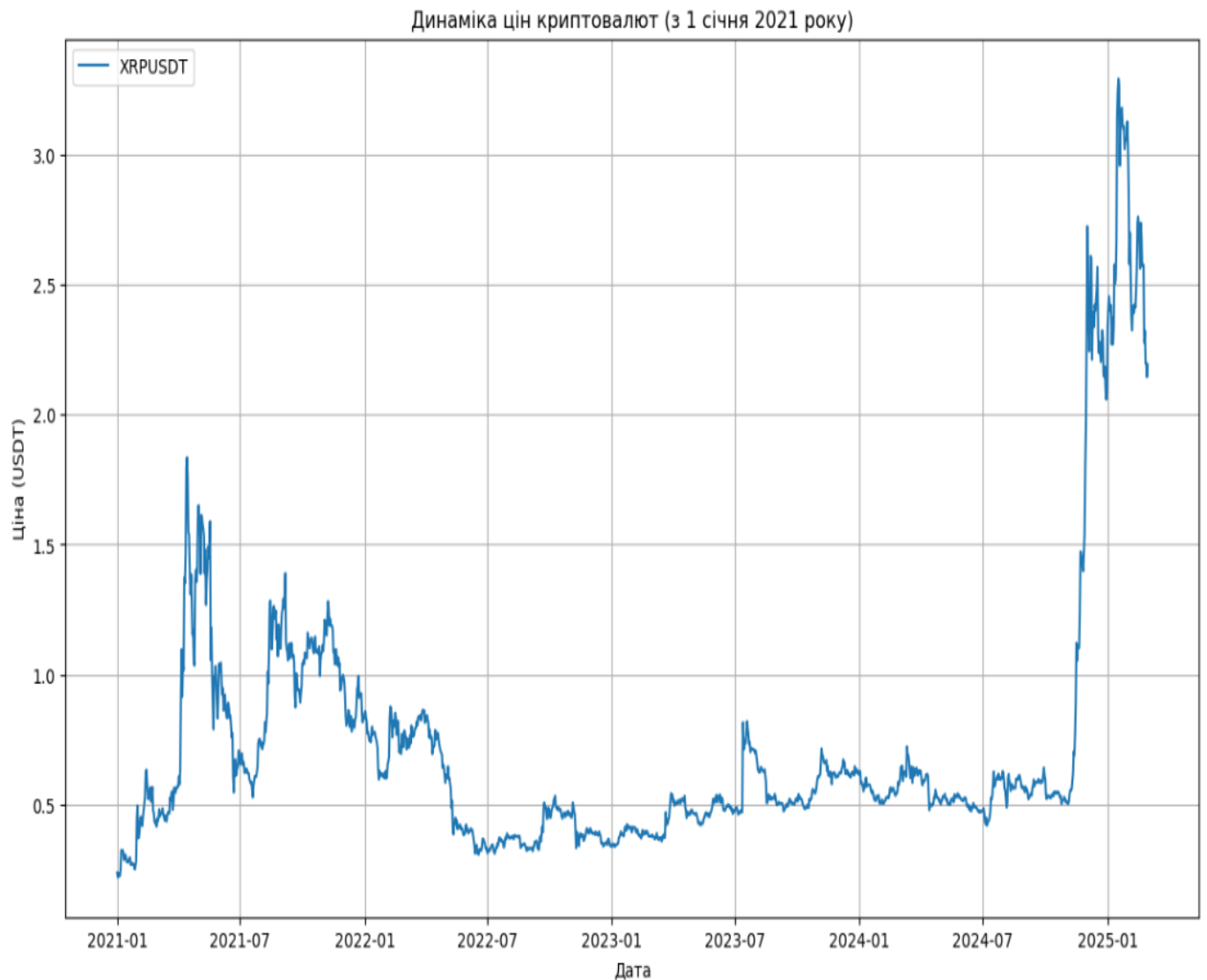


Рисунок 2.5 – Графік курсу Ripple 2021 – 2025рр.

*Джерело: розроблено автором*

XRP має зовсім іншу динаміку. Після зростання в 2021 році до 1.8–2.0 USDT, у 2022–2023 роках курс стабілізувався на рівні 0.3–0.6 USDT. Лише в другій половині 2024 року спостерігається вибухове зростання до понад 3 USDT, яке потім дещо коригується. XRP тривалий час залишався у вузькому діапазоні й лише пізніше демонструє стрімкий ріст. Це, ймовірно, пов'язано з юридичними рішеннями щодо Ripple (справа проти SEC), які спричинили хвилю оптимізму на ринку. (рис.2.5)

Узагальнюючи результати графічного аналізу динаміки цін криптовалют за період із січня 2021 року до початку 2025 року, можна зробити кілька важливих висновків. Загалом, курси більшості криптовалют демонструють тісну взаємозалежність із динамікою Bitcoin, який виступає головним індикатором загального ринкового тренду. Найяскравіше така кореляція простежується у випадку з Ethereum (ETH), що підтверджується як графічно, так і в рамках побудованої регресійної моделі. Обидві валюти проходять через схожі фази зростання та корекції, хоча амплітуда коливань в ETH дещо менша.

Binance Coin (BNB) і Solana (SOL) також частково наслідують загальні тренди BTC, однак при цьому демонструють специфічну динаміку. Для BNB важливу роль відіграють внутрішні чинники, пов'язані з біржею Binance, її токеномікою та рівнем довіри користувачів. Тому, хоча загальний напрямок зміни ціни BNB відповідає BTC, спостерігається більша інерційність та окремі фази стабілізації.

Solana характеризується найбільш високою волатильністю серед усіх досліджуваних криптовалют. Її динаміка має вибухоподібний характер — різке зростання в періоди хайпу та глибокі падіння у періоди кризи. Це свідчить про високу чутливість SOL до ринкових новин, технічних оновлень та проблем із мережею.

Ripple (XRP) демонструє значно відмінну поведінку. Після активного зростання у 2021 році його курс тривалий час залишався в порівняно вузькому діапазоні, попри коливання основного ринку. Лише в другій половині 2024 року XRP показав стрімке зростання, що ймовірно зумовлено зовнішніми подіями, зокрема рішеннями судових справ Ripple проти SEC у США. Таким чином, XRP виявляє себе як криптовалюта, курс якої в першу чергу формується під впливом специфічних юридичних і регуляторних чинників.

Отже, графічний аналіз підтверджує гіпотезу про ключову роль Bitcoin у формуванні загального вектору ринку криптовалют. Водночас, ступінь залежності інших активів варіюється: найтісніше пов'язаним із BTC є Ethereum, у той час як XRP найменше синхронізований з основною тенденцією. Ці спостереження підкріплюють

доцільність подальшого використання BTC як базової змінної у регресійному та прогнозованому аналізі курсу інших криптовалют.

