

**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 303.732.4

До захисту допущено
Завідувач кафедри ММСА
_____ Оксана ТИМОЩУК
« ____ » _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Системний аналіз і управління»

зі спеціальності 124 «Системний аналіз»

на тему «Оптимізація вибору інвестиційного портфеля»

Виконала:

студентка 2 курсу, групи КА-31мп

Павлюк Софія Віталіївна _____

Науковий керівник:

д.т.н., доцент кафедри ММСА

Мілявський Юрій Леонідович _____

Рецензент:

к.е.н., доцент, старший науковий співробітник

відділу прикладної інформатики Інституту телекомунікацій

і глобального інформаційного простору НАН України

Просянкіна-Жарова Тетяна Іванівна _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань
Студентка _____

Київ – 2024

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 і управління»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ММСА

___ Оксана ТИМОЦУК

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студентці
Павлюк Софії Віталіївни

1. Тема дисертації: Оптимізація вибору інвестиційного портфеля, науковий керівник дисертації Мілявський Юрій Леонідович, доктор технічних наук, доцент кафедри ММСА, затверджені наказом по університету від «07» листопада 2024 р. № 5001-с.
2. Строк подання студентом дисертації 16.12.2024.
3. Об'єкт дослідження: процес оптимізації інвестиційного портфелю з урахуванням витрат на транзакції та обмежень ліквідності в умовах фінансових ринків.
4. Предмет дослідження: модифікована середньо-дисперсійна модель оптимізації портфелю, яка враховує пропорційні та квадратичні витрати на транзакції, а також обмеження на ліквідність активів, що впливають на прибутковість та ризик портфелю.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: здійснити огляд технічної літератури, яка стосується оптимізації вибору інвестиційного портфеля; дослідити актуальність проблеми; ознайомитися з існуючими моделями та методами, що використовуються для оптимізації портфелів; розробити та реалізувати модифіковану середньо-дисперсійну модель з урахуванням витрат на транзакції та обмежень ліквідності; виконати емпіричний аналіз результатів реалізованої моделі, порівняти її з класичними підходами; оцінити вплив витрат і ліквідності на ефективність портфеля; сформулювати висновки щодо оптимізації вибору інвестиційного портфеля; підготувати ілюстративний

- матеріал і оформити пояснювальну записку відповідно до вимог.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: ілюстрації, графіки та таблиці, які демонструють динаміку спредів і ваг портфелів, вплив транзакційних витрат і ліквідності на структуру портфелів, геометричну інтерпретацію моделі середньо-дисперсійної оптимізації, порівняння ефективності моделей оптимізації, а також аналіз результатів емпіричних досліджень.
 7. Орієнтовний перелік публікацій: Павлюк С.В., Мілявський Ю.Л. Оптимізація вибору інвестиційного портфеля збірник доповідей III науково-практичної конференції «Системні науки та інформатика», 25–29 листопада 2024 року, Київ. К., НН ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. С. 36-40.
 8. Дата видачі завдання 02 вересня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури за темою роботи	02.09.2024 – 15.09.2024	Виконано
2	Аналіз актуальності задач стосовно тематики дослідження	16.09.2024 – 22.09.2024	Виконано
3	Формулювання задачі після теоретичного ознайомлення	22.09.2024 – 30.09.2024	Виконано
4	Математичне моделювання задачі	01.10.2024 – 08.10.2024	Виконано
5	Розробка програмного продукту	09.10.2024 – 01.11.2024	Виконано
6	Підготовка розділів під час магістерської практики	03.11.2024 – 20.11.2024	Виконано
8	Попередній захист магістерської дисертації	29.11.2024	Виконано
7	Оформлення записки та розділів відповідно до нормоконтролю	30.11.2024 – 13.12.2024	Виконано
9	Захист магістерської дисертації	16.12.2024	Виконано

Студентка _____

Софія ПАВЛЮК

Науковий керівник дисертації _____

Юрій МІЛЯВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 108 с., 15 рис., 36 табл., 2 дод., 25 джерел.

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ, СЕРЕДНЬО-ДИСПЕРСІЙНА МОДЕЛЬ, ТРАНЗАКЦІЙНІ ВИТРАТИ

Об'єкт дослідження – процес оптимізації інвестиційного портфеля з урахуванням витрат на транзакції та обмежень ліквідності в умовах фінансових ринків.

Предмет дослідження – модифікована середньо-дисперсійна модель оптимізації портфеля, яка враховує витрати на транзакції та обмеження ліквідності.

Мета роботи – розробити ефективну модель оптимізації інвестиційного портфеля з урахуванням витрат на транзакції та обмежень ліквідності, що забезпечить баланс між ризиком та дохідністю.

Методи дослідження – математичне моделювання, квадратичне програмування, моделі Фама-Френча, емпіричний аналіз з використанням програмного забезпечення Python.

Актуальність – необхідність підвищення ефективності управління інвестиційними портфелями в умовах сучасних фінансових ринків, які характеризуються високими транзакційними витратами та обмеженнями ліквідності.

Результати роботи – було розроблено модифіковану середньо-дисперсійну модель з урахуванням витрат і ліквідності, реалізовано емпіричний аналіз її ефективності, а також проведено порівняння з класичними моделями.

Шляхи подальшого розвитку предмета дослідження – розширення моделі для обліку інших типів витрат, розробка інтегрованих методів прогнозування ризиків, застосування нейронних мереж для оптимізації портфеля.

ABSTRACT

Master's Thesis: 108 pages, 15 figures, 36 tables, 2 appendices, 25 references.

PORTFOLIO OPTIMIZATION, MEAN-VARIANCE MODEL, TRANSACTION COSTS

Object of study – the process of optimizing an investment portfolio considering transaction costs and liquidity constraints in financial markets.

Subject of study – a modified mean-variance portfolio optimization model that incorporates transaction costs and liquidity constraints.

Aim of the study – to develop an effective portfolio optimization model that balances risk and return while considering transaction costs and liquidity constraints.

Research methods – mathematical modeling, quadratic programming, Fama-French models, empirical analysis using Python programming.

Relevance – the need to enhance the efficiency of investment portfolio management in the context of modern financial markets characterized by high transaction costs and liquidity constraints.

Results of the study – a modified mean-variance model with incorporated transaction costs and liquidity constraints was developed and empirically analyzed. Its effectiveness was compared to classical models.

Directions for further research – extending the model to account for other cost types, developing integrated methods for risk prediction, and applying neural networks for portfolio optimization.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	10
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	12
1.1 Актуальність оптимізації вибору портфеля	12
1.2 Середньо-дисперсійна модель Гаррі Марковіца.....	14
1.3 Геометрична інтерпретація	15
1.4 Реалістичність моделі	19
1.5 Висновки до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2 ОПТИМІЗАЦІЯ СЕРЕДНЬО-ДИСПЕРСІЙНОГО МЕТОДУ	21
2.1 Поняття функції корисності.....	21
2.2 Транзакційні витрати	22
2.3 Квадратичні витрати	24
2.4 Модель ризику портфеля.....	25
2.5 Модифікована функція корисності	26
2.6 Обмеження ліквідності	29
2.7 Оцінка згладжування	29
2.8 Факторні моделі	30
2.9 Задача квадратичного програмування	33
2.10 Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3 ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ	36
3.1 Опис використаних моделей.....	36
3.1.1 Середньо-варіаційний портфель на основі вибірки	36
3.1.2 Портфель мінімальної варіативності	37
3.1.3 Модель портфеля, зваженого за ринковою вартістю	37
3.1.4 Оптимізована модель з урахуванням транзакційних витрат та обмеженням ліквідності.	37
3.2 Опис використаних даних	38
3.2.1 S&P Sectors	40

3.2.2	Галузеві портфелі (Industry).....	41
3.2.3	Портфель міжнародних індексів акцій (International).....	41
3.2.4	МКТ/SMB/HML	41
3.2.5	Двадцять портфелів, відсортованих за розміром і показником «книга-ринок»	42
3.3	Загальні принципи проведеного аналізу	42
3.4	Аналіз результатів.....	46
3.4.1	Коефіцієнт Шарпа	46
3.4.2	Еквівалентні за надійністю доходи (CEQ)	49
3.4.3	Оборотність портфеля	51
3.4.4	Втрата доходності відносно mv-c	53
3.5	Платформа, мова програмування та бібліотеки.....	55
3.6	Опис модулів програмного продукту	56
3.7	Висновки до розділу 3	58
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ВЛАСНОГО СТАРТАП ПРОЕКТУ		60
4.1	План розробки стартапу та масштабування його на ринок	60
4.2	Опис ідеї стартап-проекту	62
4.3	Технологічний аудит ідеї проекту	63
4.4	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	65
4.5	Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту.....	72
4.6	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	75
4.7	Висновки до розділу 4	76
ВИСНОВКИ		78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ		79
ДОДАТОК А.....		81

ВСТУП

У сучасному світі оптимізація вибору інвестиційного портфеля стає все більш важливою та перспективною темою, викликаючи значний інтерес серед дослідників та фінансових аналітиків. Її застосування вже змінило багато аспектів інвестиційного менеджменту, включаючи управління ризиками, диверсифікацію активів та ефективний розподіл капіталу. Одним з важливих напрямків є розробка математичних моделей, які можуть автоматизувати та покращити процес вибору портфеля, враховуючи сучасні вимоги до ліквідності та торгових витрат.

Оптимізація середньо-варіаційного портфеля з урахуванням витрат та обмежень ліквідності є завданням, яке має велику вагу та реальну практичну значимість. Це полягає у створенні моделей, які здатні забезпечити ефективний розподіл капіталу, мінімізуючи ризик та максимізуючи дохідність. Такі моделі враховують не тільки очікувану дохідність активів, але й їх коваріацію, торгові витрати та обмеження ліквідності, що дозволяє отримати більш реалістичні результати.

У цьому контексті дослідження в галузі оптимізації інвестиційного портфеля набувають особливого значення. Вони мають на меті розробити нові методи та моделі, які можуть забезпечити ефективну інтеграцію складних фінансових параметрів та обмежень. Впровадження таких систем може мати вагомий вплив на фінансову індустрію, підвищуючи якість управління портфелем та зручність для інвесторів.

Мета цієї магістерської дисертації – розробити ефективну модель середньо-варіаційного портфеля з урахуванням витрат та обмежень ліквідності. Робота спрямована на розробку нових методів та алгоритмів, які забезпечують високу ефективність та точність вибору портфеля, а

також на визначення оптимальних підходів до інтеграції цих параметрів у загальну модель.

Об'єктом дослідження є процес оптимізації інвестиційного портфеля з урахуванням витрат та обмежень ліквідності. У цьому контексті дослідження зосереджуються на вдосконаленні технік, які використовуються для оцінки ризику та дохідності активів, а також на розробці підходів до автоматизації процесу вибору портфеля.

Предметом дослідження є розробка та оптимізація моделі для вибору середньо-варіаційного портфеля, що враховує витрати та обмеження ліквідності. Дослідження охоплює аналіз різних методів оптимізації, вивчення впливу різних параметрів на якість роботи системи, а також розробку підходів до інтеграції цих параметрів у загальну модель.

Магістерська дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання і одного додатку.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задача даної магістерської дисертації полягає у створенні та вдосконаленні моделі середньо-варіаційного портфеля з урахуванням витрат та обмежень ліквідності. Основна мета полягає у забезпеченні ефективного розподілу капіталу між різними активами, мінімізуючи ризик та максимізуючи дохідність, з урахуванням сучасних фінансових умов.

З розвитком фінансових ринків і технологій, оптимізація портфеля стала важливим інструментом для інвесторів та фінансових аналітиків. Вона дозволяє враховувати ризики, дохідність, торгові витрати та обмеження ліквідності для прийняття обґрунтованих інвестиційних рішень. В рамках цього дослідження пропонується використати середньо-варіаційну модель, яка інтегрує ці фактори для покращення процесу вибору портфеля.

Основним викликом для системи є забезпечення точності оцінок ризику та дохідності активів, а також врахування торгових витрат та обмежень ліквідності. Відсутність точних оцінок або неврахування важливих факторів може знизити ефективність управління портфелем та призвести до невиправданих фінансових втрат.

Для вирішення цих завдань необхідно розробити алгоритми, які забезпечать ефективну оцінку коваріацій між активами, оптимізацію структури портфеля та врахування торгових витрат. Це включає розробку методів оцінки параметрів моделі, таких як очікувана дохідність та дисперсія, з урахуванням упередженості та використанням факторних моделей.

Процес розробки та вдосконалення моделі здійснюється з урахуванням всіх можливостей та обмежень сучасних фінансових ринків. Зважаючи на складність завдання, необхідно розробити ефективні методи для обробки великих обсягів даних, забезпечення точності оцінок та

мінімізації торгових витрат. Крім того, важливо враховувати різні категорії активів та адаптувати модель відповідно до їхніх індивідуальних характеристик.

Цей підхід до оптимізації інвестиційного портфеля передбачає використання сучасних математичних моделей та врахування актуальних фінансових умов. Використання середньо-варіаційної моделі з урахуванням витрат та обмежень ліквідності дозволяє створювати потужні системи, які можуть обробляти складні фінансові запити та надавати релевантні рішення, сприяючи підвищенню якості управління портфелем та ефективності інвестиційної діяльності.

РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Актуальність оптимізації вибору портфеля

Актуальність теми роботи обґрунтована сучасними тенденціями розвитку фінансових ринків, які характеризуються зростанням важливості ефективного управління витратами та ліквідністю під час формування інвестиційних портфелів. Глобалізація, підвищення волатильності фінансових інструментів та зміна регуляторного середовища роблять актуальним завдання розробки моделей, які враховують як ліквідність активів, так і витрати, пов'язані з їх торгівлею.

Використовуючи дані з дослідження S&P 500, що представлені на рисунку 1.1, де аналізуються спреди та ліквідність портфелів різного масштабу, виявлено, що при формуванні портфеля значний вплив мають транзакційні витрати, які зростають із включенням менш ліквідних активів. Наприклад, у портфелі з 10 найбільших акцій, який покриває 35% ринкової капіталізації індексу, спред становить лише 2,5 базисних пунктів. Проте, при розширенні до 100 акцій, охоплення ринку збільшується до 70%, але середні витрати зростають до 3,7 базисних пунктів. Ці спостереження підкреслюють важливість аналізу компромісу між охопленням ринку та витратами [1].

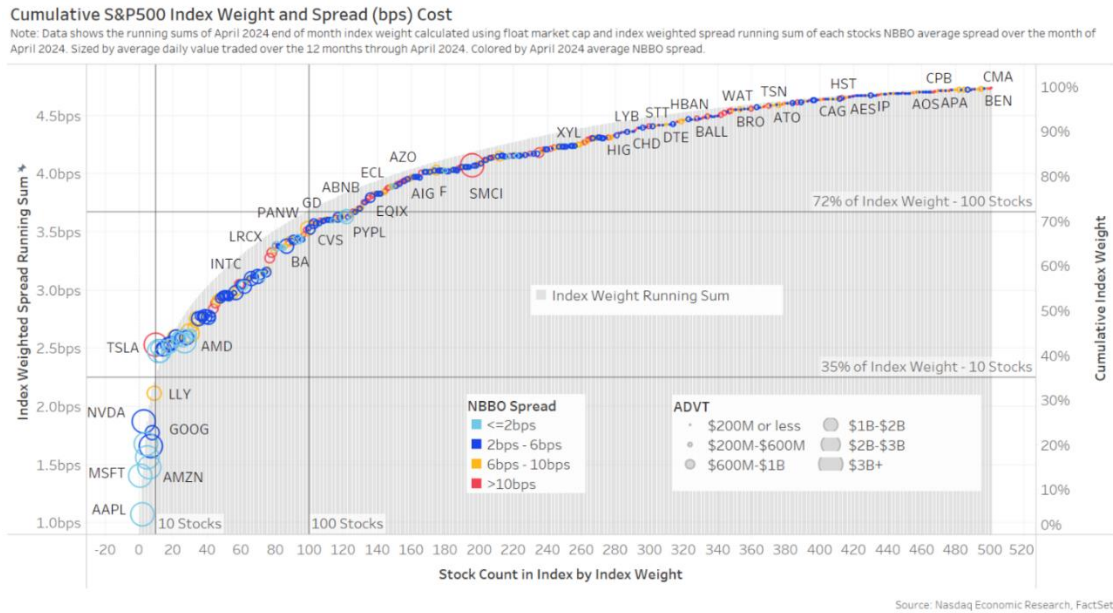


Рисунок 1.1 - Динаміка ваг та спредів портфеля індексу S&P 500

Обмеження на ліквідність також відіграють критичну роль у процесі оптимізації портфеля. Аналіз демонструє, що для інвесторів, які купують активи пропорційно до їх ринкової капіталізації, низька ліквідність дрібних акцій не створює суттєвих проблем, оскільки обсяги таких інвестицій залишаються незначними. Це дозволяє враховувати ліквідність як обмеження у моделі оптимізації портфеля, орієнтуючись на досягнення збалансованого підходу між ризиком, витратами та рентабельністю.

Крім того, дослідження підкреслює можливості скорочення витрат шляхом вибору обмеженого набору активів із високою ліквідністю, які забезпечують значну частку ринкової капіталізації. Такий підхід дозволяє зменшити спреди та інші транзакційні витрати, що є особливо важливим для великих інституційних інвесторів.

Таким чином, актуальність теми роботи визначається необхідністю розробки оптимізаційних методів для інвестиційних портфелів, які враховують як витрати на торгівлю, так і обмеження ліквідності. Це дозволяє підвищити ефективність інвестиційних стратегій і зменшити операційні витрати, що є критично важливим у сучасному фінансовому середовищі.

1.2 Середньо-дисперсійна модель Гаррі Марковіца

Класична модель вибору портфеля за Марковіцем є основоположною концепцією в сучасній теорії портфельного інвестування, що значно вплинула на розвиток фінансової теорії та практики [2]. Проблема полягає в тому, щоб знайти оптимальні ваги портфеля, які забезпечують задану очікувану дохідність з мінімальною дисперсією портфеля. Ця концепція широко висвітлюється у численних стандартних текстах [3]. Гаррі Марковіц запропонував підхід, який дозволяє інвесторам максимізувати очікувану дохідність, зменшуючи при цьому ризик, визначений через дисперсію доходностей активів.

1.2.1 Основні принципи моделі Марковіца

Очікувана дохідність портфеля визначається як сума очікуваних доходностей окремих активів, зважених на їх ваги в портфелі. Формально це можна записати як:

$$f^T w = \sum_{j=1}^n f_j w_j \quad (1.1)$$

де f_j – це очікувана дохідність j -го активу, а w_j – вага цього активу в портфелі. Якщо відома коваріаційна матриця доходностей активів C^2 , тоді дисперсія портфеля обчислюється як квадратична форма відносно ваг активів і коваріаційної матриці:

$$w^T C^2 w = \sum_{jk} C_{jk}^2 w_j w_k \quad (1.2)$$

Використання симетричного квадратного кореня коваріаційної матриці спрощує обчислення. Коваріаційні матриці завжди мають симетричний квадратний корінь, який позначається C [3].

