

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ  
КАФЕДРА МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

На правах рукопису  
УДК 336.74 + 519.21

До захисту допущено  
Завідувач кафедри ММСА  
\_\_\_\_\_ Оксана ТИМОЩУК  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра  
за освітньо-професійною програмою «Системний аналіз фінансового ринку»  
зі спеціальності 124 «Системний аналіз»  
на тему: «Спотова та ф'ючерсна торгівля як засіб хеджування для  
алгоритмічної торгівлі на криптобіржі у східноєвропейському регіоні»

Виконав:

Студент II курсу, групи КА-42мп  
Загарук Андрій Ярославович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

Директор ННК ІПСА НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
член-кореспондент НАН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор Касьянов Павло Олегович \_\_\_\_\_

Консультант з нормоконтролю:

доцент кафедри ММСА, к.ф.-м.н.,  
Статкевич Віталій Михайлович \_\_\_\_\_

Рецензент:

Завідувач кафедри інтегральних та диференціальних рівнянь  
КНУ ім. Тараса Шевченка,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор Олексій Володимирович Капустян \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ  
КАФЕДРА МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Рівень вищої освіти — другий (магістерський)

Спеціальність — 124 «Системний аналіз»

Освітньо-професійною програмою «Системний аналіз фінансового ринку»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ММСА

\_\_\_\_\_ Оксана ТИМОЩУК

«\_\_»\_\_\_\_\_2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Загаруку Андрію Ярославовичу**

1. Тема роботи «Спотова та ф'ючерсна торгівля як засіб хеджування для алгоритмічної торгівлі на криптобіржі у східноєвропейському регіоні», керівник директор ННК ПСА НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор Касьянов Павло Олегович, затверджені наказом по університету від «06» листопада 2025 р. № 4837-с.
2. Строк подання студентом дисертації «15» грудня 2025 р.
3. Об'єкт дослідження: процес хеджування ризиків у алгоритмічній торгівлі на криптовалютних ринках.
4. Предмет дослідження: методи аналізу волатильності, моделі переходів між ринковими станами та механізми застосування спотових і ф'ючерсних інструментів у системах алгоритмічного хеджування.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
  - 1) дослідити актуальність застосування спотових і ф'ючерсних інструментів для хеджування ризиків у алгоритмічній торгівлі;

- 2) провести аналіз теоретичних підходів до оцінювання волатильності та моделювання ринкових станів;
  - 3) виконати порівняльний аналіз методів оцінки ризику та моделей переходів між станами ринку;
  - 4) реалізувати програмний модуль, що забезпечує вибір оптимальних дій між спотовими та ф'ючерсними інструментами;
  - 5) розробити план стартап-проекту за темою роботи.
6. Перелік ілюстративного матеріалу: графіки та таблиці метрик оцінки якості натренованих моделей; таблиці, пов'язані з аналізом стартап-проекту.
7. Орієнтовний перелік публікацій.

Загарук А. Я., Касьянов П. О. Спотова та ф'ючерсна торгівля як засіб хеджування для алгоритмічної торгівлі на криптобіржі у східноєвропейському регіоні. Системні науки та інформатика: збірник доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Системні науки та інформатика», 02–03 грудня 2025 року, Київ. К., НН ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025, 6 с.

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання: 01.09.2025

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації (МД)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення зі структурою МД згідно з Положенням про державну атестацію студентів НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»	01.09.2025 – 20.09.2025	Виконано
2	Ознайомлення з ДСТУ 3008:2015	20.09.2025 – 05.10.2025	Виконано
3	Перший розділ. Огляд літературно інформаційних жерел. Аналіз предметної області	05.10.2025 – 15.10.2025	Виконано
4	Другий розділ. Розробка теоретичного узагальнення методу.	15.10.2025 – 25.10.2025	Виконано
5	Третій розділ. Розробка програмного забезпечення.	25.10.2025 – 10.11.2025	Виконано
6	Третій розділ. Робота над практичним розділом магістерської дисертації.	10.11.2025 – 30.11.2025	Виконано
7	Четвертий розділ. Стартап-проект.	01.12.2025 – 15.12.2025	Виконано

Студент

\_\_\_\_\_ Андрій ЗАГАРУК

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ Павло КАСЬЯНОВ

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 108 с., 4 рис., 23 табл., 1 дод., 18 джерел.

СПОТОВА ТОРГІВЛЯ, Ф'ЮЧЕРСИ, ХЕДЖУВАННЯ,  
ВОЛАТИЛЬНІСТЬ, ЛАНЦЮГИ МАРКОВА, АЛГОРИТМІЧНА ТОРГІВЛЯ

Тема: спотова та ф'ючерсна торгівля як засіб хеджування для алгоритмічної торгівлі на криптобіржі у східноєвропейському регіоні.

Об'єкт дослідження: процес хеджування ризиків у алгоритмічній торгівлі на криптовалютних ринках.

Предмет дослідження: методи аналізу волатильності, моделі переходів між ринковими станами та механізми застосування спотових і ф'ючерсних інструментів у системах алгоритмічного хеджування.

Мета роботи: створення моделі та програмного модуля для підтримки прийняття рішень, який забезпечує хеджування ризиків на основі аналізу волатильності та використання спотових і ф'ючерсних інструментів.

Методи дослідження: статистичний аналіз часових рядів, моделі волатильності, ланцюги Маркова, оцінювання перехідних ймовірностей, методи сценарного моделювання, алгоритмічні стратегії хеджування.

Актуальність: розроблена модель є необхідною для алгоритмічних трейдерів та аналітиків, які працюють з високоволатильними криптоактивами й потребують інструментів оперативного хеджування ризиків. Система дозволяє визначати ринкові стани та обирати оптимальні дії між спотовими і ф'ючерсними інструментами, що підвищує стабільність торгових стратегій у нестійкому ринковому середовищі.

Результати роботи: розроблено систему оцінювання ризиків і очікуваних збитків за різних стратегій хеджування. Реалізовано програмний модуль мовою Python, який аналізує ринкові стани, розраховує оптимальні дії агента та моделює поведінку торгової стратегії на історичних даних.

## ABSTRACT

Master's thesis: 108 pages, 4 figures, 23 tables, 1 appendix, 18 references.

SPOT TRADING, FUTURES, HEDGING, VOLATILITY, MARKOV CHAINS, ALGORITHMIC TRADING

Topic: Spot and futures trading as a hedging tool for algorithmic trading on a cryptocurrency exchange in the Eastern European region.

Object of research: the process of risk hedging in algorithmic trading on cryptocurrency markets.

Subject of research: methods of volatility analysis, models of transitions between market states, and mechanisms of applying spot and futures instruments in algorithmic hedging systems.

Purpose of the study: developing a model and a software module that supports decision making and provides risk hedging based on volatility analysis and the use of spot and futures instruments.

Research methods: statistical analysis of time series, volatility models, Markov chains, transition probability estimation, scenario modelling methods, algorithmic hedging strategies.

Relevance: the developed model is essential for algorithmic traders and analysts working with highly volatile cryptoassets who require tools for rapid risk hedging.

The system identifies market states and selects optimal actions between spot and futures instruments, enhancing the stability of trading strategies in unstable market environments.

Results: a system for assessing risks and Expected Losses under various hedging strategies has been developed. A Python software module has been implemented that analyses market states, calculates the agent's optimal actions, and simulates the behaviour of the trading strategy on historical data.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СПОТОВОЇ ТА Ф'ЮЧЕРСНОЇ ТОРГІВЛІ НА КРИПТОВАЛЮТНИХ РИНКАХ .....	13
1.1 Особливості криптовалютного ринку та його учасники.....	13
1.2 Спотова торгівля: визначення, механізми, ринкові моделі.....	15
1.3 Ф'ючерсна торгівля: види контрактів, маржинальні вимоги, ліквідації .....	17
1.4 Порівняння спотових та ф'ючерських інструментів у контексті хеджування .....	19
1.5 Ризики та волатильність криптовалют: природа, джерела та вплив на торгові стратегії.....	21
1.5.1 Природа волатильності криптовалют .....	21
1.5.2 Джерела ризиків .....	22
1.5.3 Вплив волатильності на торгові стратегії.....	24
1.6 Регуляторні особливості криптовалютного ринку у східноєвропейському регіоні .....	26
1.7 Висновки до розділу 1 .....	27
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВОЛАТИЛЬНОСТІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ В АЛГОРИТМІЧНІЙ ТОРГІВЛІ .....	29
2.1 Поняття волатильності та її роль у процесі хеджування криптовалютних активів .....	29
2.2 Класифікація станів ринку та формування марківських моделей .....	31
2.3 Оцінювання перехідних ймовірностей між ринковими станами.....	32
2.4 Сценарний аналіз ринку на основі ланцюгів Маркова .....	34
2.5 Моделювання очікуваних збитків (Expected Loss) для різних торгових рішень .....	37
2.6 Порівняння ризикових профілів для спотових та ф'ючерських інструментів.....	39
2.7 Висновки до розділу 2 .....	41

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ХЕДЖУВАННЯ ДЛЯ АЛГОРИТМІЧНОЇ ТОРГІВЛІ.....	43
3.1 Загальна архітектура моделі та вибір методології хеджування .....	43
3.2 Формалізація ринкових станів та дій торгового агента .....	44
3.3 Побудова функції винагороди та оцінка ефективності торгових рішень.....	47
3.4 Розрахунок очікуваних збитків для альтернативних стратегій хеджування .....	50
3.5 Моделювання поведінки стратегії за різних сценаріїв волатильності .....	51
3.6 Реалізація програмного модуля алгоритмічного хеджування .....	53
3.6.1 Загальна структура програмного модуля.....	53
3.6.2 Модуль обробки ринкових даних та визначення ринкового стану .	54
3.6.3 Реалізація функції винагороди та інтерфейс взаємодії з агентом ...	55
3.6.4 Модуль алгоритму Value Iteration та побудова оптимальної політики .....	56
3.6.5 Модуль симуляції стратегії та інтеграція результатів .....	57
3.6.6 Формат вихідних результатів та інтеграція аналітики у програмний модуль.....	59
3.7 Висновки по розділу 3 .....	61
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ВЛАСНОГО СТАРТАП-ПРОЄКТУ .....	63
4.1 План розробки стартап та масштабування його на ринку .....	63
4.2 Опис ідеї стартап-проєкту.....	65
4.3 Технологічний аудит ідеї проєкту .....	67
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту .....	69
4.5 Розроблення ринкової стратегії стартап-проєкту .....	76
4.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту .....	78
4.7 Висновки до розділу 4 .....	80
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	85
ДОДАТОК А ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ .....	87

## ВСТУП

Стрімкий розвиток криптовалютних ринків за останні роки відкрив нову епоху у функціонуванні фінансових систем та формуванні торгових стратегій. Цифрові активи перетворилися з нішевого інноваційного явища на повноцінний сегмент глобальної економіки, що поєднує у собі високу технологічність, децентралізовану інфраструктуру та максимальну відкритість для широкого кола учасників. Водночас криптовалютний ринок залишається високо волатильним і нестабільним середовищем, де короткострокові зміни настроїв здатні спричинити різкі коливання цін, що вимагає ефективних механізмів управління ризиками. У таких умовах особливої актуальності набуває використання алгоритмічних методів аналізу ринку, моделювання поведінки активів та застосування інструментів хеджування.

Одним із ключових напрямів розвитку алгоритмічної торгівлі є інтеграція спотових і ф'ючерсних фінансових інструментів. Спотовий ринок забезпечує базову ліквідність і формує об'єктивну ринкову ціну активу, тоді як ф'ючерсні контракти дозволяють нейтралізувати ризик небажаних цінових рухів. Саме взаємодія цих двох сегментів створює простір для побудови збалансованих торгових систем, що здатні протидіяти волатильності та забезпечувати більш прогнозований результат. Проте ефективне використання таких підходів потребує розуміння природи ринкових коливань, їхніх джерел, структури та закономірностей переходу між режимами ринку.

Волатильність криптовалют значно перевищує аналогічні показники на традиційних ринках, що обумовлено низкою факторів: низькою глибиною ринку порівняно з фондовими активами, домінуванням роздрібних трейдерів у структурі учасників, високою чутливістю до інформаційних тригерів та відсутністю уніфікованого регуляторного середовища. Ринкові шоки, новинні події, оновлення протоколів, хардфорки чи навіть активність великих гравців здатні призвести до раптових змін напрямку тренду. Для алгоритмічних систем

це створює як можливості, так і серйозні виклики, адже навіть добре оптимізована стратегія може втратити ефективність, якщо не враховує змін у режимності ринку.

У цьому контексті особливо важливими стають моделі, що базуються на класифікації станів ринку та оцінюванні ймовірностей переходу між ними. Одним із найпоширеніших підходів є використання ланцюгів Маркова, які дозволяють формалізувати ринкову поведінку у вигляді набору станів з різним рівнем волатильності та ризику. Такі моделі надають змогу оцінювати імовірний розвиток ринкової динаміки, прогнозувати потенційні сценарії зміни режимів та адаптувати торгову стратегію залежно від того, який стан є найімовірнішим у найближчій перспективі. Для алгоритмічних методів хеджування це особливо цінно, адже дозволяє враховувати не лише поточний стан ринку, а й можливі майбутні ризики.

Актуальність застосування марківських моделей та методів аналізу волатильності посилюється тим, що криптовалютний ринок у східноєвропейському регіоні перебуває на етапі активного становлення. Регуляторні норми постійно змінюються, а підходи різних країн до регулювання цифрових активів є неоднорідними. Це створює специфічні умови для розвитку трейдингу та формування інфраструктури алгоритмічних систем. У деяких юрисдикціях криптовалюти отримали чітке правове визначення, в інших - залишаються у «сірій зоні», що впливає на доступність деривативів, вимоги до маржинальних операцій та рівень правового захисту. В умовах таких регуляторних коливань потреба у комплексних моделях управління ризиками стає ще більш нагальною.

Одним із ключових завдань у побудові ефективної торгової системи є здатність оцінювати очікувані збитки та ризики за різних сценаріїв. Такі показники як Value at Risk та Expected Loss дозволяють кількісно визначати максимально можливий рівень втрат з певною ймовірністю, що робить їх фундаментальними інструментами для ризик менеджменту. Особливої

актуальності вони набувають у алгоритмічних моделях, де кожна торговельна дія має бути обґрунтованою та математично перевіреною. Порівняння цих показників на спотовому та ф'ючерсному ринках дозволяє оцінити, як саме різні ринкові інструменти реагують на зміни волатильності та які стратегії можуть забезпечити найбільш ефективно хеджування. У такий спосіб формуються підходи до оптимізації позицій, тестування стійкості моделей та визначення ефективності інструментів у різних станах ринку.

Використання історичних даних у межах моделювання має ще одну перевагу. Воно дозволяє перевіряти поведінку торгових стратегій у періоди криз, перегріву ринку, різких корекцій та флетових фаз. Завдяки цьому система підтримки прийняття рішень може не тільки прогнозувати майбутні стани ринку, але й враховувати досвід минулих перехідних фаз. Аналіз часових рядів криптовалютних котирувань допомагає визначити, які з показників волатильності мають найбільшу прогностичну силу, які патерни ринку повторюються найчастіше та які стани ринку мають найбільшу схильність до переходу у режим високого ризику. Це створює підґрунтя для визначення оптимальних стратегій хеджування в кожному конкретному випадку.

В умовах Східної Європи питання управління ризиками має додаткову специфіку через особливості ринкової інфраструктури та регуляторного середовища. Криптовалютні біржі, орієнтовані на цей регіон, мають різний рівень доступності деривативів, торгових пар і механізмів маржинальної торгівлі. Деякі платформи підтримують лише базові інструменти, тоді як інші пропонують розширені можливості, включно з ф'ючерсами, можливістю хеджувати ризики та застосовувати алгоритмічні моделі. Така нерівномірність створює умови, в яких ефективна система підтримки прийняття рішень має враховувати різноманіття підходів та адаптуватися до доступного функціоналу конкретної біржі. У цьому контексті особливо важливим стає використання універсальних моделей, які можуть працювати з різними джерелами даних та обмеженнями.

Результатом поєднання вищезазначених підходів стає створення цілісної системи підтримки прийняття рішень, здатної аналізувати волатильність криптовалютного ринку на основі історичних даних, ідентифікувати ключові стани ринку та прогнозувати їх еволюцію за допомогою моделей на основі ланцюгів Маркова. Така система може моделювати стратегії хеджування на основі спотових та ф'ючерсних інструментів, оцінювати ймовірність переходу ринку у стан підвищеного ризику та пропонувати оптимальні дії для зменшення збитковості. Це дозволяє забезпечити стабільність алгоритмічних стратегій навіть у періоди значних ринкових коливань.

Таким чином, дослідження поєднує комплексний аналіз волатильності, методи прогнозування станів ринку, практичні інструменти хеджування та можливості автоматизації рішень. Воно має на меті створити інтелектуальну основу для побудови адаптивної торгової системи, що дозволить підвищити ефективність алгоритмічної торгівлі на криптовалютних біржах Східної Європи. Отримані результати сприятимуть формуванню більш стабільних і передбачуваних стратегій, а також слугуватимуть базою для подальших досліджень і вдосконалення моделей управління ризиками у сфері цифрових активів.

## **РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СПОТОВОЇ ТА Ф'ЮЧЕРСНОЇ ТОРГІВЛІ НА КРИПТОВАЛЮТНИХ РИНКАХ**

Розвиток криптовалютних ринків упродовж останнього десятиліття створив нові можливості для інвесторів і трейдерів, водночас посиливши потребу в ефективних інструментах управління ризиками. Серед таких інструментів важливе місце займають спотова та ф'ючерсна торгівля, які стали фундаментальними складовими сучасних алгоритмічних стратегій. Їхнє поєднання дає змогу не лише оптимізувати торгові рішення, а й забезпечувати стабільність результатів у середовищі підвищеної волатильності криптоактивів.

### **1.1 Особливості криптовалютного ринку та його учасники**

Криптовалютний ринок вирізняється високою динамічністю, глобальністю та технологічною специфікою, що формує унікальні умови для торгівлі й управління ризиками. На відміну від традиційних фінансових платформ, ринок цифрових активів працює цілодобово, без вихідних та святкових днів, що створює нерівномірність ліквідності протягом доби та різних часових поясів [5]. Це змушує трейдерів та алгоритмічні системи адаптуватися до постійної зміни ринкових умов і враховувати циклічні коливання активності учасників.

Однією з ключових особливостей є фрагментація ліквідності. Котирування на різних централізованих біржах, децентралізованих платформах та OTC-майданчиках можуть суттєво відрізнятися [7]. Це формує широкі можливості для арбітражу, але водночас ускладнює точне визначення справедливої ринкової ціни. Підвищена волатильність є ще однією характерною рисою крипторинку: ціни багатьох активів можуть змінюватися

на десятки відсотків у межах кількох годин. Така нестабільність спричинена як низькою капіталізацією окремих токенів, так і високою чутливістю ринку до новин, твітів, регуляторних рішень чи навіть великих угод окремих гравців.

Важливе значення має інтенсивне використання кредитного плеча. Багато бірж пропонують маржинальну торгівлю та ф'ючерси з великим плечем, що дає змогу трейдерам суттєво збільшувати потенційний прибуток, але одночасно посилює ризик масових ліквідацій. Ланцюгові ліквідації (liquidation cascades) часто стають каталізаторами різких цінових рухів і підсилюють нестабільність у моменти високої напруги на ринку. Додатковою особливістю є технологічна залежність: швидкість обробки ордерів, якість маркет-дата, затримки у мережі та надійність алгоритмів безпосередньо впливають на результативність торгівлі.