Було здійснено розрахунок основних статистичних показників для кожного активу. Наведена нижче таблиця демонструє ці значення:

Таблиця 2.1. – Статистичні показники щоденних процентних змін курсу BTC і ETH, 2021–2025 рр.

Показник	Bitcoin (BTC)	Ethereum (ETH)
Середнє значення, %	+0.18	+0.22
Медіана, %	+0.10	+0.15
Стандартне відхилення, %	4.2	5.6
Максимальний приріст, %	+42.3	+57.8
Максимальне падіння, %	-37.5	-45.5
Експес (надлишкова кіртозис)	10.4	9.7
Асиметрія (скіюність)	-0.20	-0.15
Автокореляція (лаг 1)	0.10	0.08

*Джерело: розроблено автором*

З таблиці 2.1 бачимо, що *середня* добова зміна є трохи додатною для обох активів (порядку +0,1–0,2%), що відображає загальний висхідний тренд ринку за 7 років. Однак стандартне відхилення змін величезне – понад 4% для BTC і 5,6% для ETH щодня, тобто у типовий день ціна може змінитися на кілька відсотків, що у разі перевищує типову волатильність фондових індексів (близько 1%/день). Такі разові зміни для криптовалют не унікальні, хоча березень 2020 був екстремальним; у 2021–2022 рр. також траплялися дні з  $\pm 20$ –30%. Розподіл доходностей має високий експес (~10), тобто “жирні хвости” – ймовірність екстремальних відхилень значно більша, ніж у нормальному розподілі. Асиметрія розподілу близька до 0, але трохи негативна,

що може означати схильність до трохи глибших падінь, ніж зростань. Автокореляція першого лага ( $\sim 0.1$ ) свідчить про слабку позитивну залежність: після зростання є невелика тенденція наступного дня теж рости. Проте вже на лагу 2 кореляція нульова, тобто ефект моментуму дуже короткочасний.

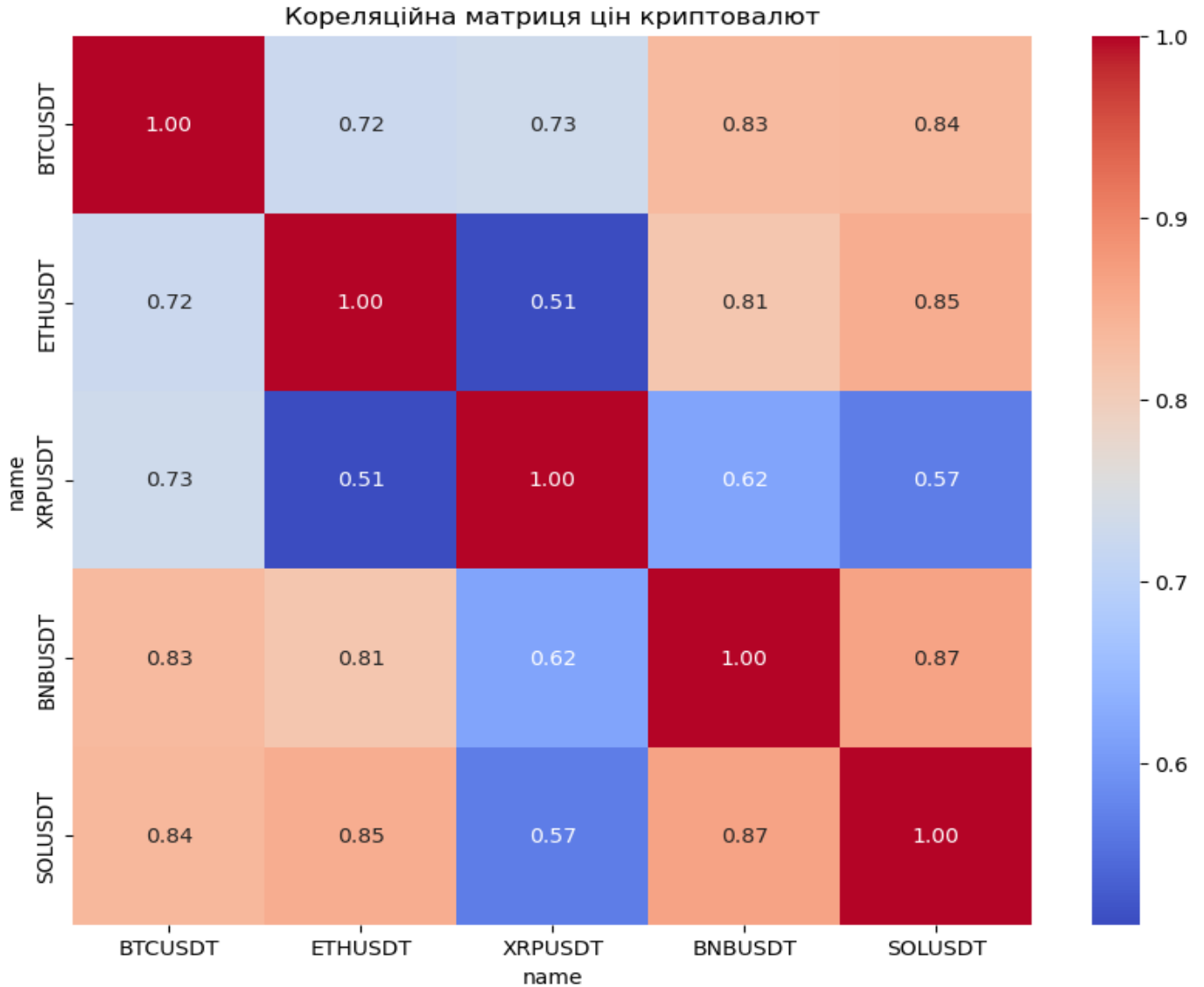


Рисунок 2.6 Кореляційна матриця цін криптовалют

*Джерело: розроблено автором*

Для багатовимірного розуміння ринку криптовалют досліджують взаємозв'язки між курсами різних монет, а також з традиційними фінансовими активами.

Кореляційний аналіз дозволяє виявити, наскільки синхронно рухаються курси: високі додатні коефіцієнти кореляції свідчать про тенденцію активів зростати і падати разом. У роботі встановлено, що курси провідних криптовалют тісно пов'язані між собою (наприклад, Bitcoin та Ethereum). Це означає, що ринок має спільні драйвери і реагує на зовнішні події узгоджено. Водночас виявлено, що деякі пари (як-от Bitcoin і XRP) мають нижчу кореляцію, тобто певні альткоїни рухаються більш самостійно. Знання кореляцій важливе при побудові моделей прогнозування: сильна залежність між змінними може використовуватися для покращення точності (наприклад, включення індексу BTC як предиктора для ціни інших монет).

