

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Факультет прикладної математики

Кафедра прикладної математики

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.Р.Чертов

“ ___ ” _____ 2015 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 6.040301 «Прикладна математика»

на тему: Підсистема калібрування фінансових моделей із застосуванням автоматичного диференціювання

Виконав : студент 4 курсу, групи КМ-11 _____

Цуканов Юрій Владиславович _____

Керівник зав. каф., д.т.н., професор Чертов О.Р. _____

Консультант з нормоконтролю старший викладач Мальчиков В.В. _____

Рецензент доцент, к.т.н., доцент Тимошук О.Л. _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2015 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»**

Факультет прикладної математики

Кафедра прикладної математики

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 6.040301 «Прикладна математика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. Р. Чертов

«__» _____ 2015р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Цуканову Юрій Владиславовичу

1. Тема роботи «Підсистема калібрування фінансових моделей із застосуванням автоматичного диференціювання»

керівник роботи -професор Чертов Олег Романович

затверджені наказом по університету від "19" травня 2015 р. № 1039-С.

2.Строк подання студентом роботи- "12" червня 2015р.

3. Вхідні дані до роботи:

- матриця номінальних вартостей облігацій;
- вектор курсових вартостей облігацій.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити):

- вивчити літературні джерела за тематикою фінансового моделювання;

- провести аналіз існуючих програмних рішень у даній галузі;

- проаналізувати математичне забезпечення, що використовується при калібрування фінансових моделей;
- розробити програмний продукт, що буде проводити калібрування фінансової моделі і показуватиме переваги автоматичного диференціювання над іншими методами;
- оформити документацію до дипломної роботи.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

- архітектура програмного забезпечення;
- структурна схема програми;
- схема взаємодії роботи підсистем.

6. Консультанти розділів проекту (роботи):

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	ст.викладач Мальчиков В.В.		

7. Дата видачі завдання - «28» жовтня 2014 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вивчення літератури за тематикою роботи	13.11.14	
2.	Проведення порівняльного аналізу чисельних методів диференціювання	2.12.14	
3.	Вибір, обґрунтування та опанування методів калібрування	8.01.15	
4.	Проектування архітектури розроблюваних програмних засобів	15.01.15	
5.	Визначення складу та форматів вихідних даних та результатів для кожної програми	4.02.15	
6.	Розробка алгоритмів	18.02.15	
7.	Розробка мови управління програмами	18.03.15	
8.	Програмна реалізація	9.04.15	
9.	Розробка алгоритмів та підготовка контрольних задач для їх перевірки	23.04.15	
10.	Розв'язування контрольних задач на комп'ютері	13.05.15	
11.	Оформлення документації дипломної роботи		

Студент _____ Цуканов Ю.В.

Керівник роботи _____ Чертов О.Р.

АНОТАЦІЯ

Дана дипломна робота присвячена калібруванню фінансових моделей із застосуванням автоматичного диференціювання.

Метою роботи є створення підсистеми, яка буде виконувати калібрування фінансових моделей із застосуванням різних методів чисельного диференціювання.

У рамках дипломної роботи проведено аналіз існуючих методів чисельного диференціювання та проаналізовано їх точність і швидкодію.

У даній роботі як фінансові моделі використовуються дисконтна облігація з процентною ставкою, що накопичується неперервно чи дискретно.

Розроблена підсистема може використовуватись для калібрування інших моделей та є актуальною для компаній, які працюють на вторинному ринку цінних паперів.

Робота виконана на 47 аркушах, містить посилання на список використаних літературних джерел з 9 найменувань. У роботі наведено 3 рисунки, 2 таблиці та 2 додатки.

Ключові слова: чисельне диференціювання, швидкодія, фінансові моделі, бібліотека.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа посвящена калибровке финансовых моделей с применением автоматического дифференцирования.

Целью работы является создание подсистемы, которая будет выполнять калибровку финансовых моделей с применением различных методов численного дифференцирования.

В рамках дипломной работы проведен анализ существующих методов численного дифференцирования и проанализированы их точность и быстродействие.

В данной работе в качестве финансовых моделей используются дисконтная облигация с процентной ставкой, которая накапливается непрерывно или дискретно.