Дисперсія портфеля дорівнює $u^T u$, що обчислюється як:

$$t^2 f^T C^{-2} f = \frac{r^2}{(f^T C^{-2} f)^2} f^T C^{-2} f = \frac{r^2}{f^T C^{-2} f} \quad (1.3)$$

1.2.2 Формулювання задачі оптимізації

Таким чином, задача відбору портфеля формулюється як квадратична оптимізація ваг портфеля за умови досягнення заданої дохідності:

$$\min_w w^T C^2 w \text{ за умови, що } f^T w = r \quad (1.4)$$

де r – це бажана дохідність портфеля. У випадку позитивно визначеної коваріаційної матриці активів можна використовувати ризикові ваги $u = Cw$, що дозволяє геометрично інтерпретувати задачу як знаходження точки на гіперплощині з найкоротшою евклідовою довжиною:

$$\min_u u^T u \text{ за умови, що } f^T C^{-1} u = r \quad (1.5)$$

1.3 Геометрична інтерпретація

Геометрична інтерпретація цієї задачі полягає у знаходженні точки на гіперплощині $f^T C^{-1} u = r$ (1.5) з найкоротшою евклідовою довжиною. Пряма через початок координат і точку u з найкоротшою довжиною перпендикулярна до гіперплощини. Точки на цьому перпендикулярі до гіперплощини є скалярними кратами $C^{-1} f$ в цьому випадку рішення u є $t C^{-1} f$, де t задовольняє умову, що очікувана дохідність портфеля дорівнює r :

$$f^T C^{-1} f^T C^{-1} u = r \quad (1.6)$$

Це означає, що:

$$t = \frac{r}{f^T C^{-2} f} \quad (1.7)$$

Розгляд вибору портфеля за Марковіцем як суто геометричної конструкції в просторі портфельів може бути надзвичайно корисним для розуміння основних принципів цього підходу. Простір портфельів охоплює всі можливі комбінації ваг активів у портфелі. На рис. 1.2 продемонстровано простір портфельів з двома активами, синій еліпс, що позначає всі портфелі з дисперсією, меншою або рівною заданій межі [3].

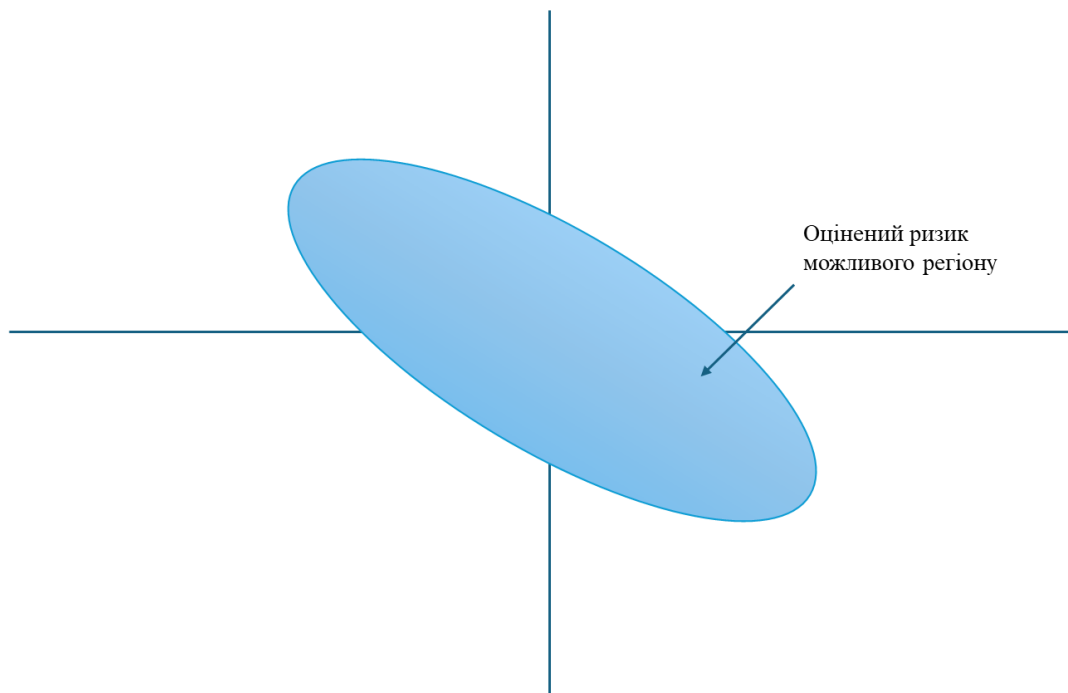


Рисунок 1.2 Простір портфельей з прийнятним ризиком

Очікувана дохідність активів визначає сімейство ліній у просторі портфельів, які мають постійну очікувану дохідність портфеля [4]. Оптимальний портфель середньої дисперсії знаходиться в точці дотику між лінією, що найдалі від початку координат, та еліпсом.

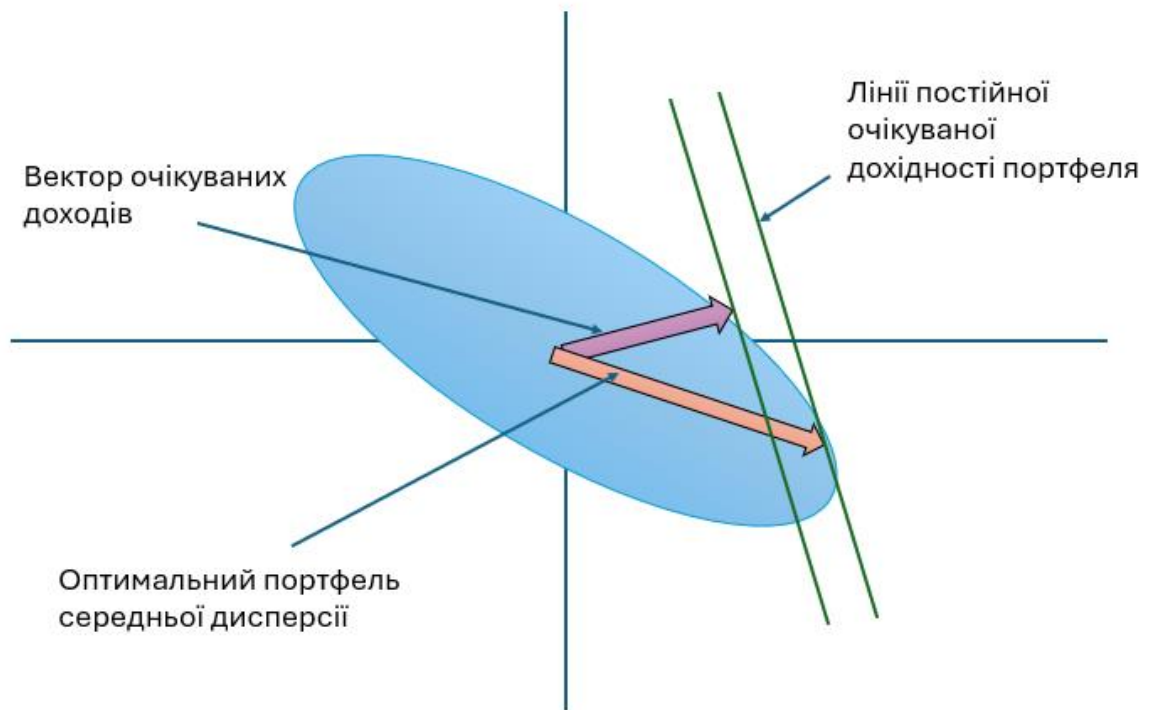


Рисунок 1.3 Очікувана дохідність і портфель середньої дисперсії

На рис. 1.3 показано простір портфелів, де еліпс відображає всі можливі комбінації активів з дисперсією, меншою або рівною певному значенню. Лінії рівної очікуваної дохідності представляють комбінації ваг активів, які забезпечують однакову очікувану дохідність. Оптимальний портфель середньої дисперсії знаходиться в точці, де лінія з найвищою очікуваною дохідністю торкається еліпса [5].

Важливо зазначити, що в даному прикладі очікувана дохідність обох активів є позитивною. Однак, оптимальний портфель середньої дисперсії може бути довгим за одним активом і коротким за іншим, що означає, що портфель включає позиції на зростання за одним активом і на зниження за іншим. Це відбувається навіть у випадку, коли очікується зростання ціни обох активів .

Форма еліпса відіграє ключову роль у визначенні структури оптимального портфеля. Витягнутість еліпса робить більш ймовірним сценарій, коли оптимальний портфель включає довгі і короткі позиції. Навпаки, еліпс, ближчий до кругової форми, зменшує вплив цього ефекту. У

випадку ідеально кругового еліпса, і тільки в цьому випадку, оптимальний портфель середньої дисперсії буде спрямований в тому ж напрямку, що й вектор очікуваних доходів [6]. Це означає, що всі активи в портфелі будуть мати однаковий знак, тобто або всі довгі, або всі короткі позиції.

Геометричний підхід до відбору портфеля дозволяє наочно зрозуміти взаємозв'язок між очікуваною дохідністю, дисперсією та вагами активів у портфелі. Він також ілюструє, як різні форми еліпсів у просторі портфелів впливають на структуру оптимального портфеля. Це є важливим інструментом для інвесторів та фінансових аналітиків, що прагнуть оптимізувати свої інвестиційні рішення [7].

Застосування цього підходу на практиці потребує точного визначення очікуваних дохідностей та ковариаційних матриць активів. Помилки в оцінках можуть призвести до неефективного розподілу активів і, як наслідок, до неочікуваних результатів інвестування. Тому важливо використовувати надійні методи для оцінки параметрів моделі та враховувати можливі обмеження, такі як витрати на торгівлю та обмеження ліквідності.

Геометричний підхід також дозволяє краще зрозуміти принципи диверсифікації та хеджування ризиків. У портфелях з більшою кількістю активів, еліпси стають багатовимірними гіпереліпсами, і просторове розташування точок дотику ускладнюється. Однак основні принципи залишаються незмінними: оптимальні портфелі середньої дисперсії завжди прагнуть мінімізувати ризик для заданого рівня очікуваної дохідності [8].

Розгляд вибору портфеля за Марковіцем як геометричної задачі надає потужний інструмент для аналізу та оптимізації інвестиційних рішень. Він забезпечує інтуїтивно зрозуміле уявлення про взаємозв'язок між ризиком та дохідністю і допомагає приймати більш обґрунтовані інвестиційні рішення.

1.4 Реалістичність моделі

У такій формі відбір портфеля шляхом оптимізації класичної функції корисності середньої дисперсії далеко не реалістичний і не повинен використовуватися для відбору реальних портфелів. Однак при ретельній оцінці параметрів f та C^+ , і включенні торгових витрат і обмежень ліквідності, функція корисності середньої дисперсії може бути частиною фактичного відбору портфеля. Історично функція корисності середньої дисперсії змістила акцент з ризику окремих активів на ризик портфеля, який відчуває інвестор, забезпечила рамки для кількісного розгляду диверсифікації та хеджування, а також показала, що великомасштабний відбір портфеля може бути автоматизований [9].

1.5 Висновки до розділу 1

Актуальність проблеми оптимізації портфеля обумовлена складністю сучасних фінансових ринків, що характеризуються високою волатильністю, глобалізацією та підвищеними транзакційними витратами. Дослідження показали, що включення менш ліквідних активів суттєво збільшує витрати, що підтверджує необхідність врахування ліквідності та витрат у процесі формування інвестиційного портфеля. Аналіз компромісу між охопленням ринку і транзакційними витратами є важливим завданням для підвищення ефективності інвестиційних стратегій.

Класична модель середньо-дисперсійної оптимізації Гаррі Марковіца є фундаментальним підходом у теорії портфельного інвестування. Вона дозволяє знайти оптимальні ваги активів, які забезпечують максимальну очікувану дохідність при мінімальному рівні ризику. Модель надає математичну основу для розуміння принципів диверсифікації та

взаємозв'язку між ризиком і дохідністю, що є ключовими аспектами управління портфелем.

Геометрична інтерпретація моделі додає інтуїтивно зрозумілий спосіб аналізу взаємозв'язку між ризиком і дохідністю у просторі портфелів. Вона показує, як оптимальний портфель залежить від форми еліпса в просторі портфелів, і допомагає інвесторам зрозуміти вплив різних ваг активів на кінцевий результат. Цей підхід дозволяє чіткіше усвідомлювати переваги диверсифікації і дає змогу приймати більш обґрунтовані інвестиційні рішення.

Практичне застосування моделі Марковіца вимагає адаптації до реалій ринку, включаючи врахування транзакційних витрат і обмежень ліквідності. Хоча класична модель є теоретичною основою, її застосування потребує точних оцінок параметрів, таких як очікувані дохідності та коваріаційні матриці. Успішна оптимізація портфеля залежить від здатності адаптувати модель до практичних умов, що дозволяє ефективно балансувати між ризиком, витратами і дохідністю.

РОЗДІЛ 2 ОПТИМІЗАЦІЯ СЕРЕДНЬО-ДИСПЕРСІЙНОГО МЕТОДУ

2.1 Поняття функції корисності

Функція корисності середньої дисперсії є основним інструментом для прийняття рішень у фінансовому моделюванні та управлінні портфелем. Її оптимальність гарантована за певних умов. Основними умовами, що забезпечують оптимальність функції корисності середньої дисперсії, є гаусівські доходи портфеля або, більш загально, еліпсоїдно розподілені доходи.

Гаусівські доходи припускають, що доходи активів розподілені за нормальним законом. Це означає, що кожен дохід активу має нормальний розподіл з певним середнім значенням та дисперсією. У випадку, коли доходи активів мають нормальний розподіл, функція корисності середньої дисперсії буде оптимальною, оскільки нормальний розподіл повністю визначається своїми середніми значеннями та дисперсією. Це дозволяє точно оцінити ризик і дохідність портфеля на основі цих параметрів.

Більш загальною умовою є еліпсоїдальний розподіл доходів. Еліпсоїдальні розподіли є багатовимірними розподілами, які можна описати еліпсоїдом у просторі. Вони також повністю визначаються своїми середніми значеннями та коваріаційними матрицями. За таких умов розподіл доходів портфеля при заданих вагових коефіцієнтах визначається маргінальним середнім та дисперсією. Це означає, що для досягнення оптимального рівня корисності необхідно правильно оцінити середнє значення та коваріацію доходів активів.

Дослідження Г. Чемберлін підтверджує, що гаусівські та еліпсоїдальні розподіли є достатніми умовами для забезпечення оптимальності функції корисності середньої дисперсії [10]. Це дослідження

показує, що розподіл доходів портфеля повністю визначається його маргінальним середнім та дисперсією, що дозволяє інвесторам приймати обґрунтовані рішення щодо вибору портфеля на основі цих параметрів.

Однак, в реальних умовах доходи активів часто мають розподіли з важкими хвостами, що виключає можливість застосування гаусівського розподілу. Важкі хвости вказують на те, що є висока ймовірність великих відхилень від середнього, що не характерно для нормального розподілу. Диверсифіковані портфелі емпірично мають легші хвости, ніж це повинно бути для еліптичних розподілів, що ускладнює застосування класичних теоретичних моделей.

2.2 Транзакційні витрати

Однією з головних проблем, яка виникає у класичній моделі Марковіца, є неврахування транзакційних витрат, що призводить до систематичного перевищення торгівлі та, як наслідок, до втрат більше, ніж очікувані прибутки. Транзакційні витрати можна класифікувати на пропорційні та індуковані.

Пропорційні витрати включають витрати, які тісно пов'язані зі спредом між ціною купівлі та продажу [11]. Ці витрати можна представити як:

$$c_T(b + s) \quad (2.1)$$

де c_T – пропорційна частина витрат, b – обсяги покупок, s – обсяги продажів.

Індуковані витрати – це витрати, які виникають через додаткові фактори, що не враховуються у пропорційних витратах. Ці витрати важко виміряти на практиці, оскільки вони залежать від розміру торгівлі та є гетероскедастичними, тобто невизначеність витрат збільшується зі зростанням обсягу торгівлі.

В рамках економічної теорії, Олівер Вільямсон та Дуглас Норт зробили значний внесок у розуміння та класифікацію транзакційних витрат.

Олівер Вільямсон виділив наступні типи транзакційних витрат [11]:

— витрати на пошук інформації – витрати, пов'язані з пошуком інформації про потенційних контрагентів, ціни та умови угод;

— витрати на ведення переговорів та укладання контрактів – витрати на підготовку, обговорення та формалізацію угод;

— витрати на контроль та виконання контрактів – витрати, пов'язані з моніторингом виконання умов угоди та врегулюванням спорів.

Дуглас Норт розширив концепцію транзакційних витрат, підкреслюючи їхній вплив на інституційні зміни та економічний розвиток. Він класифікував транзакційні витрати на [12]:

— витрати на вимірювання – витрати, пов'язані з вимірюванням вартості товарів і послуг, які продаються або купуються;

— витрати на забезпечення прав власності – витрати на забезпечення захисту прав власності та правочинності угод;

— витрати на координацію – витрати, що виникають внаслідок необхідності координації дій між учасниками ринку.

При моделюванні транзакційних витрат важливо враховувати як пропорційні, так і індуковані витрати. Для цього використовуються різні математичні моделі.

Пропорційна модель витрат описується формулою (2.1). Пропорційні витрати ростуть лінійно зі збільшенням обсягу торгівлі.

Квадратична модель витрат враховує суперпропорційні витрати:

$$d_T(b + s)^2 \quad (2.2)$$

де d_t – коефіцієнт квадратичної моделі витрат. Ця модель дозволяє врахувати зростання витрат з збільшенням обсягу торгівлі.

Суперпропорційні витрати (Superproportional costs), або квадратичні витрати, – це витрати, які зростають швидше, ніж пропорційно обсягу торгівлі. Вони включають додаткові витрати, які виникають при великих обсягах торгівлі і можуть включати такі елементи, як вплив на ринок (market impact) та додаткові операційні витрати. Квадратичні витрати ростуть швидше зі збільшенням обсягу торгівлі.

2.3 Квадратичні витрати

Квадратичні витрати враховують вплив великих обсягів торгів на витрати. Зокрема, при значних обсягах торгів ці витрати можуть зростати нелінійно. Це можна пояснити різними факторами, такими як ринковий вплив, де великі обсяги угод можуть змінювати ціни активів, або ж внутрішні витрати компанії на виконання великих замовлень. Формально, квадратичні витрати визначаються як:

$$(b + s)^T d (b + s) \quad (2.3)$$

де b і s - вектори купівель та продажів відповідно, а d - діагональна матриця коефіцієнтів квадратичних витрат. Ця матриця d є невід'ємною та діагональною, що означає, що квадратичні витрати пов'язані з обсягом торгів кожного окремого активу.

Для кращого розуміння впливу витрат на розподіл ваг у портфелі ефективність торгівлі в умовах різних витратних структур було додано відповідні зображення. Рисунок 1.4 ілюструє простір ваг портфеля, демонструючи вплив різних типів витрат, таких як пропорційні та квадратичні витрати, на оптимізацію портфеля. Рисунок 1.5 представляє простір середньої доходності, в якому відображено найгірші сценарії для середньої квадратичної та пропорційної вартості.

Простір ваг портфеля

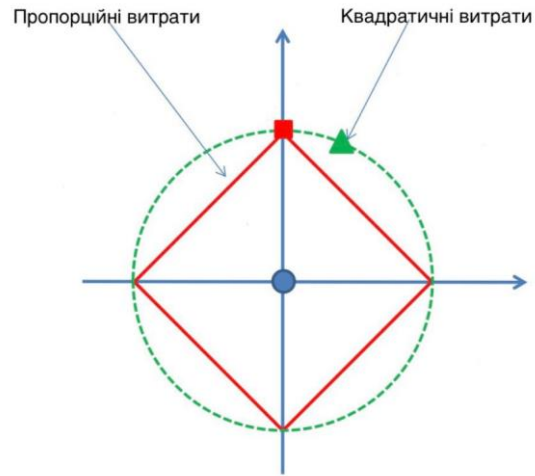


Рисунок 1.4 - Простір ваг портфеля: вплив пропорційних та квадратичних витрат

Простір середньої доходності

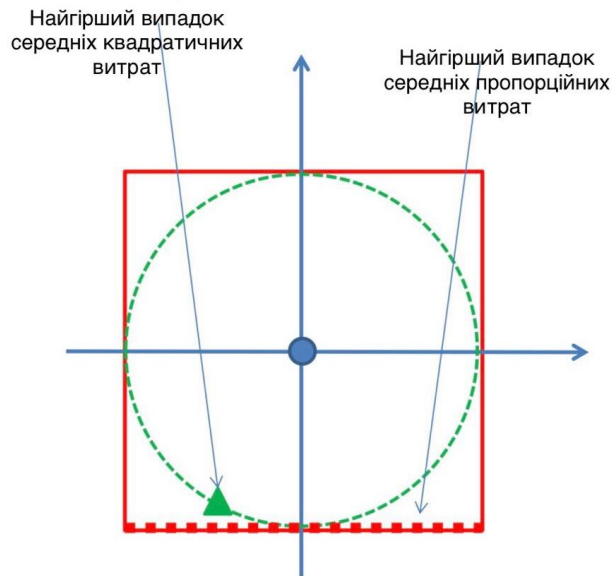


Рисунок 1.5 - Простір ваг портфеля: вплив пропорційних та квадратичних витрат

2.4 Модель ризику портфеля

Ризик портфеля визначається через його мінливість, яка, в свою чергу, вимірюється коваріацією доходів активів, що входять до портфеля. Коваріаційна матриця доходів C_2 відіграє центральну роль у визначенні загального ризику портфеля. Вона відображає, наскільки доходи різних активів корелюють між собою. Загальний ризик портфеля можна виразити як квадратичну форму:

$$(w_0 + b - s)^T C_2 (w_0 + b - s) \quad (2.4)$$

де w_0 - вектор початкових позицій. Цей термін відображає вплив кожного активу на загальну мінливість портфеля, враховуючи нові купівлі та продажі.