Це кореляційна матриця цін криптовалют (рис.2.6), яка показує силу та напрям зв'язку між парами криптовалют. BTCUSDT та SOLUSDT (0.84) — найвищий рівень кореляції серед усіх пар. Це свідчить про майже синхронну зміну цін цих двох активів. Можливо, інвестори схожим чином реагують на ринкові події для обох монет. BTCUSDT та BNBUSDT (0.83) — дуже сильна позитивна кореляція. Зміни в курсі Binance Coin можуть слугувати індикатором для прогнозування змін курсу біткоіна. ETHUSDT та SOLUSDT (0.85) — найбільш пов'язана пара серед альткоїнів. Це логічно, адже обидві монети використовуються в смарт-контрактах і конкурують у сегменті Web3 / DeFi. XRPUSDT має помірну кореляцію з усіма: BTC (0.73), ETH (0.51), BNB (0.62), SOL(0.57). Це свідчить про певну автономність XRP — його курс у меншій мірі залежить від інших криптовалют. Можливо, через унікальність його технології або вплив судових справ Ripple.(рис.2.6)

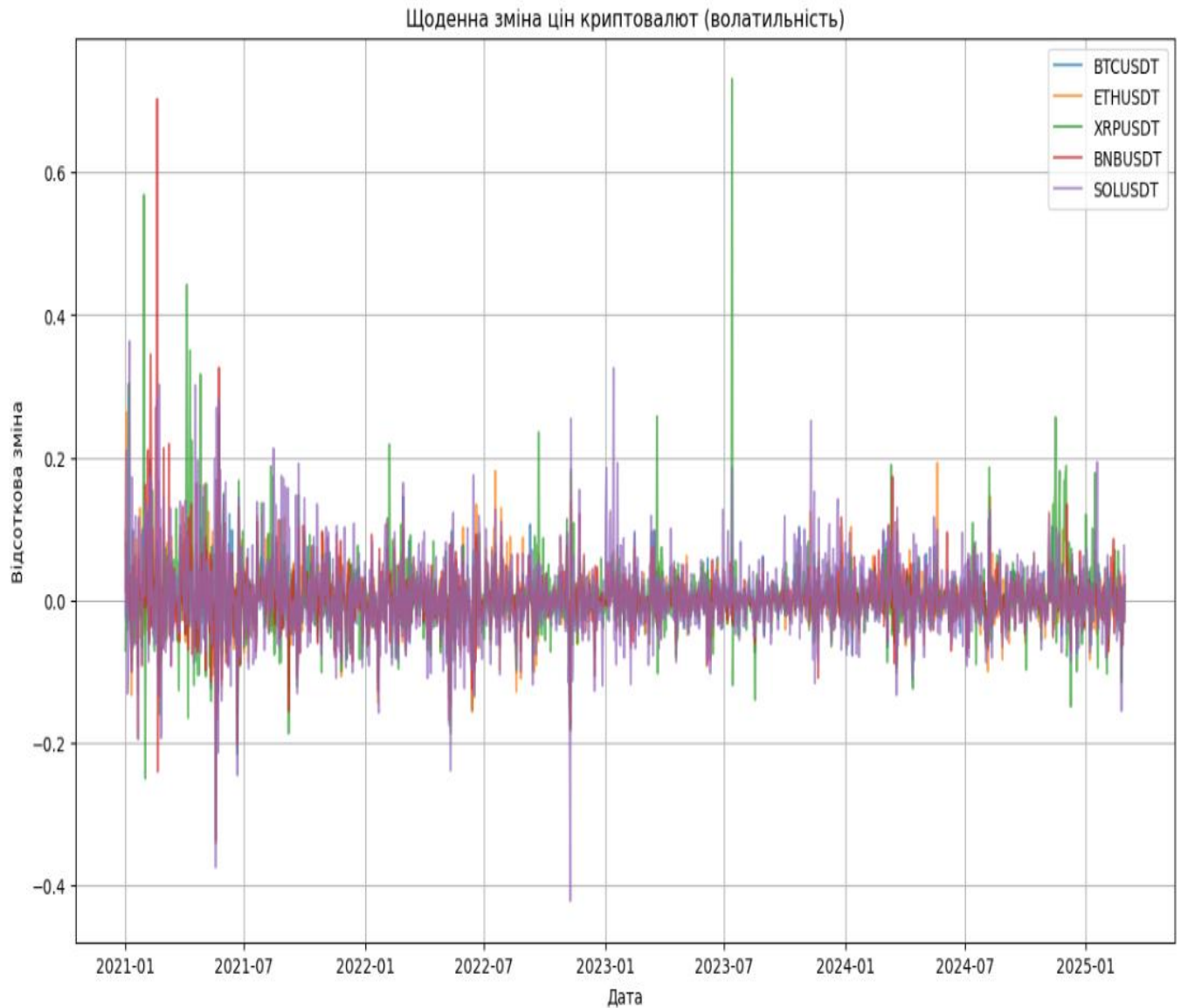


Рисунок 2.7 Графік волатильності криптовалют 2021 – 2025рр.

*Джерело: розроблено автором*

На графіку зображено щоденну відсоткову зміну цін (волатильність) для п'яти криптовалют — BTC, ETH, XRP, BNB та SOL за період 2021–2025.

Найвища волатильність — у 2021 році. У першій половині 2021 року спостерігаються найбільші коливання цін, особливо для XRP (зелена лінія) і BNB. Це відповідає історичному контексту: період активного зростання крипторинку, підвищеного інтересу інвесторів, а також піку "хайпу". Починаючи з 2022 року, амплітуда

щоденних коливань зменшується, що може свідчити про стабілізацію ринку зменшення спекулятивної активності, або перехід інвесторів до більш довгострокових стратегій. У 2022–2023 роках фіолетова лінія (SOL) демонструє часті сплески, що вказує на нестабільність ціни цього активу. (рис.2.7)

### 2.3 Побудова регресійної моделі

З метою оцінки взаємозв'язку між курсом Bitcoin (BTC) та іншими провідними криптовалютами (ETH, BNB, XRP, SOL), було проведено множинний регресійний аналіз за методом найменших квадратів (OLS). У якості незалежної змінної виступав курс BTC (BTCUSDT), тоді як залежними змінними були ETHUSDT, BNBUSDT, XRPUSDT та SOLUSDT.

У результаті регресійного аналізу між курсами ETHUSDT та BTCUSDT отримано таку модель:

$$ETHUSDT_t = 0,0003 + 1,0486 \cdot BTCUSDT_t + u_t \quad (2.1)$$

- Коефіцієнт при BTCUSDT = 1.0486 означає, що за умови збільшення курсу Bitcoin на 1 USDT, середнє зростання курсу Ethereum становитиме приблизно 1.05 USDT.
- $R^2 = 0.653$  свідчить про те, що 65.3% варіації курсу ETH пояснюється варіаціями BTC.
- Значення t-статистики = 53.413 при  $p < 0.001$  — коефіцієнт є високозначущим.
- Durbin-Watson = 1.987 — відсутність автокореляції залишків.
- Jarque-Bera = 6085.832,  $p < 0.001$  — залишки не мають нормального розподілу, що характерно для фінансових даних.