Разработанная подсистема может использоваться для калибровки других моделей и актуальна для компаний, работающих на вторичном рынке ценных бумаг.

Работа выполнена на 47 листах, содержит ссылки на список использованных литературных источников из 9 наименований. В работе приведены 3 рисунка, 2 таблицы и 2 приложения.

Ключевые слова: численное дифференцирование, быстродействие, финансовые модели, библиотека.

ABSTRACT

This degree work is devoted to the calibration of financial models using automatic differentiation.

The aim is to create a subsystem that will perform calibration of financial models using different methods of numerical differentiation.

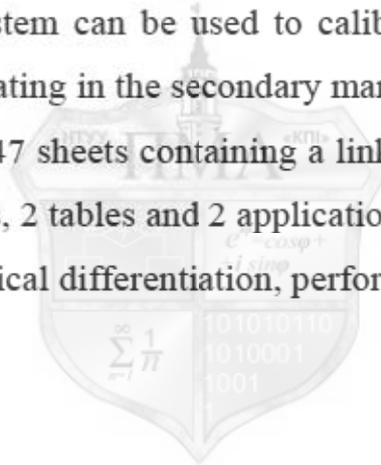
The thesis analyzes the existing methods of numerical differentiation, their accuracy and speed.

In this paper, zero-coupon with continuously and discrete compounded interest rate uses as financial models.

Developed subsystem can be used to calibrate other models and it can be used by companies operating in the secondary market.

The work on the 47 sheets containing a link to a list of used literary sources of the 9 items. 3 pictures, 2 tables and 2 applications are presented in this work.

Keywords: numerical differentiation, performance, financial models, library.



ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	11
2 ОПИС ОБРАНИХ ФІНАНСОВИХ МОДЕЛЕЙ	12
2.1 Опис предметної області	12
2.2 Опис фінансових моделей	14
2.3 Висновки	16
3 ОПИС МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ МОДЕЛЕЙ	17
3.1 Алгоритм методу Ньютона для розв'язання системи нелінійних рівнянь	17
3.2 Автоматичне диференціювання	18
3.2.1 Forward mode	20
3.2.2 Reverse mode	21
3.3 Різницеві схеми	23
3.4 Метод Гауса для розв'язання системи лінійних рівнянь	24
3.5 Висновки	24
4 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	25
4.1 Вибір бібліотеки автоматичного диференціювання	25
4.2 Вибір формату для побудови графіків	26
4.3 Архітектура підсистеми	27
4.4 Висновки	28
5 ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ	29
5.1 Висновки	29
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	33
ДОДАТОК А. Лістинг програмних модулів	34
ДОДАТОК Б. Ілюстративний матеріал	43

ВСТУП

Фінансове моделювання – це процес побудови абстрактного представлення (моделі) реальної фінансової ситуації [1].

Калібрування фінансової моделі – це рішення комплексу обернених задач з метою уточнення вхідних параметрів фінансової моделі.

На сьогоднішній день, окрім, власне, фінансового ринку цінних паперів (акцій), існують також ринки похідних паперів (опціонів, ф'ючерсів, форвардних контрактів) та ринки облігацій. У даній роботі як фінансову модель буде розглянуто портфель облігацій.

Множина цінних паперів називається портфелем. Для оцінки вартості портфеля необхідно оцінити її чутливість до невеликих змін вхідних параметрів (оцінити ризики), тобто, обчислити похідну вартості портфеля по вхідним параметрам. Такі похідні позначаються грецькими буквами та називаються греками (англ. greeks) [2].

Автоматичне диференціювання (англ. Automatic differentiation) - набір методів для чисельного обчислення похідної функції, визначеної в комп'ютерній програмі. В автоматичному диференціюванні використовується той факт, що кожна комп'ютерна програма, незалежно від того, наскільки вона є складною, виконує під час взяття похідної послідовність елементарних арифметичних операцій (додавання, віднімання, множення, ділення тощо) і застосовує елементарні функції (exp, log, sin, cos тощо). Використовуючи правило ланцюга, похідні будь-якого порядку можна обчислити автоматично [3].