2.5 Модифікована функція корисності

Для врахування транзакційних витрат у моделі Марковіца необхідно модифікувати функцію корисності. Витрати можуть бути включені до функції корисності шляхом віднімання витрат від очікуваних прибутків:

$$f^T w - c_T(b + s) - d_T(b + s)^2 \quad (2.5)$$

де f – вектор очікуваних прибутків, w – вектор ваг портфеля.

Узагальнення цієї моделі включає пропорційні та квадратичні компоненти витрат як функції, які бажано обмежити. Це призводить до лагранжіанової корисності [14]:

$$U(w) = f^T w - 2w^T C^2 w - c_T(b + s) - d_T(b + s)^2 \quad (2.6)$$

де λ, μ, ν – невід'ємні множники Лагранжа. Ця функція корисності є увігнутою, доки c та d є невід'ємними. Функція корисності модифікується у

вигляді середньоквадратичної функції корисності з урахуванням штрафу за витрати (cost-penalized mean variance utility):

$$f^T(w_0 + b - s) - \frac{\lambda}{2}(w_0 + b - s)^T C^2(w_0 + b - s) - c_+^T b - c_-^T s - (b + s)^T d(b + s) \quad (2.7)$$

де w_0 — це вектор початкових позицій, b і s — (невід'ємні) вектори купівель і продажів. f — це вектор очікуваних логарифмічних доходностей, C^2 — оцінка коваріації логарифмічних доходностей, а торгові витрати моделюються як [11]:

$$c_+^T b - c_-^T s - (b + s)^T d(b + s) \quad (2.8)$$

де c_- і c_+ — невід'ємні вектори пропорційних витрат, а d — невід'ємна діагональна матриця, що виражає квадратичні витрати.

Оскільки витрати на одночасну купівлю та продаж одного активу є вищими, ніж витрати на зміну позиції лише через купівлю або лише через продаж, припускається, що обидві дії не виконуватимуться одночасно. Формально це виражається умовою:

$$b_k s_k = 0 \quad \forall k \quad (2.9)$$

де b_k — вектор купівлі, s_k — вектор продажу. Таким чином, вводиться комплементарність між купівлею та продажем.

2.6 Обмеження ліквідності

Також слід врахувати специфічні обмеження для активів щодо угод:

$$0 \leq b_k \leq B_k \quad (2.10)$$

$$0 \leq s_k \leq S_k \quad (2.11)$$

що дозволяє враховувати емпірично оцінені обмеження ліквідності або впливу на ринок. Крім того, потрібно ввести обмеження на позиції активів:

$$l_k \leq w_0 + b - s \leq u_k \quad (2.12)$$

де l_k і u_k — відповідно нижні та верхні обмеження на позиції активів. Такі обмеження можуть бути пов'язані із заборонаю відкриття коротких позицій або максимальною кількістю акцій, які можуть бути утримувані. Наприклад, можуть бути враховані обмеження, пов'язані з ліквідністю, такі як час, необхідний для продажу активів.

Обмеження на угоди, враховуючи комплементарність, описуються як:

$$b_k \leq u_k - (w_0)_k \quad (2.13)$$

$$s_k \leq (w_0)_k - l_k \quad (2.14)$$

Таким чином, загальні обмеження на позиції та угоди для конкретних активів можна об'єднати шляхом накладення відповідних обмежень, що забезпечує врахування як витрат, так і інших специфічних факторів у моделі:

$$0 \leq b_k \leq \min(B_k, u_k - (w_0)_k) \quad (2.15)$$

$$0 \leq s_k \leq \min(S_k, (w_0)_k - l_k) \quad (2.16)$$

Комплементарність у моделі дозволяє суттєво спростити врахування квадратичних витрат. Оскільки s є діагональною матрицею і маємо $b^T ds = 0$, отримуємо:

$$(b + s)^T d(b + s) = b^T db + s^T ds = (b - s)^T d(b - s) \quad (2.17)$$

Це дозволяє інтегрувати квадратичний член витрат із терміном ризику портфеля. Термін ризику портфеля переписується наступним чином:

$$\begin{aligned} (w_0 + b - s)^T C^2 (w_0 + b - s) \\ = w_0^T C^2 w_0 - 2w_0^T C^2 (b - s)^T C^2 (b - s) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Після додавання квадратичного члена витрат формується загальна квадратична форма:

$$\frac{\lambda}{2} w_0^T C^2 w_0 + \lambda w_0^T C^2 (b - s) + (b - s)^T \left(\frac{\lambda}{2} C^2 + d \right) (b - s) \quad (2.19)$$

2.7 Оцінка згладжування

Оцінки згладжування є важливим підходом до оцінки коваріаційної матриці доходів активів, оскільки вони дозволяють зменшити вплив шуму в даних і отримати більш стабільні оцінки. Ці методи використовуються для покращення якості оцінок шляхом згладжування коливань, які можуть бути викликані випадковими факторами.

Метод Ледоїта-Вольфа є одним з найбільш відомих підходів до згладжування оцінок коваріаційної матриці. Цей метод заснований на ідеї комбінування емпіричної коваріаційної матриці з деякою структурною матрицею, яка представляє "підлаштовану" або регуляризовану коваріаційну матрицю. Метод Ледоїта-Вольфа зменшує вплив випадкових коливань у даних, зменшуючи ризик надмірної адаптації до специфічних вибірок даних.

Основні етапи методу Ледоїта-Вольфа [14]:

- оцінка емпіричної коваріаційної матриці, визначення коваріаційної матриці на основі наявних даних;
- вибір структурної матриці, визначення матриці, яка представляє "ідеальний" або регуляризований розподіл коваріацій;
- комбінація матриць, поєднання емпіричної і структурної матриць

з використанням оптимального коефіцієнта згладжування.

Метод Ледоіта-Вольфа дозволяє отримати більш стабільні та надійні оцінки коваріаційної матриці, зменшуючи вплив шуму в даних.

Більш новітні розробки в області оцінок згладжування включають методи, запропоновані Юліун Ченом, Ані Візелем та іншими [15]. Ці методи також використовують ідеї регуляризації та згладжування для покращення оцінок коваріаційної матриці, але застосовують більш складні математичні та статистичні підходи. Основні аспекти методів:

— підходи до регуляризації: використання методів регуляризації для покращення оцінок, таких як L1- та L2-норми;

— структурні припущення: застосування структурних припущень щодо коваріаційної матриці, таких як спарсність (рідкість ненульових елементів);

— оптимізаційні алгоритми: використання складних оптимізаційних алгоритмів для знаходження найкращих оцінок коваріаційної матриці.

Ці методи дозволяють досягти високої точності та стабільності оцінок, враховуючи як загальні фактори, так і специфічні особливості даних.

Сучасні методи оцінки згладжування часто комбінуються з факторними моделями, що дозволяє ще більше підвищити точність оцінок коваріаційної матриці. Факторні моделі враховують вплив різних макроекономічних факторів на доходність активів, що дозволяє знизити кількість параметрів, які необхідно оцінити, і підвищити точність оцінок.

Комбінація методів згладжування та факторних моделей забезпечує більш надійні оцінки коваріаційної матриці, які враховують як загальні фактори, так і специфічні особливості даних. Це дозволяє досягти оптимального балансу між ризиком і доходністю, що є ключовим для успішного управління портфелем.

2.8 Факторні моделі

Факторні моделі базуються на припущенні, що дохідність фінансових активів залежить від набору факторів, які описують загальний стан економіки, ринкові умови або специфічні характеристики активу. Ключовими поняттями є фактор (змінна, яка впливає на дохідність) та факторне навантаження (чутливість до даного фактора). Факторні моделі дозволяють розділити загальний ризик активу на систематичну та несистематичну складові, що є критичним для управління ризиками в портфельній теорії.

Факторні моделі класифікуються на однофакторні, де використовується лише один ключовий фактор, і багатофакторні, що враховують декілька факторів. Однофакторні моделі, такі як модель оцінки капітальних активів (Capital Asset Pricing Model, CAPM), ґрунтуються на впливі ринкового ризику. Багатофакторні моделі, зокрема моделі Фама-Френча або арбітражні моделі ціноутворення (Arbitrage Pricing Theory, APT), дозволяють враховувати більш широкий набір факторів, таких як розмір компанії, фінансові коефіцієнти чи макроекономічні індикатори.

Факторні моделі можна умовно поділити на такі основні типи [19].

1. CAPM — однофакторна модель, яка враховує лише один систематичний фактор — ринковий ризик.
2. Модель Фама-Френча — трифакторна модель, яка враховує, окрім ринкового ризику, також розмір компанії (SMB, Small Minus Big) та вартісний фактор (HML, High Minus Low).
3. APT — модель арбітражного ціноутворення, яка є більш гнучкою у виборі факторів. Вона дозволяє використовувати як макроекономічні (наприклад, темпи зростання ВВП, рівень інфляції), так і специфічні фактори.

Процес побудови факторних моделей складається з декількох ключових етапів. Перший етап полягає у визначенні релевантних факторів.

Для цього обираються фактори, які мають суттєвий вплив на дохідність активів. Під час цього процесу використовуються економічні теорії, результати емпіричних досліджень або методи регресійного аналізу, що допомагають визначити найбільш значущі змінні.

На другому етапі виконується оцінка факторного навантаження. Використовуючи історичні дані, обчислюються коефіцієнти, що відображають чутливість активів до кожного з обраних факторів. Зазвичай для цього застосовується множинний лінійний регресійний аналіз, де дохідність активу описується як функція факторів.

Третім етапом є перевірка адекватності побудованої моделі. На цьому етапі оцінюються статистичні властивості моделі, зокрема значущість факторів, коефіцієнт детермінації, а також наявність автокореляції та гетероскедастичності. Ці перевірки забезпечують коректність інтерпретації отриманих результатів.

На останньому етапі здійснюється прогнозування очікуваної дохідності. Використовуючи оцінені факторні навантаження та прогнозовані значення факторів, можна оцінити очікувану дохідність активів. Такий підхід дозволяє отримати більш точні прогнози, які враховують специфічні умови ринку.

Факторні моделі знаходять широке застосування у фінансовому аналізі. Вони використовуються для оцінки очікуваної дохідності активів, управління портфелем та оцінки ризиків. Наприклад, під час портфельного аналізу факторні моделі допомагають оцінити внесок кожного фактора у загальний ризик портфеля, що є важливим для його диверсифікації.

Крім того, факторні моделі активно застосовуються при формуванні інвестиційних стратегій. Використання факторів, таких як розмір компанії або вартісність, дозволяє створювати стратегії, засновані на емпірично перевірених аномаліях, що сприяє підвищенню прибутковості портфелів.

Ще одним важливим напрямком є оцінка вартості капіталу. За допомогою факторних моделей визначається ставка дисконту, яка враховує

специфічні особливості компанії чи галузі, що робить їх незамінним інструментом у корпоративному фінансовому управлінні.

Емпіричні дослідження свідчать про високу ефективність багатофакторних моделей у прогнозуванні доходності. Зокрема, модель Фама-Френча демонструє значно кращі результати у порівнянні з CAPM завдяки врахуванню додаткових факторів. Це робить багатофакторні моделі важливим інструментом для прийняття обґрунтованих інвестиційних рішень.

2.9 Задача квадратичного програмування

Оптимізація задачі вибору портфеля може бути виражена у вигляді:

$$\max_{b,s} (f - \lambda C^2 w_0)^T (b - s) - c^T (b + s) - (b - s)^T \left(\frac{\lambda}{2} C^2 + d \right) (b - s) \quad (2.20)$$

за умов:

$$0 \leq b_k \leq \min(B_k, u_k - (w_0)_k) \quad (2.15)$$

$$0 \leq s_k \leq \min(S_k, (w_0)_k - l_k) \quad (2.16)$$

Цей доданок $f^T w_0 - \frac{\lambda}{2} w_0^T C^2 w_0$ було виключено, оскільки він не залежить від b та s , тобто він не впливає на вибір, які активи купувати чи продавати. Тому цей доданок можна просто ігнорувати при оптимізації. Єдиним компонентом цільової функції, який залежить від $b + s$, є доданок, що враховує пропорційні витрати $-c^T (b + s)$. Оскільки $c \geq 0$, цей доданок фактично штрафує випадки, коли один і той самий актив одночасно купується та продається. Для забезпечення виконання обмежень навіть у випадках, коли $b_k s_k \neq 0$, пропонується механізм оновлення b та s , що гарантує виконання умови $b_k s_k = 0$.

$$b'_k = b_k - \max(b_k - s_k, 0) \quad (2.21)$$

$$s'_k = s_k - \max(s_k - b_k, 0) \quad (2.22)$$

Ці оновлення задовольняють умову $b'_k s'_k = 0$ для всіх k . Тому оптимальний вибір угод не передбачає одночасної купівлі та продажу одного й того самого активу.

Зрештою, квадратичний член витрат можна записати через змінні b і s у вигляді:

$$\begin{aligned} \max_{b,s} & \begin{pmatrix} f - \lambda C^2 w_0 - c \\ -f + \lambda C^2 w_0 - c \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} b \\ s \end{pmatrix} \\ & - \frac{\lambda}{2} \begin{pmatrix} b \\ s \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} C^2 + \frac{2d}{\lambda} & -C^2 \\ -C^2 & C^2 + \frac{2d}{\lambda} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b \\ s \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.23)$$

З умовами:

$$0 \leq \begin{pmatrix} b \\ s \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} \min(B_k, u_k - (w_0)_k) \\ \min(S_k, (w_0)_k - l_k) \end{pmatrix} \quad (2.24)$$

Ця задача представлена у вигляді квадратичної програми з обмеженнями, що має цільову функцію:

$$\max_{\phi} g^T \phi - \frac{\lambda}{2} \phi^T H \phi \quad \text{за умов} \quad 0 \leq \phi \leq \Phi \quad (2.25)$$

Матриця Гессе (H) гарантує увігнутість цільової функції [18]:

$$\begin{pmatrix} C^2 + \frac{2d}{\lambda} & -C^2 \\ -C^2 & C^2 + \frac{2d}{\lambda} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2d}{\lambda} & 0 \\ 0 & \frac{2d}{\lambda} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C \\ -C \end{pmatrix} (C \quad -C) \quad (2.25)$$

2.10 Висновки до розділу 2

Оптимізація портфеля через квадратичне програмування є ефективним інструментом для досягнення балансу між ризиком і дохідністю. Завдяки математичній структурі, задача формулюється як опукла квадратична оптимізація, що дозволяє використовувати стандартні чисельні методи для знаходження розв'язків. Це забезпечує високий рівень точності і швидкість розрахунків, роблячи модель практично застосовною.

Враховання пропорційних і квадратичних витрат на торгівлю є ключовим фактором у моделі. Пропорційні витрати стимулюють ефективне управління операціями, а квадратичні витрати дозволяють моделювати реальні витрати на великих обсягах торгівлі. Це сприяє більш реалістичному моделюванню транзакцій, знижуючи ризик переоцінки витрат.

Було оптимізовано середньо-дисперсійну модель Гаррі Марковіца методом включання доданку транзакційних витрат у функцію корисності. Вплив ліквідності на структуру портфеля проявляється через адаптацію ваг активів у моделі. У випадках високих торгових витрат модель заохочує до вибору активів із кращою ліквідністю, що дозволяє знизити загальні витрати на портфель і мінімізувати ризик, пов'язаний з низькою ліквідністю. Такий підхід також допомагає зменшити вплив похибок у прогнозах і забезпечує більш стабільну диверсифікацію.

Інтеграція витрат у ризиковий компонент моделі дозволяє модифікувати класичну функцію корисності, роблячи її більш адаптованою до сучасних умов ринку. Цей підхід враховує потенційний продаж активів із позитивною очікуваною дохідністю або купівлю активів із негативною дохідністю, якщо це сприяє зменшенню загального ризику портфеля. Це сприяє створенню збалансованих інвестиційних стратегій, що підвищують ефективність управління активами.

РОЗДІЛ 3 ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ

У межах даного розділу було проаналізовано ефективність програмного забезпечення для оптимізації інвестиційних портфельів, а також розгляду різних алгоритмів, що враховують витрати для моделей диверсифікації активів. Основна мета розділу — оцінити, як добре різні моделі для оптимізації портфельів справляються з диверсифікацією у порівнянні з класичною моделлю, що враховує обмеження на ліквідність і торгові витрати. А також показати важливість врахування витрат та точності оцінок у портфельних моделях і зосередитись на емпіричній перевірці ефективності моделей і доцільності оптимізації в умовах великої похибки оцінок.

2.5 Опис використаних моделей

3.1.1 Середньо-варіаційний портфель на основі вибірки

У середньо-варіаційній моделі (надалі вживатиметься скорочення “mv”) Марковіца інвестор оптимізує компроміс між середнім значенням та варіативністю доходності портфеля. Для реалізації цієї моделі застосовується класичний підхід "plug-in"; тобто розв’язується задача в рівнянні (3.1), де середнє та коваріаційна матриця доходності активів замінюються їх вибірковими аналогами $\hat{\mu}$ та $\hat{\Sigma}$. Цю стратегію можна назвати "середньо-варіаційним портфелем на основі вибірки". Важливо зазначити, що ця портфельна стратегія повністю ігнорує можливість похибки оцінювання.

$$\max_{x_t} x_t^\top \mu_t - \frac{\gamma}{2} x_t^\top \sum x_t \quad (3.1)$$

3.1.2 Портфель мінімальної варіативності

Надалі вживається скорочення «min». У моделі мінімальної варіативності обирається портфель ризикових активів, який мінімізує варіативність доходності, тобто:

$$\min_{w_t} w_t^\top \sum_t w_t \quad (3.2)$$

Для реалізації цієї стратегії використовується лише оцінка коваріаційної матриці доходностей активів (вибіркова коваріаційна матриця), повністю ігноруючи оцінки очікуваної доходності. Хоча ця стратегія не підпадає під загальну структуру середньо-варіаційної очікуваної корисності, ваги активів у ній можна розглядати як граничний випадок рівняння (3.3), якщо інвестор у середньо-варіаційній моделі ігнорує очікувану доходність або, еквівалентно, обмежує очікувану доходність так, щоб вона була однаковою для всіх активів.

$$w_t = \frac{\sum_t^{-1} \mu_t}{1_N \sum_t^{-1} \mu_t} \quad (3.3)$$

3.1.3 Модель портфеля, зваженого за ринковою вартістю

Надалі вживається скорочення «vw». Це стратегія, у якій активи зважуються за їхньою ринковою вартістю, що означає, що кожен актив займає у портфелі пропорційну частку, яка відповідає його частці у загальній ринковій капіталізації. Ця модель є ключовою в рамках CAPM (моделі оцінки капітальних активів), де вважається, що оптимальним портфелем для інвестора є саме ринковий портфель, що відображає структуру загального ринку. Для кожного з наборів даних визначається еталонний “ринковий” портфель, і наводяться коефіцієнт Шарпа та SEQ для утримання цього портфеля. Оборотність цієї стратегії дорівнює нулю.

3.1.4 Оптимізована модель з урахуванням транзакційних витрат та обмеженням ліквідності.