Крипторинки також має суттєві операційні та безпекові ризики. До них належать злами централізованих бірж, помилки у смарт-контрактах децентралізованих протоколів, збійні оновлення, інсайдерські дії чи проблеми з виведенням коштів. На відміну від традиційних ринків, стандартизовані механізми страхування чи офіційні регуляторні гарантії тут розвинені слабше або взагалі відсутні. Регуляторна невизначеність також відіграє значну роль: у різних країнах криптоактиви можуть трактуватися як товари, цінні папери, окремий клас активів або навіть як заборонені фінансові інструменти, що визначає рівень правового захисту та доступні види торгівлі.

Структура інструментів на криптовалютному ринку охоплює спотові операції, маржинальну торгівлю, ф'ючерси, perpetual-контракти, опціони, свопи та різноманітні структуровані продукти. Спотовий сегмент є фундаментом формування ціни більшості інших інструментів. Ф'ючерсна торгівля, особливо perpetual-контракти, стала ключовою частиною ринку завдяки зручності використання, відсутності дати експірації та механізму funding rate, який регулює відхилення маржинальних цін від спотових.

Учасники криптовалютного ринку формують різномірну екосистему. Ритейл-трейдери становлять значну частку загальної кількості учасників і часто діють емоційно, реагуючи на новини, соціальні мережі та тренди. Саме їхня активність здатна створювати хвилі ажіотажу або паніки. Інституційні інвестори займають більш обережну позицію та оперують значно більшими обсягами. Вони зазвичай орієнтуються на довгострокові стратегії, диверсифікацію та хеджування ризику, працюючи через кастодіальні рішення, OTC-канали або спеціалізованих брокерів.

Маркет-мейкери забезпечують ліквідність і стабільність котирувань, розташовуючи ордери з обох боків книги. Їхня роль надзвичайно важлива, адже без достатньої глибини ринку алгоритмічна торгівля стає менш ефективною, а ризик прослизання зростає. До екосистеми також належать алгоритмічні трейдери, які використовують математичні моделі для арбітражу, маркет-мейкінгу чи прогнозування напрямку руху ціни. Додатково присутні майнери та валідатори, що забезпечують роботу блокчейнів, а також розробники додатків і протоколів, які створюють інфраструктуру ринку.

Усі ці особливості та типи учасників формують середовище, яке суттєво відрізняється від класичних фінансових ринків і потребує відповідних підходів до ризик-менеджменту, хеджування та побудови алгоритмічних стратегій. Це робить розуміння структури криптовалютного ринку ключовою передумовою для ефективного використання спотової та ф'ючерсної торгівлі як інструментів захисту від волатильності та оптимізації торгових рішень.

## **1.2 Спотова торгівля: визначення, механізми, ринкові моделі**

Спотова торгівля на криптовалютному ринку - це базовий тип операцій, за яких купівля або продаж активу здійснюється з негайним переходом права власності. Саме спотовий сегмент визначає «реальну» ринкову ціну більшості криптоактивів, оскільки укладені угоди відображають поточний баланс попиту

та пропозиції. Для алгоритмічних стратегій спотова торгівля часто виступає точкою відліку, адже від неї залежать котирування деривативів, арбітражні можливості та розрахунок ризиків.

Механізм роботи спотової торгівлі базується на взаємодії трейдерів через книгу ордерів, де учасники розміщують заявки на купівлю чи продаж за конкретною ціною або за ринковою ціною. Біржа виконує функцію посередника, матчингуючи зустрічні заявки. Лімітні ордери формують глибину ринку й визначають потенційні рівні підтримки та опору, тоді як ринкові ордери «забирають» ліквідність, миттєво виконуючись за доступними цінами. У результаті кожна угода фіксує спотову ціну в конкретний момент часу, а сукупність угод відображає загальний рух ринку. На різних біржах ціни можуть відрізнятися через незалежні книги ордерів, відмінності у складі учасників і різну глибину ліквідності.

Важливим аспектом є моделі ринкової структури, які визначають спосіб формування ціни та взаємодії трейдерів. Найпоширенішою моделлю на централізованих біржах є так званий order-book market, або ринок на основі книги ордерів [2]. У цій моделі ціна не встановлюється централізовано — вона є результатом постійної конкуренції між учасниками, які самі пропонують свої курси. Такий підхід забезпечує прозорість, але водночас робить ринок чутливим до змін у ліквідності, швидких входів великих гравців або атаки через маніпулятивні ордери. На децентралізованих платформах переважає модель автоматизованих маркет-мейкерів (АММ), де взаємодія сторін відбувається через пул ліквідності, а ціна визначається математичною формулою. У цій системі немає книги ордерів, а ліквідність забезпечують провайдери, які розміщують свої активи в пул і отримують частину комісій.

Крім основних моделей, існують гібридні підходи, що поєднують властивості СЕХ і DEX, намагаючись зберегти прозорість і швидкість централізованих платформ разом із самостійністю та контрольованістю децентралізованих середовищ. У межах спотового сегменту також працюють

ОТС-дески, які дозволяють великим учасникам здійснювати угоди без впливу на ринкову ціну, оминаючи публічну книгу ордерів. Такий канал важливий для інституційних інвесторів та алгоритмічних стратегій, орієнтованих на великі обсяги.

Спотова торгівля виконує фундаментальну роль у формуванні ринкової екосистеми. Вона визначає референтну ціну активів, забезпечує ліквідність, є основою для хеджування через ф'ючерси та опціони, а також створює середовище для реалізації арбітражних алгоритмів. Розуміння механізмів спотової торгівлі та моделей ціноутворення є критично важливим для побудови ефективних алгоритмічних стратегій та для аналізу ризиків, що супроводжують роботу як у спотових, так і у деривативних сегментах криптовалютного ринку.

### **1.3 Ф'ючерсна торгівля: види контрактів, маржинальні вимоги, ліквідації**

Ф'ючерсна торгівля на криптовалютному ринку є одним із ключових інструментів управління ризиками та спекулятивної активності. Її основна ідея полягає в укладенні контрактів на купівлю або продаж активу в майбутньому за заздалегідь визначеною ціною. На відміну від спотової торгівлі, ф'ючерси не передбачають фактичного переходу криптовалюти між сторонами. Їхня мета — фіксація ціни та отримання прибутку за рахунок змін ринкових котирувань, що робить цей інструмент універсальним як для хеджування, так і для активної торгівлі.

Ф'ючерсні контракти у криптосередовищі поділяються на два основні типи: стандартні строкові контракти з визначеною датою експірації та perpetual-контракти, які не мають терміну завершення. Строкові ф'ючерси ближчі до класичної моделі традиційних фінансових ринків, де розрахунки відбуваються у фіксований день, а вартість контракту може відхилитися від

спотової ціни залежно від попиту, пропозиції та часу до експірації. Perpetual-контракти стали домінуючим інструментом на криптовалютних біржах завдяки простоті використання та механізму funding rate, який прив'язує їхню ціну до спотової через періодичні виплати між трейдерами [1]. Якщо ціна perpetual-контракту вища за спотову, трейдери з довгою позицією компенсують це коротким позиціям, і навпаки.

Маржинальні вимоги у ф'ючерсній торгівлі визначають розмір застави, яку трейдер повинен мати для відкриття та утримання позиції. Більшість бірж дозволяє використовувати кредитне плече, що збільшує потенційний прибуток, але також підвищує ризик збитків. Початкова маржа (initial margin) є мінімальною сумою, яка необхідна для відкриття позиції, тоді як підтримуюча маржа (maintenance margin) визначає мінімальний рівень, нижче якого позиція стає небезпечною. Якщо вартість активів на рахунку трейдера падає нижче цього рівня, система ініціює процес ліквідації для запобігання подальших збитків для біржі або контрагентів. Це робить маржинальні параметри критичними для управління ризиками, особливо в умовах волатильних рухів.

Ліквідації є одним із найважливіших явищ ф'ючерсної торгівлі та мають значний вплив на загальну динаміку ринку. Під час різких змін ціни велика кількість позицій з високим плечем потрапляє в зону ризику. Автоматичні ліквідації запускаються системою, що часто створює лавиноподібні ефекти — cascade liquidation. Це може посилити волатильність, спровокувати ще більші цінові рухи та збільшити ризики для всіх учасників ринку. На біржах застосовуються механізми захисту, такі як Insurance Fund або авто-делевереджинг (ADL), які допомагають мінімізувати втрати у випадку, коли ліквідації не покриваються повністю за рахунок маржі трейдера.

Ф'ючерсна торгівля відіграє фундаментальну роль у формуванні ринкових очікувань та є ключовим інструментом для хеджування ризиків на криптовалютних ринках. Вона дозволяє трейдерам зменшувати вплив

волатильності, фіксувати прибуток, нейтралізувати ризики спотових позицій та будувати складні алгоритмічні стратегії. Однак через високу волатильність криптоактивів і доступність високого кредитного плеча цей сегмент ринку є також одним із найбільш ризикованих. Саме тому глибоке розуміння механізмів ф'ючерсних контрактів, маржинальних вимог та процесу ліквідацій є критично важливим для застосування ф'ючерсів як ефективного інструменту хеджування та оптимізації алгоритмічних торгових рішень.

#### **1.4 Порівняння спотових та ф'ючерсних інструментів у контексті хеджування**

Спотові та ф'ючерсні інструменти відіграють різні, але взаємодоповнювальні ролі у процесі хеджування ризиків на криптовалютному ринку. Спотовий сегмент забезпечує реальне володіння активами та відображає їхню фактичну ринкову ціну, тоді як ф'ючерсні контракти дозволяють фіксувати майбутню вартість і управляти ціновими коливаннями без необхідності купувати чи продавати базовий актив у момент прийняття рішення. У контексті хеджування ці два інструменти формують основу для побудови ефективних стратегій зниження ризиків, особливо в умовах високої волатильності, характерної для криптовалютних ринків [6].

Спотовий ринок виконує роль базового рівняння, від якого відштовхуються всі похідні інструменти. Хеджування спотових позицій зазвичай здійснюється через протилежну позицію на ф'ючерсному ринку. Наприклад, інвестор, який утримує актив у спотовому портфелі, може зафіксувати потенційний ризик падіння ціни, відкривши коротку позицію у ф'ючерсах. У результаті спотова позиція продовжує визначати довгострокову вартість портфеля, а ф'ючерсна — компенсує тимчасові негативні ринкові рухи. Такий підхід є ефективним у середовищах з частими корекціями,

дозволяючи зменшувати експозицію до волатильності без продажу базового активу.

Ф'ючерси, на відміну від споту, не вимагають великих обсягів капіталу для реалізації хеджуючої стратегії завдяки можливості використання маржі та кредитного плеча [13]. Це знижує вхідний поріг і робить хеджування доступним навіть для учасників із обмеженим капіталом. Однак одночасно кредитне плече збільшує ризик ліквідації у разі різких цінових коливань, що потребує ретельного контролю маржинальних вимог. Крім того, perpetual-контракти можуть зумовлювати додаткові витрати або доходи через механізм *funding rate*, який впливає на економічну ефективність хеджування.

Важливою відмінністю між спотовими та ф'ючерсними інструментами є вплив ліквідності та ринкової структури. Спотові ринки зазвичай мають ширшу та стабільнішу ліквідність, що робить їх більш передбачуваними. Ф'ючерсні ринки часто демонструють вищі обсяги торгів, проте в окремі моменти можуть бути більш чутливими до маніпуляцій і різких рухів, зумовлених масовими ліквідаціями. У межах хеджування ці фактори впливають на точність і вартість реалізації стратегії. Чим менший спред і вищий обсяг на обох сегментах, тим ефективніше працює хеджування.

У результаті спотові та ф'ючерсні інструменти слід розглядати не як конкуренти, а як складові єдиної системи управління ризиками. Спот забезпечує реальну експозицію та довгострокову цінність, тоді як ф'ючерси дозволяють швидко реагувати на зміну ринкової кон'юнктури та «вирівнювати» ризик за допомогою протилежних позицій. Їхня комплексна взаємодія робить можливим створення алгоритмічних стратегій, орієнтованих на стабільність прибутку, контроль волатильності та захист від непередбачуваних ринкових шоків. Такий підхід є особливо актуальним для криптовалютних ринків Східної Європи, де волатильність може бути посилена регіональними та глобальними економічними факторами.

## **1.5 Ризики та волатильність криптовалют: природа, джерела та вплив на торгові стратегії**

Криптовалютні ринки — це такий собі «дикий захід» фінансів: прибутки можуть бути шалені, але й полетіти вниз усе здатне за лічені хвилини. Висока волатильність — це не просто характеристика, а ключова властивість, яка визначає поведінку активів і безпосередньо впливає на хеджування, побудову стратегій та управління ризиками.

### **1.5.1 Природа волатильності криптовалют**

Волатильність криптовалют має глибинну природу, пов'язану зі специфікою цих активів та умовами їхнього функціонування на ринку. На відміну від традиційних фінансових інструментів, чия вартість ґрунтується на фундаментальних показниках або реальній економічній діяльності, більшість криптовалют не має внутрішньої вартості у класичному розумінні. Їхня ціна формується переважно очікуваннями учасників, ринковими настроями, сприйняттям корисності активу та балансом попиту і пропозиції. Відсутність чітких фундаментальних орієнтирів робить ринок надзвичайно чутливим до навіть незначних інформаційних сигналів, що провокує різкі та часто непередбачувані коливання.

Ще одним джерелом природної волатильності є рівень ліквідності. Навіть великі криптовалюти не завжди мають стабільні обсяги торгів, що означає вищу чутливість до крупних ордерів та до змін у глибині ринку. Коли ліквідність знижується, будь-який великий рух - чи то купівля, чи то продаж - здатен миттєво змістити ціну, а в періоди ринкових стресів це призводить до різких обвалів або різкого зростання.

Структура ринку також відіграє ключову роль. Значну частку учасників становлять роздрібні трейдери, які часто приймають рішення імпульсивно, під

впливом FOMO, паніки або чуток. Така емоційна торгівля підсилює вже існуючі цінові коливання. На додачу криптовалютні ринки працюють цілодобово, без вихідних та перерв, тому відсутність «часу на охолодження» призводить до накопичення реакцій на події, що відбуваються навіть у позаринковий для традиційних фінансів час.

Важливою складовою природи волатильності є недорегульованість галузі. Ринок надзвичайно чутливий до новин про регуляторні рішення, судові процеси, обмеження або зміни нормативних політик різних країн. Будь-які заяви великих інституцій чи впливових осіб можуть спричинити хвилю купівлі або продажу. До цього додаються технологічні фактори: хардфорки, оновлення протоколів, атаки на мережі, експлойти смарт-контрактів - усе це часто призводить до миттєвого перерахунку ризиків і відповідного руху цін.

Таким чином, природа волатильності криптовалют є комплексною та багатовимірною. Вона формується поєднанням відсутності фундаментальної вартості, нестабільної ліквідності, емоційної поведінки учасників, регуляторної невизначеності та технологічної складності. Це робить крипторинки одночасно привабливими для високоризикових стратегій і складними для побудови передбачуваних моделей, особливо у контексті алгоритмічної торгівлі та хеджування.

### **1.5.2 Джерела ризиків**

Джерела ризиків на криптовалютному ринку мають багатопланову природу, оскільки походять як із внутрішніх характеристик самих цифрових активів, так і з особливостей ринкової інфраструктури, поведінки учасників та зовнішнього середовища. Одним із ключових джерел ризику є технологічна складність блокчейн-екосистеми. Криптовалюти базуються на програмному коді, і будь-які його недоліки, вразливості або помилки можуть призвести до масштабних наслідків, включно з втратою коштів, зупинкою мережі чи

порушенням її роботи. Хардфорки, оновлення протоколів або атаки на мережі створюють ситуації, у яких трейдери та інвестори стикаються з невизначеністю та необхідністю швидко адаптуватися.

Не менш суттєвим джерелом ризику є ринкова структура, яка, порівняно з традиційними фінансами, залишається більш фрагментованою та менш регульованою. Біржі криптовалют працюють за різними стандартами, відрізняються рівнем захисту, ліквідністю, методами виконання ордерів і правилами щодо клієнтських активів. Проблеми на одній великій біржі можуть миттєво поширитися на весь ринок, як це неодноразово траплялося після зламів або банкрутств важливих майданчиків. До цього додається ризик маніпуляцій: «накачування» ціни, великих спотових і ф'ючерсних угод, які здатні штучно створювати чи посилювати рухи ринку. Через слабку регуляцію подібні маніпуляції трапляються частіше, ніж на фондових чи валютних ринках.

Суттєву роль у формуванні ризиків відіграє поведінка учасників ринку. Оскільки значна частина трейдерів є роздрібними інвесторами, ринок часто реагує непропорційно на новинні події, чутки або соціальні тренди. Масові панічні продажі, надмірний оптимізм під впливом хайпу, сліпе слідування за лідерами думок чи телеграм-каналами створюють середовище, де ціни можуть змінюватися вкрай швидко та непередбачувано. Реакція на глобальні економічні події також не завжди раціональна - криптовалютний ринок здатен то поводитися як «ризиковий актив», то раптом демонструвати поведінку «захисного активу», що додає нестабільності моделям прогнозування.

Нарешті, зовнішні фактори, такі як регуляторні ініціативи, макроекономічні зміни та глобальна політична ситуація, створюють додатковий шар ризиків. Будь-які дії держав або міжнародних організацій щодо заборони торгівлі, обмеження діяльності бірж, оподаткування чи впровадження нових фінансових норм здатні викликати миттєві цінові зміни та довготривалі трендові рухи. Невизначеність регулювання, характерна для

багатьох країн, посилює ризики та ускладнює планування довгострокових стратегій.

У сукупності всі ці фактори формують складний, динамічний і непередбачуваний ландшафт ризиків, який потрібно враховувати при створенні алгоритмічних стратегій, розробці систем хеджування та виборі торгових підходів. Саме ця багатовимірність ризиків робить криптовалютний ринок настільки привабливим для активних стратегій, але водночас і надзвичайно вимогливим до якісного управління ризиками.

### **1.5.3 Вплив волатильності на торгові стратегії**

Волатильність криптовалют безпосередньо визначає ефективність торгових стратегій і формує умови, у яких приймаються рішення щодо входу, виходу, обсягів позицій та використання інструментів хеджування. Для алгоритмічних систем вона є одночасно джерелом можливостей і серйозним викликом, оскільки перетворює ринок на середовище з постійно змінними параметрами [14]. Високі коливання цін можуть забезпечувати значний потенціал для прибутку, проте водночас збільшують ймовірність різких розворотів, що створює підвищений ризик для будь-якої автоматизованої стратегії, яка покладається на стабільність певних ринкових поведінкових патернів.

В умовах високої волатильності зростає важливість правильного калібрування ризик-метрик, зокрема стоп-лоссів, тейк-профітів, рівнів маржі та лімітів на обсяг позиції. Стратегії, які в стабільних ринкових середовищах працюють передбачувано, можуть зіштовхнутися з проблемами через надто часте вибивання стопів або хибні сигнали технічних індикаторів, що погано адаптовані до швидких цінових рухів. Багато класичних моделей, збудованих на припущенні про нормальний розподіл доходностей, стають менш ефективними, оскільки криптовалютні ринки часто демонструють «товсті

хвости» та екстремальні події, що суттєво відхиляються від статистичної норми [11].