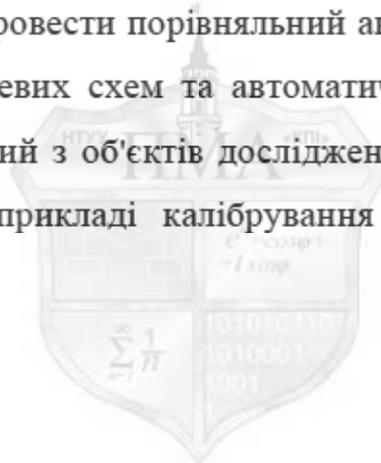
Автоматичне диференціювання має переваги над аналітичним диференціюванням, оскільки не потребує знання аналітичного виразу похідної, та над кінцево-різницеvими схемами, оскільки автоматичне диференціювання - це точний метод.

Таким чином, для прискорення калібрування фінансової моделі і оцінки ризиків можна використати автоматичне диференціювання. Дана робота присвячена порівнянню швидкості калібрування та оцінці ризиків з використанням традиційних чисельних методів та автоматичного диференціювання.



1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розробити підсистему для калібрування фінансової моделі та обчислення греків з використанням різницевих схем та автоматичного диференціювання. Вхідними параметрами для відповідної бібліотеки підсистеми є система нелінійних рівнянь, які визначаються за допомогою функтора (наприклад, лямбда-виразу), та початкова точка. Результатом роботи підсистеми є відкалібровані вхідні параметри моделі та греки (похідні вихідних параметрів фінансової моделі по вхідним). Використати розроблену бібліотеку для калібрування моделі та знаходження греків, що описують портфель облігацій. Провести порівняльний аналіз швидкості калібрування з використанням різницевих схем та автоматичного диференціювання. Мета роботи - визначити який з об'єктів дослідження (методів диференціювання) працює швидше на прикладі калібрування фінансової моделі портфеля облігацій.



2 ОПИС ОБРАНИХ ФІНАНСОВИХ МОДЕЛЕЙ

2.1 Опис предметної області

На сьогоднішній день, існує багато фінансових ринків[4]:

а) ринок цінних паперів:

- акція - вид цінних паперів, що є свідоцтвом про власність на визначену частку статутного (складеного) капіталу;
- облігація - вид цінних паперів, що засвідчує внесення його власником грошових коштів і підтверджує зобов'язання відшкодувати йому номінальну вартість цього цінного паперу з виплатою певного доходу;

б) ринок похідних паперів:

- опціон - стандартний документ, який засвідчує право придбати або продати цінні папери на визначених умовах у майбутньому, з фіксацією ціни на час укладення такого опціону або на час такого придбання за рішенням сторін контракту[5];
- ф'ючерс - стандартний документ, який засвідчує зобов'язання придбати (продати) базовий актив у визначений час та на визначених умовах у майбутньому, з фіксацією цін на момент виконання зобов'язань сторонами контракту[5];

в) валютний ринок.

Всі ці ринки поєднує одне - необхідність швидкого прийняття рішення. Наприклад, задача хеджування (укладення угод на одному ринку для компенсації цінних ризиків протилежної позиції на іншому ринку[6]) вимагає швидкої оцінки ризиків на обох ринках.

Оцінка ризику припускає обчислення похідної вихідного параметра по вхідному (обчислення греку). Таким чином, швидкість прийняття рішення можна покращити за рахунок більш швидкого диференціювання. У фінансових бібліотеках, наприклад QuantLib, використовуються різницеві схеми[4]. Такий підхід має ряд недоліків. Розглянемо обчислення градієнта деякої функції $f(x)$, де $x = x_1 \dots x_n$.

Візьмемо праву схему

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} \approx \frac{f(x+h \cdot e_i) - f(x)}{h}, \quad (1.1)$$

де e_i - i -й базисний вектор, h - крок сітки.

Для обчислення градієнта за цією схемою необхідно обчислити значення функції в $n+1$ точці. Така схема дає похибку $o(h)$.

Розглянемо центральну схему

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} \approx \frac{f(x+h \cdot e_i) - f(x-h \cdot e_i)}{2 \cdot h}, \quad (1.2)$$

де e_i - i -й базисний вектор, h - крок сітки.