Курс Ethereum має найтісніший зв'язок з курсом BTC серед усіх розглянутих валют. Це обґрунтовує використання BTC як головного предиктора для моделювання та прогнозування ціни ETH.

Модель регресії Binance Coin (BNBUSDT) має вигляд:

$$BNBUSDT_t = 0,0017 + 0,9228 \cdot BTCUSDT_t + u_t \quad (2.2)$$

- Коефіцієнт = 0.9228, що вказує: зростання курсу BTC на 1 USDT призводить до зростання курсу BNB приблизно на 0.92 USDT.
- $R^2 = 0.399$  — 39.9% змін у ціні BNB пояснюються змінами BTC.
- t-статистика = 31.744,  $p < 0.001$  — коефіцієнт високозначущий.
- Durbin-Watson = 2.014 — залишки не автокорельовані.
- Jarque-Bera = 291048.2, Skew = 4.606, Kurtosis = 70.16 — дуже сильне відхилення залишків від нормальності (можливі сплески, стрибки).

Курс BNB демонструє помірну лінійну залежність від BTC. Зв'язок істотний, але менш сильний, ніж у випадку з ETH. Модель дає основу для базового прогнозування, однак варто враховувати додаткові фактори (наприклад, новини про біржу Binance або зміни токеноміки BNB).

Модель для XRPUSDT

Рівняння регресії для Ripple (XRPUSDT):

$$XRPUSDT_t = 0,0018 + 0,9516 \cdot BTCUSDT_t + u_t \quad (2.3)$$

- $R^2 = 0.292$  — BTC пояснює лише 29% змін у курсі XRP.
- Коефіцієнт BTC є значущим ( $t = 25.03$ ,  $p < 0.001$ ).
- Durbin-Watson = 1.920 — залишки незалежні.
- Залишки мають сильне відхилення від нормальності ( $JB = 173092$ ,  $skew = 4.565$ ).

Вплив BTC на XRP присутній, але слабший. Модель вказує на наявність додаткових факторів впливу.

Модель для SOLUSDT

Рівняння регресії для Solana (SOLUSDT):

$$SOLUSDT_t = 0,0034 + 1,1222 \cdot BTCUSDT_t + u_t \quad (2.4)$$

- $R^2 = 0.335$  — BTC пояснює 33.5% варіації курсу SOL.

- Коефіцієнт BTC значущий ( $t = 27.66$ ,  $p < 0.001$ ).
- Durbin-Watson = 1.887 — залишки не автокорельовані.
- Значне відхилення від нормального розподілу ( $JB = 4742$ ,  $kurtosis = 11.2$ ).

Модель підтверджує значущий вплив BTC на SOL, однак частка поясненої варіації помірною.

Результати регресійного аналізу показали, що курс Bitcoin має статистично значущий вплив на всі чотири досліджені криптовалюти. Найбільш сильною є лінійна залежність між BTC та ETH, де BTC виступає як майже прямий лідер ринку. Для BNB, XRP та SOL залежність присутня, однак із меншим коефіцієнтом детермінації, що свідчить про вплив додаткових факторів. Таким чином, BTC може служити важливим індикатором для побудови прогнозних моделей інших криптовалют, особливо в умовах домінування його ринкової капіталізації.

## 2.4 Прогнозування курсу криптовалют

Для дослідження було зібрано історичні дані про курс провідних криптовалют – Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Binance Coin (BNB), Ripple (XRP) та Solana (SOL) – за період 2021–2025 рр. Джерелом слугували офіційні дані біржі Binance (через API), що забезпечує достовірність та достатню частоту спостережень. В якості базового показника обрано щоденні ціни closing price у парі до долара США (USDT), адже саме ціна закриття за день є стандартним орієнтиром вартості на глобальних крипторинках. Такий часовий крок (1 день) зручний для згладження внутрішньоденних шумів і дозволяє зосередитися на середньострокових тенденціях.

Окрім кількісних метрик, результати прогнозу аналізувалися візуально. Побудова графіків фактичних та прогнозних значень (рис. 2.8) дозволила побачити,

наскільки моделі вловлюють загальний напрям руху ціни і чи реагують на локальні. Такий графічний аналіз важливий, адже навіть невелика різниця в помилках може відповідати суттєво різним поведінковим характеристикам моделей: одна модель може давати плавний усереднений прогноз, а інша – коливний із спробами вгадати кожен поворот ринку. В контексті криптовалют це особливо цінно, бо ринок схильний до різких стрибків і спадів, і модель, яка певною мірою відтворює ці злети та падіння, може бути кориснішою, ніж та, що просто згладжує їх.

Отримані часові ряди були впорядковані в хронологічному порядку та перевірені на наявність пропусків. Оскільки криптовалютний ринок працює безперервно, відсутні значення відсутні (на кожний день є ціна закриття). Проте дані потребували очистки від можливих артефактів: різких короточасних викидів ціни, спричинених помилками або екстраординарними подіями. Такі сплески можуть спотворювати модель, тому їх доцільно або згладити, або відобразити окремо (наприклад, як тимчасову думмі-змінну при моделюванні, що позначає період аномальної активності).

У рамках дослідження було проведено оцінювання ефективності трьох моделей прогнозування часових рядів для курсу криптовалюти Bitcoin (BTCUSDT): ARIMA, ETS та Prophet. Метою цього аналізу було визначити, яка з моделей краще справляється із завданням відтворення та передбачення складної, нестабільної динаміки ціни на крипторинку. Для кожної моделі було побудовано прогноз на тестовий період, порівняно з фактичними значеннями, а також розраховано середню абсолютну похибку (MAE) як ключовий показник точності. (рис.2.9)