Надалі вживається скорочення «mv-c». Це модифікована версія класичної моделі Марковіца, яка адаптується до практичних умов і прагне мінімізувати витрати, пов'язані з торгівлею, зберігаючи при цьому ефективність портфеля. Математичне обґрунтування доцільності було наведено у розділі 2. Для обчислення оптимальних ваг у портфелі використовується коваріаційна матриця активів (з поправками на похибки оцінювання) та середні значення очікуваної доходності активів. Додатково враховуються торгові витрати, які включають пропорційні та індуковані витрати, щоб уникнути надмірної торгівлі, яка може знижувати чистий прибуток. Модель накладає обмеження на обсяги угод та позиції активів, що підвищує стабільність портфеля і враховує ліквідність активів, обмежуючи розмір активів, які складно швидко реалізувати на ринку. Включення витрат у модель оптимізації дає можливість краще контролювати структуру портфеля, зокрема знижуючи ризики, пов'язані з невизначеністю торгових витрат.

3.2 Опис використаних даних

У дослідженні розглядається сім емпіричних наборів даних. Для якісного проведення аналізу було активно використано онлайн-ресурс - бібліотеку даних Кена Френча (Ken French's Data Library). Вона містить великий обсяг фінансових даних, зокрема, портфелі та дослідницькі фактори, відсортовані за різними характеристиками компаній. Основною перевагою використання цього ресурсу є доступ до наборів даних, що мають портфелі, відсортовані за методологією Фама-Френча (Fama-French). Саме вона включає такі основні фактори для побудови моделей оцінки активів:

- MKT (Market) — перевищення доходності ринкового портфеля над безризиковою ставкою;
- SMB (Small Minus Big) — фактор розміру, що представляє різницю в доходності між портфелем малих компаній і портфелем великих компаній;
- HML (High Minus Low) — фактор вартості, що представляє різницю між доходністю портфеля акцій з високим показником «книга-ринок» та акцій з низьким показником;
- UMD (Up Minus Down) — фактор імпульсу, який представляє різницю в доходності між портфелем акцій з високим і низьким імпульсом.

Ці фактори використовуються в моделях Фама-Френча для покращення оцінки ризику та доходності портфелів, враховуючи вплив таких характеристик, як розмір компаній, вартість акцій та імпульсні ефекти [19]. Бібліотека даних Кена Френча надає ці дані у вигляді історичних доходностей, що дозволяє аналізувати вплив факторів на ринок і будувати портфелі з урахуванням специфічних характеристик активів [20].

Для кращого розуміння та візуалізації представимо всі набори даних у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Опис наборів даних

Набір даних	N	Часовий період	Абревіатура
1. Десять секторних портфелів індексу S&P 500	10 + 1	01/1981–12/2002	S&P Sectors
2. Десять портфоліо різних галузей	10 + 1	07/1963–11/2004	Галузеві
3. Індeksi восьми країн і Світовий індекс	8 + 1	01/1970–07/2001	Міжнародні
4. Портфоліо SMB та HML	2 + 1	07/1963–11/2004	MKT/SMB/HML
5. Двадцять портфелів, відсортованих за розміром і показником «книга-ринок» та ринковий портфель акцій США (MKT)	20 + 1	07/1963–11/2004	FF-1-фактор

Продовження таблиці 3.1.

6. Двадцять портфельів, відсортованих за розміром і показником «книга-ринок», та портфелі MKT, SMB і HML	20 + 3	07/1963–11/2004	FF-3-фактор
7. Двадцять портфельів, відсортованих за розміром і показником «книга-ринок», та портфелі MKT, SMB, HML і UMD	20 + 4	07/1963–11/2004	FF-4-фактор

Ця таблиця містить різні набори даних, що аналізувалися. N – кількість ризикових активів, де число після «+» вказує на кількість доступних факторних портфельів. У останній колонці наведено скорочення, що використовується для позначення набору даних у таблицях для оцінки ефективності різних стратегій портфеля. Показник «книга-ринок» є типовим в моделях Фама-Френча, й застосовується як один із факторів, що пояснює дохідність акцій. Сортування портфельів за показником «книга-ринок» допомагає визначити групи компаній з різними інвестиційними характеристиками і краще зрозуміти, як ризик та дохідність залежать від цього співвідношення. Компанії з високим показником зазвичай менш чутливі до ринкових коливань, тоді як компанії з низьким показником схильні до більшої волатильності через очікування високого зростання.

3.2.1 S&P Sectors

Набір даних «S&P Sectors» складається з місячних перевищень доходностей для 10 індустріальних портфельів із ваговою структурою, сформованих на основі Глобального стандарту класифікації галузей (GICS). Цей набір даних був створений Роберто Весселсом. Розглядаються 10 галузей: Енергетика, Матеріали, Промисловість, Споживчі товари

необов'язкового попиту, Споживчі товари обов'язкового попиту, Охорона здоров'я, Фінанси, Інформаційні технології, Телекомунікації та Комунальні послуги. Дані охоплюють період з січня 1981 по грудень 2002 року. У роботі цей набір доповнюється додаванням фактору МКТ, що показує перевищення доходності портфеля ринку акцій.

3.2.2 Галузеві портфелі (Industry)

Набір даних «Industry» складається з місячних перевищень доходностей для 10 галузевих портфелів у Сполучених Штатах. Розглядаються такі 10 галузей: Споживчі товари необов'язкового попиту, Споживчі товари обов'язкового попиту, Виробництво, Енергетика, Високі технології, Телекомунікації, Оптова та роздрібна торгівля, Охорона здоров'я, Комунальні послуги та Інші. Місячні доходності охоплюють період з липня 1963 до листопада 2004 року і були отримані з бібліотеки Кена Френча. Ми доповнюємо цей набір, додаючи як фактор перевищення доходності портфеля ринку акцій США, МКТ.

3.2.3 Портфель міжнародних індексів акцій (International)

Набір даних «International» включає вісім міжнародних фондових індексів: Канади, Франції, Німеччини, Італії, Японії, Швейцарії, Великої Британії та США. Крім цих індексів окремих країн, як факторний портфель використовується світовий індекс. Доходності розраховані на основі вартості індексу акцій країни в доларах США на кінець місяця за період з січня 1970 до липня 2001 року. Дані отримані від MSCI (Morgan Stanley Capital International).

3.2.4 MKT/SMB/HML

Набір даних «MKT/SMB/HML» представлений трьома широкими портфелями: MKT — перевищення доходності ринку акцій США, HML — портфель без витрат, що включає довгу позицію в акціях з високим показником «книга-ринок» і коротку позицію в акціях з низьким показником «книга-ринок», SMB — портфель без витрат, що включає довгу позицію в акціях компаній з малою капіталізацією та коротку позицію в акціях великих компаній. Дані складаються з місячних доходностей за період з липня 1963 до листопада 2004 року.

3.2.5 Двадцять портфелів, відсортованих за розміром і показником «книга-ринок»

Дані складаються з місячних доходностей для 20 портфелів, відсортованих за розміром та показником «книга-ринок». Ці дані охоплюють період з липня 1963 до грудня 2004 року. Цей набір використовується для трьох різних експериментів. У першому експерименті, позначеному як «FF-1-фактор», ми доповнюємо набір, додаючи MKT. У другому експерименті, позначеному як «FF-3-фактор», ми доповнюємо набір, додаючи MKT, а також портфелі без витрат HML і SMB. В експерименті, позначеному як «FF-4-фактор», портфелі відсортовані за розміром і показником «книга-ринок», чотирма факторними портфелями: MKT, HML, SMB і портфелем імпульсу UMD.

3.3 Загальні принципи проведеного аналізу

Аналіз базується на підході з використанням "рухомого вибіркового" методу. Зокрема, для набору даних тривалістю T місяців ми обираємо вікно

оцінки довжиною $M = 60$ або $M = 120$ місяців. У кожному місяці t , починаючи з $t = M + 1$, ми використовуємо дані за попередні M місяців для оцінки параметрів, необхідних для реалізації конкретної стратегії. Ці оцінені параметри потім використовуються для визначення відносних ваг портфеля лише ризикових активів. Відтак, ці ваги застосовуються для обчислення дохідності в місяці $t + 1$. Цей процес продовжується шляхом додавання дохідності для наступного періоду в наборі даних і видалення першої дохідності, аж поки не буде досягнуто кінця набору даних. Результатом цього підходу з рухомим вікном є серія $T - M$ місячних дохідностей поза вибіркою, створених для кожного з емпіричних наборів даних у таблиці 3.1.

Показник коефіцієнт Шарпа (Sharpe Ratio) використовувався для порівняння прибутковості портфельів з урахуванням ризику. Коефіцієнт Шарпа визначається як співвідношення середнього перевищення прибутковості над безризиковою ставкою до стандартного відхилення дохідностей. Це допомагає визначити, наскільки ефективною є кожна модель у створенні портфеля з високим співвідношенням дохідності до ризику.

Маючи часовий ряд місячних дохідностей поза вибіркою, створених кожною стратегією та в кожному наборі даних, обчислюється три показники. Перший — коефіцієнт Шарпа поза вибіркою для стратегії k , який визначається як середнє вибіркоче значення перевищень дохідності поза вибіркою (понад безризиковий актив) $\hat{\mu}_k$, поділене на їхнє вибіркоче стандартне відхилення $\hat{\sigma}_k$:

$$SR_k = \frac{\hat{\mu}_k}{\hat{\sigma}_k} \quad (3.4)$$

Щоб перевірити, чи статистично відрізняються коефіцієнти Шарпа двох стратегій, також обчислюються р-значення різниці, використовуючи підхід,

Показник дохідність із врахуванням впевненості (Certainty-Equivalent Return, CEQ) дозволяє оцінити, яку фіксовану дохідність готовий обрати інвестор замість ризикового портфеля, сформованого кожною моделлю. Дохідність із врахуванням впевненості вимірює ступінь прийнятності ризику для інвестора з визначеною рівневою відради до ризику.

Для оцінки впливу похибки оцінки на ефективність ми також обчислюємо коефіцієнт Шарпа в межах вибірки для кожної стратегії, використовуючи весь часовий ряд перевищень дохідності, тобто з вікном оцінки $M = T$. Формально, коефіцієнт Шарпа в межах вибірки для стратегії k визначається як:

$$\widehat{SR}_k^{IS} = \frac{Mean_k}{Std_k} = \frac{\hat{\mu}_k^{IS} \hat{w}_k}{\sqrt{\hat{w}_k^T \hat{\Sigma}_k^{IS} \hat{w}_k}} \quad (3.5)$$

Дохідність обчислюється як еквівалентна певності (CEQ), що визначається як безризикова ставка, яку інвестор готовий прийняти замість вибору певної ризикової стратегії портфеля. Формально, ми розраховуємо дохідність CEQ для стратегії k за формулою:

$$CEQ_k = \hat{\mu}_k - \frac{\gamma}{2} \hat{\sigma}_k^2 \quad (3.6)$$

де $\hat{\mu}_k$ і $\hat{\sigma}_k^2$ — це середнє значення і дисперсія поза-вибіркових надлишкових доходностей для стратегії k , а γ — коефіцієнт ризик-аверсії.

У представлених далі результатах було використано значення $\gamma = 1$. Щоб перевірити, чи відрізняються показники CEQ для двох стратегій статистично значуще, було обчислено значення p -рівня для різниці, покладаючись на асимптотичні властивості функціональних форм оцінок середніх значень та дисперсій.

Оборотність портфеля (Turnover) відображає, наскільки часто доводиться проводити торги для підтримки оптимального складу портфеля. Оборотність важлива для розуміння обсягу витрат, пов'язаних із реалізацією кожної стратегії, оскільки часті торги можуть призводити до підвищення витрат, що, у свою чергу, впливає на реальну прибутковість портфеля.

Щоб зрозуміти обсяг торгівлі, необхідний для реалізації кожної стратегії портфеля, було обчислено оборот портфеля, що визначається як середнє значення суми абсолютних значень операцій для всіх N доступних активів:

$$\text{Оборот} = \frac{1}{T - M} \sum_{t=1}^{T-M} \sum_{j=1}^N |\hat{w}_{k,j,t+1} - \hat{w}_{k,j,t}| \quad (3.7)$$

де $\hat{w}_{k,j,t}$ — це вага активу j у портфелі в момент t для стратегії k ; $\hat{w}_{k,j,t+}$ — вага портфеля до перебалансування в момент $t + 1$; а $\hat{w}_{k,j,t+1}$ — цільова вага портфеля на момент $t + 1$ після перебалансування. Показник обороту, визначений вище, можна інтерпретувати як середній відсоток багатства, що торгується в кожному періоді. Для стратегії-еталона mv ми наводимо її абсолютний оборот, а для всіх інших стратегій — їх оборот відносно еталонної стратегії.

Крім звітності щодо абсолютного обороту для кожної стратегії, наводиться економічний показник, що демонструє, як пропорційні витрати на операції, викликані оборотом, впливають на доходність конкретної стратегії. Пропорційну вартість транзакції встановлено на рівні 50 базисних пунктів за операцію, згідно з припущенням [21] та на основі досліджень витрат на операції для окремих акцій на NYSE [22 - 24].

Для кожної моделі обчислюється втрата доходності відносно стратегії mv -с. Втрата доходності визначається як додатковий дохід, необхідний для того, щоб стратегія k забезпечила таку ж ефективність, як і

модель mv-с за коефіцієнтом Шарпа. Для обчислення втрати доходності за місяць припускається, що μ_{ew} та σ_{ew} — це середнє значення та волатильність поза вибіркових чистих доходів стратегії mv-с за місяць, а μ_k та σ_k — відповідні показники для стратегії k . Формула для обчислення втрати доходності стратегії k має вигляд:

$$return - loss_k = \frac{\mu_{ew}}{\sigma_{ew}} \times \sigma_k - \mu_k \quad (3.8)$$

3.4 Аналіз результатів

3.4.1 Коефіцієнт Шарпа

Результати коефіцієнта Шарпа представлені у таблиці 3.2 та на рисунку 3.1.

Таблиця 3.2 Коефіцієнти Шарпа для емпіричних даних

Модель	S&P Sectors	Галузеві портфелі	Міжнародні	МКТ/SMB /HML	FF-1 фактор	FF-4 фактор
mv (класична)	0.3848	0.2124	0.2090	0.2851	0.5098	0.5364
mv (з урахуванням похибки)	0.0794	0.0679	-0.0332	0.2186	0.0128	0.1841
min	0.0820	0.1554	0.1490	0.2493	0.2778	- 0.0183
vw (camp)	0.1444	0.1138	0.1239	0.1138	0.1138	0.1138
mv - c	0.0892	0.0678	0.0848	0.1084	0.1977	0.2024

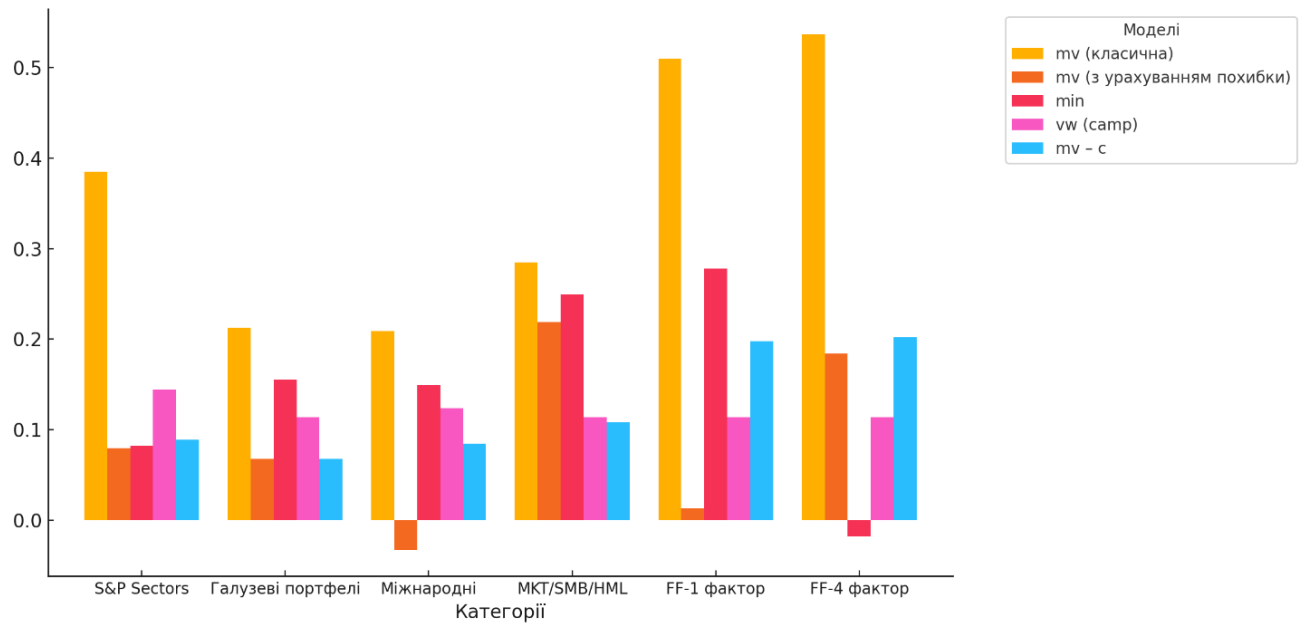


Рисунок 3.1 Коефіцієнти Шарпа для емпіричних даних

Для кожного з емпіричних наборів даних, наведених у таблиці 3.1, ця таблиця показує коефіцієнт Шарпа. Результати для набору даних «FF-3-фактор» не наведено, оскільки вони дуже схожі на результати для набору даних «FF-1-фактор».

В цьому дослідженні модель *mv* (класична) є еталонною. Класична середньо-варіаційна модель, що використовує спеціально підібрані дані для обчислення коефіцієнта Шарпа, показує найвищі значення серед усіх стратегій, оскільки не враховує похибки оцінювання. Значення коефіцієнта Шарпа для цієї моделі коливається від 0.2124 для "Галузевих портфелів" до 0.5364 для "FF-4 фактор". Найвищий коефіцієнт досягається у випадку "FF-4 фактор" (0.5364), що свідчить про значний потенціал прибутковості цієї моделі за відсутності помилок оцінювання.

Розглядаються результати моделі *mv* (з урахуванням похибки). Коли враховується похибка оцінювання, результати значно погіршуються. Наприклад, для "S&P Sectors" коефіцієнт Шарпа знижується з 0.3848 до 0.0794, а для "Міжнародних" портфелів стає навіть від'ємним (-0.0332). Це показує, що похибка оцінювання суттєво знижує ефективність класичної середньо-варіаційної моделі у реальних умовах. Максимальне значення

досягається для "MKT/SMB/HML" (0.2186), але це все одно значно нижче, ніж показник еталлоної моделі.

Модель мінімальної варіативності (min) демонструє стабільніші результати порівняно з mv (з урахуванням похибки), але все ще має менший коефіцієнт Шарпа у більшості випадків. Значення варіюються від 0.0820 для "S&P Sectors" до 0.2778 для "FF-1 фактор". Проте для "FF-4 фактор" результат негативний (-0.0183), що свідчить про невдале застосування цієї моделі у цьому випадку. Ця модель демонструє стабільніші показники, проте в більшості випадків не перевищує mv-с. Наприклад, для "S&P Sectors" значення становить 0.0820, що трохи нижче 0.0892 у mv-с, але для "Галузевих портфельів" вона дещо краща (0.1554 проти 0.0678 у mv-с). Порівняно з mv-с, стратегія min показує вищі значення лише для "Галузевих портфельів" та "MKT/SMB/HML".

Ринковий портфель зважених за вартістю (vw: CAMP model) активів показує однаковий коефіцієнт Шарпа для більшості наборів даних (0.1138). Це свідчить про сталість результатів цієї моделі, але значення є відносно низьким у порівнянні з іншими стратегіями. Показники цієї стратегії є нижчими за mv-с для більшості наборів, окрім "Міжнародні", де коефіцієнт Шарпа 0.1239 трохи перевищує 0.0848 у mv-с.