Для обчислення градієнта за цією схемою необхідно обчислити значення функції в $2n$ точках. Така схема дає похибку $o(h^2)$.

Очевидно, що для одержання більш точної оцінки похідної, необхідно обчислити функцію в більшій кількості точок, що, безумовно, вплине на швидкість. Крім того, розглянуті класичні різницеві методи не є точними.

2.2 Опис фінансових моделей

Як фінансові моделі було обрано 2 моделі, що описують портфель дисконтних облігацій (англ. Zero Coupon Bond) з процентною ставкою, яка накопичується неперервно чи дискретно.

Неперервна модель:

$$P_i = \sum_{j=1}^N F_{i,j} e^{-r_j t_j} \quad (2.1)$$

де $t_j \in R$ - час виплат (англ. maturity time);

r_j - процентна ставка (англ. interest rate) в момент часу t_j ;

$F_{i,j}$ - номінальна вартість (англ. face value);

P_i - вартість портфеля облігацій.

Тут відсотки нараховуються неперервно, а виплати по облігації - в моменти часу t_j .

Дискретна модель:

$$P_i = \sum_{j=1}^N F_{i,j} \frac{1}{1+r_j^{n_j}} \quad (2.2)$$

де $n_j \in N$ - час виплат (англ. maturity time);

r_j - процентна ставка (англ. interest rate) в момент часу t_j ;

$F_{i,j}$ - номінальна вартість (англ. face value);

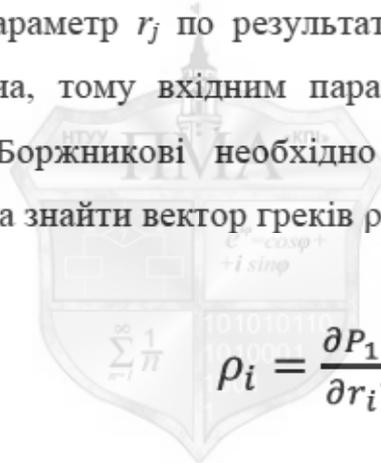
P_i - вартість портфеля облігацій.

Тут відсотки нараховуються дискретно, а виплати по облігації - в моменти часу n_j .

Під процентною ставкою розуміється процентна ставка на депозит в банку. Вартість облігацій розраховується таким чином, щоб їх купівля була вигідніша за відкриття депозиту.

Під номінальною вартістю розуміється скільки грошей виплачується по облігації в момент часу виплат.

Купівля облігації в обох моделях розглядається з двох сторін - зі сторони кредитора (купляє облігації) та зі сторони боржника (продає облігації). Кредитор диктує свої умови (матрицю F та вектор P). Матриця номінальних вартостей обирається довільним чином, вектор вартостей портфеля розраховується за формулами (2.1) та (2.2) з фіксованими процентними ставками та часом виплат (вважається, що кредитор знає, яка буде процента ставка в момент часу t_j/n_j). Таким чином, кредитор розв'язує пряму задачу калібрування фінансової моделі - знаходить результат (P_i) по вхідним параметрам (r_j). Зі сторони боржника розраховується обернена задача (шукається вхідний параметр r_j по результату P_i). Далі буде розглядатись тільки обернена задача, тому вхідним параметром буде вважатись P_i , а результуючим - r_j . Боржникові необхідно знайти вектор r (провести калібрування моделі) та знайти вектор греків ρ [8].



$$\rho_i = \frac{\partial P_1}{\partial r_i}, \quad (2.3)$$

Оскільки в оберненій задачі шукається r_i по p_i , знайти описану вище похідну можна буде з використанням теореми про похідну оберненої функції [9]:

$$\frac{\partial P_1}{\partial r_i} = \frac{1}{\frac{\partial r_i}{\partial P_1}}, \quad (2.4)$$

2.3 Висновки

У даному розділі представлено дві фінансові моделі. Кожна з них буде програмно реалізована.



3 ОПИС МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ МОДЕЛЕЙ

Описані вище моделі (2.1) та (2.2) представляють собою системи нелінійних рівнянь. Вони будуть розв'язуватись методом Ньютона (описується в підрозділі 3.1).