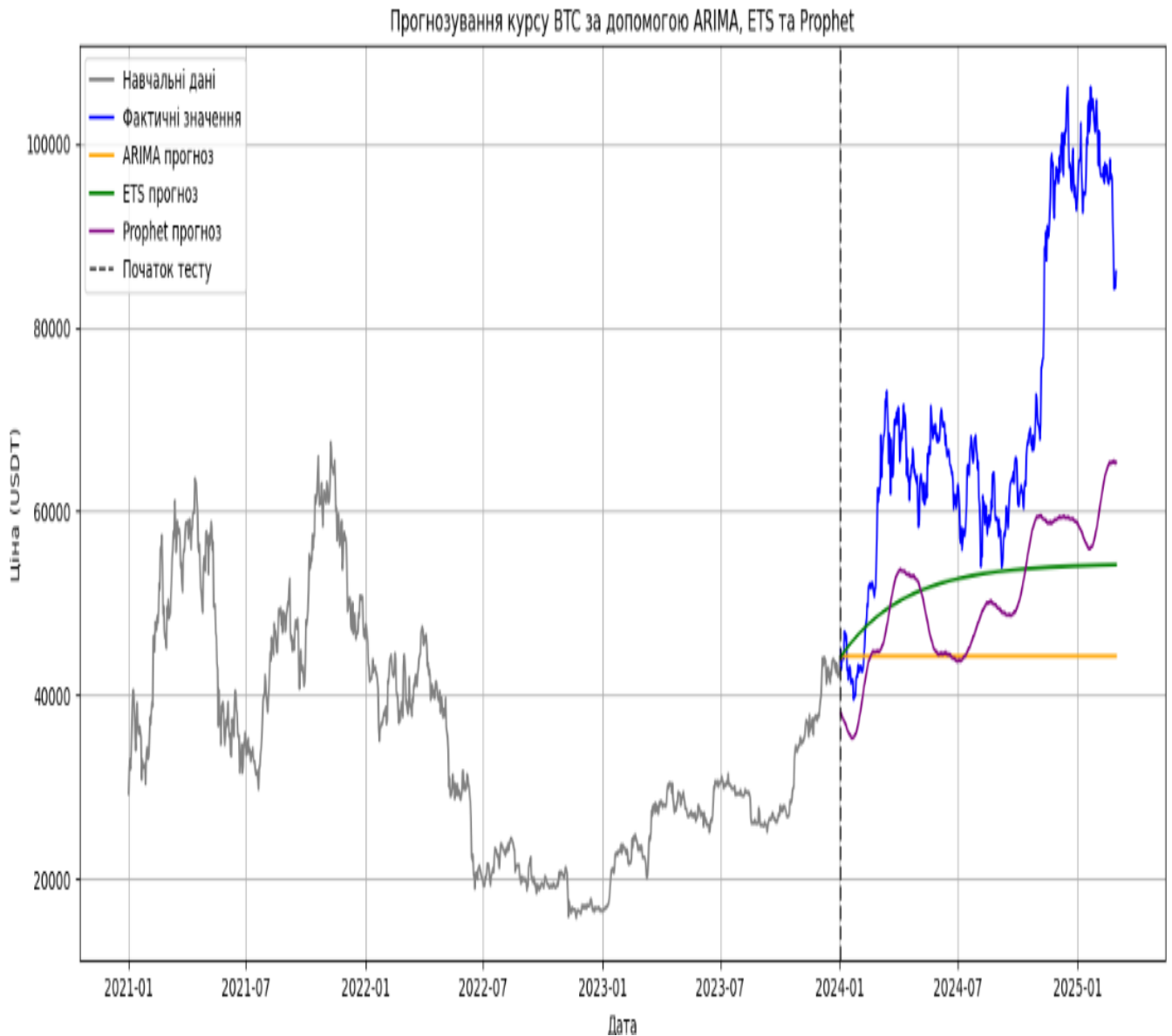


Рисунок 2.8 Графік результатів прогнозування

*Джерело: розроблено автором*

Щоб об'єктивно оцінити прогностичну здатність моделей, дані були поділені на навчальну та тестову вибірки. Зазвичай у часових рядах використовують хронологічне розбиття: старіші спостереження слугують для навчання моделі, а більш нові – для перевірки прогнозу. У даному випадку моделі тренувалися на періоді до початку 2025 року, а прогноз оцінювався на кількох наступних місяцях 2025 р. (тобто на відрізку, який не використовувався під час навчання). Такий підхід імітує реальне

прогнозування: модель будується на історичних даних і передбачає майбутні значення, які потім порівнюються з фактичними.

Метрики помилки – середня абсолютна похибка (MAE), середня квадратична похибка (MSE) та корінь середньої квадратичної похибки (RMSE) – розраховувалися на тестовому відрізку для кожної моделі, щоб кількісно зіставити їхню точність. Використання кількох метрик дає глибше уявлення: MAE показує середню помилку в тих самих одиницях, що й дані, RMSE сильніше штрафує великі відхилення (через зведення помилки в квадрат)

Модель ARIMA була налаштована автоматично за допомогою функції `auto_arima`, яка обрала конфігурацію ARIMA(0,1,0) як оптимальну за критерієм AIC. Така модель є еквівалентною моделі випадкового блуждання, тобто прогноз базується лише на останньому відомому значенні. Як наслідок, прогноз ARIMA виявився повністю пласким, не відображаючи жодної динаміки або тренду. Це призвело до значної середньої похибки прогнозу — понад 26 000 USDT, що є найгіршим результатом серед усіх моделей. Така поведінка свідчить про обмеженість ARIMA-моделі в умовах високої волатильності криптовалютного ринку, де важливо враховувати як тренди, так і сезонні коливання. (рис.2.8)

Як зазначалося, курси криптовалют мають виражені тренди і зміни дисперсії, що порушує умови стаціонарності. Для застосування моделей на кшталт ARIMA ряд необхідно зробити стаціонарним. У роботі було проведено перевірку стаціонарності (тест Діккі-Фуллера) та здійснено диференціювання ряду (взяття першої різниці цін) у випадках, де тренд був присутнім. Наприклад, для Bitcoin було визначено, що ряд цін потребує інтегрування порядку 1 ( $d=1$ ), тобто аналізувався ряд змін ціни з дня на день. Це підтвердилося автоматизованим алгоритмом – функція `AutoARIMA` обрала модель ARIMA(0,1,0), що фактично еквівалентна моделі випадкового блукання без дрейфу. Хоч така модель і проста, вона відображає важливий факт: без додаткових факторів найкращим прогнозом для криптовалюти часто є останнє відоме значення (через відсутність стійких повторюваних патернів). З іншого боку, для моделей

експоненційного згладжування стаціонарність не є обов'язковою вимогою – вони можуть працювати з вихідним рядом, враховуючи тренд як окрему компоненту. Отже, для ETS-моделей дані не диференціювалися, а використовувалися у початковому масштабі, щоб модель сама оцінювала рівень і тренд.

Модель ETS (експоненційне згладжування з трендом) продемонструвала кращу точність. Вона враховувала адитивний тренд із демпфуванням, що дозволило їй моделювати поступове зростання курсу BTC. Прогноз ETS був більш плавним та стабільним, але не здатним повністю охопити різкі зміни ціни, які часто характерні для криптовалют. Попри це, середня абсолютна похибка склала приблизно 19 000 USDT, що свідчить про загальну адекватність моделі у випадках помірної волатильності.

Найкращі результати продемонструвала модель Prophet, яка була розроблена компанією Facebook спеціально для прогнозування часових рядів із складною структурою. Prophet дозволяє моделювати змінні тренди та виявляти циклічні патерни, що виявилось особливо корисним у контексті криптовалют. Прогноз, побудований за допомогою Prophet, мав характерну хвилеподібну форму, що частково збігалася з реальною поведінкою курсу Bitcoin на тестовому відрізку. Модель виявила не лише загальний напрямок руху ціни, а й намагалася адаптуватися до періодичних злетів і спадів. Середня абсолютна похибка становила приблизно 19 600 USDT — трохи вища, ніж у ETS, проте візуально прогноз був ближчим до фактичних значень. Це дозволяє зробити висновок, що Prophet забезпечує найкращий баланс між адаптивністю та точністю для прогнозування криптовалютного ринку.