Оптимізована середньо-варіаційна модель з урахуванням транзакційних витрат та обмеженням обсягу торгівлі (mv-с) показує трохи кращі результати порівняно з mv (з урахуванням похибки) у деяких випадках. Наприклад, для "FF-1 фактор" вона досягає коефіцієнта Шарпа 0.1977, що є значно вищим, ніж 0.0128 для mv з урахуванням похибки. Це свідчить про те, що обмеження обсягу торгівлі може знизити вплив похибки оцінювання і покращити ефективність портфель. Модель mv-с показує стабільніші результати, особливо для наборів даних з високим ризиком, таких як "FF-1 фактор" та "FF-4 фактор". Порівняно з іншими моделями, mv-с може бути кращим вибором для інвесторів, які прагнуть уникнути високих похибок оцінювання та стабільніших показників.

3.4.2 Еквівалентні за надійністю доходи (CEQ)

Результати еквівалентних за надійністю доходів представлені у таблиці 3.3 та на рисунку 3.2.

Таблиця 3.3 Еквівалентні за надійністю доходи для емпіричних даних (CEQ)

Модель	S&P Sectors	Галузеві портфелі	Міжнародні	МКТ/SMB /HML	FF-1 фактор	FF-4 фактор
mv (класична)	0.0478	0.0106	0.0096	0.0047	0.0300	0.0304
mv (з урахуванням похибки)	0.0031	-0.7816	-0.1365	0.0045	-2.7142	-0.0829
min	0.0024	0.0052	0.0054	0.0039	0.0100	-0.0002
vw (camp)	0.0053	0.0042	0.0044	0.0042	0.0042	0.0042
mv – c	0.0040	0.0023	0.0032	0.0030	0.0090	0.0075

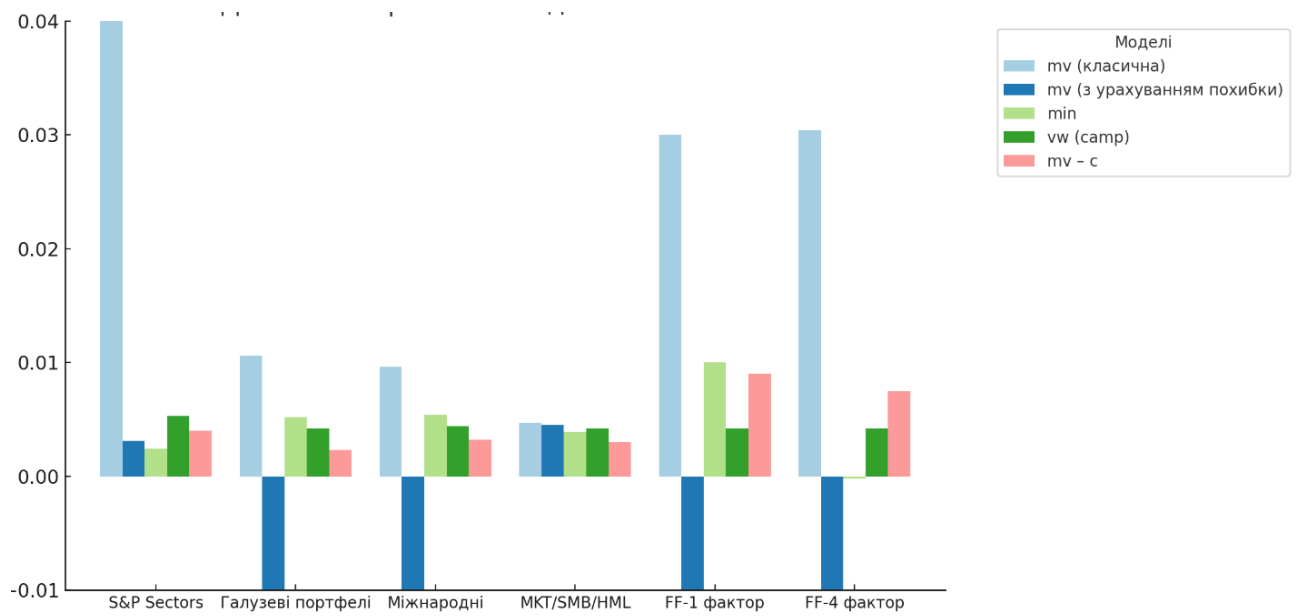


Рисунок 3.2 Еквівалентні за надійністю доходи для емпіричних даних (CEQ)

Для кожного з емпіричних наборів даних, наведених у таблиці 3.2, ця таблиця показує SEQ (еквівалентний за надійністю дохід) для середньо-варіаційної моделі, а також для інших моделей зазначених у підрозділі 1 цього розділу. Результати для набору даних "FF-3-factor" не наведено, оскільки вони дуже схожі на результати для набору "FF-1-factor".

Еталонна модель *mv* (класична) демонструє найвищий результат серед усіх стратегій у кожному наборі даних, зокрема для S&P Sectors (0.0478) і FF-4 Factor (0.0304). Це обумовлено відсутністю похибок у вибірці що демонструє її ефективність у теоретичних умовах без врахування похибок.

Модель *mv* показує значно інші результати, особливо для FF-1 Factor (-2.7142) і Галузеві портфелі (-0.7816), що є екстремально негативними значеннями. Негативні показники також спостерігаються для *Міжнародні портфелі* (-0.1365) та *FF-4 Factor* (-0.0829). Це свідчить про суттєві похибки оцінювання, які впливають на ефективність стратегії в умовах виходу за рамки вибірки. Негативні значення виникають через нестабільність моделі та низьку прибутковість у цих сценаріях, що може бути спричинено високими ризиками або невдалою адаптацією до ринку.

Модель *min* демонструє стабільніші результати з позитивними значеннями для більшості наборів даних, наприклад, для FF-1 Factor (0.0100) та MKT/SMB/HML (0.0039). Для набору FF-4 Factor результат негативний (-0.0002), що свідчить про обмеження моделі у певних ринкових умовах. Незважаючи на деякі значення, загалом використання моделі призводить до мінімізації ризику, що обмежує екстремальні втрати.

Модель *vw(camp)* показує стабільні, хоча і невеликі, позитивні результати у всіх наборах даних (наприклад, 0.0042 для FF-1 Factor). Ця стабільність є результатом застосування ваг на основі ринкової капіталізації, що відображає загальну динаміку ринку без екстремальних змін у різних умовах.

Модель mv-c забезпечує стабільні результати у всіх наборах даних, як у FF-1 Factor (0.0090) та FF-4 Factor (0.0075) так і S&P Sectors(0.0040), Галузеві портфелі(0.0023), Міжнародні (0.0032). Це є свідченням її надійності, особливо в умовах обмеження на короткий продаж, що допомагає уникнути екстремальних втрат. Загалом, mv-c є більш надійною, ніж mv (з урахуванням похибки) та vw, і забезпечує помірно стабільний дохід навіть у порівнянні з класичною mv, яка демонструє високі, але потенційно менш стабільні результати без врахування похибок.

3.4.3 Оборотність портфеля

Результати оборотності портфелів для емпіричних даних представлені у таблиці 3.4 та на рисунку 3.3.

Таблиця 3.4 Оборотність портфелів для емпіричних даних

Модель	S&P Sectors	Галузеві портфелі	Міжна родні	МКТ/SMB /HML	FF-1 фактор	FF-4 фактор
mv (класична)	-	-	-	-	-	-
mv (з урахуванням похибки)	38.99	606594.36	4475.81	2.83	10466.10	3553.03
min	6.54	21.65	7.30	1.11	45.47	6.83
vw (camp)	0	0	0	0	0	0
mv – c	4.53	7.17	7.23	4.12	17.53	13.82

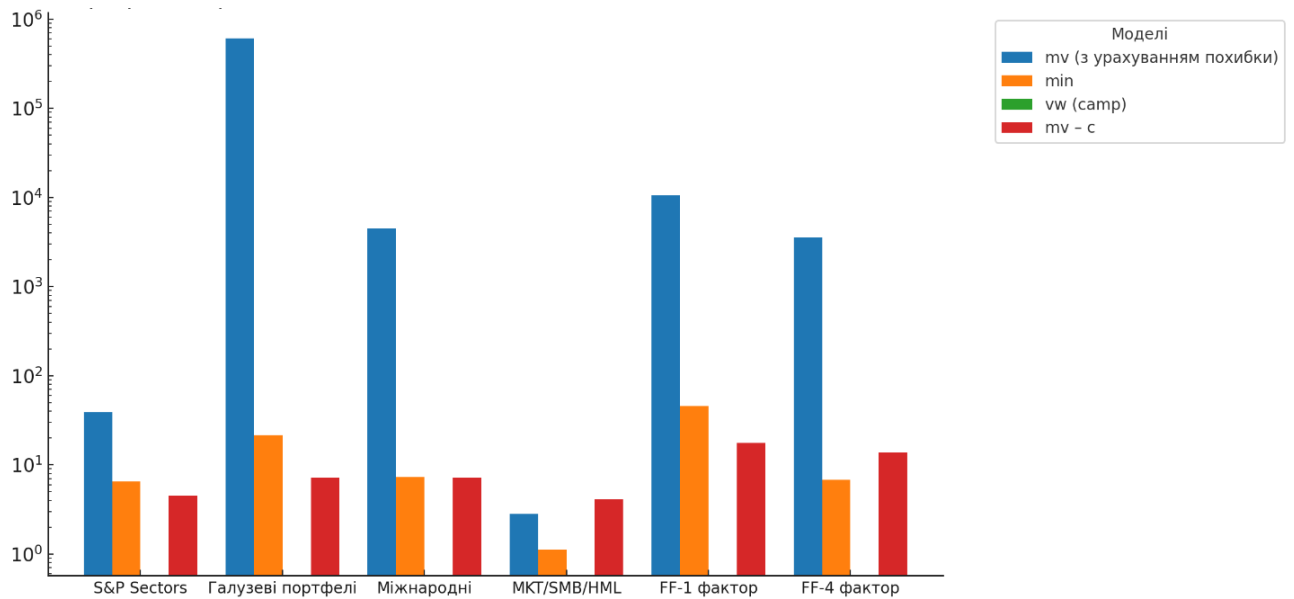


Рисунок 3.3 - Оборотність портфельів для емпіричних даних

Для моделі mv (класична) не наведено значень оборотності, оскільки вона оцінюється інсайдерськими методами й не використовується в умовах реального ринку, де присутні похибки.

Модель mv (з урахуванням похибки) показує високий рівень оборотності в кількох наборах даних, особливо у Галузеві портфельі (606594.36) і FF-1 фактор (10466.10), що свідчить про часті та значні зміни в портфельі. Висока оборотність зазвичай означає більші транзакційні витрати, що може негативно вплинути на чистий дохід. Порівняно з $mv-c$, оборотність значно вища, що робить mv з урахуванням похибки більш затратною в умовах ринкових витрат на транзакції.

Модель мінімальної варіативності має помірні показники оборотності, які варіюються залежно від набору даних, наприклад, 6.54 для S&P Sectors та 21.65 для Галузевих портфельів. Це свідчить про стабільніше управління, що є перевагою при зниженні транзакційних витрат. У порівнянні з $mv-c$, оборотність у більшості наборів даних трохи вища, але стабільна, що робить її прийнятною для інвесторів, які хочуть знизити транзакційні витрати.

При застосуванні моделі $vw(camp)$ значення оборотності набувають 0 у всіх наборах даних, оскільки портфель, зважений за ринковою вартістю,

не вимагає періодичних перебалансувань, якщо ринкові пропорції залишаються стабільними. Це робить vw(samp) найекономічнішою з точки зору транзакційних витрат. Проте, стратегія є менш адаптивною до змін у ризик-прибутковості, що може знизити її ефективність у деяких умовах. Загалом, оборотність стратегії vw рівна нулю через її пасивний підхід, заснований на ринкових вагових коефіцієнтах, які не вимагають активного управління.

Оптимізована середньо-варіаційна модель mv-с показує відносно низьку оборотність порівняно з необмеженою mv, наприклад, 4.53 у S&P Sectors та 7.17 у Галузевих портфелях. Це вказує на стабільніше управління активами завдяки обмеженням, що знижує частоту перебалансувань.

3.4.4 Втрата доходності відносно mv-с

Результати втрати доходності відносно mv-с представлені у таблиці 3.5 та на рисунку 3.4.

Таблиця 3.5 Втрата доходності відносно mv-с

Модель	S&P Sectors	Галузеві портфелі	Міжна родні	MKT/SMB /HML	FF-1 фактор	FF-4 фактор
mv (класична)	-	-	-	-	-	-
mv (з урахуванням похибки)	0.0145	23.8504	1.1689	0.0003	7.4030	1.5740
min	0.0048	0.0015	0.0000	-0.0004	-0.0008	0.0024
vw (samp)	- 0.0001	0.0037	0.0012	0.0157	0.0021	0.0028

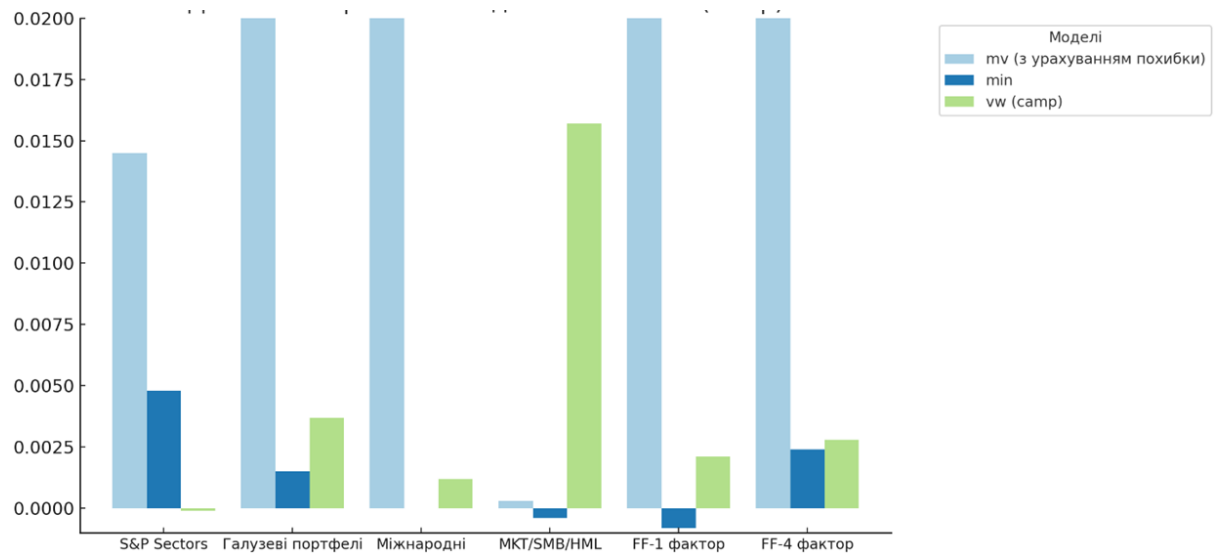


Рисунок 3.4 - Втрата доходності відносно mv-с

У таблиці 3.5 аналізується втрата доходності для різних моделей відносно оптимізованої середньо-варіаційної моделі з урахуванням транзакційних витрат. Цей показник відображає додаткову дохідність, яку кожна модель повинна забезпечити для досягнення такого ж коефіцієнта Шарпа, як у стратегії mv-с. У таблиці також наведено випадки, коли певні стратегії показують негативну втрату доходності, що свідчить про їхню ефективність у покритті витрат на торгівлю та забезпеченні вищого коефіцієнта Шарпа, ніж у стратегії mv-с.

Модель mv (з урахуванням похибки) має значні втрати у наборі даних Галузеві портфелі (231.8504), FF-1 фактор (7.4030) та інші набори, що вказує на низьку ефективність цієї моделі в умовах значних транзакційних витрат.

Модель min має істотно низькі втрати, наприклад, 0.0015 для Галузеві портфелі і 0.0000 для Міжнародні портфелі, що демонструє стабільність та економічність цієї стратегії.

Модель vw показує мінімальну втрату доходності або навіть невелике позитивне значення, що пов'язано з відсутністю потреби в перебалансуванні внаслідок зваження за ринковою капіталізацією.

3.5 Платформа, мова програмування та бібліотеки

Для ефективної реалізації програмного забезпечення, важливим кроком є вибір оптимального середовища та інструментів розробки. Основними факторами при виборі були: вимоги до продуктивності, зручність реалізації алгоритмів та доступність необхідних бібліотек.

Для розробки програми було обрано мову програмування Python. Python є високорівневою об'єктно-орієнтованою мовою зі строгою динамічною типізацією, яка забезпечує високу продуктивність при роботі з великими обсягами даних та надає широкий вибір бібліотек для розв'язання складних задач.

У роботі використано наступні інструменти та бібліотеки.

1. Python 3.10.5: основна мова програмування, що забезпечує простоту у використанні та широкий вибір сторонніх бібліотек.
2. PyQt6: для створення графічного інтерфейсу користувача. Бібліотека дозволяє розробляти кросплатформені додатки із зручним інтерфейсом.
3. NumPy: для роботи з багатовимірними масивами даних та виконання математичних операцій.
4. Pandas: для обробки, аналізу та маніпуляції табличними даними.
5. SciPy: потужний інструмент для наукових обчислень, що включає модулі для оптимізації, інтегрування, інтерполяції, обробки сигналів та статистики. У даній роботі SciPy використовується для реалізації алгоритмів оптимізації, таких як методи мінімізації та обробки багатовимірних матриць. Завдяки оптимізованим чисельним алгоритмам, бібліотека дозволяє значно зменшити обчислювальні витрати, що є критичним для задач портфельної оптимізації.
6. matplotlib: для візуалізації даних.

Основні компоненти програми:

- графічний інтерфейс створений за допомогою PyQt6, забезпечує інтуїтивно зрозуміле управління програмою, включаючи завантаження даних, вибір періодів часу та фінансових інструментів;
- основна логіка відповідає за інтеграцію компонентів програми, зокрема управління інтерфейсом та виконання розрахунків;
- модуль розрахунків містить реалізацію алгоритмів оптимізації інвестиційного портфелю, таких як метод мінімальної дисперсії, наївний метод рівномірного балансування та інші.

Ці інструменти та бібліотеки були обрані через їх відповідність вимогам задачі, ефективність та простоту інтеграції в єдиний програмний продукт. Особлива увага приділялася використанню SciPy, яка дозволяє швидко та ефективно реалізовувати складні математичні моделі.

3.6 Опис модулів програмного продукту

Програмний продукт, розроблений у межах магістерської дисертації, складається з кількох модулів, кожен з яких виконує конкретні функції для реалізації задач оптимізації інвестиційного портфелю. Основні модулі забезпечують розрахунки, обробку даних, взаємодію з користувачем та візуалізацію результатів.

Розглянемо основні модулі.

1. Модуль `interface.py`. Відповідає за графічний інтерфейс програми, створений за допомогою бібліотеки PyQt6. Він забезпечує взаємодію користувача з програмою:
 - вибір періодів часу та фінансових інструментів;
 - завантаження вхідних даних;
 - відображення результатів у вигляді таблиці.
2. Модуль `main.py` виконує функцію інтеграції компонентів програми. Він реалізує:

- обробку введених користувачем параметрів;
- запуск алгоритмів оптимізації вагових коефіцієнтів;
- відображення результатів у графічному інтерфейсі.

3. Модуль `solver.py` є основним модулем розрахунків. Його призначення полягає у виконанні оптимізації інвестиційного портфелю та розрахунку метрик. Модуль має такі ключові функції:

- `create_covariance_matrix`: створює матрицю коваріацій між активами;
- `create_mean_vector`: обчислює середні значення цін активів;
- `calculate_weights`: обчислює вагові коефіцієнти для різних стратегій;
- `aggregate_weights`: агрегує вагові коефіцієнти за категоріями;
- `create_aggregation`: створює словник для агрегації вагових коефіцієнтів (використовується для тестових ринків).

Основний клас модуля `solver.py` – `EstimateWeights`. Це клас для розрахунків вагових коефіцієнтів. Реалізує наступні методи:

- метод мінімізації дисперсії (*minimum variance method*);
- метод максимальної дохідності з мінімізацією ризику (*mean variance method*);
- метод максимальної дохідності з обмеженням на транзакційні витрати (*mean variance with constraints method*);
- метод вагового розподілу за ринковою капіталізацією (*value weighted method*).