Алгоритмічні трейдери вимушені враховувати не лише абсолютний рівень волатильності, але й її структуру: періоди «вибухового» зростання, затяжні фази низьких коливань, а також переходи між цими режимами. Зміна волатильнісного режиму часто призводить до перебудови трендових моделей, руйнування кореляцій та зниження ефективності стратегії, яка не адаптована до таких змін. Саме тому сучасні торгові системи дедалі частіше використовують підхід *volatility-aware*, тобто вбудовують у логіку роботи показники середньої істинної волатильності, адаптивні діапазони та динамічне коригування позиційної ваги відповідно до поточного рівня ринкової турбулентності.

Крім того, волатильність визначає доцільність застосування різних видів хеджування. У спокійні ринкові періоди хедж може здаватися надмірним або невиправдано дорогим, тоді як у періоди різких коливань стає критично необхідним. Для алгоритмічних стратегій це означає необхідність динамічно змінювати підхід до страхування позицій, використовуючи ф'ючерси, опціони або поєднання кількох інструментів для зменшення ризику просідання капіталу [14].

У підсумку, вплив волатильності на торгові стратегії є визначальним. Вона формує ринковий контекст, у якому працюють як класичні підходи, так і сучасні алгоритмічні моделі, підштовхує трейдерів до використання інструментів контролю ризиків та вимагає від системи постійної адаптивності. Стратегія, яка ігнорує волатильність, фактично ігнорує базову природу криптовалютного ринку, а отже приречена на нестабільні результати та підвищену ймовірність втрат.

## 1.6 Регуляторні особливості криптовалютного ринку у східноєвропейському регіоні

Регуляторне середовище криптовалютного ринку у східноєвропейському регіоні є неоднорідним і динамічним, що створює як можливості, так і значні виклики для учасників ринку, зокрема для алгоритмічних трейдерів. Країни регіону перебувають на різних етапах формування нормативної бази: від умовно ліберальних підходів, спрямованих на розвиток цифрової економіки, до консервативних моделей, де криптовалюти сприймаються як потенційна загроза фінансовій стабільності. Така різноманітність підходів формує мозаїчний регуляторний простір, у якому правила гри можуть значно відрізнятись навіть між сусідніми державами.

В умовно прогресивних юрисдикціях криптовалюти розглядаються як цифрові активи, що потребують правового визначення, оподаткування та включення у фінансову систему без надмірних обмежень. У таких країнах активно впроваджуються правила щодо обов'язкової ідентифікації клієнтів, запобігання відмиванню коштів та контролю за транзакціями, що робить ринок більш прозорим і привабливим для інституційних інвесторів. Водночас у інших державах регулювання залишається фрагментарним або навіть суперечливим: криптовалюти можуть визнаватися активами, але відсутні чіткі норми щодо їх обігу, оподаткування чи використання ф'ючерсних інструментів. Це створює ситуацію правової невизначеності, яка ускладнює роботу бірж, трейдерів і фінансових посередників.

Суттєвий вплив на регуляторний ландшафт має зовнішньополітичний та економічний контекст. Регіон має високий рівень інтеграції з європейським ринком, а тому дедалі більше країн послідовно наближають своє законодавство до європейських норм, зокрема до рамок MiCA. Цей вплив проявляється у посиленні вимог до біржових операторів, підвищенні стандартів безпеки зберігання цифрових активів та запровадженні обов'язкових процедур

звітності. У країнах, де фінансова система стикається з підвищеним ризиком тіньових операцій, регулятори традиційно приділяють особливу увагу контролю потоків коштів, що може обмежувати свободу обігу криптовалют, але водночас робить ринок більш безпечним.

Регуляторні особливості у східноєвропейському регіоні впливають не лише на безпосередній доступ до криптовалютних інструментів, а й на розвиток ф'ючерсної торгівлі та похідних ринків. У деяких країнах деривативи на цифрові активи фактично не врегульовані або прирівнюються до високоризикових фінансових продуктів, що обмежує їх використання в алгоритмічних стратегіях хеджування. В інших державах, навпаки, запроваджується поступова легалізація подібних інструментів, що стимулює розвиток більш складних торгових систем та розширює можливості для локальних і міжнародних інвесторів.

Таким чином, регуляторне середовище у східноєвропейському регіоні є складним і нестандартним. Воно поєднує тенденції до лібералізації з посиленням контролю, прагнення інтегруватися у глобальні фінансові стандарти з необхідністю реагувати на локальні виклики. Для алгоритмічної торгівлі це означає потребу враховувати як правові ризики, так і потенційні обмеження щодо доступу до певних інструментів, а також адаптувати свої моделі до специфіки кожного ринку.

## **1.7 Висновки до розділу 1**

У першому розділі було розкрито фундаментальні засади функціонування криптовалютного ринку, які формують основу для подальшого дослідження механізмів хеджування в алгоритмічній торгівлі. Аналіз особливостей криптовалютного середовища показав, що цей ринок є високоволатильним, технологічно складним і структурно фрагментованим, а його учасники характеризуються широкою різноманітністю, що впливає на

поведінку цін та рівень ризиків. Спотова торгівля постає як базова форма обігу цифрових активів, у межах якої відбувається безпосередній обмін криптовалютами за поточними ринковими цінами, тоді як ф'ючерсні інструменти відкривають можливість не лише спекулювати на майбутніх коливаннях, але й ефективно хеджувати ризики, притаманні волатильному ринку.

Порівняння спотових та ф'ючерсних ринків продемонструвало, що кожен із них має свої сильні сторони та обмеження, а вибір інструменту залежить від стратегічних цілей трейдера, рівня ризик-апетиту та необхідності в страхуванні позицій. Особливу увагу було приділено природі волатильності, її джерелам та впливу на алгоритмічні торгові стратегії. Було визначено, що волатильність не лише ускладнює процес прогнозування, а й створює широкі можливості для побудови адаптивних моделей, здатних ефективно працювати в умовах нестабільного ринкового середовища. Складність ризиків, характерних для криптовалют, вимагає комплексного підходу до управління позиціями та використання інструментів хеджування.

Регуляторні особливості східноєвропейського регіону формують додатковий контекст для досліджуваної теми. Нерівномірність законодавчих підходів, різні режими регулювання та рівень інтеграції з європейськими стандартами створюють середовище, у якому трейдери та алгоритмічні системи повинні враховувати правову невизначеність і потенційні бар'єри для використання окремих інструментів. Попри це, тенденція до поступового впорядкування нормативної бази відкриває перспективи для розвитку більш прозорого та безпечного ринку.

У підсумку, розділ 1 заклав теоретичну основу для розуміння функціонування криптовалютних ринків, визначення ролі спотових і ф'ючерсних інструментів та формування уявлення про природу ризиків, які постають перед трейдерами. Ці положення є ключовими для подальшого аналізу алгоритмічних підходів до хеджування, який буде розглянуто в наступних розділах роботи.

## **РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВОЛАТИЛЬНОСТІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ В АЛГОРИТМІЧНІЙ ТОРГІВЛІ**

У цьому розділі зосереджено увагу на підходах і методах, які дозволяють кількісно оцінювати волатильність та ризики, що супроводжують алгоритмічну торгівлю на криптовалютних ринках. Тут розглядаються математичні моделі, статистичні інструменти та практичні техніки, які допомагають трейдерам приймати більш обґрунтовані рішення, прогнозувати ринкову мінливість і будувати стійкі торгові стратегії, адаптовані до умов високої невизначеності.

### **2.1 Поняття волатильності та її роль у процесі хеджування криптовалютних активів**

Волатильність у криптовалютному ринку є фундаментальною характеристикою, що описує інтенсивність та частоту змін цін активів у часі. На відміну від традиційних ринків, де зміни здебільшого плавні та прогнозовані, криптовалюти демонструють різкі коливання, зумовлені низькою глибиною ринку, спекулятивною активністю, впливом новин та загальною відсутністю стабільного регуляторного середовища. Саме тому волатильність стає ключовою змінною, з якою вимушені працювати алгоритмічні трейдери й аналітики ризиків. Вона визначає не лише потенційний рівень доходності, а й масштаби можливих втрат, що робить її центральним елементом будь-якої системи управління ризиками.

У процесі хеджування криптовалютних активів волатильність відіграє подвійну роль. З одного боку, її зростання підштовхує трейдерів до активнішого використання захисних інструментів, таких як ф'ючерси чи опціони, оскільки навіть невеликі ринкові імпульси здатні суттєво змінити загальну позицію портфеля. З іншого боку, надмірна мінливість ускладнює

розрахунок необхідного обсягу хеджу, оскільки оптимальна стратегія повинна враховувати не лише поточну волатильність, а й її можливу динаміку.

Для алгоритмічних стратегій точне вимірювання та прогнозування волатильності є критично важливим. Показники на кшталт історичної волатильності, реалізованої волатильності або індикаторів, що ґрунтуються на даних ринку деривативів, дозволяють моделі підлаштовувати свої параметри в режимі реального часу, реагуючи на структурні зміни ринку. У контексті хеджування це означає здатність більш точно оцінити ризиковий профіль активів та застосувати ефективніший захисний механізм.

На прикладі 30-денної реалізованої волатильності Bitcoin (рис. 2.1) можна побачити, що коливання мають нерівномірний, фазовий характер. Періоди спокійного руху змінюються різкими сплесками, які часто корелюють із ринковими шоками, макроекономічними подіями або збільшенням спекулятивної активності. Це демонструє, що волатильність є не лише числовим індикатором, а цілим процесом, що має властивості циклічності та структурних змін [17].



Рисунок 2.1 Динаміка 30-денної волатильності BTC

Кольорове виділення режимів на графіку дозволяє додатково підкреслити, що високі та низькі рівні волатильності мають різну природу та по-різному впливають на стратегії хеджування. Підвищена волатильність формує агресивніші умови ринку, де ризик різких просідань є максимальним, а ефективне хеджування вимагає оперативного перегляду розміру та типу

захисних позицій. Натомість фази низької волатильності створюють ілюзію стабільності, але часто передують майбутнім ривкам, що робить їх особливо важливими для моделей прогнозування ризиків.

## **2.2 Класифікація станів ринку та формування марківських моделей**

Підхід до аналізу волатильності у контексті алгоритмічної торгівлі часто включає поділ ринку на окремі стани, кожен із яких характеризується власними закономірностями поведінки цін, рівнем ризику та інтенсивністю коливань. Класифікація таких станів є ключовою передумовою для побудови моделей, здатних не лише описувати ринкові процеси, а й прогнозувати їх динаміку. У криптовалютному середовищі, де режимність проявляється особливо яскраво — від тривалих періодів низької активності до раптових імпульсивних фаз — виділення станів ринку дозволяє точніше інтерпретувати поведінку активів і формувати адаптивні торгові стратегії.

Поділ ринку на стани зазвичай ґрунтується на статистичних властивостях волатильності, зокрема її рівні, швидкості зміни, асиметрії та реакції на зовнішні події. У найпростішому випадку ринки класифікують на низьковолатильні й високоволатильні фази, проте для криптовалют цього недостатньо: вони демонструють проміжні стани, а також короточасні локальні збурення, що не вписуються у традиційні двофазні моделі. Тому сучасні системи аналізу часто включають три або чотири стани ринку, серед яких можуть бути фази спокою, помірної активності, підвищеної турбулентності та екстремальних стресових періодів. Такий підхід забезпечує більш точну сегментацію ринку та підвищує якість алгоритмічних моделей керування ризиками.

Для опису переходів між цими станами широко застосовуються марківські моделі - математичні конструкції, що припускають залежність майбутнього стану системи лише від її поточного стану, а не історії розвитку в

цілому [8]. У контексті криптовалютних ринків це означає, що ймовірність переходу від, скажімо, спокійного режиму до високої волатильності визначається тим, у якому режимі ринок перебуває зараз. Формально ймовірність переходу зі стану  $i$  до стану  $j$  протягом одного кроку визначається як:

$$P_{ij} = \Pr(S_{t+1} = j | S_t = i)$$

де  $S_t$  – стан ринку в момент часу  $t$ .

Сукупність таких ймовірностей утворює матрицю переходів, яка відображає динаміку зміни ринкових режимів і дозволяє оцінити стабільність кожного стану, середню тривалість його збереження та схильність ринку до різких або поступових зсувів у волатильності.

Застосування марківських моделей у хеджуванні відкриває можливість прогнозувати не лише рівень ризику, а й характер його зміни. Наприклад, якщо ймовірність переходу до високоволатильного стану зростає, алгоритмічна система може заздалегідь скоригувати розмір або тип хеджуючої позиції, зменшивши потенційні збитки. У той же час низькі ймовірності стресових переходів вказують на стабільність ринку, що дозволяє оптимізувати навантаження на капітал та підвищити ефективність торгових стратегій. Таким чином, класифікація станів ринку та побудова марківських моделей формують основу адаптивного підходу до управління ризиками у високоволатильному криптовалютному середовищі та є важливим інструментом для алгоритмічних систем хеджування.

### **2.3 Оцінювання перехідних ймовірностей між ринковими станами**

Оцінювання перехідних ймовірностей між ринковими станами є ключовим етапом побудови марківських моделей, адже саме від точності цих оцінок залежить здатність моделі відображати реальну динаміку ринку та коректно прогнозувати його подальшу поведінку. У контексті криптовалютних

активів, де режимність ринку змінюється швидко та нерідко непередбачувано, правильне визначення ймовірностей переходів дозволяє алгоритмічним стратегіям вчасно реагувати на посилення турбулентності або навпаки — на стабілізацію умов.

Оцінювання починається з класифікації ринкових станів, яка може базуватися на волатильності, амплітуді цінових коливань, індикаторах імпульсу або комбінованих статистичних ознаках. Коли кожна точка даних віднесена до певного режиму, формується послідовність спостережень за станами ринку у часі. Саме з цієї послідовності й обчислюються перехідні ймовірності. Класичний підхід полягає у підрахунку частоти переходів між станами: якщо ринок перебував у стані А і наступного дня перейшов у стан В, це фіксується як один перехід  $A \rightarrow B$  [12]. Після збору таких переходів по всій вибірці відношення їх кількості до загальної кількості перебувань у стані А дає оцінку ймовірності  $A \rightarrow B$ . Цей метод простий і добре працює на великих вибірках, де частоти переходів достатньо стабільні.

У більш складних випадках застосовують згладжування або баєсівські підходи, особливо коли даних небагато або ринок має властивість «залипати» у певних станах, що призводить до дисбалансу переходів. Наприклад, якщо високоволатильний стан буває рідко, але є критично важливим для управління ризиками, застосовують регуляризацію, яка запобігає занадто низьким або нульовим оцінкам ймовірностей. Також використовуються моделі з експоненційним згладжуванням, де недавні спостереження мають більшу вагу: це особливо актуально для криптовалют, де структура ринку може суттєво змінюватися впродовж коротких часових періодів [3].

Оцінювання перехідних ймовірностей має прямий практичний вплив на моделювання хеджування та ризику. Якщо ймовірність переходу до високої волатильності зростає, система може проактивно збільшити обсяг захисних позицій або обмежити експозицію. Натомість, якщо ринок демонструє високу стабільність у межах низьковолатильного режиму, алгоритм може

оптимізувати розмір торгового плеча, підвищуючи прибутковість. Таким чином, правильно оцінені перехідні ймовірності стають не лише статистичним параметром, а й основою адаптивного управління ризиками, що дозволяє використовувати марківську структуру моделі для прогнозування майбутніх умов ринку.

## **2.4 Сценарний аналіз ринку на основі ланцюгів Маркова**

Сценарний аналіз ринку на основі ланцюгів Маркова дозволяє перетворити історичні патерни ринкової поведінки на набір можливих майбутніх сценаріїв, кожен із яких має свою ймовірність реалізації. На відміну від простих статистичних моделей, що оцінюють волатильність або тренд у відриві від їх режимності, марківський підхід ґрунтується на імовірнісних переходах між заздалегідь визначеними станами ринку. Це робить його особливо корисним для криптовалютних активів, де ринок часто «стрибає» між періодами спокою та хаосу, а традиційні моделі не завжди здатні врахувати різку зміну ринкового середовища.

Сценарний аналіз починається з побудови перехідної матриці, яка описує ймовірності зміни станів ринку з одного часового кроку до іншого. На основі цієї матриці створюються різні траєкторії можливого розвитку подій: ринок може залишатися у поточному стані, поступово переходити до більш волатильного режиму або навпаки — стабілізуватися після періоду підвищених коливань. Кожен такий сценарій не є абстрактною побудовою — він має конкретну ймовірність, отриману на основі історичних даних. Це дозволяє не лише бачити найімовірніший розвиток подій, а й оцінювати ризики реалізації менш бажаних ситуацій, таких як різкий перехід до стресового стану.

Особливо важливою перевагою марківського сценарного аналізу є можливість оцінювати довгострокову поведінку ринку. За допомогою

піднесення матриці переходів до степеня можна прогнозувати, як змінюватиметься ймовірність перебування ринку у певному стані через кілька кроків уперед. Це корисно для алгоритмічних стратегій, які працюють із горизонтом планування від тижнів до місяців. Наприклад, якщо розрахунки показують, що через п'ять кроків значно зросте ймовірність перебування у високоволатильному режимі, стратегія може завчасно знизити ризик або активувати механізми хеджування. Таким чином, марківські сценарії стають інструментом раннього попередження про зміни в ринковій динаміці.

У застосуванні до криптовалютного ринку сценарний аналіз також дає можливість оцінювати поведінку окремих активів у різних станах. Наприклад, можна моделювати зміну прибутковості стратегії при стрибку волатильності або визначати, як змінюється ефективність хеджування у кожному з можливих сценаріїв. Для систем, орієнтованих на управління ризиками, це критично важливо, оскільки дозволяє не лише передбачати майбутні стани ринку, а й формувати план дій для кожного з них. У такий спосіб сценарний аналіз на основі ланцюгів Маркова перетворюється на комплексний інструмент стратегічного планування, що підсилює надійність і адаптивність алгоритмічної торгівлі в умовах високої невизначеності.

Матриця переходів, подана на рисунку 2.2, є центральним елементом побудови марківських моделей, оскільки саме вона формалізує поведінку ринку у вигляді ймовірностей зміни його станів. Вона дозволяє перейти від загальної концепції «режимів волатильності» до кількісного опису того, як часто та наскільки передбачувано ринок перемикається між цими режимами. Кожен рядок матриці відповідає поточному стану ринку, а кожен стовпець — можливому наступному стану. Значення всередині клітинок представляють ймовірність переходу за один часовий крок, що дозволяє оцінювати тривалість та стабільність кожного стану.

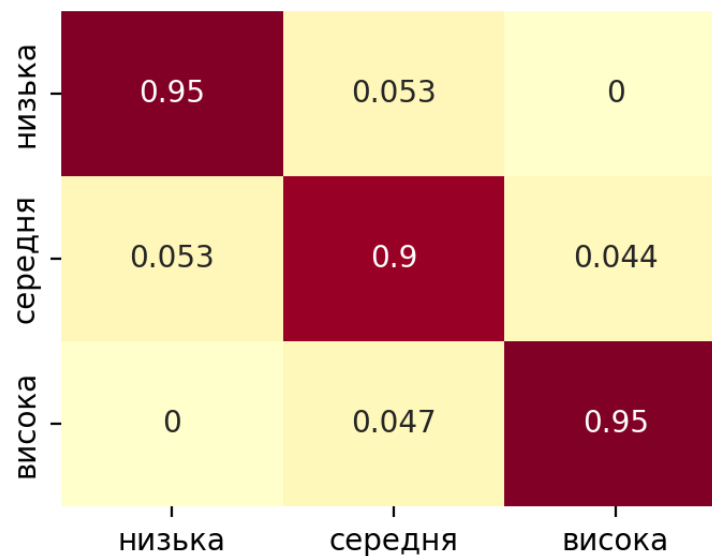


Рисунок 2.2 Матриця переходів стану ринку на прикладі BTC

Високі значення на головній діагоналі матриці означає, що ринок має тенденцію «застрягати» в поточному стані, тобто режим є відносно стабільним. Це характерно, наприклад, для тривалих фаз низької волатильності, коли ринкові учасники поведуться передбачувано, а новини не спричиняють значних цінових стрибків. Натомість підвищені ймовірності переходів між станами поза діагоналлю сигналізують про турбулентність ринку: у такі періоди структура волатильності стає менш стабільною, а зміни режимів відбуваються швидше. Для криптовалютного середовища така поведінка є типовою, оскільки ринок часто реагує на зовнішні тригери миттєво, без інерційності, властивої традиційним фінансовим інструментам.