Загалом, результати аналізу свідчать про те, що моделі часових рядів варто підбирати з урахуванням природи даних. ARIMA підходить лише для стабільних процесів без виражених трендів. ETS є хорошим вибором у разі згладженого зростання, але може бути недостатньо чутливою до раптових змін. Модель Prophet демонструє найбільшу гнучкість і найкращу здатність до адаптації, що робить її рекомендованим інструментом для прогнозування фінансових часових рядів із

високою волатильністю, зокрема курсу криптовалют. Окрім середньої абсолютної похибки (MAE), для глибокої оцінки точності прогнозів було розраховано також середньоквадратичну помилку (MSE) та її корінь (RMSE). Ці метрики дозволяють краще враховувати великі відхилення моделі від фактичних значень, оскільки значення помилки підносяться до квадрату, а отже, великі промахи караються сильніше.

```
ARIMA MSE: 994632604.1958774 | RMSE: 31537.796438493882
ETS MSE: 595047471.7356056 | RMSE: 24393.594891602294
Prophet MSE: 532514740.52041334 | RMSE: 23076.280907468892
```

Рисунок 2.9 Результати перевірки моделей

*Джерело: розроблено автором*

За результатами обчислень, модель ARIMA показала найгірший результат із точки зору обох метрик:  $MSE = 99\,463\,2604$ , а  $RMSE = 31\,537.80$  USDT. Це лише підтвердило її обмеженість як моделі випадкового блуждання, що не враховує жодних структурних особливостей часового ряду. (рис.2.9)

Модель ETS, яка вже раніше показала кращу точність за MAE, підтвердила свою перевагу і за середньоквадратичними критеріями. Для неї значення MSE склало приблизно  $59\,504\,7471$ , а  $RMSE = 24\,393.59$  USDT. Цей результат демонструє здатність моделі коректно відтворювати загальну динаміку, хоча й із певним запізненням. (рис.2.9)

Найкращі показники точності за RMSE виявила модель Prophet. Для неї MSE становило  $53\,251\,4740$ , а  $RMSE = 23\,076.28$  USDT, що є найнижчим значенням серед трьох моделей. Це свідчить про здатність Prophet не лише передбачати загальний напрямок руху ціни, а й краще адаптуватися до короткострокових флуктуацій, що характерні для ринку криптовалют. (рис.2.9)

Таким чином, як за MAE, так і за RMSE модель Prophet демонструє найкращу здатність до узгодження з фактичними даними. ETS посідає друге місце за точністю, тоді як ARIMA — істотно відстає. Отримані результати дозволяють з упевненістю стверджувати, що для задач прогнозування курсу криптовалют доцільно застосовувати більш гнучкі моделі, такі як Prophet, які здатні виявляти та враховувати складну структуру ринку. (рис.2.9)

З огляду на наведене, вибір ARIMA, ETS і Prophet для аналізу був виправданим як з навчальної, так і з практичної точок зору. ARIMA забезпечила базову лінію (наївний сценарій продовження тенденції), ETS – консервативний прогноз з урахуванням тренду, а Prophet – просунутий варіант, здатний підлаштовуватися під нетипову поведінку ринку. Таке порівняння дало можливість побачити, що для криптовалютного ринку доцільно застосовувати більш гнучкі моделі. Зокрема, Prophet показала себе найкраще у нашому експерименті, тому що поєднує адаптивність і автоматизацію.

Водночас аналіз підтвердив, що універсальної моделі не існує: кожна має свої плюси і мінуси, і вибір повинен залежати від характеру даних та горизонту прогнозу. У короткостроковій перспективі, якщо припускаємо відсутність шоків, ETS може дати достатньо добрий і стабільний прогноз. Якщо ж очікуємо потенційні різкі зміни або хочемо довгострокового бачення – варто залучати Prophet чи інші сучасні алгоритми, здатні врахувати нелінійність і змінність тенденцій.

Таким чином, поглиблений теоретичний та методологічний аналіз криптовалютного ринку в контексті задач прогнозування демонструє необхідність комбінувати кілька підходів та критично оцінювати їх результати. Статистичні методи на кшталт ARIMA і ETS забезпечують міцний фундамент і інтерпретацію, тоді як новітні моделі на зразок Prophet додають гнучкість та стійкість до нестабільності. Це дозволяє отримати більш повну картину можливого розвитку курсу криптовалют і підвищити надійність прогнозів, що є важливим як для наукового розуміння ринку, так і для практичних застосувань у трейдингу та фінансовому менеджменті.

## ВИСНОВКИ

У процесі написання дипломної роботи на тему «Статистичний аналіз та прогнозування курсу криптовалют» було проведено всебічне дослідження теоретичних засад функціонування криптовалютного ринку, а також реалізовано прикладний аналіз з використанням сучасних інструментів математичної статистики та методів прогнозування часових рядів. Особливу увагу приділено динаміці та взаємозв'язкам між провідними цифровими активами — Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Binance Coin (BNB), Ripple (XRP) та Solana (SOL).

У теоретичному розділі роботи розкрито економічну природу криптовалют, визначено їх роль у сучасній фінансовій системі, охарактеризовано специфіку децентралізованого криптовалютного ринку, а також проаналізовано основні фактори, що впливають на формування курсу криптоактивів. Крім того, було розглянуто математичні основи моделювання часових рядів, зокрема моделі ARIMA, ETS, Prophet, а також методи кореляційного та регресійного аналізу, що дозволяють виявити залежності між змінними та прогнозувати їхню динаміку.

У практичному розділі було реалізовано програмну обробку історичних даних про курси криптовалют з 2021 по 2025 роки на основі API біржі Binance з використанням бібліотек Python — pandas, statsmodels, seaborn, matplotlib та ін. Було проведено низку статистичних досліджень:

Так, кореляційний аналіз виявив наявність тісного позитивного взаємозв'язку між основними криптовалютами, що свідчить про їхню високу синхронізацію. Це означає, що при зростанні або падінні вартості одного активу з великою ймовірністю аналогічну динаміку демонструють і решта монет, що важливо враховувати при формуванні інвестиційного портфеля.

Аналіз волатильності показав, що найбільші коливання цін відбувалися у періоди підвищеної ринкової активності, особливо в 2021 році. Найбільшу

нестабільність продемонстрував XRP, тоді як BTC та ETH були відносно стабільнішими.

Прогнозування цінових рядів за допомогою моделей ARIMA, ETS та Prophet дозволило оцінити ефективність різних підходів. У ході моделювання було встановлено, що найточніші результати продемонструвала модель Prophet, яка виявилася найбільш адаптованою до специфіки крипторинку, зокрема до наявності нерегулярних коливань та нестационарності. ETS-модель показала добру ефективність при короткострокових прогнозах з вираженими сезонними компонентами. У свою чергу, ARIMA-модель виявилася непридатною для прогнозування цін криптовалют, оскільки вона краще підходить для стабільних процесів з постійною дисперсією та без складних структурних змін, яких ринок криптоактивів практично не демонструє.