Клас також надає можливість оцінки метрик:

- `SR (Sharp Ratio)`: коефіцієнт Шарпа;
- `CEQ (Certainty Equivalent Return)`: дохідність, що є еквівалентною певності;
- `Return-loss`: втрати відхилення портфелю;
- `Turnover`: оборотність портфелю.

Програмний продукт побудований таким чином, щоб забезпечити простоту інтеграції нових функцій та модулів. Всі модулі взаємодіють між собою через добре визначені інтерфейси, що робить їх повторне використання можливим у майбутніх проектах.

Таким чином, модульна архітектура програми забезпечує її масштабованість, гнучкість та зручність у використанні.

3.7 Висновки до розділу 3

Ефективність оптимізованої моделі вибору інвестиційного портфеля підтверджена емпіричними результатами, що демонструють переваги врахування витрат та ліквідності у сучасних фінансових умовах. Аналіз різних підходів до оптимізації виявив, що модифіковані моделі з врахуванням витрат і обмежень ліквідності суттєво перевершують класичні моделі Марковіца в умовах високих транзакційних витрат і низької ліквідності активів.

Моделі мінімальної варіативності та вагового розподілу ринкової капіталізації показали свою ефективність у забезпеченні стабільності портфеля. Проте модифіковані середньо-дисперсійні моделі, такі як *mv-c*, довели свою перевагу завдяки здатності адаптувати структуру портфеля до реальних ринкових умов, зокрема за рахунок зниження торгових витрат і підвищення ліквідності.

Аналіз даних на основі емпіричних наборів з використанням факторних моделей підтвердив важливість врахування специфічних характеристик активів, таких як розмір компанії, співвідношення "книга-ринок" та імпульсні фактори. Використання наборів даних з бібліотеки Фама-Френча дозволило значно підвищити точність прогнозування доходності портфелів і знизити ризики.

Підхід з рухомим вибіркоким методом показав високу адаптивність до змін ринкових умов, дозволяючи оцінювати ефективність стратегій

портфелів у різні періоди часу. Це забезпечує надійність результатів і підтверджує доцільність використання модифікованих моделей оптимізації у практиці управління портфелем.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ВЛАСНОГО СТАРТАП ПРОЕКТУ

В умовах сучасного динамічного ринку ефективне управління фінансами є ключовим елементом для досягнення стійкого розвитку бізнесу. Особливо це актуально для малих і середніх підприємств, які часто стикаються з обмеженнями ресурсів та необхідністю прийняття швидких і зважених фінансових рішень. Традиційні методи інвестування не завжди враховують сучасні виклики, такі як високий рівень невизначеності, зростаючі витрати на транзакції та обмеження ліквідності.

Мета цього розділу — представити концепцію стартапу, який пропонує інноваційний підхід до управління фінансовими ресурсами. В основі стартапу лежить модифікована середньо-дисперсійна модель, яка поєднує в собі класичні теоретичні основи з практичними інструментами для врахування реальних витрат і ризиків. Дана модель, описана в попередніх розділах, дозволяє автоматизувати процес формування портфелів, мінімізуючи витрати і забезпечуючи оптимальну дохідність.

Ця розробка має на меті не лише забезпечити фінансову стабільність підприємств, але й сприяти їхньому довгостроковому зростанню завдяки інноваціям в управлінні капіталом. Стартап-проект, розроблений на основі принципів оптимізації портфелів, може стати важливим інструментом для підприємців, які прагнуть підвищити конкурентоспроможність і адаптивність своїх бізнес-моделей до швидкозмінного ринкового середовища.

4.1 План розробки стартапу та масштабування його на ринок

Розробка стартапу та його успішне виведення на ринок потребують чіткої структури дій. Початковий етап передбачає проведення всебічного маркетингового аналізу. Для цього необхідно здійснити конкурентний аналіз, що допоможе зрозуміти, якими методами вирішення проблем вже

користуються люди, а також виявити сильні та слабкі сторони наявних рішень. На основі цього аналізу слід сформулювати ідею проєкту, чітко визначити цільову аудиторію та її потреби. Це дозволить створити унікальну пропозицію. На завершення етапу маркетингового аналізу розробляється стратегія виведення продукту на ринок, яка базується на оцінці ринкового середовища, включаючи тренди, обсяги попиту та конкурентні умови.

Далі - організація самого стартапу. На цьому етапі розробляється детальний план дій, який включає розподіл завдань, відповідальностей та ключових термінів. Важливо також побудувати таймлайн реалізації проєкту, що дозволить контролювати кожен етап. Крім того, необхідно запланувати обсяги виробництва продукту та визначити, які ресурси потрібні для виконання плану, включаючи технічні, фінансові та людські. Особлива увага приділяється розрахунку витрат, які охоплюють розробку, запуск та підтримку продукту, а також формуванню бюджету з урахуванням непередбачених витрат.

Наступним важливим кроком є проведення фінансово-економічного аналізу та оцінка ризиків. Спочатку необхідно розрахувати витрати та визначити основні фінансові показники, такі як собівартість, ціна продукту або послуги, податкові зобов'язання та прогнозований чистий прибуток. На основі цих даних оцінюється інвестиційна привабливість проєкту, враховуючи такі критерії, як рентабельність продажів і період окупності. Також проводиться аналіз ризиків, серед яких виділяються фінансові, ринкові та операційні загрози, і визначаються способи їх мінімізації.

Фінальним етапом є розробка заходів з комерціалізації продукту, які важливі для масштабування стартапу та його розширення. Це включає дослідження інтересів потенційних інвесторів і бізнесів, які можуть бути зацікавлені у проєкті. На основі цього готується інвестиційна пропозиція, яка описує продукт, його поточний стан і перспективи розширення. Для пошуку фінансування та залучення партнерів визначаються ефективні канали комунікації, зокрема проведення переговорів, презентацій або участь у

публічних заходах. Окрім цього, заходи з масштабування можуть включати локалізацію продукту для нових ринків та проведення рекламних кампаній для збільшення його впізнаваності.

4.2 Опис ідеї стартап-проекту

Стартап-проект полягає у створенні інструменту для автоматизованого управління інвестиціями, який допомагає користувачам знаходити оптимальні стратегії для інвестування, зменшуючи ризики та максимізуючи дохідність з урахуванням ризиків, витрат і ліквідності.

Суть продукту - проаналізувати введені дані та запропонувати розподіл інвестицій між активами у відсотковому співвідношенні для досягнення найкращого співвідношення ризик/дохідність. Розглянемо основні відомості про проект у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні відомості про проект

Назва проекту	Optimal Investing (OptInvest)
Автори проекту	Павлюк Софія Віталіївна
Коротка анотація	Додаток оброблятиме введені користувачем дані щодо вибраних активів, суми інвестицій та рівня допустимого ризику. На основі математичних моделей він здійснюватиме оптимізацію портфеля, враховуючи ризики, транзакційні витрати та ліквідність активів, і пропонуватиме оптимальні ваги для інвестування, що забезпечать найкраще співвідношення дохідності та ризику.
Термін реалізації проекту	12 місяців
Опис проблеми, яку вирішує проект	Визначення оптимального розподілу капіталу між активами з урахуванням ризиків та витрат.

Продовження таблиці 4.1

Головні цілі та завдання проекту	Метою проєкту є розробка платформи для автоматизованого управління інвестиціями, яка сприяє користувачам у визначенні найефективніших інвестиційних стратегій, забезпечуючи мінімізацію витрат, ризику та максимізацію прибутковості.
Необхідні ресурси	
Очікувані результати	Підвищення ефективності портфельів користувачів завдяки адаптивному управлінню активами. Автоматизація рутинних процесів для інвесторів, зменшуючи необхідність глибоких фінансових знань.

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
Основна ідея полягає у створенні трейдингової платформи, яка автоматично визначає оптимальний розподіл інвестицій між активами з урахуванням ризиків, дохідності та витрат.	Платформа допомагає індивідуальним інвесторам аналізувати ринок, визначати оптимальний розподіл активів і приймати обґрунтовані інвестиційні рішення, враховуючи особисті фінансові цілі та рівень ризику.	Зниження потреби у складному аналізі ринку та розрахунках завдяки автоматичній оптимізації портфельів. Враховання транзакційних витрат і ліквідності активів для зниження додаткових фінансових витрат.
	Інструмент надає фінансовим консультантам і компаніям засоби для створення оптимізованих портфельів, що відповідають потребам клієнтів, та забезпечує прозорість у плануванні інвестиційної стратегії.	Розподіл активів, який враховує індивідуальні фінансові цілі, допустимий рівень ризику та обмеження користувача.

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

Таблиця 4.3 – Порівняльний аналіз конкурентів проекту та результати

№ п/п	Техніко економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		
		Власний проект	Betterment	Wealthfront
1	Персоналізація інвестиційних стратегій	Пропонує високий рівень персоналізації	Надає стандартні моделі з обмеженими можливостями	Пропонує певну гнучкість у налаштуваннях
2	Доступність у ціні	Безкоштовна белімітна демо версія	Комісія 1.25%	Комісія 1.25% + Розширений функціонал за додаткову плату
3	Врахування транзакційних витрат та ліквідності	Враховує	Не враховує	Враховує лише комісію бірж

Далі аналізуємо реальність технічно здійснити ідею проекту (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Технологічна здійсненність продукту

№ п/п	Ідея проекту	Технології і реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1	Створенні платформи автоматизованого управління інвестиціями, яка	Використання мови програмування Python	Наявні	Доступні
2	оптимізує розподіл активів з урахуванням ризиків, дохідності та транзакційних витрат,	Використання мови програмування C#	Не наявні, необхідні доопрацювання	Доступні
3	забезпечуючи персоналізовані рекомендації для користувачів.	Інтеграція API. Використання фінансових API для збору даних про активи.	Наявні, необхідні доопрацювання	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Python				

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

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

Таблиця 4.5 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

№ п/п	Показники ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3 (Betterment, Wealthfront, Personal Capital)
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	10 млрд доларів (за світовим ринком робот-адвайзерів)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Позитивна, ринок зростає на 20% щороку
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Висока конкуренція, вимоги до технологій
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	12-15%

Тепер проведемо характеристику потенційних клієнтів, які можуть бути зацікавлені в проекті (табл. 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	Автоматизація управління інвестиціями	Індивідуальні інвестори	Частіше використовують мобільні платформи, орієнтовані на простоту	Простота використання, доступність за ціною

Продовження таблиці 4.6

2	Мінімізація ризиків та оптимізація портфеля	Фінансові консультанти	Очікують розширених аналітичних інструментів та даних	Інтеграція з іншими інструментами, точність
3	Ефективний розподіл активів з урахуванням витрат	Малі та середні компанії	Прагнуть підвищення ефективності управління корпоративними активами	Прозорість алгоритмів, надійність
4	Доступ до персоналізованих стратегій	Новачки в інвестуванні	Шукають освітні ресурси та поради, щоб зрозуміти основи інвестування	Освітній контент, низький бар'єр входу
5	Інтеграція з локальними активами	Локальні інвестори	Віддають перевагу підтримці місцевих ринків та локалізованим даним	Адаптація до локального ринку

Обраховуємо фактори загроз (табл. 4.7) та можливостей (табл. 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 загрози

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока конкуренція	Конкуренти, такі як Betterment і Wealthfront, мають значну частку ринку та відомий бренд	Акцент на локалізації, інноваційних функціях і доступній ціні

Продовження таблиці 4.7

2	Обмеження доступу до фінансових даних	Відсутність доступу до якісних та актуальних фінансових даних може вплинути на ефективність моделей		Співпраця з фінансовими АРІ, інвестиції в локальні джерела даних
3	Зміни у регуляторному середовищі	Нові вимоги до фінансових платформ можуть збільшити витрати на дотримання законодавства		Моніторинг регуляторних змін, забезпечення відповідності стандартам

Далі розглянемо фактори можливостей у табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання попиту на автоматизацію	Інвестори все частіше шукають автоматизовані рішення для управління портфелем	Створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу та доступних тарифних планів
2	Локалізація сервісів	Обмежена кількість платформ, які адаптовані до локальних ринків	Розробка локалізованих інструментів для роботи з місцевими активами
3	Інтеграція інноваційних технологій	Попит на платформи з аналітикою ризиків, використанням AI і ML	Інтеграція алгоритмів машинного навчання для покращення прогнозів та рекомендацій

Далі розглянемо питання конкуренції, а саме визначимо її тип та рівень (табл. 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	Наявна обмежена кількість автоматизованих платформ для локальних ринків	Максимально адаптувати продукт до локальних умов, зробивши акцент на персоналізації
2. За рівнем конкурентної боротьби: міжнародний	Конкуренти представлені на глобальному ринку з доступом до великих клієнтських баз	Розробити багатомовний інтерфейс, орієнтований на глобальну аудиторію
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Ринок автоматизації інвестиційних платформ зосереджений на вузькій фінансовій сфері	Пропонувати інтеграції для бізнес-користувачів із різних галузей
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Конкуренція з іншими робот-адвайзерами та традиційними фінансовими радниками	Покращувати якість прогнозів і аналітики, запровадити унікальні функції
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Конкуренти фокусуються на різних аспектах якості, наприклад, UX чи аналітиці	Забезпечити інтуїтивність інтерфейсу та точність алгоритмів
6. За інтенсивністю: марочна	Конкуренти мають сильні бренди (Betterment, Wealthfront)	Побудувати унікальний імідж бренду через локалізацію та підтримку освітніх матеріалів

Далі необхідно виконати аналіз конкуренції за моделлю 5 сил конкуренції Майкла Портера (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти у галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товарозамінники
Опис	Інші робот-адвайзери	Традиційні фінансові консультанти або нові стартапи	Постачальники фінансових даних (API)	Індивідуальні інвестори, фінансові консультанти, компанії	Ручне управління інвестиціями
Ключові фактори	Якість прогнозів, функціонал, ціни, бренд	Інновації, доступ до фінансування, швидкість адаптації	Якість даних, ціни за API, стабільність роботи	Прозорість, зручність, вартість, результативність	Витрати часу та складність для користувачів
Висновки	Конкуренція середньої інтенсивності, але з потужними брендами	Ринок привабливий для нових гравців	Постачальники є, але залежність обмежена	Клієнти орієнтуються на якість та персоналізацію	Товарозамінники не становлять значної загрози

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

Таблиця 4.11 – Перелік факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор значущим)
1	Персоналізація інвестиційних стратегій	Продукт дозволяє враховувати індивідуальні параметри, такі як рівень ризику, ліквідність та витрати
2	Безкоштовна demo-версія	Допомагає залучити нових користувачів, підвищуючи популярність продукту та збільшуючи клієнтську базу
3	Інтеграція локальних фінансових даних	Забезпечує доступ до специфічної інформації для локальних інвесторів, що робить продукт унікальним на ринку
4	Простий та зручний інтерфейс	Мінімізує потребу в навчанні користувачів, дозволяючи навіть новачкам легко користуватися платформою
5	Врахування транзакційних витрат	Оптимізація портфелів включає аналіз витрат, що знижує фінансові втрати користувачів

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

Таблиця 4.12 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін системи

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	OptInvest (створений стартап)	Betterment	Wealthfront
1	Персоналізація інвестиційних стратегій	20	15	17
2	Простота у використанні	18	19	18
3	Врахування транзакційних витрат	19	10	12
4	Інтеграція локальних даних	20	12	14
5	Наявність безкоштовної demo-версії	19	16	16

Далі проведемо SWOT-аналіз продукту (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 - SWOT-аналіз продукту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<p>Високий рівень персоналізації інвестиційних стратегій</p> <p>Інтеграція транзакційних витрат у моделі оптимізації</p> <p>Локалізація платформи для специфічних ринків</p> <p>Простий та інтуїтивний інтерфейс</p> <p>Наявність безкоштовної demo-версії</p>	<p>Відсутність сильного бренду</p> <p>Недостатня клієнтська база</p> <p>Обмеженість маркетингових каналів</p> <p>Недостатня кількість функціоналу для досвідчених інвесторів</p> <p>Висока залежність від даних зовнішніх постачальників</p>
Можливості	Загрози
<p>Зростання попиту на автоматизовані інвестиційні платформи</p> <p>Розширення функціоналу через впровадження AI та ML</p> <p>Залучення локальних інвесторів завдяки адаптації до ринку</p> <p>Вихід на міжнародний ринок через багатомовність</p>	<p>Вихід нових потужних конкурентів</p> <p>Висока конкуренція у сегменті робот-адвайзерів</p> <p>Зміни у регуляторному середовищі</p> <p>Нестабільність фінансових ринків</p>

Після проведення SWOT-аналізу, було визначено сильні та слабкі сторони, можливості та загрози, пов'язані з конкуренцією та плануванням стартап-проекту. Далі спроектуємо 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	Запуск базової версії платформи з обмеженим функціоналом	70%	6 місяців
2	Впровадження freemium-моделі: базовий функціонал безкоштовно, преміум-функції за підпискою	80%	8 місяців
3	Орієнтація на вузький сегмент локальних користувачів для тестування і подальшого масштабування	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 сприятливості, описання ідеї та характеристик стартап-проекту, робимо 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 (табл. 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	Індивідуальні інвестори	Висока	40%	Середня	Висока

Продовження таблиці 4.15

2	Фінансові консультанти	Середня	30%	Середня	Середня
3	Малі та середні підприємства	Висока	20%	Низька	Низька
4	Локальні інвестори	Висока	10%	Низька	Висока
Які цільові групи обрано: 1, 2, 3					

Маючи аналіз цільових груп, далі визначимо базову стратегію розвитку продукту (табл. 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
1	Запуск базової версії з free-моделлю	Стратегія поступового охоплення ринку	Забезпечення доступності через безкоштовний базовий функціонал та якість преміум-функцій
2	Локалізація для специфічних ринків	Стратегія нішевого маркетингу	Адаптація продукту до локальних умов і надання індивідуальних рекомендацій
3	Розширення функціоналу з використанням AI	Стратегія інноваційного зростання	Забезпечення конкурентної переваги через використання сучасних технологій

Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл. 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	Ні	Виклику лідера

Далі розглянемо визначення стратегії позиціонування

Таблиця 4.18 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
Простота у використанні	Freemium-модель з базовою доступністю	Інтуїтивний інтерфейс, доступність функціоналу навіть для новачків	Система з простим і зрозумілим інтерфейсом
Якість рекомендацій	Локалізація та персоналізація для ринків	Висока точність оптимізації портфеля та врахування транзакційних витрат	Система з високою точністю прогнозів
Доступність за ціною	Впровадження адаптивної цінової політики	Наявність безкоштовної demo-версії	Система, яка дозволяє почати без великих фінансових вкладень

4.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Після проведеного комплексного аналізу, можемо повноцінно описати ключові переваги концепції потенційного товару (табл. 4.19) та побудувати концепцію маркетингових комунікацій (табл. 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	Оптимальний розподіл інвестицій	Висока точність у розрахунку оптимальних ваг активів	Інтеграція алгоритмів, які враховують ризики, транзакційні витрати та ліквідність
2	Персоналізація інвестиційних стратегій	Індивідуальний підхід для кожного користувача	Гнучке налаштування параметрів, включаючи рівень ризику та ліквідність
3	Простий інтерфейс	Зручність використання навіть для новачків	Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який не потребує спеціальних знань
4	Доступність для широкого кола користувачів	Безкоштовна демо-версія для тестування функціоналу	Freemium-модель, що дозволяє почати без значних витрат
5	Аналіз локальних активів	Адаптація до специфіки місцевих ринків	Інтеграція локальних даних і підтримка локальних мов

Концепція маркетингових комунікацій представлена в табл. 4.20

Таблиця 4.20 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук інструментів для автоматизації інвестицій	Таргетована реклама в соціальних мережах, професійні форуми	Персоналізація, точність	Залучити увагу користувачів до переваг автоматизації	Реклама, що підкреслює персоналізовані стратегії

Продовження таблиці 4.20

2	Пошук простих і зрозумілих рішень для початківців	Рекламні банери, відео в YouTube, огляди лідерів думок	Простота, безкоштовна демо-версія	Впевнити користувачів у зручності використання	Фокус на легкість використання без досвіду
3	Інтерес до локальних рішень для інвестування	Локальні видання, платформи для стартапів, конференції	Локалізація, адаптація до ринку	Впевнити користувачів у зручності використання	Реклама, яка демонструє переваги роботи на локальних ринках

4.7 Висновки до розділу 4

Даний розділ був присвячений дослідженню стартап-проєкту. У якості такого була представлена трейдингова платформа, яка автоматично визначає оптимальний розподіл інвестицій між активами з урахуванням ризиків, дохідності та витрат, забезпечуючи користувачам персоналізовані рекомендації.