Інтерпретація матриці переходів має практичне значення для побудови алгоритмічних моделей хеджування. Якщо модель показує, що ймовірність переходу від спокійного стану до високої волатильності зростає, система заздалегідь може збільшити захисну позицію або зменшити експозицію до активів, чутливих до ринкових стрибків. Аналогічно, якщо перехід до стресового стану малоімовірний, алгоритм може звільнити частину капіталу або працювати з підвищеним ризик-лімітом, підвищуючи ефективність стратегії. Таким чином, матриця переходів не лише описує історичну

поведінку ринку, а й виступає інструментом прогнозування, що дозволяє адаптувати хеджування до зміни ринкових умов у режимі реального часу.

Окрім цього, наявність матриці дозволяє тестувати стратегії у різних сценаріях зміни ринкових станів. Можна оцінити, як поведеться алгоритм, якщо ринок раптово увійде у фазу різких коливань, наскільки швидко він зможе адаптуватися та які фінансові наслідки матиме затримка у реакції. Це робить марківський підхід не лише інструментом опису, а й способом моделювання ризику, стійкості та ефективності торгової системи.

## **2.5 Моделювання очікуваних збитків (Expected Loss) для різних торгових рішень**

Оцінювання очікуваних збитків є ключовим елементом управління ризиками в алгоритмічній торгівлі, особливо у середовищі з високою волатильністю, характерному для криптовалютних ринків. Expected Loss (EL) дозволяє кількісно порівнювати різні хеджувальні та торгові стратегії, оцінюючи, наскільки потенційний негативний результат залежить від поточного ринкового стану та ймовірностей його переходу в інші режими. На відміну від загальних показників ризику, таких як волатильність чи Value at Risk, модель EL враховує не тільки масштаб збитків, а й імовірність їх виникнення під впливом динаміки ринкових станів [10].

У контексті марківського моделювання кожне торгове рішення — відкриття позиції, збільшення плеча, зміна хеджу — може мати різну чутливість до стану ринку. Стан із високою волатильністю збільшує ризик різких рухів ціни, тоді як стабільні фази можуть асоціюватися з незначними, але систематичними втратами, наприклад через комісії або короткострокові коливання. Використання матриці переходів дозволяє врахувати ймовірність того, що рішення, прийняте у поточному стані  $S_t = i$ , через один крок зіткнеться з іншим режимом ринку, який впливатиме на фінансовий результат.

Формально очікувані збитки для рішення  $d$ , прийнятого у стані  $i$ , можуть бути записані як:

$$EL_i(d) = \sum_j P_{ij} * L_j(d)$$

де  $P_{ij}$  – ймовірність переходу ринку зі стану  $i$  до стану  $j$ ;

$L_j(d)$  - збитки, яких може зазнати стратегія або позиція  $d$ , якщо ринок перебуватиме у стані  $j$ .

Така формалізація дозволяє не лише оцінювати ризик у поточний момент, а й аналізувати вплив ймовірних майбутніх станів на ефективність торгової системи. Очікувані збитки відображають інтегральний ризик стратегії з урахуванням поведінки ринку, що особливо важливо для хеджування, коли завдання полягає в мінімізації негативних сценаріїв.

Моделювання EL дає змогу порівнювати альтернативні торгові рішення: наприклад, різні рівні хеджу, вибір між спотовою та ф'ючерсною позицією, або застосування алгоритмів, що адаптуються до режимності ринку. Рішення з меншим очікуваним збитком за інших рівних умов вважається більш ефективним з точки зору ризик-менеджменту. Крім того, аналіз EL може виявити, що деякі стратегії, хоч і забезпечують високу прибутковість в окремих станах, стають надмірно ризикованими у фазах турбулентності.

Таким чином, моделювання очікуваних збитків на основі ймовірностей переходу між ринковими станами забезпечує кількісну основу для вибору оптимальних торгових та хеджувальних стратегій. Це дає змогу підвищити стійкість алгоритмічних систем у нестабільному криптовалютному середовищі, де адаптивність до змін режимів є критичною умовою ефективності.

## 2.6 Порівняння ризикових профілів для спотових та ф'ючерсних інструментів

Спотові та ф'ючерсні інструменти відіграють різні ролі в системах алгоритмічної торгівлі та хеджування, а їх ризикові профілі формуються під впливом особливостей механіки ринку, кредитного плеча та чутливості до волатильності. Розуміння відмінностей між цими профілями є ключовим для побудови рішень з мінімізацією ризику, оскільки характеристики збитків, ліквідності та маржинальних вимог для цих інструментів суттєво відрізняються.

Спотовий ринок має більш лінійну структуру ризику: зміна вартості активу повністю відображається у зміні оцінки позиції. Це означає, що збитки на спотових позиціях зазвичай пропорційні руху ціни активу і характеризуються меншою варіативністю порівняно з ф'ючерсами. Водночас спотові інструменти не дозволяють ефективно хеджувати ризик у короткострокових режимах підвищеної турбулентності, оскільки вони не використовують кредитного плеча та не забезпечують можливості гнучкого управління експозицією.

Ф'ючерсні контракти, на відміну від споту, характеризуються нелінійністю ризику, зумовленою маржинальними вимогами та використанням плеча [9]. Волатильність ціни активу спричиняє значно більші коливання прибутку та збитків, що посилюється необхідністю виконання маржинальних зобов'язань у стресових режимах ринку. Це робить ф'ючерси потужним інструментом хеджування, але одночасно підвищує ризик отримання великих короткострокових збитків у випадку різких ринкових рухів.

Для формалізації ризикового профілю ф'ючерсної позиції часто використовують величину варіаційної маржі:

$$PnL_{fut} = \Delta P * Q * multiplier$$

де  $\Delta P$  – зміна ціни базового активу;

$Q$  – розмір позиції;

$Multiplier$  – контрактний коефіцієнт.

У випадку спотової позиції ризик визначається лінійно:

$$PnL_{spot} = \Delta P * Q$$

Порівняння цих формул демонструє, що ф'ючерсний результат масштабується залежно від контрактної специфікації і часто — кредитного плеча, що збільшує як потенційний прибуток, так і збитки.

У рамках цієї роботи порівняння ризикових профілів може бути реалізоване на основі моделювання розподілу збитків для обох інструментів. Наприклад, використання історичних змін ціни дозволяє побудувати емпіричні розподіли  $PnL_{spot}$  та  $PnL_{fut}$ , а також порівняти їхні характеристики — дисперсію, Value at Risk або Expected Loss. Такий підхід здатен виявити, що навіть за однакового напрямку торгівлі ф'ючерси демонструють значно ширше розсіювання результатів, що відповідає їхній природній підвищеній ризиковості.

При бажанні тут можна додати графічну ілюстрацію — наприклад, гістограму або щільність розподілу PnL для спотової та ф'ючерсної позиції, або порівняння їх Expected Loss. Це дозволить наочно підкреслити відмінність між інструментами, однак текстового аналізу цілком достатньо, якщо акцент робиться на теоретичному обґрунтуванні.

На рисунку 2.3 наведено порівняння емпіричних розподілів прибутковості спотової та ф'ючерсної позицій. Через використання мультиплікатора та кредитного плеча ф'ючерсний інструмент демонструє значно ширший розподіл PnL і суттєво більший розмах екстремальних значень. Це проявляється у значно більшому стандартному відхиленні та різко негативних показниках VaR і Expected Loss. На відміну від цього, спотовий розподіл залишається компактним і майже симетричним.

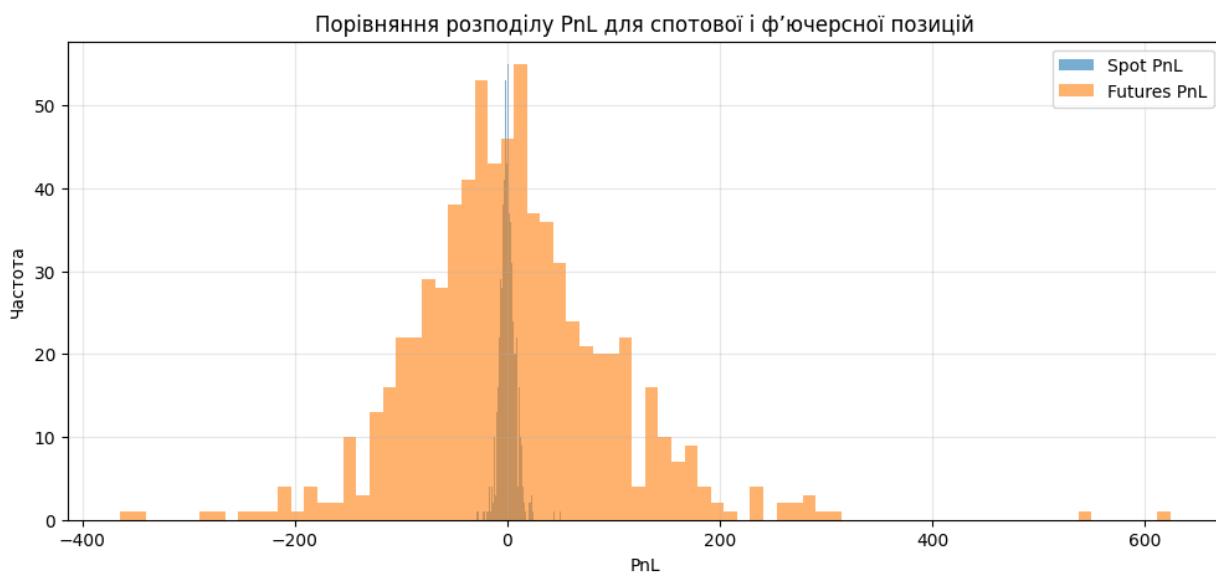


Рисунок 2.3 порівняння емпіричних розподілів прибутковості спотової та ф'ючерсної позицій

Такий контраст відповідає очікуванням щодо ризикових характеристик інструментів: ф'ючерси дають змогу отримати вищі доходи, але їх збиткові сценарії масштабується в десятки разів сильніше. Графік наочно демонструє, що застосування плеча різко збільшує як потенційну прибутковість, так і ймовірність значних збитків, що вимагає застосування жорсткіших методів хеджування та контролю ризику.

## 2.7 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розкрито ключові підходи до аналізу волатильності та моделювання ризиків, що лежать в основі алгоритмічної торгівлі на криптовалютних ринках. Волатильність розглянуто не лише як статистичний показник, а як фундаментальний фактор, що визначає характер поведінки активів, умови хеджування та структуру торгових стратегій. Особливу увагу приділено тому, як її динаміка формує ринкові стани та впливає на ймовірність переходів між ними.

Розглянуті марківські моделі продемонстрували свою здатність відображати режимність криптовалютних ринків і створювати основу для

прогнозування їх подальшого руху. Класифікація станів ринку, формування матриць переходів і сценарний аналіз показали, що навіть у умовах високої невизначеності можливо оцінювати ризики в структурованій та кількісній формі, надаючи алгоритмам інструменти для адаптивної реакції.

Особливу роль відіграли методи оцінювання *expected loss* та порівняння ризикових профілів між спотовими й ф'ючерсними інструментами. Ці підходи дозволяють на практиці побачити різницю у масштабі потенційних збитків, чутливості до ринкових коливань та залежності від таких факторів, як плече чи контрактний множник. Навіть прості симуляції показують, наскільки суттєво змінюється рівень ризику при торгівлі деривативами, що підкреслює необхідність коректного вибору інструментів хеджування.

Узагальнюючи, методи, описані в цьому розділі, формують основу для побудови ефективної системи підтримки прийняття рішень у сфері алгоритмічної торгівлі. Вони дозволяють якісно оцінювати стан ринку, передбачати зміни волатильності, моделювати ризики та адаптуватися до різних ринкових сценаріїв — що є критично важливим для успішного хеджування в середовищі криптовалют із його характерною мінливістю та швидкістю.

## **РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ХЕДЖУВАННЯ ДЛЯ АЛГОРИТМІЧНОЇ ТОРГІВЛІ**

Даний розділ присвячено практичній розробці та впровадженню моделі хеджування, орієнтованої на використання в алгоритмічній торгівлі на криптовалютному ринку. У цьому розділі формується цілісний підхід до побудови системи прийняття рішень, що використовує історичні дані, аналіз волатильності та інтеграцію спотових і ф'ючерсних інструментів. Основна увага приділяється створенню робочої моделі, здатної мінімізувати ризики за рахунок оптимального поєднання торгових стратегій, адаптивних параметрів та механізмів контролю позицій, що забезпечують стабільнішу роботу алгоритмічного трейдера в умовах невизначеності.

### **3.1 Загальна архітектура моделі та вибір методології хеджування**

Архітектура розробленої моделі хеджування побудована як інтегрована система підтримки прийняття рішень, що працює з історичними даними криптовалютного ринку та дозволяє формувати оптимальні торгові позиції на основі аналізу волатильності [2]. В основі рішення лежить поєднання спотових та ф'ючерсних інструментів, що забезпечує можливість часткового або повного перекриття ризиків при зміні ринкових умов [9]. Модель орієнтована на застосування в алгоритмічній торгівлі, де ключову роль відіграє стабільність, швидкість реакції на ринкові коливання та відсутність суб'єктивного впливу людини.

Структурно система складається з кількох взаємопов'язаних модулів: блоку завантаження та попереднього опрацювання історичних цінових рядів, модуля оцінки волатильності, підсистеми генерації торгових сигналів і модуля формування хеджуючої позиції. Комунікація між компонентами реалізується

через стандартизовані набори даних у форматах Excel та CSV, що дозволяє легко масштабувати систему чи адаптувати її під інші криптовалютні інструменти. Центральний елемент архітектури - модуль аналізу волатильності, оскільки саме він визначає рівень ризику та задає параметри для відкриття компенсувальних позицій на ф'ючерсному ринку.

Методологічно модель базується на поєднанні класичного хеджування через ф'ючерсний контракт та адаптивного підходу до керування позицією, який враховує поточну зміну волатильності й трендову структуру ринку. Такий підхід дає можливість гнучко реагувати на динаміку криптовалютного середовища, де різкі стрибки цін є типовим явищем. Для визначення оптимального розміру хеджуючої позиції використовується коефіцієнт хеджування, обчислений на основі кореляції між спотовими й ф'ючерсними цінами та оцінки ризику через історичну або експоненціально-зважену волатильність.

Таким чином, загальна архітектура моделі поєднує аналітичні інструменти для роботи з волатильністю, алгоритмічне формування сигналів та практичні механізми хеджування, створюючи основу для прийняття об'єктивних і стабільних рішень у процесі автоматизованої торгівлі.

### **3.2 Формалізація ринкових станів та дій торгового агента**

Формалізація ринкових станів і дій торгового агента є центральним елементом побудови моделі хеджування, оскільки саме вона переводить динаміку криптовалютного ринку у дискретний та керований простір, придатний для застосування марківських процесів прийняття рішень (Markov Decision Process, MDP). Такий підхід дозволяє побудувати модель, у якій кожний стан ринку має чітку математичну інтерпретацію, а вибір дій агента визначається не інтуїтивно, а через формалізовані правила оптимізації.

В основі опису середовища лежить класифікація ринкової волатильності, яка визначається на основі 30-денних ковзних стандартних відхилень логарифмічних доходностей. Застосування квантильного поділу забезпечує адаптацію моделі до специфіки кожного криптовалютного активу, де абсолютні рівні волатильності можуть суттєво відрізнятися. На виході кожен день торгівлі отримує один із трьох станів: низька, середня або висока волатильність. Така дискретизація дозволяє істотно зменшити складність моделі без втрати інформативності щодо поточного ринкового ризику.

З огляду на те, що модель одночасно працює зі спотовими і ф'ючерсними позиціями, простір станів визначається як декартовий добуток рівнів волатильності та типів позицій. Це означає, що агент оцінює ринок не лише за поточним станом волатильності, а й за тим, у якому інструменті перебуває зараз. Повний перелік станів наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Простір станів середовища

<b>Рівень волатильності</b>	<b>Тип позиції</b>	<b>Формалізований стан</b>
низька	спот	(низька, спот)
низька	ф'ючерс	(низька, ф'ючерс)
середня	спот	(середня, спот)
середня	ф'ючерс	(середня, ф'ючерс)
висока	спот	(висока, спот)
висока	ф'ючерс	(висока, ф'ючерс)

Таким чином, середовище містить шість станів, кожен з яких описує поточну ринкову ситуацію та активну позицію агента. Це забезпечує можливість моделювати поведінку системи окремо для різних фаз ринку, що є особливо важливим у контексті криптовалют, де поведінка цін у різних режимах волатильності кардинально відрізняється.

Наступним кроком є визначення множини доступних дій, з яких агент може обирати оптимальну. У розробленій моделі передбачено чотири базові дії: купівля, продаж, утримання позиції та хеджування. Кожна дія має економічний зміст, що відображає різні стратегії управління ризиками та очікуваною дохідністю. Визначені дії узагальнено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Множина дій торгового агента

<b>Дія</b>	<b>Опис операції</b>
купити	відкриття або збільшення довгої позиції у відповідному інструменті
продати	зменшення експозиції або перехід у коротку позицію
утримувати	збереження поточного стану без змін
хеджувати	відкриття компенсуючої позиції на ф'ючерсному ринку з метою зниження ризику

Формалізація дій завершує структуру основи марківської моделі. У поєднанні з матрицею переходів між рівнями волатильності, яка обчислюється на основі історичних даних, це дозволяє описати ймовірні траєкторії розвитку ринку та визначити, які дії максимізують очікувану винагороду в довгостроковій перспективі. Завдяки цьому модель може будувати політику поведінки агента, оптимізуючи баланс між ризиком та очікуваною дохідністю для кожного можливого ринкового стану.

Як результат, сформована структура станів і дій створює фундамент для застосування алгоритмів динамічної оптимізації, таких як Value Iteration, що буде детально розглянуто у наступних підпунктах.

### 3.3 Побудова функції винагороди та оцінка ефективності торгових рішень

Після формалізації ринкових станів і множини доступних дій наступним етапом є визначення функції винагороди, яка відображає бажаність поведінки торгового агента у кожній конкретній ситуації. Функція винагороди — ключовий елемент марківської моделі прийняття рішень, оскільки саме вона задає, які дії вважаються оптимальними з позиції довгострокової дохідності та керування ризиком. У контексті хеджування винагорода має враховувати не лише потенційну прибутковість, а й ступінь зниження ризику, що робить задачу її побудови багатофакторною.

У розробленій моделі функція винагороди базується на режимі волатильності та типі поточної позиції (спотова або ф'ючерсна). Кожному поєднанню стану та дії приписано значення, що відображає економічний сенс рішення для даного ринкового контексту. Наприклад, у середовищі низької волатильності купівля є привабливою, оскільки ринок характеризується стабільністю та потенціалом помірному зростанню. Навпаки, у періоди високої волатильності система стимулює до продажу або хеджування, оскільки домінує ризик різких коливань цін. Це дозволяє моделі враховувати типові поведінкові закономірності трейдерів і зводити їх до формальних числових значень.