Вектор греків буде розраховуватись за допомогою автоматичного диференціювання та різницевих схем (підрозділи 3.2 та 3.3 відповідно)

3.1 Алгоритм методу Ньютона для розв'язання системи нелінійних рівнянь

Вхідні дані: $F(x) = 0$ - система рівнянь, x_0 -початкове значення[7].

1. $k = 0$.
2. Розв'язати систему лінійних рівнянь відносно вектора поправки

$\Delta x^{(k)}$:

$$W(x^{(k)}) \cdot \Delta x^{(k)} = -F(x^{(k)}), \quad (3.1)$$

де $W(x^{(k)})$ - значення матриці Якобі в точці $x^{(k)}$.

Матриця Якобі розраховується методами, наведеними в розділах 3.2 та 3.3.

Для розв'язання системи лінійних рівнянь використовується метод Гауса (підрозділ 3.4).

3. Знайти наступне наближення

$$x^{(k+1)} = \Delta x^{(k)} + x^{(k)}, \quad (3.2)$$

4. Якщо $\max_i x^{(k+1)}_i - x^{(k)}_i \leq \varepsilon$, закінчити алгоритм і покласти $x_* \cong x^{(k+1)}$, інакше $k=k+1$ і перейти до пункту 2.

3.2 Автоматичне диференціювання

Суть даного підходу полягає в запам'ятовуванні всіх арифметичних операцій та елементарних функцій, які застосовувались до змінної.

Автоматичне диференціювання можна проілюструвати на наступному прикладі[3]:

Підрахуємо наступну функцію

$$y = \sin \frac{x_1}{x_2} + \frac{x_1}{x_2} - \exp x_2 * \frac{x_1}{x_2} - \exp x_2, \quad (3.3)$$

у точці (1,5; 0,5).

Отримаємо наступну послідовність дій:

$$v_{-1} = x_1 = 1,5$$

$$v_0 = x_2 = 0,5$$

$$v_1 = \frac{v_{-1}}{v_0} = \frac{1,5}{0,5} = 3$$

$$v_2 = \sin v_1 = \sin 3 = 0,1411$$

$$v_3 = \exp v_0 = \exp 0,5 = 1,6487$$

$$v_4 = v_1 - v_3 = 3 - 1,6487 = 1,3513$$

$$v_5 = v_2 + v_4 = 0,1411 + 1,3513 = 1,4924$$

$$v_6 = v_5 * v_4 = 1,4924 * 1,3513 = 2,0167$$

$$y = v_6 = 2,0167$$

Автоматичне диференціювання можна проводити в 2 режимах: прямий (англ. forward mode) та обернений (англ. reverse mode). Знайдемо похідну функції y по x_1 в обох режимах.



3.2.1 Forward mode

Крапка над функцією буде означати похідну цієї функції по x_1 .

$$\dot{v}_i = \frac{\partial v_i}{\partial x_1}$$

$$v_{-1} = x_1 = 1,5$$

$$\dot{v}_{-1} = \dot{x}_1 = 1$$

$$v_0 = x_2 = 0,5$$

$$\dot{v}_0 = \dot{x}_2 = 0$$

$$v_1 = \frac{v_{-1}}{v_0} = \frac{1,5}{0,5} = 3$$

$$\dot{v}_1 = \frac{\dot{v}_{-1} * v_0 - v_{-1} * \dot{v}_0}{v_0^2} = \frac{1 * 0,5 - 1,5 * 0}{0,5^2} = 2$$

$$v_2 = \sin v_1 = \sin 3 = 0,1411$$

$$\dot{v}_2 = \cos v_1 * \dot{v}_1 = -0,99 * 2 = -1,98$$

$$v_3 = \exp 0,5 = 1,6487$$

$$\dot{v}_3 = v_3 * \dot{v}_0 = 1,6487 * 0 = 0$$

$$v_4 = v_1 - v_3 = 3 - 1,6487 = 1,3513$$

$$\dot{v}_4 = \dot{v}_1 - \dot{v}_3 = 2 - 0 = 2$$

$$v_5 = v_2 + v_4 = 0,1411 + 1,3513 = 1,4924$$

$$\dot{v}_5 = \dot{v}_2 + \dot{v}_4 = -1,98 + 2 = 0,02$$

$$v_6 = v_5 * v_4 = 1,4924 * 1,3513 = 2,0167$$

$$v_6 = v_5 * v_4 + v_5 * v_4 = 0,02 * 1,3513 + 1,4924 * 2 = 3,0118$$

$$y = v_6 = 2,0167$$

$$y = v_6 = 3,0118.$$

3.2.2 Reverse mode

Риска над функцією буде означати похідну.