У рамках розділу було досліджено розробку стратегій виходу на ринок та маркетингових стратегій для платформи. Зокрема, даний ринок є перспективним завдяки високому попиту на автоматизовані інвестиційні рішення та обмеженій кількості платформ, які пропонують локалізацію й адаптацію до специфіки ринку. Конкуренти здебільшого зосереджені на загальних функціях, тоді як запропонована система забезпечує високий рівень персоналізації та доступності, що дає стартапу всі шанси стати лідером у своїй ніші.

Також були опрацьовані сильні та слабкі сторони проєкту, проведено SWOT-аналіз, аналіз конкурентів та цільової аудиторії. На основі всіх досліджень було розроблено концепт маркетингової стратегії, що включає freemium-модель, локалізацію для специфічних ринків та інтеграцію сучасних технологій.

Таким чином, стартап має всі передумови для успішного виходу на ринок, залучення широкої аудиторії та подальшого масштабування завдяки своїй інноваційності, персоналізації та орієнтації на потреби користувачів.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації розроблено модифіковану середньо-дисперсійну модель Гаррі Марковіца, яка враховує транзакційні витрати та обмеження ліквідності. Цей підхід дозволив адаптувати класичну модель до реальних умов фінансових ринків, що сприяє ефективному управлінню портфелем. Врахування витрат і ліквідності є критичним фактором у сучасних умовах, що підвищує точність і доцільність оптимізаційних рішень.

Інтеграція витрат у модель дозволила оптимізувати ваги активів і знизити ризик портфеля, спричинений недостатньою ліквідністю або високими витратами на торгівлю. Запропонована модель заохочує до включення активів із кращою ліквідністю, що допомагає зменшити спреди, уникнути надмірної торгівлі та знизити загальні витрати. Це дозволило забезпечити стабільну диверсифікацію портфеля навіть у високоволатильних умовах.

Розроблена модель слугує основною для програмного продукту, написаного на мові Python. Емпіричне тестування цього продукту підтвердило ефективність моделі в умовах, де витрати та ліквідність відіграють ключову роль. Порівняння з класичними моделями Марковіца продемонструвало переваги запропонованого підходу, зокрема у зниженні ризику та підвищенні ефективності портфеля. Результати показали, що модель може бути застосована у реальних інвестиційних задачах для досягнення оптимального співвідношення ризику та доходності.

Для подальшого вдосконалення моделі перспективними напрямками є врахування додаткових факторів, таких як податки, волатильність ринків і макроекономічні чинники. Використання сучасних підходів, таких як нейронні мережі та інші алгоритми машинного навчання, може підвищити точність прогнозів і адаптивність моделі. Такі покращення сприятимуть створенню ефективних інструментів для інвесторів у швидкозмінних ринкових умовах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Mackintosh, P. Nasdaq Economic Research: “Sampling the S&P 500 to Minimize Spreads.” 2024.
2. Markowitz, H. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 1952, 7(1), P. 77-91.
3. Sharpe, W. F. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk. *The Journal of Finance*, 1964, 19(3), P. 425-442.
4. Engle, R. F. *Anticipating Correlations: A New Paradigm for Risk Management*. Princeton University Press, 2009, 154 p.
5. Rubinstein, M. "Markowitz's 'Portfolio Selection': A Fifty-Year Retrospective." *The Journal of Finance*, 2002, 57(3), 1041-1045.
6. Markowitz, H. M. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. New York: Wiley, 1959.
7. Fama, E. F., & French, K. R. "The Cross-Section of Expected Stock Returns." *The Journal of Finance*, 1992, 47(2), 427-465.
8. Sharpe, W. F., Alexander, G. J., & Bailey, J. V. 1999 *Investments* (6th ed.). New York: Prentice Hall, 1020 p.
9. Stewart, S. D., Piros, C. D., & Heisler, J. C. *Portfolio Management: Theory and Practice*. Hoboken, 2019, NJ: John Wiley & Sons 720 p.
10. Chamberlain, G. A Characterization of the Distributions that Imply Mean-Variance Utility Functions, *Journal of Economic Theory*, 2015 29(1), 185-201.
11. Mullhaupt, A. P. (Stony Brook University, Department of Applied Mathematics and Statistics). “Factor Model Estimation By Using the Alpha-EM Algorithm.” 2024.
12. Tsay, R. S. *An Introduction to Analysis of Financial Data with R*. Hoboken, 2012, NJ: John Wiley & Sons, 416 p.
13. Jones, C. P. *Investments: Analysis and Management* (14th ed.). 2019, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons., 640 p.

14. Chamberlain, G. A Characterization of the Distributions that Imply Mean-Variance Utility Functions. *Journal of Economic Theory*, 1983.
15. Chen, Y., & Wiesel, A. "Shrinkage Estimation of High Dimensional Covariance Matrices." *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2011, 59(9), 4097-4107. DOI: 10.1109/TSP.2011.2158485.
16. Джерела Williamson, O. E. *The Economic Institutions of Capitalism*. Free Press, 1985.
17. North, D. C. *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*. Cambridge University Press, 1990.
18. Бідюк, П. І., Романенко, В. Д., Тимошук, О. Л. *Аналіз часових рядів*. Київ: НТУУ КПІ, 2013, 600 с.
19. Fama, E. F., & French, K. R. Common Risk Factors in the Returns on Stocks and Bonds. *Journal of Financial Economics*, 1993, 33(1), P. 3-56.
20. French, K. R. Ken French's Data Library. Available at: https://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data_library.html.
21. Lynch, A. W. Decision Frequency and Synchronization Across Agents: Implications for Aggregate Consumption and Equity Return. *Journal of Finance*, 1999, 54(4), P. 1479-1497.
22. Stoll, H. R., & Whaley, R. E. Transaction Costs and the Small Firm Effect. *Journal of Financial Economics*, 1983, 12(1), P. 57-79.
23. Lesmond, D. A., Ogden, J. P., & Trzcinka, C. A. A New Estimate of Transaction Costs. *Review of Financial Studies*, 1999, 12(5), P. 1113-1141. 1999.
24. Bhardwaj, R. K., & Brooks, L. D. The January Anomaly: Effects of Low Share Price, Transaction Costs, and Bid-Ask Spreads. *Journal of Finance*, 1992, 47(2), P. 553-575.
25. Grinold, R. C., & Kahn, R. N. *Active Portfolio Management: A Quantitative Approach for Producing Superior Returns and Controlling Risk* (2nd ed.). McGraw-Hill, 1999.

26. Павлюк С.В., Мілявський Ю. Л. Оптимізація вибору інвестиційного портфелю, збірник доповідей III науково-практичної конференції «Системні науки та інформатика», 25–29 листопада 2024 року, Київ. К., НН ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. С. 36-40.

ДОДАТОК А

```

import numpy as np
import pandas as pd
from scipy.optimize import minimize

def create_covariance_matrix(market):
    """
    Створення коваріаційної матриці (Sigma) активів ринку market.
    :param pd.DataFrame market: модель ринку.
    :return pd.DataFrame: коваріаційна матриця C^2.
    """

    assets = market.columns
    values = market.values.T
    covariance_matrix = pd.DataFrame(np.cov(values), index=assets,
                                     columns=assets)

    return covariance_matrix

def create_mean_vector(market):
    """
    Створення вектору (mu) з вибірових середніх прибутків для
    кожного активу
    протягом періодів.
    :param pd.DataFrame market: модель ринку.
    :return pd.DataFrame: очікувана прибутковість кожного активу.
    """

    assets = market.columns
    values = market.values
    weights = np.exp(-np.array(range(1, market.shape[0] + 1)))

    expected_profit = pd.DataFrame(data=np.average(values,
    weights=weights,
```

```

axis=0),
index=assets)

    return expected_profit
def calculate_weights(market, strategy, **kwargs):
    """
    Обчислити вагові коефіцієнти інвестиційного портфелю для ринку
    market
    за методом strategy.
    :param pd.DataFrame market: модель ринку.
    :param str strategy: '1/N', 'mv', 'min', 'vw', 'mv-c'.
    :return pd.DataFrame: вагові коефіцієнти інвестиційного
    портфелю.
    """
    ew = EstimateWeights(market)
    if strategy == '1/N':
        weights = ew.naive_method()
    elif strategy == 'mv':
        gamma = kwargs['gamma']
        w_0 = kwargs.get('w_0', None)
        weights = ew.mean_variance_method(gamma, w_0)
    elif strategy == 'min':
        w_0 = kwargs.get('w_0', None)
        weights = ew.minimum_variance_method(w_0)
    elif strategy == 'vw':
        w_min = kwargs.get('w_min', 0)
        weights = ew.value_weighted_method(w_min)
    elif strategy == 'mv-c':
        gamma = kwargs['gamma']
        beta = kwargs['beta']
        w_0 = kwargs.get('w_0', None)
        weights = ew.mean_variance_with_constraints_method(gamma,
beta, w_0)
    else:

```

```

        raise KeyError(f"Стратегія {strategy} не є допустимою.
Допустимими є"
                        f" лише стратегії '1/N', 'mv', 'min', 'mv-
с'.")

    return weights

def aggregate_weights(aggregation, w):
    """
    Об'єднання вагових коефіцієнтів активів у інвестиційному
    портфелі до
    більших категорій.
    :param dict[str, tuple[str]|list[str]] aggregation: словник для
    об'єднання вагових коефіцієнтів у більші категорії.
    :param pd.DataFrame w: вагові коефіцієнти інвестиційного
    портфелю.
    :return pd.DataFrame: об'єднані вагові коефіцієнти.
    """
    if not isinstance(aggregation, dict):
        raise TypeError("Параметр aggregation має бути словником")

    if not (isinstance(w, pd.DataFrame)
            and
            w.shape[1] == 1):
        raise TypeError("Параметр w має бути DataFrame розміром (n,
1)")

    aggregated_weights = pd.DataFrame(0, index=aggregation.keys(),
                                       columns=[0])

    for category, assets in aggregation.items():

        if not isinstance(assets, (tuple, list)):
            raise ValueError(f"Значення для {category} має бути
кортежем "
                             f"або списком.")

```

```

        aggregated_weights.loc[category, 0] = w.loc[assets,
:].sum().values[0]

    return aggregated_weights

def create_aggregation(assets_names):
    """
    Створює словник aggregation на основі кортежу рядків.
    :param tuple[str] assets_names: кортеж рядків, де кожен рядок
    закінчується на _[int].
    :return dict[str, tuple[str]]: словник, який групує рядки за
    категоріями до _[int].
    """

    if not hasattr(assets_names, '__iter__'):
        raise ValueError("Параметр data має бути контейнером даних.")

    aggregation = {}

    for item in assets_names:
        if not isinstance(item, str) or '_' not in item:
            raise ValueError(f"Елемент {item} некоректний")

        category, number = item.rsplit('_', 1)

        if not number.isdigit():
            raise ValueError(f"Частина {number} у рядку {item} не є
"
                               f"числом")

        if category not in aggregation:
            aggregation[category] = []

```

```

else:
    aggregation[category].append(item)

aggregation = {key: tuple(value)
               for key, value in aggregation.items()}

return aggregation

class EstimateWeights:

    def __init__(self, market, covariance_matrix=None,
                 mean_vector=None):
        """
        Клас для пошуку вагових коефіцієнтів портфелю.
        :param pd.DataFrame market: модель ринку.
        :param pd.DataFrame covariance_matrix: коваріаційна матриця
        активів.
        :param pd.DataFrame mean_vector: очікувана прибутковість
        кожного активу; прибутковість кожного активу має бути більша
        -1 та не
        менша за очікувану прибутковість інвестиційного портфелю.
        """

        self.market = market

        if covariance_matrix is None:
            self.covariance_matrix =
            create_covariance_matrix(market)

            elif (covariance_matrix.columns ==
            covariance_matrix.index).all():
                self.covariance_matrix = covariance_matrix
            else:
                raise ValueError(f"Назви стовпців та індексів
                covariance_matrix "
                f"мають збігатись.")

```

```

if mean_vector is None:
    self.mean_vector = create_mean_vector(market)
elif (mean_vector.index == covariance_matrix.index).all():
    if mean_vector.min()[0] > -1:
        self.mean_vector = mean_vector
    else:
        raise ValueError(f"Мінімальний середній прибуток
активів "
                           f"має бути більшим за -1.")
else:
    raise ValueError(f"Індекси середніх значень прибутків
активів "
                     f"мають збігатись з індексами
коваріаційної "
                     f"матриці.")

def expected_profit(self, w):
    """
    Оцінити значення очікуваної прибутковості інвестиційного
    портфелю на
    основі вагових коефіцієнтів.
    :param pd.DataFrame|np.ndarray w: вектор вагових
    коефіцієнтів.
    :return int|float: очікувана прибутковість інвестиційного
    портфелю.
    """

    if (w.shape != self.mean_vector.shape
        or
        w.min().min() < 0
        or
        abs(w.sum().sum() - 1) >= 1e-9):
        raise ValueError(f"Вектор вагових коефіцієнтів w мають
бути")

```

```

тиєї ж "
                                f" фреймом даних чи масивом ndarray
середніх "
                                f"розмірності, що й вектор вибірових
сума яких "
                                f"та мати всі невід'ємні компоненти,
                                f"становить 1.")
else:
    return np.dot(w.T, self.mean_vector)[0][0]

def sharp_ratio_ous(self):
    """
    Обчислити та отримати коефіцієнт Шарпа поза вибіркою. # SR
    :return float|int: коефіцієнт Шарпа поза вибіркою.
    """

    sigma = (np.diagonal(self.covariance_matrix)) ** 0.5
    mu = self.mean_vector.T
    sharp_coefficient = mu.div(sigma).T.mean()[0]

    return sharp_coefficient

def sharp_ratio_is(self, w=None):
    """
    Обчислити та отримати коефіцієнт Шарпа в межах вибірки. #
SR^IS
    :param pd.DataFrame|np.ndarray|None w: вагові коефіцієнти.
    :return pd.DataFrame: коефіцієнт Шарпа для кожного активу.
    """

    if w is None:
        w = (np.ones_like(self.mean_vector[0]) /
             self.mean_vector.size)

    elif (w.shape != self.mean_vector.shape
          or

```

```

        w.min().min() < 0
        or
        abs(w.sum().sum() - 1) >= 1e-12):
    raise ValueError(f"Задані вагові коефіцієнти w мають
бути"
                    f" фреймом даних чи масивом ndarray
тієї ж "
                    f"розмірності, що й вектор вибіркового
середніх "
                    f"та мати всі невід'ємні компоненти,
сума яких "
                    f"становить 1.")

    sigma = self.covariance_matrix
    mu = self.mean_vector.T
    sharp_coefficient = np.dot(mu, w) / np.sqrt(np.dot(w.T,
np.dot(sigma, w))) / mu.size

    return sharp_coefficient[0][0]

def return_loss(self, w, w_mv_c):
    """
    Обчислення втрат для інвестиційного портфелю з вагами w
відносно
    моделі з вагами w_mv_c.
    :param pd.DataFrame w: вагові коефіцієнти методу, що
розглядається.
    :param pd.DataFrame w_mv_c: вагові коефіцієнти методу mv-c.
    :return int|float: втрати для інвестиційного портфелю з
вагами w
відносно моделі з вагами w_mv_c.
    """

    if (w.shape != self.mean_vector.shape
        or
        w.min().min() < 0

```

```

        or
        abs(w.sum().sum() - 1) >= 1e-12
        or
        w_mv_c.shape != self.mean_vector.shape
        or
        w_mv_c.min().min() < 0
        or
        abs(w_mv_c.sum().sum() - 1) >= 1e-12):
    raise ValueError(f"Фрейм даних вагових коефіцієнтів має
"
                                f"складатись лише з невід'ємних
компонентів, "
                                f"сума яких рівна 1. Фрейм даних
вагових "
                                f"коефіцієнтів має мати таку саму
розмірність"
                                f" як вектор математичного сподівання
зміни "
                                f"вартості ринкових активів.")
else:
    mu_ew = np.dot(self.mean_vector.T, w_mv_c)[0][0]
    sigma_ew =
np.sqrt(np.dot(np.diagonal(self.covariance_matrix), w_mv_c))[0]
    mu = np.dot(self.mean_vector.T, w_mv_c)[0][0]
    sigma =
np.sqrt(np.dot(np.diagonal(self.covariance_matrix), w_mv_c))[0]
    rl = mu_ew / sigma_ew * sigma - mu

    return rl

def certainty_equivalent_return(self, gamma, w):
    """
    Обчислення дохідності, що є еквівалентною певності. # SEQ
    :param int|float gamma: коефіцієнт ризик-аверсії.
    :param pd.DataFrame w: вагові коефіцієнти.
    :return float|int: дохідність, що є еквівалентною певності.

```

```

"""

    if gamma < 0:
        raise ValueError(f"Коефіцієнт ризик-аверсії gamma не
може бути "
                        f"від'ємним.")

    if (w.shape != self.mean_vector.shape
        or
        w.min().min() < 0
        or
        abs(w.sum().sum() - 1) >= 1e-12):
        raise ValueError(f"Вагові коефіцієнти w мають "
                        f"бути фреймом даних чи масивом ndarray
тиєї"
                        f" ж розмірності, що й вектор
вибіркових "
                        f"середніх та мати всі невід'ємні "
                        f"компоненти, сума яких становить 1.")

    sigma = (np.diagonal(self.covariance_matrix))
    mu = self.mean_vector.T
    seq = np.average(mu - gamma / 2 * sigma,
weights=w.T).T.mean()

    return seq

# ATTENTION: висока обчислювальна складність за великих m.
def turnover(self, m, strategy, **kwargs):
    """
    Знайти оборотність портфелю за m останніх дохідних періодів.
    #Turnover
    :param int m: кількість дохідних періодів, що розглядаються.
    :param str strategy: '1/N', 'mv', 'min', 'vw', 'mv-c'.