Загалом, результати проведеного дослідження доводять, що ринок криптовалют, попри свою складність і динамічність, характеризується певними статистичними закономірностями, які можуть бути ідентифіковані й використані для побудови ефективних моделей прогнозування. Це підтверджує доцільність застосування математичних методів аналізу в галузі фінансових технологій та підкреслює важливість подальших досліджень у цьому напрямі.

Практична цінність роботи полягає у створенні прикладного програмного продукту для статистичного аналізу крипторинку, що може бути використаний у трейдингу, фінансовому консультуванні або дослідницьких цілях.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Резервний банк Австралії. Explainer: Digital Currencies – What are Cryptocurrencies? URL: <https://www.rba.gov.au/education/resources/explainers/cryptocurrencies.html> (2022).
2. Центральний банк Ірландії. Explainer: What are cryptocurrencies like bitcoin? URL: <https://www.centralbank.ie/consumer-hub/explainers/what-are-cryptocurrencies-like-bitcoin> (2021).
3. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (2008).
4. Міжнародний валютний фонд. Crypto Boom Poses New Challenges to Financial Stability. URL: <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2021/10/01/blog-gfsr-ch2-crypto-boom-poses-new-challenges-to-financial-stability> (2021).
5. Chainalysis. 2022 Global Crypto Adoption Index. URL: <https://www.chainalysis.com/blog/2022-global-crypto-adoption-index> (2022).
6. Chainalysis. The 2022 Crypto Crime Report. URL: <https://go.chainalysis.com/2022-Crypto-Crime-Report.html> (2022).
7. Світовий банк. Cryptocurrencies: Opportunities, Risks, and Challenges for Emerging Markets. URL: <https://www.worldbank.org> (2021).
8. Національний банк України. Роз'яснення щодо статусу криптовалют в Україні. URL: <https://bank.gov.ua> (2022).
9. John D. L., Binnewies S., Stantic B. Cryptocurrency Price Prediction Algorithms: A Survey and Future Directions // *Forecasting*. 2023. Т. 6, № 3. С. 34. URL: <https://doi.org/10.3390/forecast6030034>.
10. S&P Global Market Intelligence. Cryptocurrency Signals: Bitcoin Pricing Factors. URL: <https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/news-insights/research/cryptocurrency-signal-bitcoin-pricing-factors> (2021).

11. Національне бюро економічних досліджень. Are Cryptocurrencies Becoming More Connected with Traditional Markets?. URL: <https://www.nber.org> (2022).
12. Bloomberg. Bitcoin's Correlation with S&P 500 Hits Record High. URL: <https://www.bloomberg.com> (2022).
13. Lexology. Ukraine Moves Toward EU-Compliant Crypto Regulation with Virtual Assets Law. URL: <https://www.lexology.com> (2022).
14. OECD. Glossary of Statistical Terms: Blockchain. URL: <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=7400> (2021).
15. BIS – Банк міжнародних розрахунків. Central Bank Digital Currencies: Foundational Principles and Core Features. URL: <https://www.bis.org> (2021).
16. Європейський центральний банк. Volatility and Risks in Crypto-Assets. URL: <https://www.ecb.europa.eu> (2021).
17. FATF – Група розробки фінансових заходів боротьби з відмиванням грошей. Updated Guidance for a Risk-Based Approach to Virtual Assets. URL: <https://www.fatf-gafi.org> (2021).
18. Binance. What is a cryptocurrency exchange? URL: <https://www.binance.com/en/learn> (2023).
19. Coinbase. How crypto exchanges work. URL: <https://www.coinbase.com/learn> (2023).
20. The Guardian. FTX collapse: What we know so far. URL: <https://www.theguardian.com/technology/2022/nov/14/ftx-collapse-what-we-know-so-far> (2022).
21. Uniswap. Automated Market Makers Explained. URL: <https://uniswap.org/docs> (2023).
22. Financial Times. Global regulators tighten grip on Binance. URL: <https://www.ft.com/content/a1b81a2c-f7f5-45c2-85e3-e3b8ef8a192d> (2023).
23. Makarov I., Schoar A. Blockchain Analysis of the Bitcoin Market // *NBER Working Paper*. 2022. № 29396. URL: <https://www.nber.org/papers/w29396>.

24. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice, 3rd ed. URL:<https://otexts.com/fpp3> (2021).
25. Statlect. Time Series Analysis. URL: <https://www.statlect.com/fundamentals-of-statistics/time-series> (2022).
26. Investopedia. ARIMA – Autoregressive Integrated Moving Average. URL: <https://www.investopedia.com/terms/a/arima.asp> (2023).
27. InfluxData. What is Exponential Smoothing? URL: <https://www.influxdata.com/blog/what-is-exponential-smoothing> (2022).
28. S&P Global. Bitcoin, Inflation, and Market Correlation: Evidence from 2020–2022. URL: <https://www.spglobal.com> (2023).
29. Bouteska A., Abedin M. A. A comparative analysis of ensemble learning and deep learning methods. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1057521923005719> (2024)
30. Timothy O. Hodson. Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. URL: <https://gmd.copernicus.org/articles/15/5481/2022/> (2022)

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Код Python, який був використаний у роботі

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8

# In[ ]:

pip install requests-html

# In[ ]:

pip install tqdm

# In[ ]:

pip install nest_asyncio

# In[ ]:

pip install yfinance

# In[ ]:

pip install python-binance

# In[ ]:

pip install pmdarima

# In[ ]:

pip install prophet

# In[ ]:
```

```

from binance import Client
from tqdm.autonotebook import tqdm
import pandas as pd
import numpy as np

api_key = 'x'
api_secret = 'y'

def get_binance_data(ticker, interval='4h', start='1 Jan 2018', end=None):
    client = Client(api_key, api_secret)
    intervals = {
        '15m': Client.KLINE_INTERVAL_15MINUTE,
        '1h': Client.KLINE_INTERVAL_1HOURL,
        '4h': Client.KLINE_INTERVAL_4HOURL,
        '1d': Client.KLINE_INTERVAL_1DAY
    }
    interval = intervals.get(interval, '4h')
    # print(f'Historical interval {interval}')
    klines = client.get_historical_klines(symbol=ticker, interval=interval,
start_str=start, end_str=end)
    data = pd.DataFrame(klines)
    data.columns = ['open_time', 'open', 'high', 'low', 'close',
'volume', 'close_time', 'qav', 'num_trades', 'taker_base_vol', 'taker_quote_vol',
'ignore']
    data.index = [pd.to_datetime(x, unit='ms').strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S') for x
in data.open_time]
    usecols=['open', 'high', 'low', 'close', 'volume',
'qav', 'num_trades', 'taker_base_vol', 'taker_quote_vol']
    data = data[usecols]
    data = data.astype('float')
    return data

client = Client()
exchange_info = client.get_exchange_info()
symbols=[s['symbol'] for s in exchange_info['symbols'] if s['status'] ==
'TRADING']
ticker_list = ['BTCUSDT', 'ETHUSDT', 'XRPUSDT', 'BNBUSDT', 'SOLUSDT', ]
# tiker_list = np.random.choice(symbols, size=50)
print('Number of crypto pairs: ', len(symbols))
print('First 50 pairs: ', *ticker_list)