$$v_{-1} = x_1 = 1.5$$

$$v_0 = x_2 = 0.5$$

$$v_1 = \frac{v_{-1}}{v_0} = \frac{1.5}{0.5} = 3$$

$$v_2 = \sin v_1 = \sin 3 = 0.1411$$

$$v_3 = \exp v_0 = \exp 0.5 = 1.6487$$

$$v_4 = v_1 - v_3 = 3 - 1.6487 = 1.3513$$

$$v_5 = v_2 + v_4 = 0.1411 + 1.3513 = 1.4924$$

$$v_6 = v_5 * v_4 = 1.4924 * 1.3513 = 2.0167$$

$$y = v_6 = 2.0167$$

$$v_6 = y = 1$$

$$v_5 = v_6 * v_4 = 1 * 1.3513 = 1.3513$$

$$v_4 = v_5 + v_6 * v_5 = 1.3513 + 1 * 1.4924 = 2.8437$$

$$v_3 = -v_4 = -2.8437$$

$$v_2 = v_5 = 1.3513$$

$$v_1 = v_4 + v_2 * \cos v_1 = 1.5059$$

$$v_0 = v_3 * v_3 - v_1 * \frac{v_1}{v_0} = -13.7239$$

$$v_{-1} = \frac{v_1}{v_0} = 3.0118$$

$$x_2 = v_0 = -13.7239$$

$$x_1 = v_{-1} = 3.0118.$$

З обчислень очевидно випливає, що forward mode краще працює для обчислення похідних багатьох функцій по одній змінній (тобто, коли число функцій більше за число незалежних змінних), а reverse mode краще працює в разі обчислення градієнта.

Також звідси випливає той факт, що немає необхідності отримувати аналітичний вигляд початкової функції, тому що диференціювання проводиться вже після обчислення функції. Таким чином, цим методом можна продиференціювати величину, яка знаходиться за допомогою ітеративних методів (наприклад, методом Ньютона).

Недоліками такого підходу є більше споживання пам'яті комп'ютера (додаткова пам'ять витрачається на збереження послідовності операцій) та набагато менша швидкість власне обчислень. Хоча останній недолік нівелюється швидким обчисленням похідних.

3.3 Різницеві схеми

Дві різницеві схеми вже були наведені вище (1.1) та (1.2). В даній роботі використовувалась центральна схема (1.2), оскільки вона має більшу точність порівняно з правою схемою. Проте не варто забувати, що різницеві схеми, на відміну від автоматичного диференціювання, мають похибку. Це можна проілюструвати на наступному прикладі:

$$f(x) = x^2,$$

$$f'(x) \approx \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \frac{(x+h)^2 - x^2}{h} = 2x + h, \quad (3.4)$$

Таким чином, яке б значення кроку h не було взяте, точного значення похідної отримано не буде ($h \neq 0$). Перевагою даного підходу є те, що похідну таблично визначеної функції можна обчислити виключно різницевими схемами.

3.4 Метод Гауса для розв'язання системи лінійних рівнянь

Даний метод застосовується для розв'язання систем лінійних рівнянь. Він полягає в послідовному виключенні змінних, коли за допомогою елементарних перетворень система зводиться до рівносильної системи трикутного вигляду, з якої послідовно (починаючи з кінця) знаходяться всі невідомі[7].

3.5 Висновки

В даному розділі було розглянуто метод Ньютона для розв'язання системи нелінійних рівнянь (в цьому полягає калібрування фінансових моделей) та допоміжні методи - метод Гауса для розв'язання системи лінійних рівнянь та методи для обчислення похідних - автоматичне диференціювання та різницеві схеми.

Було розглянуто переваги та недоліки методів диференціювання та обрано автоматичне диференціювання як основний метод.