```



```

return x

def minimum_variance_method(self, w_0=None):
    """
    Оцінювання вагових коефіцієнтів для активів портфелю шляхом
    мінімізації дисперсії. # min
    :param pd.DataFrame|np.ndarray|None w_0: початкові вагові
    коефіцієнти.
    :return pd.DataFrame: оцінені ваги активів портфелю.
    """
    def objective(w):
        return np.dot(w.T, np.dot(self.covariance_matrix, w))
    if w_0 is None:
        w_0 = (np.ones_like(self.mean_vector[0]) /
               self.mean_vector.size)
    elif (w_0.shape != self.mean_vector.shape
          or
          w_0.min().min() < 0
          or
          abs(w_0.sum().sum() - 1) >= 1e-12):
        raise ValueError(f"Початкові вагові коефіцієнти w_0
мають бути"
                          f" фреймом даних чи масивом ndarray тієї ж "
                          f"розмірності, що й вектор вибірових середніх "
                          f"та мати всі невід'ємні компоненти, сума яких "
                          f"становить 1.")

    constraints = {'type': 'eq',
                   'fun': lambda w: w.sum() - 1}
    result = minimize(objective, w_0, constraints=constraints,
                      bounds=[(0, None)] * len(w_0))

    if result.success:
        return pd.DataFrame(result.x / result.x.sum(),

```

```

index=self.mean_vector.index)

else:
    raise ValueError(f"За заданих умов досягнення
ОПТИМАЛЬНОГО з"
                    f"начення неможливе.")

def mean_variance_method(self, gamma, w_0=None):
    """
    Оцінювання вагових коефіцієнтів інвестиційного портфелю
    шляхом
    максимізації очікуваного прибутку за умови мінімізації
    дисперсії. # mv
    :param int|float gamma: коефіцієнт ризик-аверсії.
    :param pd.DataFrame|np.ndarray|None w_0: початкові вагові
    коефіцієнти.
    :return pd.DataFrame: оцінені ваги активів портфелю.
    """

    if gamma >= 0:

        def objective(w):
            return - (np.dot(w.T, self.mean_vector) - gamma / 2
*
                    np.dot(w.T, np.dot(self.covariance_matrix,
w))) [0]

        if w_0 is None:
            w_0 = (np.ones_like(self.mean_vector[0]) /
                    self.mean_vector.size)
        elif (w_0.shape != self.mean_vector.shape
              or
              w_0.min().min() < 0
              or
              abs(w_0.sum().sum() - 1) >= 1e-12):
            raise ValueError(f"Початкові вагові коефіцієнти w_0
мають ")

```

```

ndarray тієї"
                                f"бути фреймом даних чи масивом
вибіркових "
                                f" ж розмірності, що й вектор
                                f"середніх та мати всі невід'ємні "
                                f"компоненти, сума яких становить
1.")

                                constraints = {'type': 'eq',
                                                'fun': lambda w: w.sum() - 1}
                                result = minimize(objective, w_0,
constraints=constraints,
                                                bounds=[(0, None)] * len(w_0))

                                if result.success:
                                    return pd.DataFrame(result.x / result.x.sum(),
                                                            index=self.mean_vector.index)
                                else:
                                    raise ValueError(f"За заданих умов досягнення
оптимального з"
                                                    f"начення неможливе.")
                                else:
                                    raise ValueError(f"Коефіцієнт ризик-аверсії gamma не
може бути "
                                                    f"від'ємним.")

                                def mean_variance_with_constraints_method(self, gamma, beta,
w_0=None):
                                    """
                                    Оцінювання вагових коефіцієнтів інвестиційного портфелю
шляхом
                                    максимізації очікуваного прибутку за умови мінімізації
дисперсії та
                                    наявності додаткових обмежень у вигляді витрат на
транзакції. # mv-c
                                    :param int|float gamma: коефіцієнт ризик-аверсії.
                                    :param pd.DataFrame|np.ndarray beta: обмеження витрат на
транзакції.

```

```

        :param pd.DataFrame|np.ndarray|None w_0: початкові вагові
коефіцієнти.
        :return pd.DataFrame: оцінені ваги активів портфелю.
        """
        if (gamma >= 0
            and
            beta.shape == self.mean_vector.shape
            and
            beta.min().min() >= 0):

        def objective(w):
            return - (np.dot(w.T, self.mean_vector) - gamma / 2
*
            np.dot(w.T, np.dot(self.covariance_matrix,
w))
            + np.dot(w.T, beta))[0]

        if w_0 is None:
            w_0 = (np.ones_like(self.mean_vector[0]) /
                self.mean_vector.size)
        elif (w_0.shape != self.mean_vector.shape
            or
            w_0.min().min() < 0
            or
            abs(w_0.sum().sum() - 1) >= 1e-12):
мають "
            raise ValueError(f"Початкові вагові коефіцієнти w_0
                f"бути фреймом даних чи масивом
ndarray тієї"
                f" ж розмірності, що й вектор
вибіркових "
                f"середніх та мати всі невід'ємні "
                f"компоненти, сума яких становить
1.")

        constraints = {'type': 'eq',

```

```

        'fun': lambda w: w.sum() - 1}

        result = minimize(objective, w_0,
constraints=constraints,

                            bounds=[(0, None)] * len(w_0))

        if result.success:
            return pd.DataFrame(result.x / result.x.sum(),
                                index=self.mean_vector.index)

        else:
            raise ValueError(f"За заданих умов досягнення
ОПТИМАЛЬНОГО з"

                                f"начення неможливе.")

        else:
            raise ValueError(f"Коефіцієнт ризику gamma не може бути
"

                                f"від'ємним, розмір фрейму даних чи
масиву"

                                f"обмежень на транзакції має
відповідати розміру"

                                f"фрейму даних вектору середніх змін
значень "

                                f"активів.")

    def value_weighted_method(self, min_w=0):
        """
        Обчислення вагових коефіцієнтів інвестиційного портфелю на
основі
ринкової капіталізації активів. # vw
        :param float min_w: мінімальний допустимий ваговий
коефіцієнт.
        :return pd.DataFrame: вагові коефіцієнти інвестиційного
портфелю.
        """
        if min_w < 0:
            raise ValueError(f"Мінімальний ваговий коефіцієнт не
може бути "

                                f"від'ємним.")

        elif min_w > 1:

```

```

        raise ValueError(f"Мінімальний ваговий коефіцієнт не
може "
                        f"перевищувати 1.")
    else:
        market_representation = np.cumprod(1+self.market).iloc[-
1]

        w = pd.DataFrame(market_representation /
                        market_representation.sum())
        w[w < min_w] = 0
        if w.sum().sum() == 0:
            raise RuntimeError(f"Всі отримані вагові коефіцієнти
менші "
                               f"за мінімальний допустимий
ваговий "
                               f"коефіцієнт.")
        else:
            w = w / w.sum()
            w.columns = (0, )
            return w

if __name__ == '__main__':

    def main():
        tm = pd.read_csv("test_market.txt", index_col=0, sep=";",
                        decimal=",")
        estimator = EstimateWeights(market=tm)
        aggregation_dict = create_aggregation(tm.columns)
        gamma = 1
        beta = pd.DataFrame(np.ones_like(tm.columns))

        w_mv = estimator.mean_variance_method(gamma=gamma)
        w_min = estimator.minimum_variance_method()
        w_vw = estimator.value_weighted_method(0.01)
        w_mv_c =
estimator.mean_variance_with_constraints_method(gamma=gamma,

```

```

beta=beta)

    w_agg = pd.concat([aggregate_weights(aggregation_dict, w)
                       for w in (w_mv, w_min, w_vw, w_mv_c)],
axis=1)

    w_agg.columns = ('mv', 'min', 'vw', 'mv-c')
    print(f"Агреговані вагові коефіцієнти:\n{w_agg}\n")
    m = len(tm.index)
    cfg = {'mv': (w_mv, {'gamma': gamma}), 'min': (w_min, {}),
          'vw': (w_vw, {'min_w': 0.01}),
          'mv-c': (w_mv_c, {'gamma': gamma, 'beta': beta})}
    stats = {}
    for _strategy_ in ('mv', 'min', 'vw', 'mv-c'):
        _w_, _kwargs_ = cfg[_strategy_]
        stat = {'Profit': estimator.expected_profit(_w_),
              'SR': estimator.sharp_ratio_ous(),
              'SR^IS': estimator.sharp_ratio_is(_w_),
              'return-loss': estimator.return_loss(_w_,
w_mv_c),
              'CEQ':
estimator.certainty_equivalent_return(gamma, _w_),
              'Turnover': estimator.turnover(m-1, _strategy_,
**_kwargs_)}
        stats[_strategy_] = stat
    stats = pd.DataFrame(stats)
    print(f"Оцінка отриманих вагів для обраних
стратегій:\n{stats}\n")

    main()

import sys
import numpy as np
import pandas as pd
from PyQt6 import QtWidgets, QtCore

from solver import EstimateWeights
from solver import aggregate_weights
from solver import create_aggregation

```

```

from interface import Ui_MainWindow

class UI(QtWidgets.QMainWindow, Ui_MainWindow):
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.setupUi(self)
        self.choose_filename.clicked.connect(self._choose_filename)

self.create_portfolio.clicked.connect(self._create_portfolio)

        self._categories = {'Енергоресурси': 0,
'Dорогоцінні_метали': 1,
                                'Нерухомість': 2, 'Криптовалюта': 3,
                                'Державні_облігації': 4,
'Акції_компаній': 5}
    def _choose_filename(self):
        """
        Обрати джерело даних про модель ринку.
        """
        filename = QtWidgets.QFileDialog.getOpenFileName(self,
                                                        'Open data
file',
                                                        '..',
                                                        'Data file
(*.txt)')[0]
        self.input_filename.setText(filename)

    def _create_portfolio(self):
        """
        Визначити вагові коефіцієнти інвестиційного портфелю методом
mv-c.
        """
        market = self._load_market()
        self._empty_portfolio()

```

```

if len(market.columns) != 0:
    agg = create_aggregation(market.columns)
    ew = EstimateWeights(market)
    gamma = 1
    beta = pd.DataFrame(np.ones_like(market.columns))
    w = ew.mean_variance_with_constraints_method(gamma,
beta)

    w_agg = aggregate_weights(agg, w)
    for str_idx in w_agg.index:
        idx = self._categories[str_idx]
        w_idx = w_agg[str_idx] * 100
        item = QtWidgets.QTableWidgetItem(f'{w_idx:.1f} %')
        self.table_output.setItem(idx, 0, item)

def _empty_portfolio(self):
    """
    Заповнити таблицю вагових коефіцієнтів портфоліо нулями.
    """

    for idx in range(6):
        self.table_output.setItem(idx, 0,
QtWidgets.QTableWidgetItem('0.0 %'))

def _load_market(self):
    """
    Завантажити дані про модель ринку з урахуванням обраних
категорій.

    :return pd.DataFrame: модель ринку з урахуванням обраних
категорій.
    """
    start_date = QtCore.QDate(1990, 1, 1)
    start_from_day =
max(start_date.daysTo(self.date_from.date()), 0)
    read_days =
max(self.date_from.date().daysTo(self.date_from.date()),
1)

```

```

market = pd.read_csv(self.input_filename.text(),
                    skiprows=start_from_day,
                    nrows=read_days, index_col=0,
                    sep=";", decimal=",")

sections = []

if self.energy_resources.isChecked():
    sections.append('Енергоресурси')

if self.precious_metals.isChecked():
    sections.append('Дорогоцінні_метали')

if self.realty.isChecked():
    sections.append('Нерухомість')

if self.cryptocurrencies.isChecked():
    sections.append('Криптовалюта')

if self.goverment_bonds.isChecked():
    sections.append('Державні_облігації')

if self.company_shares.isChecked():
    sections.append('Акції_компаній')

columns = [column for column in market.columns if
column.startswith(sections)]

return market[columns]

if __name__ == '__main__':
    app = QtWidgets.QApplication(sys.argv)
    MainWindow = UI()
    MainWindow.show()
    sys.exit(app.exec())

from PyQt6 import QtCore, QtGui, QtWidgets

class Ui_MainWindow(object):
    def setupUi(self, MainWindow):
        MainWindow.setObjectName("MainWindow")
        MainWindow.resize(358, 478)

```

```

self.centralwidget = QtWidgets.QWidget(parent=MainWindow)
self.centralwidget.setObjectName("centralwidget")
self.groupBox =
QtWidgets.QGroupBox(parent=self.centralwidget)
self.groupBox.setGeometry(QtCore.QRect(10, 10, 341, 221))
self.groupBox.setTitle("")
self.groupBox.setObjectName("groupBox")
self.layoutWidget = QtWidgets.QWidget(parent=self.groupBox)
self.layoutWidget.setGeometry(QtCore.QRect(10, 10, 321,
200))
self.layoutWidget.setObjectName("layoutWidget")
self.gridLayout_4 = QtWidgets.QGridLayout(self.layoutWidget)
self.gridLayout_4.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.gridLayout_4.setObjectName("gridLayout_4")
self.create_portfolio =
QtWidgets.QPushButton(parent=self.layoutWidget)
self.create_portfolio.setObjectName("create_portfolio")
self.gridLayout_4.addWidget(self.create_portfolio, 2, 0, 1,
1)
self.gridLayout_3 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_3.setObjectName("gridLayout_3")
self.gridLayout = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout.setObjectName("gridLayout")
self.label = QtWidgets.QLabel(parent=self.layoutWidget)
self.label.setObjectName("label")
self.gridLayout.addWidget(self.label, 0, 0, 1, 1)
self.date_from =
QtWidgets.QDateEdit(parent=self.layoutWidget)
self.date_from.setObjectName("date_from")
self.gridLayout.addWidget(self.date_from, 0, 1, 1, 1)
self.label_2 = QtWidgets.QLabel(parent=self.layoutWidget)
self.label_2.setObjectName("label_2")
self.gridLayout.addWidget(self.label_2, 0, 2, 1, 1)
self.date_to = QtWidgets.QDateEdit(parent=self.layoutWidget)
self.date_to.setDateTime(QtCore.QDateTime(QtCore.QDate(2020,
1, 1), QtCore.QTime(0, 0, 0)))

```

```

self.date_to.setObjectName("date_to")
self.gridLayout.addWidget(self.date_to, 0, 3, 1, 1)
self.gridLayout_3.addLayout(self.gridLayout, 0, 0, 1, 1)
self.gridLayout_2 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_2.setObjectName("gridLayout_2")
self.label_3 = QtWidgets.QLabel(parent=self.layoutWidget)
self.label_3.setObjectName("label_3")
self.gridLayout_2.addWidget(self.label_3, 1, 0, 1, 2)
self.precious_metals =
QtWidgets.QCheckBox(parent=self.layoutWidget)
self.precious_metals.setObjectName("precious_metals")
self.gridLayout_2.addWidget(self.precious_metals, 3, 0, 1,
1)
self.energy_resources =
QtWidgets.QCheckBox(parent=self.layoutWidget)
self.energy_resources.setObjectName("energy_resources")
self.gridLayout_2.addWidget(self.energy_resources, 2, 0, 1,
1)
self.cryptocurrencies =
QtWidgets.QCheckBox(parent=self.layoutWidget)
self.cryptocurrencies.setObjectName("cryptocurrencies")
self.gridLayout_2.addWidget(self.cryptocurrencies, 2, 1, 1,
1)
self.realty = QtWidgets.QCheckBox(parent=self.layoutWidget)
self.realty.setObjectName("realty")
self.gridLayout_2.addWidget(self.realty, 4, 0, 1, 1)
self.government_bonds =
QtWidgets.QCheckBox(parent=self.layoutWidget)
self.government_bonds.setObjectName("government_bonds")
self.gridLayout_2.addWidget(self.government_bonds, 3, 1, 1,
1)
self.company_shares =
QtWidgets.QCheckBox(parent=self.layoutWidget)
self.company_shares.setObjectName("company_shares")
self.gridLayout_2.addWidget(self.company_shares, 4, 1, 1, 1)
self.gridLayout_5 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_5.setObjectName("gridLayout_5")

```

```

self.label_4 = QtWidgets.QLabel(parent=self.layoutWidget)
self.label_4.setObjectName("label_4")
self.gridLayout_5.addWidget(self.label_4, 0, 0, 1, 1)

self.input_filename =
QtWidgets.QLineEdit(parent=self.layoutWidget)

self.input_filename.setObjectName("input_filename")
self.gridLayout_5.addWidget(self.input_filename, 0, 1, 1, 1)

self.choose_filename =
QtWidgets.QToolButton(parent=self.layoutWidget)

self.choose_filename.setObjectName("choose_filename")
self.gridLayout_5.addWidget(self.choose_filename, 0, 2, 1,
1)

self.gridLayout_2.addLayout(self.gridLayout_5, 0, 0, 1, 2)
self.gridLayout_3.addLayout(self.gridLayout_2, 1, 0, 1, 1)
self.gridLayout_4.addLayout(self.gridLayout_3, 1, 0, 1, 1)

self.table_output =
QtWidgets.QTableWidget(parent=self.centralwidget)

self.table_output.setGeometry(QtCore.QRect(10, 240, 341,
212))

sizePolicy =
QtWidgets.QSizePolicy(QtWidgets.QSizePolicy.Policy.Expanding,
QtWidgets.QSizePolicy.Policy.Expanding)

sizePolicy.setHorizontalStretch(0)

sizePolicy.setVerticalStretch(0)

sizePolicy.setHeightForWidth(self.table_output.sizePolicy().hasHeight
tForWidth())

self.table_output.setSizePolicy(sizePolicy)
self.table_output.setObjectName("table_output")
self.table_output.setColumnCount(1)
self.table_output.setRowCount(6)

item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setVerticalHeaderItem(0, item)

item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setVerticalHeaderItem(1, item)

item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setVerticalHeaderItem(2, item)

```

```
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setVerticalHeaderItem(3, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setVerticalHeaderItem(4, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setVerticalHeaderItem(5, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
item.setTextAlignment(QtCore.Qt.AlignmentFlag.AlignCenter)
self.table_output.setHorizontalHeaderItem(0, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setItem(0, 0, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setItem(1, 0, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setItem(2, 0, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setItem(3, 0, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setItem(4, 0, item)
item = QtWidgets.QTableWidgetItem()
self.table_output.setItem(5, 0, item)

self.table_output.horizontalHeader().setDefaultSectionSize(182)

self.table_output.horizontalHeader().setMinimumSectionSize(60)
    self.table_output.verticalHeader().setDefaultSectionSize(30)

self.table_output.verticalHeader().setSortIndicatorShown(False)

self.table_output.verticalHeader().setStretchLastSection(False)
MainWindow.setCentralWidget(self.centralwidget)
self.statusbar = QtWidgets.QStatusBar(parent=MainWindow)
self.statusbar.setObjectName("statusbar")
MainWindow.setStatusBar(self.statusbar)
```

```

self.retranslateUi(MainWindow)

QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(MainWindow)

def retranslateUi(self, MainWindow):
    _translate = QtCore.QCoreApplication.translate
    MainWindow.setWindowTitle(_translate("MainWindow", "Porfolio
selection"))

    self.create_portfolio.setText(_translate("MainWindow",
"Створити рекомендований портфель"))

    self.label.setText(_translate("MainWindow", "Обрати період
з"))

    self.label_2.setText(_translate("MainWindow", "по"))

    self.label_3.setText(_translate("MainWindow", "Обрати
фінансові інструменти"))

    self.precious_metals.setText(_translate("MainWindow",
"Дорогоцінні метали"))

    self.energy_resources.setText(_translate("MainWindow",
"Енергоресурси"))

    self.cryptocurrencies.setText(_translate("MainWindow",
"Криптовалюта"))

    self.realty.setText(_translate("MainWindow", "Нерухомість"))

    self.government_bonds.setText(_translate("MainWindow",
"Державні облігації"))

    self.company_shares.setText(_translate("MainWindow", "Акції
компаній"))

    self.label_4.setText(_translate("MainWindow", "Файл даних"))

    self.input_filename.setText(_translate("MainWindow",
"test_market.txt"))

    self.choose_filename.setText(_translate("MainWindow",
"..."))

    item = self.table_output.verticalHeaderItem(0)
    item.setText(_translate("MainWindow", "Енергоресурси"))

    item = self.table_output.verticalHeaderItem(1)
    item.setText(_translate("MainWindow", "Дорогоцінні метали"))

    item = self.table_output.verticalHeaderItem(2)
    item.setText(_translate("MainWindow", "Нерухомість"))

    item = self.table_output.verticalHeaderItem(3)
    item.setText(_translate("MainWindow", "Криптовалюта"))

```

```
item = self.table_output.verticalHeaderItem(4)
item.setText(_translate("MainWindow", "Державні_облігації"))
item = self.table_output.verticalHeaderItem(5)
item.setText(_translate("MainWindow", "Акції_компаній"))
item = self.table_output.horizontalHeaderItem(0)
item.setText(_translate("MainWindow", "Доля портфелю"))
__sortingEnabled = self.table_output.isSortingEnabled()
self.table_output.setSortingEnabled(False)
item = self.table_output.item(0, 0)
item.setText(_translate("MainWindow", "0.0 %"))
item = self.table_output.item(1, 0)
item.setText(_translate("MainWindow", "0.0 %"))
item = self.table_output.item(2, 0)
item.setText(_translate("MainWindow", "0.0 %"))
item = self.table_output.item(3, 0)
item.setText(_translate("MainWindow", "0.0 %"))
item = self.table_output.item(4, 0)
item.setText(_translate("MainWindow", "0.0 %"))
item = self.table_output.item(5, 0)
item.setText(_translate("MainWindow", "0.0 %"))
self.table_output.setSortingEnabled(__sortingEnabled)
```