Винагороди у моделі задані у вигляді числової матриці, яка відображає відносні переваги тих чи інших дій. Для кожного стану (комбінації рівня волатильності та типу позиції) задається окрема структура винагород. Це дозволяє моделі сприймати однакову дію по-різному залежно від поточного ринкового контексту. Таким чином, хеджування у період високої волатильності отримує високу позитивну оцінку, тоді як купівля у ті самі періоди може мати негативну винагороду. Така гнучкість робить модель стійкою до різних ринкових сценаріїв та змін у поведінці ціни.

Таблиця 3.3 – Функція винагород торгового агента

<b>Рівень волатильності</b>	<b>Тип позиції</b>	<b>купити</b>	<b>продати</b>	<b>хеджувати</b>	<b>утримувати</b>
низька	спот	3	-1	1	2
середня	спот	1.5	0.2	0.8	1
висока	спот	-2	3	1	-1
низька	ф'ючерс	2	-1	0.5	1
середня	ф'ючерс	1	1	2.5	1
висока	ф'ючерс	-1	2	3	0

Представлена таблиця 3.3 відображає повну функцію винагород торгового агента для всіх можливих комбінацій ринкових станів та типів позицій. Вона слугує формалізованим механізмом оцінки ефективності кожної доступної дії — купівлі, продажу, хеджування та утримання позиції — у контексті поточного рівня волатильності та активної позиції (спотової або ф'ючерсної).

Значення винагород побудовані таким чином, щоб відобразити очікувану бажаність певної дії з точки зору ринкової логіки та ризикового профілю. Наприклад, у середовищі низької волатильності купівля на споті має найвищу позитивну винагороду, що відповідає стабільному ринку та потенціалу для подальшого зростання ціни. Натомість у періоди високої волатильності купівля стає небажаною, що відображено негативним значенням винагороди, тоді як продаж або хеджування отримують значно більші позитивні оцінки.

Для ф'ючерсних позицій структура винагород також враховує роль ф'ючерсів як інструмента ризик-менеджменту: у періоди середньої та високої волатильності хеджування отримує найвищі значення, що стимулює агента

мінімізувати ризикову експозицію. У результаті ця система дозволяє моделі не лише обирати дію, яка максимізує короткострокову вигоду, але й забезпечує узгодженість прийнятих рішень із принципами управління ризиком.

Для оцінки ефективності торгових рішень модель використовує два взаємодоповнюючі підходи. Перший — це довгострокова оптимізація через алгоритм Value Iteration, який обчислює максимально можливу очікувану цінність перебування в кожному стані з урахуванням майбутніх переходів між рівнями волатильності. Алгоритм використовує функцію винагороди разом із матрицею ймовірностей переходів для визначення оптимальної політики — набору рішень, які максимізують дисконтовану суму винагород у довгостроковій перспективі.

Другий підхід — емпірична оцінка ризику за допомогою історично обчислених метрик Expected Loss та Value at Risk (VaR), що розраховуються окремо для спотової та ф'ючерсної позицій. Таке комбінування дозволяє не лише знайти оптимальну дію у математичному сенсі, але й перевірити, наскільки ця дія відповідає реальному ризик-профілю активу. Наприклад, хеджування у періоди високої волатильності не лише має високу винагороду у моделі, але й фактично знижує негативні очікувані збитки, що підтверджується історичними даними.

Поєднання цих двох аспектів - формального оптимізаційного розрахунку та реальних ризикових метрик - забезпечує збалансовану оцінку ефективності торгових рішень. У результаті модель не просто вказує, яку дію варто виконати в конкретному стані, а й демонструє, що така дія є економічно обґрунтованою, оскільки забезпечує кращий баланс між прибутковістю та ризиком у порівнянні з альтернативними стратегіями. Наступні підрозділи деталізують процес обчислення оптимальної політики та результати її застосування для різних ринкових сценаріїв.

### 3.4 Розрахунок очікуваних збитків для альтернативних стратегій хеджування

Оцінювання ефективності хеджуючих стратегій у середовищі стохастичної волатильності передбачає кількісне вимірювання очікуваних збитків, які можуть виникати внаслідок зміни ринкових умов. Для цього модель використовує формальний підхід, що ґрунтується на поєднанні історичних характеристик збитковості активу та матриці ймовірностей переходів між ринковими станами. Такий метод дозволяє зіставити альтернативні стратегії хеджування та визначити, яка з них мінімізує ризик у короткостроковому та довгостроковому горизонтах.

У межах моделі кожен ринковий стан характеризується рівнем волатильності, а кожна стратегія — певним ступенем компенсації ризику (hedge ratio). На основі історичних даних обчислюються середні негативні результати для кожного рівня волатильності. Позначимо через  $L_j(\text{strategy})$  середній очікуваний збиток у стані  $j$  при застосуванні конкретної стратегії хеджування. Величина  $L_j$  відображає реальні збиткові результати, скориговані з урахуванням hedge ratio, який визначає частку ризику, перекритого ф'ючерсною позицією.

Короткостроковий очікуваний збиток визначається через ймовірнісні переходи між ринковими станами. Нехай  $P = (P_{ij})$  – матриця переходів, де  $P_{ij}$  позначає ймовірність переходу зі стану  $i$  у стан  $j$  за один часовий крок. Тоді очікуваний збиток у наступному періоді при перебуванні у стані  $i$  визначається як:

$$EL_i = \sum_j P_{ij} * L_j(\text{strategy})$$

Ця величина характеризує ризик наступного кроку та показує, наскільки конкретна стратегія зменшує середні негативні результати в умовах можливих змін волатильності.

Оскільки алгоритмічна торгівля є процесом із великою кількістю послідовних рішень, доцільно оцінювати і довгострокову ризиковість. Для цього визначається стаціонарний розподіл  $\pi = (\pi_{\text{низька}}, \pi_{\text{середня}}, \pi_{\text{висока}})$  як розв'язок рівняння  $\pi = \pi P, \sum_i \pi_i = 1$ .

Стаціонарний розподіл відображає довгострокову частоту перебування системи в кожному стані при великій кількості переходів. Довгостроковий очікуваний збиток для стратегії тоді визначається як:

$$EL_{long} = \sum_i \pi_i * EL_i$$

Цей показник дає інтегральну характеристику ризиковості стратегії та дозволяє зіставити її із альтернативами незалежно від початкових умов.

Для порівняння стратегій хеджування розглядається множина стратегій, що відрізняються ступенем хеджування: від повної відсутності хеджу до часткового, повного або динамічного хеджування, яке змінюється залежно від рівня волатильності. Кожна стратегія характеризується власними величинами  $L_j, EL_i$  та  $EL_{long}$ , що дозволяє здійснити їх формальне порівняння.

Стратегія вважається ефективнішою, якщо вона забезпечує нижчі значення як короткострокових, так і довгострокових очікуваних збитків. Найменше значення  $EL_{long}$  свідчить про оптимальність стратегії з точки зору мінімізації ризику при багатокроковій динаміці волатильності.

### **3.5 Моделювання поведінки стратегії за різних сценаріїв волатильності**

Моделювання поведінки хеджуючої стратегії в умовах змінної волатильності дає змогу оцінити її роботу в широкому спектрі ринкових ситуацій: типових та екстремальних. Оскільки волатильність криптовалютних

активів суттєво коливається й характеризується нерівномірністю, важливо дослідити, як стратегія реагує на різні траєкторії переходів між ринковими станами. Саме тому модель застосовує сценарний підхід, у межах якого послідовність станів ринку відтворюється кількома різними способами.

Основні досліджувані сценарії включають детерміновані, стохастичні та стрес-сценарії. У детермінованих сценаріях задається фіксована структура переходів між рівнями волатильності, що дозволяє перевірити поведінку стратегії під час тривалих періодів спокійного чи навпаки турбулентного ринку. Стохастичні сценарії формуються на основі матриці ймовірностей переходів та відтворюють реалістичні ринкові умови, де зміна станів має випадковий характер. Стрес-сценарії моделюють екстремальні умови: різке та тривале зростання волатильності, раптові зсуви структури ринку або повторювані переходи у найбільш ризикові стани.

У кожному сценарії стратегія реагує відповідно до оптимальної політики, отриманої на попередньому етапі моделювання. На кожному часовому кроці фіксується стан ринку, відповідна дія торгового агента та значення миттєвої винагороди. Сукупна ефективність стратегії оцінюється через накопичену винагороду за весь період моделювання:

$$R = \sum_{t=0}^T \gamma^t * R(S_t, \pi * (S_t))$$

де  $R(S_t, \pi * (S_t))$  – винагорода у поточному стані;

$\gamma$  – коефіцієнт дисконтування.

Такий підхід дозволяє оцінити як загальну результативність стратегії, так і її стійкість до різких ринкових змін. Порівняння моделей поведінки у звичайних, стохастичних та стресових режимах дає змогу визначити, наскільки стратегія є точною, чи не погіршується її ефективність у несприятливих умовах та чи здатна вона забезпечувати контроль ризику на довгому горизонті. Моделювання також виявляє відмінності між

альтернативними стратегічними підходами та допомагає обґрунтувати вибір оптимальної політики хеджування в подальшому аналізі.

### **3.6 Реалізація програмного модуля алгоритмічного хеджування**

#### **3.6.1 Загальна структура програмного модуля**

Програмний модуль алгоритмічного хеджування розроблено у вигляді послідовно структурованої системи, що складається з кількох функціональних компонентів, кожен з яких виконує окрему частину логіки моделі. Така модульна архітектура забезпечує масштабованість, прозорість роботи та можливість подальшого розширення алгоритму без порушення вже існуючих механізмів. Усі компоненти взаємодіють між собою через чітко визначені інтерфейси, що дозволяє відокремити алгоритмічну частину від роботи з даними або інструментами аналізу.

Узагальнено програмний модуль складається з таких частин:

- 1) модуль обробки вхідних даних, що відповідає за завантаження, очищення та структурування історичних даних ринку;
- 2) класифікаційний блок, який визначає рівень волатильності для кожного інтервалу даних та будує матрицю переходів між ринковими станами;
- 3) блок формування функції винагороди, який агрегує інформацію про ринковий стан, позицію та дію агента;
- 4) алгоритмічний блок реалізації Value Iteration, де відбувається обчислення оптимальної політики;
- 5) модуль симуляції, який застосовує побудовану політику для аналізу можливих ринкових сценаріїв;
- 6) модуль результатів, що формує вихідні дані, необхідні для аналізу ризиків і прийняття рішень.

Така структура дозволяє відокремити логіку прийняття рішень від підготовки даних, а алгоритмічну частину - від блоків симуляції та візуалізації. Завдяки цьому забезпечується повторюваність результатів, гнучкість у зміні параметрів і можливість швидко адаптувати модуль до інших фінансових активів чи альтернативних моделей волатильності. Повні фрагменти програмного коду, реалізація модулів та приклади роботи наведені у Додатку А.

### **3.6.2 Модуль обробки ринкових даних та визначення ринкового стану**

Модуль обробки ринкових даних виконує ключову функцію у роботі алгоритмічної системи хеджування, оскільки від якості та структури початкових даних залежить коректність усіх подальших обчислень. Основним завданням цього модуля є перетворення сирих історичних даних у формалізований набір ознак, які можуть бути використані алгоритмом Value Iteration та модулем симуляції.

Перший етап роботи модуля передбачає завантаження історичних цінових рядів криптовалюти та попереднє очищення даних від пропусків, аномалій і спотворень. Дані нормалізуються до фіксованих часових інтервалів, після чого розраховуються індикатори, необхідні для оцінки поточного ринкового режиму. Зокрема, модель використовує рухомі стандартні відхилення та локальні зміни очікуваних прибутків для класифікації періодів за рівнем волатильності.

Другий етап включає визначення ринкового стану шляхом категоризації волатильності на дискретні рівні: *низька*, *середня* та *висока*. Це дозволяє інтерпретувати безперервні зміни волатильності у вигляді скінченного набору станів, необхідного для побудови марківської моделі. На основі цієї дискретизації формується матриця переходів між станами, яка відображає

ймовірності зміни ринкового режиму у наступний часовий інтервал. Матриця переходів є критично важливою для подальшого моделювання, оскільки саме вона визначає стохастичну структуру середовища, у якому діє торговий агент.

Результатом роботи модуля є підготовлений датасет із зазначеними станами волатильності, значеннями прибутковості та відповідними ймовірностями переходів. Ці дані передаються до наступних компонентів програмної системи, де використовуються для побудови функції винагороди, оптимальної політики та подальшого моделювання стратегій.

### **3.6.3 Реалізація функції винагороди та інтерфейс взаємодії з агентом**

Модуль реалізації функції винагороди формує основу для прийняття торговим агентом оптимальних рішень у середовищі стохастичної волатильності. Його призначення — забезпечити формальне відображення взаємозв'язку між ринковим станом, типом відкритої позиції, дією агента та відповідним результатом, який система інтерпретує як позитивний або негативний ефект. Цей модуль забезпечує уніфікований інтерфейс між блоком аналізу даних та алгоритмічним ядром Value Iteration.

Використовуючи результати класифікації ринкових станів, функція винагороди призначає кожній комбінації *стан–позиція–дія* числове значення, яке відображає економічну доцільність відповідного рішення. Ці значення формуються на основі аналітичних міркувань щодо поведінки ринку за різних рівнів волатильності, історичних характеристик збитковості та очікуваної ролі хеджування у зменшенні ризику. Наприклад, під час високої волатильності продаж або хеджування отримують вищі позитивні значення, тоді як агресивні дії на кшталт купівлі мають негативну або занижену винагороду. Такий підхід уможливорює моделювання обережної поведінки агента в нестабільних умовах і більш ризикової - в умовах низької волатильності.

Функція винагороди у програмному модулі реалізована у вигляді словника або таблиці відповідностей, що забезпечує швидке отримання значення винагороди для кожного можливого стану. Ключовим аспектом реалізації є уніфікований інтерфейс, який дозволяє алгоритму Value Iteration звертатися до функції винагороди незалежно від складності її внутрішньої структури. Такий підхід спрощує інтеграцію модулів і дає змогу легко доповнювати модель новими діями чи альтернативними формами винагород.

Модуль винагороди не лише передає значення в алгоритм оптимізації, але й використовується на етапі симуляції, де оцінюється поведінка стратегії у різних ринкових сценаріях. Завдяки цьому зберігається внутрішня узгодженість моделі: ті самі правила прийняття рішень, які використовуються під час обчислення оптимальної політики, застосовуються і в ході подальшого тестування стратегії.

#### **3.6.4 Модуль алгоритму Value Iteration та побудова оптимальної політики**

Модуль реалізації алгоритму Value Iteration є центральним елементом програмної системи алгоритмічного хеджування, оскільки саме він визначає оптимальну політику прийняття рішень для торгового агента. Його основною функцією є обчислення максимальної очікуваної цінності перебування в кожному ринковому стані з урахуванням довгострокових наслідків усіх можливих дій. Завдяки цьому агент отримує можливість діяти не лише на основі миттєвих вигод, але й з урахуванням майбутніх ризиків, що є ключовим для побудови ефективної хеджуючої стратегії.

Алгоритм Value Iteration працює з дискретним набором станів ринку, множиною дозволених дій та функцією винагороди, які були сформовані в попередніх модулях. На вході він отримує матрицю переходів між станами та за допомогою послідовних ітерацій обчислює значення функції цінності для

кожного стану. У процесі ітерацій алгоритм оновлює значення очікуваних вигод за рахунок комбінації миттєвої винагороди та зваженого прогнозу майбутньої вигоди, де роль ваги відіграє коефіцієнт дисконтування.

Після досягнення збіжності модель визначає оптимальну дію для кожного стану, так звану оптимальну політику. Вона представляється у вигляді відображення, яке пов'язує кожен ринковий стан із дією, що приносить максимальну очікувану цінність у довгостроковій перспективі. Така політика відображає стратегію поведінки торгового агента: що робити під час низької волатильності, яким чином реагувати на середній рівень волатильності та які заходи застосовувати у періоди високої нестабільності.

У програмному модулі Value Iteration реалізовано у формі окремої функції, що отримує на вхід структури даних попередніх компонентів і повертає оптимальні значення функції цінності та відповідну політику. Модуль також забезпечує можливість гнучкого налаштування параметрів: кількості ітерацій, порога збіжності та коефіцієнта дисконтування. Це дозволяє адаптувати алгоритм до інших типів активів або альтернативних моделей ринку за потреби.

Побудована політика є ключовим результатом обчислювальної частини системи, оскільки саме вона використовується на наступному етапі симуляції для оцінки поведінки стратегії в різних сценаріях волатильності.

### **3.6.5 Модуль симуляції стратегії та інтеграція результатів**

Модуль симуляції відіграє ключову роль у практичному тестуванні алгоритмічної стратегії хеджування. Його основне призначення - відтворити поведінку торгового агента за різних сценаріїв зміни волатильності та оцінити ефективність побудованої політики в умовах, максимально наближених до реальних. На відміну від попередніх модулів, що фокусуються на побудові

моделі та оптимізації рішень, саме симуляція дозволяє оцінити наслідки цих рішень у динамічному середовищі.

На вході модуль отримує оптимальну політику, сформовану алгоритмом Value Iteration, дискретизовані ринкові стани та матрицю переходів між рівнями волатильності. На основі цих даних він генерує послідовність ринкових режимів, яка може бути як стохастичною, так і детермінованою, залежно від обраного сценарію моделювання. У стохастичному режимі наступний стан обирається випадково згідно з імовірностями переходів, що дозволяє відтворювати типові ринкові траєкторії. У детермінованому або стресовому сценаріях послідовність станів задається вручну, що дає змогу аналізувати реакцію стратегії на екстремальні або структурні збурення ринку.

На кожному кроці симуляції агент отримує стан ринку, визначає відповідну дію згідно з оптимальною політикою та фіксує відповідну винагороду. Таким чином формується динамічна послідовність результатів, яка дозволяє обчислювати інтегральні показники ефективності стратегії: накопичену винагороду, середній результат, а також ризикові метрики, такі як Value at Risk та Expected Loss. Це забезпечує можливість комплексної оцінки того, наскільки стратегія не лише оптимальна в теоретичному сенсі, а й практично дієва у різних ринкових умовах.

Додатковою перевагою модуля є можливість порівняння кількох стратегій у межах одного сценарію. Завдяки цьому можна оцінити, як поведінка оптимальної політики відрізняється від альтернатив, наприклад, стратегії без хеджування або з фіксованим hedge ratio. Таке порівняння дозволяє виявити сильні та слабкі сторони обраної моделі та підтвердити доцільність побудованої політики у практичному застосуванні.

### 3.6.6 Формат вихідних результатів та інтеграція аналітики у програмний модуль

Після обчислення оптимальної політики та симуляції поведінки стратегії програмний модуль формує комплексний набір вихідних результатів, що подаються у вигляді інтерактивного аналітичного інтерфейсу. Такий формат дозволяє не лише отримати сукупні числові метрики, а й візуально оцінити роботу моделі за історичними даними.