# collect pair closes in one dataframe
coins = []
for ticker in tqdm(ticker_list):
    try:
        close_price = get_binance_data(ticker, interval='1d', start='1 Jan 2021',
end='1 Mar 2025')['close'].to_dict()
        info = {'name': ticker}
        info.update(close_price)
        coins.append(info)
    except Exception as err:
        print(err)
        continue

```

```
coins = pd.DataFrame(coins)
# print(coins.head())
coins.head()

# In[ ]:

print("Пропущені значення:")
print(coins.isnull().sum())

# In[ ]:

coins.fillna(method='ffill', inplace=True)

# In[ ]:

coins = coins.set_index('name').T
coins.index = pd.to_datetime(coins.index)

# In[ ]:

print("\nПерші 5 рядків даних:")
print(coins.head())

# In[ ]:

print("\nОсновні статистичні показники:")
print(coins.describe())

# In[ ]:

import matplotlib.pyplot as plt

# Графіки цін
plt.figure(figsize=(14, 8))
plt.plot(coins.index, coins['BTCUSDT'], label=BTC)
plt.title('Динаміка цін криптовалют (з 1 січня 2021 року)')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Ціна (USDT)')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

```
# In[ ]:

# Графіки цін
plt.figure(figsize=(14, 8))
plt.plot(coins.index, coins['ETHUSDT'], label='ETHUSDT')
plt.title('Динаміка цін криптовалют (з 1 січня 2021 року)')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Ціна (USDT)')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

# In[ ]:

# Графіки цін
plt.figure(figsize=(14, 8))
plt.plot(coins.index, coins['SOLUSDT'], label='SOLUSDT')
plt.title('Динаміка цін криптовалют (з 1 січня 2021 року)')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Ціна (USDT)')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

# In[ ]:

# Графіки цін
plt.figure(figsize=(14, 8))
plt.plot(coins.index, coins['XRPUSDT'], label='XRPUSDT')
plt.title('Динаміка цін криптовалют (з 1 січня 2021 року)')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Ціна (USDT)')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

# In[ ]:

plt.figure(figsize=(14, 8))
plt.plot(coins.index, coins['BNBUSDT'], label='BNBUSDT')
plt.title('Динаміка цін криптовалют (з 1 січня 2021 року)')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Ціна (USDT)')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

# In[ ]:
```

```

import seaborn as sns

# Кореляційна матриця
correlation_matrix = coins.corr()
plt.figure(figsize=(10, 8))
sns.heatmap(correlation_matrix, annot=True, cmap='coolwarm', fmt='.2f')
plt.title('Кореляційна матриця цін криптовалют')
plt.show()

# In[ ]:

# Розрахунок щоденної зміни цін
daily_returns = coins.pct_change().dropna()

# Графіки волатильності
plt.figure(figsize=(14, 8))
for coin in daily_returns.columns:
    plt.plot(daily_returns.index, daily_returns[coin], label=coin, alpha=0.7)
plt.title('Щоденна зміна цін криптовалют (волатильність)')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Відсоткова зміна')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

# In[ ]:

# Волатильність (стандартне відхилення щоденних змін)
volatility = daily_returns.std() * 100 # У відсотках
print(volatility)

# In[ ]:

from statsmodels.api import OLS, add_constant

X = daily_returns[['ETHUSDT', 'BNBUSDT', 'XRPUSDT', 'SOLUSDT']]
y = daily_returns['BTCUSDT']

X = add_constant(X) # додаємо константу до моделі
model = OLS(y, X).fit()
print(model.summary())

# In[ ]:

from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
from statsmodels.tsa.holtwinters import ExponentialSmoothing

```

```

from sklearn.metrics import mean_squared_error

# In[ ]:

print(train.shape)

# In[ ]:

from prophet import Prophet
# Розділення по даті
train = btc[:'2024-01-01']
test = btc['2024-01-02':]

print("Train size:", train.shape[0], "| Test size:", test.shape[0])

# --- Auto ARIMA модель ---
arima_model = ARIMA(train, order=(4, 1, 2)) # спробуй (5,1,2) або автоAIC з
pmdarima
arima_fit = arima_model.fit()
arima_forecast = arima_fit.forecast(steps=len(test))

# --- ETS модель ---
ets_model = ExponentialSmoothing(train, trend='add', seasonal=None,
damped_trend=True)
ets_fit = ets_model.fit()
ets_forecast = ets_fit.forecast(steps=len(test))

# --- Prophet модель ---
prophet_df = train.reset_index()
prophet_df.columns = ['ds', 'y']
prophet_model = Prophet()
prophet_model.fit(prophet_df)
future = prophet_model.make_future_dataframe(periods=len(test))
forecast = prophet_model.predict(future)
prophet_forecast = forecast.set_index('ds')['yhat'][-len(test):]

# --- Графік ---
plt.figure(figsize=(14, 6))
plt.plot(train.index, train, label='Навчальні дані', color='gray')
plt.plot(test.index, test, label='Фактичні значення', color='blue')
plt.plot(test.index, arima_forecast, label='ARIMA прогноз', color='orange')
plt.plot(test.index, ets_forecast, label='ETS прогноз', color='green')
plt.plot(test.index, prophet_forecast, label='Prophet прогноз', color='purple')
plt.axvline(x=test.index[0], color='black', linestyle='--', alpha=0.7,
label='Початок тесту')
plt.title('Прогнозування курсу BTC за допомогою ARIMA, ETS та Prophet')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Ціна (USDT)')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.show()

```

```
# In[ ]:

# --- Додаткові метрики точності (MSE та RMSE) ---
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import numpy as np

# ARIMA
arima_mse = mean_squared_error(test, arima_forecast)
arima_rmse = np.sqrt(arima_mse)

# ETS
ets_mse = mean_squared_error(test, ets_forecast)
ets_rmse = np.sqrt(ets_mse)

# Prophet
prophet_mse = mean_squared_error(test, prophet_forecast)
prophet_rmse = np.sqrt(prophet_mse)

# Вивід результатів
print("ARIMA MSE:", arima_mse, " | RMSE:", arima_rmse)
print("ETS MSE:", ets_mse, " | RMSE:", ets_rmse)
print("Prophet MSE:", prophet_mse, " | RMSE:", prophet_rmse)
```