На виході користувач отримує кілька ключових блоків (рис. 3.1):

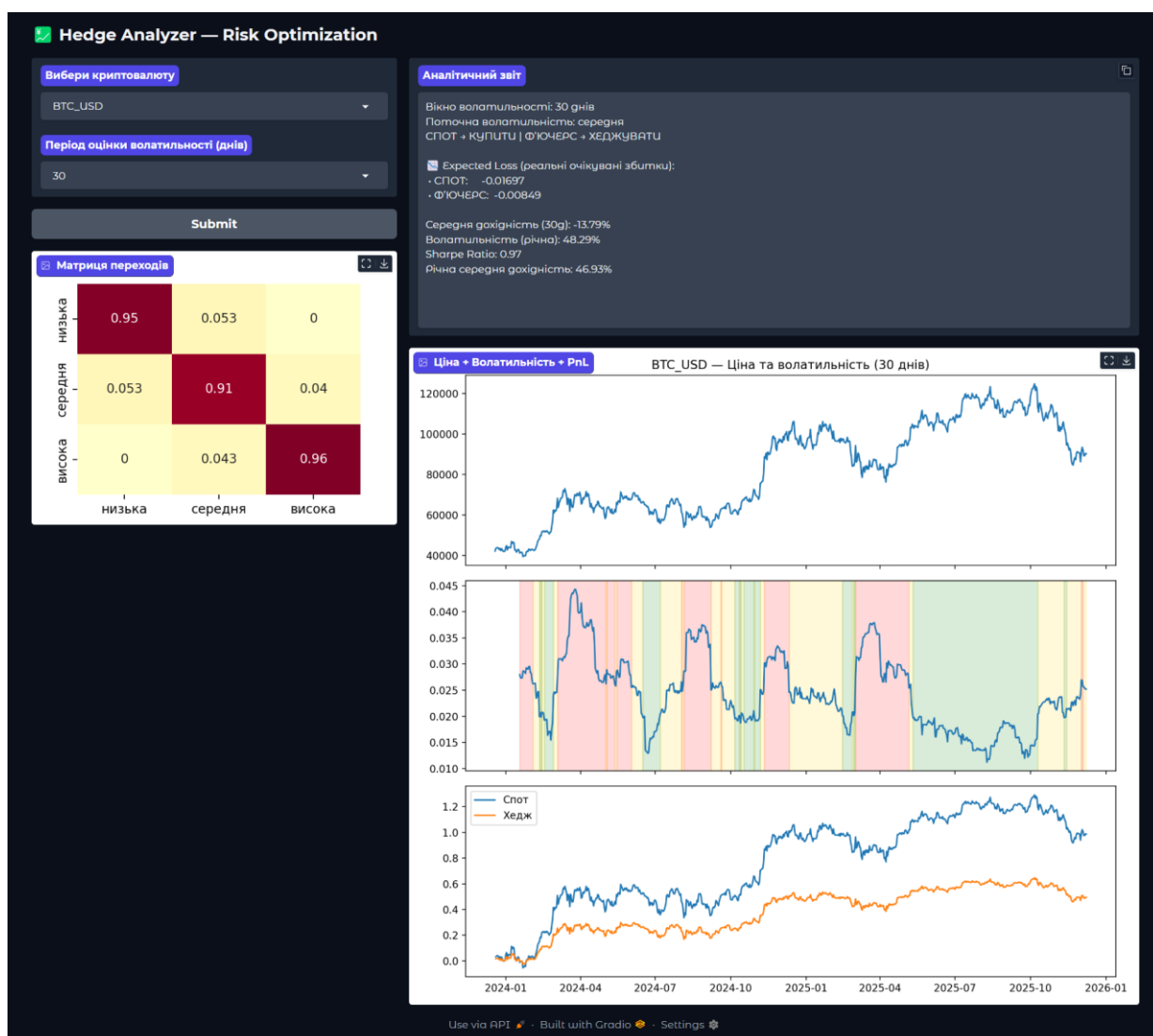


Рисунок 3.1 Приклад виводу СППР на основі волатильності BTC за 30 днів

Вивід складається з таких блоків:

1. Аналітичний звіт, у блоці якого відображаються всі агреговані показники, необхідні для розуміння поведінки стратегії. Зокрема, подається:

- вибраний період оцінки волатильності;
- домінуючий стан волатильності за період;
- поточна рекомендована дія (СПОТ / КУПИТИ / ПРОДАТИ / Ф'ЮЧЕРС / ХЕДЖУВАТИ);
- значення Expected Loss для спотової та ф'ючерсної позицій;
- сукупні показники ефективності (середнє зростання портфеля, волатильність доходності, Sharpe ratio);
- частка часу, коли стратегія була дохідною.

Цей блок є головним інформаційним зведенням і дозволяє користувачу одразу оцінити, наскільки оптимальна політика відповідає реальному ризик-профілю активу.

2. Матриця переходів між станами волатильності відображається у вигляді теплової карти, що наочно демонструє ймовірності переходів між рівнями волатильності (низька → середня → висока). Цей елемент є важливою частиною моделі Markov Decision Process і показує стабільність ринку та частоту змін режимів.

3. Графік історичної ціни активу візуалізує динаміку BTC/USD за весь період, що використовується для симуляції, надаючи базовий контекст для прийнятих рішень.

4. Графік волатильності з кольоровими зонами оптимальних дій дозволяє зіставити волатильність ринку з оптимальною політикою. Зони підсвічуються різними кольорами, де кожен колір відповідає дії:

- купити,
- продати,
- хеджувати,
- утримувати.

Таким чином, користувач може візуально побачити, у які моменти ринок переходив між режимами і як саме реагувала модель.

5. Порівняння PnL спотової та хеджованої стратегії дозволяє проаналізувати дохідність звичайного володіння активом та хеджованого портфеля.

Модель демонструє, чи дійсно хеджування згладжує просадки та стабілізує прибутковість, що є критичним для оцінки ефективності пропонованої методології.

### **3.7 Висновки по розділу 3**

У цьому розділі було розроблено та реалізовано інтегровану модель хеджування для алгоритмічної торгівлі на криптовалютному ринку, побудовану на основі поєднання підходів марківських процесів прийняття рішень та історичного аналізу ризику. Сформована архітектура моделі дозволила визначити структуру торгового агента, набір можливих дій і класифікацію ринкових станів за рівнями волатильності, що забезпечило формалізовану основу для прийняття рішень у змінних ринкових умовах.

Було побудовано функцію винагороди, яка поєднує інтерпретовані економічні стимули та захисні механізми проти надмірного ризику, а також визначено перехідні ймовірності між станами волатильності [4]. Це дало змогу застосувати алгоритм Value Iteration для знаходження оптимальної політики хеджування у довгостроковій перспективі [15]. Додатково проведено розрахунок очікуваних збитків (Expected Loss) та VaR для альтернативних стратегій, що дозволило кількісно оцінити переваги хеджування порівняно зі спотовою торгівлею.

Результати моделювання продемонстрували, що оптимальна політика чітко адаптується до зміни ринкових режимів, а хеджована стратегія забезпечує нижчу амплітуду просадок та стабільнішу прибутковість у

порівнянні з не хеджованою позицією. Візуалізації підтвердили відповідність прийнятих рішень динаміці волатильності та надали інструменти для інтерактивного аналізу роботи моделі.

Загалом розроблений модуль хеджування продемонстрував ефективність як інструмент керування ризиками, так і як компонент системи автоматизованої торгівлі. Отримані результати формують підґрунтя для подальшої оптимізації моделі, розширення набору дій агента та застосування складніших методів оцінювання станів ринку у наступному розділі.

## **РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ВЛАСНОГО СТАРТАП-ПРОЄКТУ**

У сучасному криптовалютному середовищі попит на інструменти, здатні оперативно аналізувати волатильність і допомагати трейдерам приймати обґрунтовані рішення щодо хеджування ризиків, зростає практично щодня. Класичні методи аналізу та управління позиціями часто не встигають за швидкістю змін ринку, а більшість існуючих рішень або надто складні для індивідуальних користувачів, або заточені під вузькі комерційні кейси. Тому виникає потреба в гнучких системах підтримки прийняття рішень, які можуть працювати з історичними даними, моделювати поведінку ринку та надавати зрозумілі рекомендації щодо вибору між спотовими та ф'ючерсними інструментами.

У рамках цього розділу пропонується власний стартап-проект: інтерактивна система підтримки прийняття рішень для аналізу волатильності та оцінки потенціалу хеджування на криптовалютних ринках. Система поєднує аналітичні моделі, історичні дані та елементи алгоритмічної торгівлі, а інтерфейс у вигляді Telegram-бота робить продукт доступним для широкої аудиторії: від роздрібних трейдерів до невеликих торгових команд. Такий підхід дозволяє створити рішення, яке буде не лише технічно ефективним, але й практичним у реальному використанні, закриваючи потребу в простих, швидких та зрозумілих інструментах ризик-менеджменту в умовах високої ринкової невизначеності.

### **4.1 План розробки стартап та масштабування його на ринку**

Спочатку треба провести маркетинговий аналіз, який дозволяє оцінити поточний стан ринку систем аналітики волатильності та рішень для хеджування ризиків на основі історичних даних. Це необхідно для розуміння того, які інструменти вже використовуються трейдерами, у чому полягають

їхні слабкі сторони і які проблеми залишаються невирішеними. Маркетинговий аналіз формує основу для створення загальної концепції системи і попередньої стратегії виходу продукту на ринок.

На цьому етапі мають бути виконані такі дії:

- проведення конкурентного аналізу для визначення наявних рішень та їхніх характеристик;
- формування ідеї проєкту і визначення цільових сегментів користувачів;
- дослідження ринкового середовища з метою виявлення можливостей для виходу продукту.

Наступним кроком є організація самого стартапу. На цьому етапі створюється структура розробки системи і формується поетапний план виконання робіт. Потрібно визначити архітектуру продукту, підготувати базовий функціонал і скласти календарний план реалізації. Також необхідно оцінити ресурси, які знадобляться для роботи з даними, моделювання волатильності і створення Telegram бота, що є ключовим інтерфейсом взаємодії з користувачем.

До цього етапу входять такі завдання:

- побудова загального плану розробки і створення таймлайну запуску MVP;
- оцінка необхідних обчислювальних і програмних ресурсів;
- планування модулів роботи з історичними даними та модулів аналітики волатильності;
- визначення витрат на реалізацію та запуск продукту.

Далі необхідно провести фінансово економічний аналіз та оцінити ризики стартапу. Метою цього етапу є визначення вартості створення і підтримки продукту, а також оцінка його фінансової доцільності. У межах аналізу розраховується собівартість розробки, можливі витрати на інфраструктуру, очікуваний прибуток і прогноз рентабельності. Окремо

проводиться оцінка ризиків, що можуть вплинути на ефективність системи та її розвиток.

Серед ключових завдань:

- визначення обсягу інвестиційних витрат;
- розрахунок показників ефективності і рентабельності;
- оцінка основних ризиків та вибір способів їх запобігання.

Фінальним кроком є розробка заходів з комерціалізації продукту. На цьому етапі формуються підходи до масштабування, вибираються канали просування і визначаються можливі способи залучення інвесторів. Важливо підготувати матеріали, які показують практичну користь продукту, а також продумати розвиток системи для подальшого розширення ринку.

Для цього необхідно:

- дослідити інтереси можливих інвесторів і партнерів;
- скласти інвестиційну пропозицію з описом продукту і варіантами його розвитку;
- визначити канали комунікації та просування продукту.

## 4.2 Опис ідеї стартап-проєкту

Стартап полягає у створенні системи підтримки прийняття рішень, яка допомагає аналізувати волатильність криптовалют та визначати оптимальні рішення щодо хеджування ризиків на основі історичних даних. Суть продукту полягає в тому, що користувач вводить або завантажує дані щодо певної криптовалюти, після чого система аналізує ринкові коливання, обчислює показники ризику і формує рекомендації щодо вибору між спотовими і фючерсними інструментами. Використання такого підходу дозволяє трейдерам отримувати обґрунтовані поради та зменшувати вплив ринкової невизначеності на свої рішення.

У таблиці 4.1 наведена інформаційна карта стартапу.

Таблиця 4.1 – Інформаційна карта стартап-проекту

Назва проекту	VolatiGuide
Автори проекту	Загарук Андрій Ярославович
Коротка анотація	Система аналізує історичні дані криптовалют, обчислює волатильність і рівень ризику та формує рекомендації щодо хеджування. Користувач взаємодіє з системою через веб-сайт, який надає результати аналізу у зручному форматі.
Термін реалізації проекту	6 місяців
Необхідні ресурси	Приміщення або робоче місце з доступом до Інтернету, інструменти для розробки програмного забезпечення, сховище для історичних даних, сервіс для розгортання Telegram бота, фінансові кошти на оплату роботи команди, інфраструктури та підтримки
Опис проблеми, яку вирішує проект	Користувачі криптовалютних ринків часто стикаються з труднощами у визначенні рівня волатильності та оцінці ризиків, особливо під час короткострокової торгівлі. Наявні інструменти складні у використанні або не дають зрозумілих рекомендацій. Система VolatiGuide вирішує цю проблему шляхом автоматизованого аналізу ринку і формування практичних порад щодо хеджування.
Головні цілі та завдання проекту	Метою проекту є створення системи, яка дозволяє автоматично аналізувати волатильність криптовалюти, обчислювати ризики та пропонувати користувачеві оптимальні рішення щодо хеджування. Завданнями проекту є розробка модулю обробки даних, створення алгоритмів аналізу, побудова Telegram бота та забезпечення стабільної роботи системи.

## Продовження таблиці 4.1

Очікувані результати	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Зручний інструмент, який допомагає користувачам розуміти ринкову ситуацію і мінімізувати ризики</li> <li>- Створення MVP, який можна масштабувати для ширшої аудиторії</li> <li>- Зацікавлення трейдерів і малих торгових команд у впровадженні аналітичного інструменту у свою роботу</li> </ul>
----------------------	--

### 4.3 Технологічний аудит ідеї проєкту

Тепер можна розібрати ідею стартапу та провести конкурентний аналіз. У таблиці 4.2 наведений опис ідеї стартапу:

Таблиця 4.2 – Опис ідеї стартапу

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення інтерактивної системи, яка аналізує історичні дані криптовалют, визначає рівень волатильності та формує рекомендації щодо хеджування ризиків. Система працює через веб-сайт і надає користувачеві результати розрахунків у доступному форматі.	Аналіз ринку	Просте отримання аналізу волатильності
	Алгоритмічна торгівля	Рекомендації щодо управління позиціями
	Ризик менеджмент	Можливість краще контролювати ризики

Далі проведемо порівняльний аналіз конкурентів проєкту та наведемо результати у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняльний аналіз конкурентів проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Власний проект	TradingVi ew	Glassnode	Binance Analytics			
1	Якість аналітики	Орієнтована на прикладну волатильність, висока якість прогнозів у вузькій області	Висока, широкі технічні і графічні інструме нти	Висока, глибока on- chain аналітика	Середня, основний фокус на біржеву інформацію		+	
2	Доступність за ціною	безкоштовний MVP, платні модулі для просунутих аналітик	Платні підписки, безкошто вний доступ з обмежен нями	Платні підписки, орієнтовані на професіона лів	Безкоштовн і базові інструмент и для користувачі в біржі		+	
3	Персоналіза ція аналітики	Передбачена персоналізація під стратегії користувача і налаштування рекомендацій	Часткова, через скрипти і індикато ри користув ача	Обмежена персоналіза ція, фокус на готових метриках	Низька персоналіза ція, готові панелі			+
4	Інтеграція з торговими платформам и	Інтеграція з API бірж для хеджування	Підтримк а через брокерсь кі плагіни і сторонні сервіси	Обмежена інтеграція, фокус на аналітиці	Глибока інтеграція з власною біржею			+

Далі проаналізуємо реальність технічно здійснити ідею проекту у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технологічна здійсненність продукту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Використання модулів для обробки історичних даних, розрахунку	Мова програмування Python для реалізації аналітичних моделей	Наявні	Доступні
2	волатильності, аналізу ризиків та побудови Telegram бота	Бібліотеки numpy, seaborn та pandas для статистичного аналізу	Наявні	Доступні
3		Хмарне середовище для зберігання і обробки даних	Наявні, необхідні доопрацювання	Доступні
4		Сервіс Gradio API для взаємодії з користувачем	Наявні	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Python [16]				

#### 4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Далі проведемо попередній аналіз ринку для запуску стартап-проекту (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	15000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Позитивна, стабільне зростання
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні, ринок відкритий
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15%

Тепер проведемо характеристику потенційних клієнтів, які можуть бути зацікавлені в проекті (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреби, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Аналіз волатильності ринку та прогнозування	Роздрібні трейдери	Часто потребують простих рекомендацій і швидких підказок	Простота використання

Продовження таблиці 4.6

2	Інструменти для контролю ризиків	Малі торгові команди	Прагнуть оптимізувати торгові стратегії й автоматизувати частину рішень	Висока точність аналітики
3	Підтримка алгоритмічних стратегій	Алготрейдери та аналітики	Шукають гнучкі інструменти з можливістю підключення до власних систем	Інтеграція через API
4	Розширений аналітичний контроль	Інвестори середнього масштабу	Орієнтовані на довгострокові сигнали і зменшення волатильного ризику	Надійність та стабільність сервісу

Обрахуємо фактори загроз (таблиця 4.7) та можливостей (таблиця 4.8). Проаналізуємо загрози, щоб зрозуміти можливі перешкоди при запуску продукту на ринок. Фактори можливостей же треба обрахувати, щоб знати усі сприятливі умови та по можливості ними скористатися.

Таблиця 4.7 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Наявні потужні аналітичні платформи	Підкреслити унікальність фокусу на волатильності

Продовження таблиці 4.7

2	Швидкість оновлення ринку	Дані у криптовалютах змінюються надто динамічно	Підтримка регулярного оновлення алгоритмів
3	Бар'єри довіри	Користувачам складно довіряти новим інструментам	Проведення демонстрацій, MVP, відкритих звітів

Таблиця 4.8 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Ріст крипторинку	Все більше користувачів цікавляться трейдингом	Активний вихід на масовий сегмент
2	Недостаток інструментів для хеджування	Ніша майже не заповнена	Створення унікальних функцій для ризик-менеджменту
3	Попит на прості аналітичні сервіси	Користувачі не хочуть складних систем	Телеграм інтерфейс як ключова перевага

Далі розглянемо питання конкуренції, а саме визначимо її тип та рівень (таблиця 4.9).

Таблиця 4.9 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною )
1. Вказати тип конкуренції: недосконала конкуренція	Представлено кілька великих гравців та багато дрібних компаній	Можливість швидко зайняти власну нішу

Продовження таблиці 4.9

2. За рівнем конкурентної боротьби: міжнародний	Конкуренти працюють на глобальному фінансовому ринку	Потрібно адаптувати продукт під кілька мов
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Конкуренція в межах фінтех індустрії	Необхідна персоналізація
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Конкуренція з традиційними фінансовими консультантами та автоматизованими системами	Конкуруємо з різними типами аналітичних систем
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Конкуренти відрізняються якістю рекомендацій та функціоналом	Акцент на точність та інноваційність
6. За інтенсивністю: марочна	Присутні відомі бренди з усталеною репутацією	Потрібно вибудовувати бренд сервісу

Далі необхідно виконаємо аналіз конкуренції за моделлю 5 сил конкуренції Майкла Портера (таблиця 4.10).

Таблиця 4.10 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти у галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товарозаміники
	TradingView, Glassnode	Нові аналітичні проекти	Не мають вагомego впливу	Контроль якості рекомендацій, порівняння цін	Точність прогнозів, зручність використання, ціна

Продовження таблиці 4.10

Висновки	Ринок з низькою інтенсивністю конкуренції	Існує потенціал для входження нових моделей	Залежність низька	Клієнти різноманітні	Традиційні фінансові консультанти
----------	---	---	-------------------	----------------------	-----------------------------------

Маючи результати аналізу конкуренції (таблиця 4.10), характеристики ідеї стартап-проекту (таблиця 4.5), характеристики потенційних клієнтів і їх вимоги до продукту (таблиця 4.6) та фактори ринкового середовища (таблиці 4.7 і 4.8) було сформульовано та обґрунтовано перелік факторів конкурентоспроможності (таблиця 4.11).

Таблиця 4.11 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Простота використання	Продукт не обмежений конкретними типами платформ, адже веб-сайт доступний на всіх типах операційних систем
2	Персоналізація	Рекомендації адаптуються під стратегії
3	Точність	Аналітика волатильності базується на математичних моделях
4	Доступність MVP	Користувачі зможуть швидко протестувати продукт

Тепер можна провести аналіз сильних та слабких сторін продукту (таблиця 4.12).

Таблиця 4.12 – Аналіз сильних та слабких сторін продукту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів							
			-3	-2	-1	0	1	2	3	
1	Простота	18								+
2	Персоналізація	12				+				
3	Доступність	17							+	
4	Якість рекомендацій	14				+				

Далі проведемо SWOT-аналіз продукту (таблиця 4.13).

Таблиця 4.13 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<b>Сильні сторони</b> Простота використання Персоналізація інвестиційних порад Точність Доступність MVP Актуальність	<b>Слабкі сторони</b> Відсутність бренду Не розширена база клієнтів Неоптимізовані алгоритми на старті
<b>Можливості</b> Зріст ринку Попит на інструменти для хеджування Можливість виходу на іноземні біржі	<b>Загрози</b> Великі конкуренти Нестабільність крипторинку Зміна регуляторних вимог

Завдяки проведенню SWOT-аналізу, ми змогли визначити сильні та слабкі сторони, можливості та загрози, пов'язані з конкуренцією та плануванням стартап-проекту. Далі спроекуємо альтернативну ринкову поведінку для інтеграції стартап-проекту на ринок та приблизний час реалізації системного комплексу, з урахуванням потенційних проектів, що можуть бути виведені на ринок та наведемо результати у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Альтернативи ринкового впровадження стартап проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Вихід на ринок з MVP	80%	3 місяці
2	Вихід на ринок з повним функціоналом за платну підписку	40%	6 місяців
3	Запуск без інтеграції API	60%	5 місяців

У даному пункті був проведений детальний аналіз ринку та продукту. Також відповідно до результатів проведеного конкурентного аналізу, визначених факторів ринку та його сприятливість, описання ідеї та характеристик стартап-проекту, робимо висновок висновок, що існують дуже сприятливі умови для виходу продукту на ринок.

#### 4.5 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Для розробки ринкової стратегії продукту, у першу чергу, необхідно проаналізувати цільову аудиторію проекту (таблиця 4.15).

Таблиця 4.15 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит у межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Персональні користувачі	Висока	40%	Висока	Середня

Продовження таблиці 4.15

2	Великі бізнеси	Середня	15%	Середня	Середня
3	Фінансові консультанти	Висока	25%	Середня	Середня
4	Інвестиційні фонди	Низька	15%	Низька	Висока
Які цільові групи обрано: 1, 3					

Маючи аналіз цільових груп, далі визначимо базову стратегію розвитку продукту (таблиця 4.16).

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	1 та 3	Диференційованого маркетингу	Масштабування та максимізація оптимальних витрат	Стратегія диференціації

Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (таблиці 4.17, 4.18).

Таблиця 4.17 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
Ні	Так, шукати нових та залучати існуючих	Ні	Стратегія виклику лідера

Таблиця 4.18 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
Універсальність; простота у використанні; якість результатів	Стратегія диференціації	Універсальність; простота у використанні; якість та гарантії; безкоштовне використання при MVP	Система, яка краще всіх покращує якість аналітики волатильності; система з простим інтерфейсом; доступне рішення для масового користувача

#### 4.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Після проведеного комплексного аналізу, можемо повноцінно описати ключові переваги концепції потенційного товару (таблиця 4.19) та побудувати концепцію маркетингових комунікацій (таблиця 4.20).

Таблиця 4.19 – Ключові переваги концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Зменшення ризиків під час торгів	Автоматизована оцінка волатильності криптовалют	Система надає точні та прозорі показники ризику для різних ринкових ситуацій

Продовження таблиці 4.19

2	Прийняття рішень на основі даних	Система формує зрозумілі рекомендації для трейдера	Модель має прямий доступ до даних з бірж, щоб працювати в режимі реального часу
3	Підвищення ефективності торгів	Аналіз історичних даних та сценарне прогнозування	Гнучкість, можливість використання різних джерел даних, адаптація під рівень досвіду трейдера
4	Автоматизація процесів	Спрощення складних етапів аналізу	Інтуїтивний інтерфейс у форматі веб-сайту

Таблиця 4.20 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламно о повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук рішень для зменшення ризиків та автоматизації трейдингу	Telegram communities, криптовалютні форуми, тематичні YouTube-канали	Надійність, точність, доступність	Пояснити, що продукт допомагає уникати зайвих збитків та зменшує невизначеність	Наголос на безпеці рішень та чітких аналітичних показниках
2	Потреба в простому інструменті для щоденного аналізу	Реклама в Telegram, таргетована реклама у соцмережах, TikTok-контент	Простота, швидкість роботи, зручність	Встановити довіру до продукту серед новачків	Демонстрація легкості використання системи у вигляді коротких відео чи кейсів

## Продовження таблиці 4.20

3	Професійні трейдери, що прагнуть оптимізувати стратегії	Профільні сайти, професійні спільноти, виступи на тематичних подкастах	Глибина аналітики, можливість кастомізації	Показати, що інструмент покращує якість стратегій	Наголос на багатофункціональності та гнучкості системи
---	---	--	--	---	--

**4.7 Висновки до розділу 4**

У цьому розділі було здійснено розроблення стартап-проєкту VolatiGuide, який спрямований на створення системи підтримки прийняття рішень для аналізу волатильності та формування рекомендацій з хеджування ризиків на криптовалютних ринках. Було визначено концепцію продукту, сформовано його ключові характеристики та обґрунтовано цінність для основних цільових груп. Встановлено, що ринок демонструє високий потенціал для впровадження подібного рішення завдяки зростанню інтересу до індивідуальних інструментів аналізу та підвищенню ролі автоматизованих систем у трейдингу.

У межах розділу було сформовано комплексну ринкову стратегію, що охоплює визначення цільових сегментів, позиціонування продукту, вибір оптимальної моделі ціноутворення та формування маркетингової програми. Маркетингові інструменти були адаптовані до поведінки користувачів криптовалютних спільнот, що забезпечує ефективність просування продукту на початковому етапі його запуску.

Отримані результати свідчать про доцільність реалізації стартап проєкту та створення передумов для подальшого масштабування, розвитку функціоналу та інтеграції у середовище сучасних цифрових фінансів. Стартап має потенціал для формування стійкої клієнтської бази та посилення своїх

позицій у конкурентному середовищі завдяки поєднанню аналітичної точності та зручності використання.

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволило комплексно розкрити механізми взаємодії спотового та ф'ючерсного ринків у контексті алгоритмічної торгівлі й показало, що поєднання цих інструментів відіграє ключову роль у формуванні ефективних стратегій хеджування. У ході роботи було проаналізовано особливості волатильності криптовалют, динаміку змін ринкових станів та вплив різних факторів на стійкість торговельних систем. Отримані результати демонструють, що ринок цифрових активів має специфічні характеристики, які суттєво відрізняють його від традиційних фінансових інструментів. Це стосується як структури ліквідності, так і природи цінових стрибків, що часто є наслідком інформаційних, технічних або спекулятивних впливів. Саме тому класичні методи управління ризиками потребують адаптації, а інструменти прогнозування мають бути здатними враховувати різні режими ринку.

Особливу увагу в роботі було приділено використанню марківських моделей для аналізу ймовірностей переходу між станами ринку з різним рівнем волатильності. Це дозволило побудувати систему, що здатна ідентифікувати поточний режим ринку та прогнозувати можливі зміни у його структурі. Таке моделювання є важливим елементом сучасної алгоритмічної торгівлі, оскільки воно дозволяє мінімізувати ризики, попереджати настання критичних станів та адаптувати торгові рішення відповідно до змін ринкового середовища. Аналіз очікуваних збитків і показника Value at Risk дав змогу кількісно оцінити потенційну глибину ризиків у кожному зі станів, а також визначити, наскільки ефективним може бути застосування хеджування через ф'ючерсні контракти.

Застосування історичних даних для побудови моделей ризику дозволило відтворити поведінку ринку у різних сценаріях і протестувати, як саме алгоритмічна система реагує на зміну волатильності. Це дало можливість

оцінити, наскільки важливою є адаптивність моделей у контексті криптовалютних активів. Використання спотово ф'ючерсних стратегій показало, що ефективне хеджування залежить не лише від правильного вибору інструментів, але й від того, наскільки система здатна передбачити зміну режиму ринку. Оптимальна комбінація позицій дає змогу значно зменшити втрати у періоди високої волатильності і стабілізувати прибутковість торговельних стратегій.

У процесі дослідження також було враховано особливості ринку Східної Європи, де інфраструктура та рівень доступності торговельних інструментів можуть суттєво відрізнятися залежно від конкретної біржі та регуляторного середовища. Виявлено, що локальні біржі часто пропонують обмежений доступ до деривативів, що робить хеджування через ф'ючерси менш універсальним, проте не менш ефективним за умови правильного вибору біржі та параметрів торгівлі. Це підтверджує важливість побудови адаптивних систем підтримки прийняття рішень, здатних працювати з даними різного формату та враховувати обмеження конкретного ринкового середовища.

Практична частина дослідження підтвердила, що застосування системи підтримки прийняття рішень на основі аналізу волатильності та марківських переходів може суттєво підвищити ефективність алгоритмічної торгівлі. Модель, побудована на історичних даних, продемонструвала здатність відтворювати поведінку ринку під час різних фаз та забезпечувати адекватну реакцію при збільшенні ризику. Аналіз стабільності показників, таких як Expected Loss та Value at Risk, показав, що ф'ючерсні контракти можуть суттєво зменшувати потенційні втрати навіть у періоди різких коливань цін. Це підтверджує доцільність використання хеджування у торгових системах, орієнтованих на криптовалютні ринки, які є особливо чутливими до раптових інформаційних чи технічних впливів.

Результати роботи свідчать, що поєднання спотових та ф'ючерсних інструментів забезпечує кращу стійкість торговельної стратегії у порівнянні з

використанням лише одного ринкового сегмента. Виявлено, що ф'ючерси дозволяють компенсувати збитки, які виникають під час негативних цінових коливань на спотовому ринку, а інтеграція цих інструментів в єдину систему підтримки рішень формує збалансований підхід до управління ризиками. Модель, побудована в рамках дослідження, показала, що використання алгоритмічних методів прогнозування дозволяє не лише своєчасно реагувати на ринкові зміни, але й передбачати їх, що значно підвищує точність і результативність торговельних стратегій.

Значущість проведеного дослідження полягає у тому, що воно об'єднало теоретичні засади оцінювання волатильності, практичні методи хеджування та інструментарій алгоритмічної торгівлі в контексті криптовалютних ринків Східної Європи. Створена система підтримки прийняття рішень може бути використана як основа для подальшої розробки торгових ботів, автоматизованих стратегій та інтелектуальних алгоритмів, які працюють із нестабільними ринками. Крім того, отримані результати можуть бути корисними для практикуючих трейдерів, аналітиків та розробників торговельних систем, оскільки вони демонструють реальну ефективність інструментів хеджування у високоризиковому середовищі.

Подальший розвиток дослідження може включати розширення моделі за рахунок використання додаткових показників ринкового настрою, соціального аналізу, новинних потоків та методів машинного навчання для прогнозування складних патернів ринку. Особливо перспективним напрямом є інтеграція нейромережових методів для визначення оптимальних параметрів хеджування, а також розробка більш гнучких сценарних моделей. Це дозволить підвищити точність прогнозів і адаптивність торговельних систем, що особливо важливо в умовах, коли криптовалютний ринок продовжує розвиватися та ускладнюватися. Таким чином, робота не лише охоплює актуальне завдання, але й відкриває шлях до нових досліджень і практичних застосувань у сфері управління ризиками та алгоритмічної торгівлі.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Alexander C. Market risk analysis, pricing, hedging and trading financial instruments. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2012. 416 p.
2. Cartea A., Penalva J., Jaimungal S. Algorithmic and High-Frequency Trading. Cambridge University Press, 2015. 356 p.
3. Applied quantitative finance / ed. by W. K. Härdle, C. Y.-H. Chen, L. Overbeck. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2017. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54486-0> (дата звернення: 12.10.2025).
4. Artificial intelligence: a modern approach / S. J. Russell et al. Pearson Education, Limited, 2005.
5. Burniske J. T. C., Tatar J. Cryptoassets. McGraw-Hill Education on Brilliance Audio, 2018. 368 p.
6. Chan E. Algorithmic trading: winning strategies and their rationale. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2013. 224 p.
7. Chen M., Badev A., Board F. R. Bitcoin: technical background and data analysis. Lulu Press, Inc., 2015. 39 p.
8. Hamilton J. D. Time series analysis. Princeton University Press, 1994. 816 p.
9. Hull J. C. Options, futures, and other derivatives. Pearson Education, Limited, 2010. 848 p.
10. Jorion P. Value at risk: the new benchmark for managing financial risk. 2nd ed. McGraw-Hill, 2000. 544 p.
11. Mandelbrot B. B. Misbehavior of markets: a fractal view of financial turbulence. Basic Books, 2006. 368 p.
12. Murphy K. P. Machine learning: a probabilistic perspective. MIT Press, 2012. 1104 p.
13. Natenberg S. Option volatility & pricing. McGraw Hill, 2014. 475 p.
14. Prado M. L. d. Advances in financial machine learning. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2018. 400 p.

15. Puterman M. L. Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2005. 684 p.
16. Python documentation. URL: <https://docs.python.org/3/> (дата звернення: 12.12.2025).
17. Tsay R. S. Analysis of financial time series. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2010. 638 p.
18. Загарук А. Я., Касьянов П. О. Спотова та ф'ючерсна торгівля як засіб хеджування для алгоритмічної торгівлі на криптобіржі у східноєвропейському регіоні. Системні науки та інформатика: збірник доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Системні науки та інформатика», 02–03 грудня 2025 року, Київ. К., НН ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025, 6 с.

## ДОДАТОК А ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

```
import matplotlib.pyplot as plt
selected_symbol = 'BTC_USD'
!pip install ccxt
import ccxt
import pandas as pd
import time
from datetime import datetime, timedelta, timezone
from tqdm import tqdm

exchange = ccxt.kraken()

symbols = ['BTC/USD', 'ETH/USD', 'XRP/USD', 'ADA/USD',
'SOL/USD']

timeframe = '1d'
years = 2
limit = 720

since = exchange.parse8601(
    (datetime.now(timezone.utc) - timedelta(days=365 *
years)).strftime('%Y-%m-%dT%H:%M:%S')
)

def fetch_all_ohlcv(symbol):
    all_data = []
    since_local = since

    for _ in range(5):
        data = exchange.fetch_ohlcv(symbol,
timeframe=timeframe, since=since_local, limit=limit)
        if not data:
            break
        all_data.extend(data)
        since_local = data[-1][0] + 24 * 60 * 60 * 1000'
```

```

        time.sleep(1.2)

        df = pd.DataFrame(all_data, columns=['timestamp',
        'open', 'high', 'low', 'close', 'volume'])
        df['timestamp'] = pd.to_datetime(df['timestamp'],
        unit='ms')
        df.drop_duplicates(subset='timestamp', inplace=True)
        return df

crypto_data = {}
for symbol in tqdm(symbols, desc="Завантаження з Kraken"):
    df = fetch_all_ohlcv(symbol)
    crypto_data[symbol.replace('/', '_')] = df

print("\n☑ Готово! Доступні монети:")
print(list(crypto_data.keys()))
crypto = crypto_data[selected_symbol]
crypto.head()
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(crypto['timestamp'], crypto['close'])
plt.title(f'Bitcoin ({selected_symbol}) - 2 роки')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Ціна, USD')
plt.grid(True)
plt.show()
for symbol, df in crypto_data.items():
    print(f"\n{symbol} - перевірка пропущених значень:")
    print(df.isna().sum())
    df.dropna(inplace=True)
for symbol, df in crypto_data.items():
    total_rows = len(df)
    duplicate_rows = df.duplicated(subset='timestamp').sum()
    print(f"{symbol} - рядків: {total_rows}, дублікатів:
    {duplicate_rows}")
    if duplicate_rows > 0:
        df.drop_duplicates(subset='timestamp', inplace=True)

```

```

        print(f"  Видалено {duplicate_rows} дублікатів")
    else:
        print(" Дублікатів немає")

    crypto_data[symbol] = df
for symbol, df in crypto_data.items():
    df.set_index('timestamp', inplace=True)

for symbol, df in crypto_data.items():
    invalid_rows = df[(df['close'] <= 0) | (df['volume'] <=
0)]
    num_invalid = len(invalid_rows)

    if num_invalid > 0:
        print(f"{symbol} - знайдено {num_invalid} аномальних
рядків (ціна <=0 або обсяг <=0). Видаляємо ")
        df = df[(df['close'] > 0) & (df['volume'] > 0)]
    else:
        print(f"{symbol} - аномальних рядків немає")

    crypto_data[symbol] = df

import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn.cluster import KMeans

DEFAULT_WINDOW = 30
TRADING_DAYS_PER_YEAR = 365

def compute_log_returns(df, price_col='close'):
    df = df.copy()
    df['log_ret'] = np.log(df[price_col]).diff()
    return df

```

```

def realized_volatility(df, window=DEFAULT_WINDOW,
price_col='close', annualize=False):
    df = compute_log_returns(df, price_col=price_col)
    rv = df['log_ret'].rolling(window=window,
min_periods=1).std()
    if annualize:
        factor = np.sqrt(TRADING_DAYS_PER_YEAR / (1 if
window==0 else window))
        rv = rv * factor
    df['rv'] = rv
    return df

def classify_volatility_quantiles(df, q_low=0.33,
q_high=0.66, rv_col='rv'):
    df = df.copy()
    low_thr = df[rv_col].quantile(q_low)
    high_thr = df[rv_col].quantile(q_high)

def label(x):
    if pd.isna(x):
        return np.nan
    if x <= low_thr:
        return "низька"
    elif x <= high_thr:
        return "середня"
    else:
        return "висока"

df['volatility_level'] = df[rv_col].apply(label)
return df, (low_thr, high_thr)

def classify_volatility_kmeans(df, n_clusters=3,
rv_col='rv', random_state=42):
    df = df.copy()
    notna_mask = df[rv_col].notna()
    rv_values = df.loc[notna_mask, rv_col].values.reshape(-
1, 1)

```

```

if len(rv_values) < n_clusters:
    return classify_volatility_quantiles(df)

kmeans = KMeans(n_clusters=n_clusters,
random_state=random_state)

labels = kmeans.fit_predict(rv_values)

cluster_means = {i: rv_values[labels == i].mean() for i
in range(n_clusters)}

sorted_clusters = sorted(cluster_means.items(),
key=lambda x: x[1])

cluster_to_level = {}

level_map = ["низька", "середня", "висока"]

for idx, (cluster_id, _) in enumerate(sorted_clusters):
    cluster_to_level[cluster_id] = level_map[idx]

df['volatility_level'] = np.nan

df.loc[notna_mask, 'volatility_level'] =
[cluster_to_level[c] for c in labels]

return df, cluster_to_level

def compute_volatility_levels(df, window=DEFAULT_WINDOW,
method='quantiles', annualize=False, **kwargs):

    df_rv = realized_volatility(df, window=window,
annualize=annualize)

    if method == 'quantiles':

        df_out, thr = classify_volatility_quantiles(df_rv,
                                                    q_low=kwa
rgs.get('q_low', 0.33),
                                                    q_high=kwa
args.get('q_high', 0.66),
                                                    rv_col='r
v')

        meta = {'method': 'quantiles', 'thresholds': thr}

    elif method == 'kmeans':

        df_out, mapping = classify_volatility_kmeans(df_rv,
                                                    n_clust
ers=kwargs.get('n_clusters', 3),
                                                    random_
state=kwargs.get('random_state', 42),

```

```

rv_col=
'rv')
    meta = {'method': 'kmeans', 'mapping': mapping}
else:
    raise ValueError("method must be 'quantiles' or
'kmeans'")
    return df_out, meta
vol_window = 30
vol_method = 'quantiles'

vol_meta_all = {}
for sym, df in crypto_data.items():
    df_with_vol, meta = compute_volatility_levels(df,
window=vol_window,
                                                method='quanti
les',
                                                q_low=0.25,
q_high=0.75)
    crypto_data[sym] = df_with_vol
    vol_meta_all[sym] = meta

print(crypto_data[selected_symbol].tail()[['close', 'rv',
'volatility_level']])
print("metadata:", vol_meta_all[selected_symbol ])

from collections import Counter, defaultdict

def estimate_transition_matrix(level_series,
states=["низъка", "средня", "висока"]):
    transitions = defaultdict(Counter)
    prev = None
    for cur in level_series.dropna().values:
        if prev is not None:
            transitions[prev][cur] += 1
        prev = cur
    trans_prob = {}
    for s in states:

```

```

counts = transitions[s]
total = sum(counts.values())
if total == 0:

    trans_prob[s] = {t: (1.0/len(states)) for t in
states}
else:
    trans_prob[s] = {t: counts.get(t, 0)/total for t
in states}
return trans_prob

lvl_series =
crypto_data[selected_symbol]['volatility_level']
transition_prob_emp = estimate_transition_matrix(lvl_series)
print(transition_prob_emp)

crypto['returns'] = crypto['close'].pct_change()
crypto['volatility'] =
crypto['returns'].rolling(window=30).std()

q4 = crypto['volatility'].quantile(0.4)
q66 = crypto['volatility'].quantile(0.66)

def classify_volatility(v):
    if v < q4:
        return "низька"
    elif v < q66:
        return "середня"
    else:
        return "висока"

crypto['volatility_level'] =
crypto['volatility'].apply(classify_volatility)
crypto_data[selected_symbol] = crypto

volatility_levels = ["низька", "середня", "висока"]

```

```

transition_counts = {v: {u: 0 for u in volatility_levels}
for v in volatility_levels}
for i in range(len(crypto['volatility_level']) - 1):
    current_state = crypto['volatility_level'].iloc[i]
    next_state = crypto['volatility_level'].iloc[i + 1]
    if pd.notna(current_state) and pd.notna(next_state):
        transition_counts[current_state][next_state] += 1

transition_prob = {}
for v in volatility_levels:
    total = sum(transition_counts[v].values())
    if total > 0:
        transition_prob[v] = {u: transition_counts[v][u] /
total for u in volatility_levels}
    else:
        transition_prob[v] = {u: 0 for u in
volatility_levels}

print("Ймовірності переходів між станами:")
print(pd.DataFrame(transition_prob).T)

positions = ["спот", "ф'ючерс"]
states = [(v, p) for v in volatility_levels for p in
positions]
actions = ["купити", "продати", "хеджувати", "утримувати"]

rewards = {
    ("низька", "спот"): {"купити": 3, "продати": -1,
"хеджувати": 1, "утримувати": 2},
    ("середня", "спот"): {"купити": 1.5, "продати": 0.2,
"хеджувати": 0.8, "утримувати": 1},
    ("висока", "спот"): {"купити": -2, "продати": 3,
"хеджувати": 1, "утримувати": -1},
    ("низька", "ф'ючерс"): {"купити": 2, "продати": -1,
"хеджувати": 0.5, "утримувати": 1},

```

```

    ("середня", "ф'ючерс"): {"купити": 1, "продати": 1,
    "хеджувати": 2.5, "утримувати": 1},
    ("висока", "ф'ючерс"): {"купити": -1, "продати": 2,
    "хеджувати": 3, "утримувати": 0},
}

gamma = 0.9
theta = 1e-6
V = {s: 0 for s in states}
policy = {s: None for s in states}

while True:
    delta = 0
    for state in states:
        v, pos = state
        values = []
        for action in actions:
            expected_value = 0
            for next_v, prob in transition_prob[v].items():
                next_state = (next_v, pos)
                r = rewards[state][action]
                expected_value += prob * (r + gamma *
V[next_state])
            values.append(expected_value)
        max_value = max(values)
        delta = max(delta, abs(max_value - V[state]))
        V[state] = max_value
    if delta < theta:
        break

for state in states:
    v, pos = state
    best_action, best_value = None, -1e9
    for action in actions:
        expected_value = 0
        for next_v, prob in transition_prob[v].items():

```

```

        next_state = (next_v, pos)
        r = rewards[state][action]
        expected_value += prob * (r + gamma *
V[next_state])
        if expected_value > best_value:
            best_value = expected_value
            best_action = action
    policy[state] = best_action

print("\nОптимальна політика:")
for v in volatility_levels:
    for p in positions:
        print(f"{v}, {p}: {policy[(v, p)]}")

print("\nЗначення V(s):")
for s in states:
    print(f"{s}: {V[s]:.2f}")

current_vol_level = crypto['volatility_level'].iloc[-1]
print(f"\nПоточна волатильність: {current_vol_level}")
print(f"Рекомендована дія для споту:
{policy[(current_vol_level, 'спот')]}")
print(f"Рекомендована дія для ф'ючерсу:
{policy[(current_vol_level, 'ф'ючерс')]}")

current_vol_level = crypto['volatility_level'].iloc[-1]

spot_action = policy[(current_vol_level, 'спот')]
futures_action = policy[(current_vol_level, 'ф'ючерс')]

print("\n" + "="*70)
print(f"📊 Рекомендації для
{selected_symbol.replace('_', '/')}")
print("="*70)
print(f"Поточна волатильність: {current_vol_level.upper()}")
print(f"👉 Для СПОТ позиції: {spot_action.upper()}")

```

```

print(f"☞ Для Ф'ЮЧЕРС позиції: {futures_action.upper()}")

explanations = {
    "купити": "ринок стабільний або зростаючий – можна
нарощувати позицію.",
    "продати": "волатильність висока або очікується спад –
краще зафіксувати прибуток.",
    "хеджувати": "підвищений ризик – доцільно застрахувати
позицію через деривативи.",
    "утримувати": "ринок невизначений – варто залишитись у
поточній позиції."
}

print("\nПояснення:")
print(f"СПОТ: {explanations.get(spot_action, 'Немає
пояснення.')}")
print(f"Ф'ЮЧЕРС: {explanations.get(futures_action, 'Немає
пояснення.')}")
print("="*70)

crypto = crypto_data[selected_symbol].copy()

colors = {"низька": "green", "середня": "gold", "висока":
"red"}

plt.figure(figsize=(12, 4))
plt.plot(crypto.index, crypto['volatility'], linewidth=1)

non_nan_idx = crypto['volatility_level'].dropna().index
if len(non_nan_idx) > 1:
    lvl_prev = crypto.loc[non_nan_idx[0],
'volatility_level']
    start = non_nan_idx[0]

    for t in non_nan_idx[1:]:
        lvl = crypto.loc[t, 'volatility_level']
        if lvl != lvl_prev:

```

```

        plt.axvspan(start, t, color=colors.get(lvl_prev,
"grey"), alpha=0.15)
        lvl_prev = lvl
        start = t

    plt.axvspan(start, crypto.index[-1],
color=colors.get(lvl_prev, "grey"), alpha=0.15)

plt.title("Динаміка 30-денної волатильності BTC")
plt.grid(True)
plt.show()

import pandas as pd

df["ret"] = df["close"].pct_change()
df = df.dropna()

Q = 1
multiplier = 5
leverage = 2.5

df["PnL_spot"] = df["ret"] * df["close"] * Q
df["PnL_fut"] = df["ret"] * df["close"] * Q * multiplier *
leverage

def VaR(series, alpha=0.05):
    return series.quantile(alpha)

def Expected_Loss(series, alpha=0.05):
    return series[series <= series.quantile(alpha)].mean()

metrics = pd.DataFrame({
    "Spot": [
        df["PnL_spot"].std(),
        VaR(df["PnL_spot"]),
        Expected_Loss(df["PnL_spot"])
    ]
})

```

```

],
  "Futures": [
    df["PnL_fut"].std(),
    VaR(df["PnL_fut"]),
    Expected_Loss(df["PnL_fut"])
  ]
}, index=["Std ( $\sigma$ )", "VaR (5%)", "Expected Loss (5%)"])

print("=== Ризикові метрики ===")
print(metrics)

plt.figure(figsize=(12,5))
plt.hist(df["PnL_spot"], bins=80, alpha=0.6, label="Spot PnL")
plt.hist(df["PnL_fut"], bins=80, alpha=0.6, label="Futures PnL")

plt.title("Порівняння розподілу PnL для спотової і ф'ючерної позицій")
plt.xlabel("PnL")
plt.ylabel("Частота")
plt.legend()
plt.grid(alpha=0.3)
plt.show()

reward_rows = []

for state in states:
    level, position = state
    row = {
        "Рівень волатильності": level,
        "Тип позиції": position
    }
    for action in actions:
        row[action] = rewards[state][action]
    reward_rows.append(row)

```

```

reward_df = pd.DataFrame(reward_rows)

print("=== Функція винагород торгового агента ===")
print(reward_df.to_string(index=False))

from numpy.linalg import eig

def ensure_transition_df(transition):
    if isinstance(transition, pd.DataFrame):
        T = transition.copy()
    else:
        T = pd.DataFrame(transition).T.fillna(0.0)
        levels = ["низька", "середня", "висока"]
        T = T.reindex(index=levels, columns=levels,
fill_value=0.0)
    return T

def stationary_distribution(P):
    P = np.asarray(P.T)
    vals, vecs = eig(P)
    idx = np.argmin(np.abs(vals - 1.0))
    v = np.real(vecs[:, idx])
    pi = v / v.sum()
    pi = np.where(pi < 0, 0, pi)
    pi = pi / pi.sum()
    return pi

def compute_L_by_level(crypto_df, hedge_ratio_map):
    levels = ["низька", "середня", "висока"]
    returns = crypto_df['returns'].dropna()
    crypto_df = crypto_df.copy()
    L = {}
    for lvl in levels:
        subset = crypto_df[crypto_df['volatility_level'] ==
lvl]['returns'].dropna()

```

```

    if isinstance(hedge_ratio_map, dict):
        hr = hedge_ratio_map.get(lvl, 0.0)
    else:
        hr = float(hedge_ratio_map)
    hedged_returns = (1 - hr) * subset
    neg = hedged_returns[hedged_returns < 0]
    L[lvl] = neg.mean() if len(neg) > 0 else 0.0
return L

strategies = {
    "no_hedge": 0.0,
    "fixed_50%": 0.5,
    "full_hedge": 1.0,
    "dynamic": {"низька": 0.0, "средня": 0.5, "висока":
1.0}
}

T = ensure_transition_df(transition_prob if
'transition_prob' in globals() else T)
levels = ["низька", "средня", "висока"]

results = []
for name, strat in strategies.items():
    L_by_level =
compute_L_by_level(crypto_data[selected_symbol], strat)
    EL_one_step = {}
    for i in levels:
        EL_one_step[i] = sum(T.loc[i, j] * L_by_level[j] for
j in levels)
    pi = stationary_distribution(T.values)
    EL_long = sum(pi[idx] * EL_one_step[levels[idx]] for idx
in range(len(levels)))
    results.append({
        "strategy": name,
        "L_by_level": L_by_level,
        "EL_one_step": EL_one_step,

```

```

        "EL_long": EL_long
    })

rows = []
for r in results:
    row = {
        "strategy": r['strategy'],
        "EL_long": r['EL_long']
    }
    for lvl in levels:
        row[f"L_{lvl}"] = r['L_by_level'][lvl]
        row[f"EL_one_{lvl}"] = r['EL_one_step'][lvl]
    rows.append(row)

res_df = pd.DataFrame(rows).set_index('strategy')
print("=== Порівняння стратегій: середні негативні збитки та очікувані збитки ===")
display(res_df.round(6))

import gradio as gr
import seaborn as sns

def compute_real_losses_spot_fut(crypto, hedge_ratio=0.5):
    levels = ["низька", "середня", "висока"]
    real_loss_spot = {}
    real_loss_fut = {}

    for lvl in levels:
        subset = crypto[crypto['volatility_level'] ==
lvl]['returns']

        neg_spot = subset[subset < 0]
        real_loss_spot[lvl] = neg_spot.mean() if
len(neg_spot) else 0.0

        fut_returns = subset * hedge_ratio

```

```

        neg_fut = fut_returns[fut_returns < 0]
        real_loss_fut[lvl] = neg_fut.mean() if len(neg_fut)
else 0.0

```

```

return real_loss_spot, real_loss_fut

```

```

def compute_expected_loss(T, real_loss, current_lvl):

```

```

    levels = ["низька", "средня", "висока"]

```

```

    el = 0

```

```

    for next_lvl in levels:

```

```

        el += T.loc[current_lvl, next_lvl] *
real_loss[next_lvl]

```

```

    return el

```

```

def get_recommendations(symbol, vol_window):

```

```

    import traceback

```

```

    try:

```

```

        crypto = crypto_data[symbol].copy()

```

```

        window = int(vol_window)

```

```

        crypto['returns'] = crypto['close'].pct_change()

```

```

        crypto['volatility'] =

```

```

crypto['returns'].rolling(window=window).std()

```

```

        q_low, q_med = crypto['volatility'].quantile([0.33,
0.66])

```

```

def classify(v):

```

```

    if np.isnan(v):

```

```

        return np.nan

```

```

    elif v < q_low:

```

```

        return "низька"

```

```

    elif v < q_med:

```

```

        return "средня"

```

```

    else:

```

```

        return "висока"

```

```

crypto['volatility_level'] =
crypto['volatility'].apply(classify)
current_vol = crypto['volatility_level'].iloc[-1]

levels = ["низька", "середня", "висока"]
T = pd.DataFrame(0.0, index=levels, columns=levels)

series = crypto['volatility_level'].dropna()
for i in range(1, len(series)):
    prev, cur = series.iloc[i - 1], series.iloc[i]
    if prev in levels and cur in levels:
        T.loc[prev, cur] += 1

T = T.div(T.sum(axis=1), axis=0).fillna(0)

real_loss_spot, real_loss_fut =
compute_real_losses_spot_fut(crypto, hedge_ratio=0.5)

spot_el = compute_expected_loss(T, real_loss_spot,
current_vol)
fut_el = compute_expected_loss(T,
real_loss_fut, current_vol)

spot_action = policy.get((current_vol, 'спот'),
'невідомо')
fut_action = policy.get((current_vol, 'ф'ючерс'),
'невідомо')

crypto['pnl_spot'] = crypto['returns'].cumsum()
crypto['pnl_hedged'] = (crypto['returns'] *
0.5).cumsum()

fig, axes = plt.subplots(3, 1, figsize=(10, 9),
sharex=True)

axes[0].plot(crypto.index, crypto['close'])

```

```

axes[0].set_title(f"{symbol} – Ціна та волатильність
({window} днів)")

axes[1].plot(crypto.index, crypto['volatility'])
colors = {"низька": "green", "середня": "gold",
"висока": "red"}

non_nan_idx =
crypto['volatility_level'].dropna().index
if len(non_nan_idx) > 1:
    lvl_prev = crypto.loc[non_nan_idx[0],
'volatility_level']
    start = non_nan_idx[0]

    for t in non_nan_idx[1:]:
        lvl = crypto.loc[t, 'volatility_level']
        if lvl != lvl_prev:
            axes[1].axvspan(start, t,
color=colors.get(lvl_prev, "grey"), alpha=0.15)
            lvl_prev = lvl
            start = t

    axes[1].axvspan(start, crypto.index[-1],
color=colors.get(lvl_prev, "grey"), alpha=0.15)

axes[2].plot(crypto.index, crypto['pnl_spot'],
label="Спот")
axes[2].plot(crypto.index, crypto['pnl_hedged'],
label="Хедж")
axes[2].legend()

plt.tight_layout()
price_path = "/tmp/plot.png"
plt.savefig(price_path, dpi=200)
plt.close()

plt.figure(figsize=(4, 3))

```

```

sns.heatmap(T, annot=True, cmap="YlOrRd",
cbar=False)

trans_path = "/tmp/trans.png"
plt.savefig(trans_path, dpi=200)
plt.close()

mean_ret = (crypto['close'].iloc[-1] /
crypto['close'].iloc[-window] - 1) * 100
daily_ret = crypto['returns'].dropna()
annual_vol = daily_ret.std() * np.sqrt(365) * 100

log_ret = np.log1p(crypto['returns'].dropna())
geom_mean = log_ret.mean()
annual_ret = (np.exp(geom_mean * 365) - 1) * 100

sharpe = (annual_ret / (annual_vol + 1e-9)) if
annual_vol != 0 else np.nan

explanation = (
    f"Вікно волатильності: {window} днів\n"
    f"Поточна волатильність: {current_vol}\n"
    f"СПОТ → {spot_action.upper()} | Ф'ЮЧЕРС →
{fut_action.upper()}\n\n"

    f"☒ Expected Loss (реальні очікувані
збитки):\n"
    f" • СПОТ:      {spot_el:.5f}\n"
    f" • Ф'ЮЧЕРС:   {fut_el:.5f}\n\n"

    f"Середня дохідність ({window}д):
{mean_ret:.2f}%\n"
    f"Волатильність (річна): {annual_vol:.2f}%\n"
    f"Sharpe Ratio: {sharpe:.2f}\n"
    f"Річна середня дохідність: {annual_ret:.2f}%\n"
)

```

```

    return explanation, price_path, trans_path

except Exception as e:
    err_text = f"✘ ERROR:
{e}\n\nTRACEBACK:\n{traceback.format_exc()}"
    return err_text, None, None

with gr.Blocks(title="📊 Hedge Analyzer – Risk
Optimization", theme="soft") as demo:

    gr.Markdown("### 📊 Hedge Analyzer – Risk Optimization")

    with gr.Row():

        with gr.Column(scale=1):

            symbol_in = gr.Dropdown(
                choices=list(crypto_data.keys()),
                label="Вибери криптовалюту"
            )

            window_in = gr.Dropdown(
                choices=["2", "7", "14", "30"],
                value="30",
                label="Період оцінки волатильності (днів)"
            )

            submit_btn = gr.Button("Submit")

            trans_out = gr.Image(label="Матриця переходів")

        with gr.Column(scale=2):

            report_out = gr.Textbox(
                label="Аналітичний звіт",

```

```
        lines=15,  
        show_copy_button=True  
    )  
  
    plot_out = gr.Image(label="Ціна + Волатильність  
+ PnL")  
  
    submit_btn.click(  
        fn=get_recommendations,  
        inputs=[symbol_in, window_in],  
        outputs=[report_out, plot_out, trans_out]  
    )  
  
demo.launch()
```