4 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для написання усіх модулів програми була обрана мова програмування C++ з використанням стандарту C++11. Переваги даного вибору:

- висока швидкість виконання програм;
- підтримка різних платформ;
- велика кількість стандартних функцій та алгоритмів;
- наявність великої кількості готових бібліотек автоматичного диференціювання.

4.1 Вибір бібліотеки автоматичного диференціювання

Для проведення автоматичного диференціювання було вирішено обрати одну з наступних бібліотек: Adept, ADOL-C, CppAD. Їх порівняльна характеристика наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Порівняльна характеристика бібліотек автоматичного диференціювання

Бібліотека	Переваги	Недоліки
CppAD	Шаблонна структура, актуальний проект	Повільніша за інші
ADOL-C	-	Погана програмна реалізація, закритий проект
Adept	Швидша за дві інші	Не компілюється під Windows

Зважаючи на всі переваги та недоліки, було обрано бібліотеку CppAD через можливість скомпілювати дану бібліотеку під будь-яку операційну систему та шаблонну структуру.

4.2 Вибір формату для побудови графіків

Для побудови графіків було вирішено обрати одну з наступних програм: Microsoft Office Excel з форматом .csv та gnuplot з форматом .plt
Порівняльна характеристика наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Порівняльна характеристика плоттерів

Плоттер	Переваги	Недоліки
Excel	Широкі можливості для обробки графіків	Великий розмір офісного пакету, дорога ліцензія
gnuplot	Малий розмір (50 МБ), безкоштовний	Складний формат вхідних даних

Незважаючи на складність в реалізації, було обрано gnuplot, оскільки використовувати "важкий" офісний пакет заради даного програмного продукту було б недоцільно.

4.3 Архітектура підсистеми

Підсистема складається з наступних модулів:

- бібліотека для калібрування фінансової моделі;
 - модуль розв'язання системи нелінійних рівнянь;
 - модуль розв'язання лінійних рівнянь;
 - модуль автоматичного диференціювання;
- підсистема тестування бібліотеки;
 - модуль генерування вхідних даних;
 - модуль виклику калібрування моделей;
 - модуль побудови графіків.

Взаємодію модулів можна зобразити на наступній схемі:



Рисунок 4.1 - Схема взаємодії модулів

4.4 Висновки

Було спроектовано та розроблено бібліотеку калібрування фінансових моделей та підсистему тестування даної бібліотеки, що відповідають вимогам Постановки задачі.

Модульна архітектура дає можливість внесення змін та розширення бібліотеки.



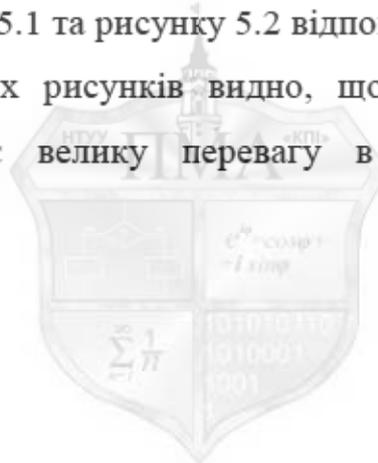
5 ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

Тестування системи відбувається за допомогою підсистеми тестування. Вхідними фінансовими моделями є моделі, описані в розділі 2. Розмірність задачі варіюється від 1 до 100. Вхідні матриці номінальної вартості та вектор вартості портфеля задаються за допомогою генератора вхідних даних.

Критерієм правильності роботи алгоритму є близькість за значенням результатів, отриманих автоматичним диференціюванням та різницевиими схемами.

Час виконання калібрування неперервної та дискретної моделі зображено на рисунку 5.1 та рисунку 5.2 відповідно.

З вище вказаних рисунків видно, що застосування автоматичного диференціювання дає велику перевагу в швидкості в порівнянні з різницевиими схемами.



5.1 Висновки

Було протестовано бібліотеку калібрування фінансових моделей за допомогою підсистеми тестування. Для тестування було використано 2 моделі, наведені в розділі Опис обраних фінансових моделей.

Залежність часу виконання від розмірності задачі зображено на рисунках 5.1 та 5.2

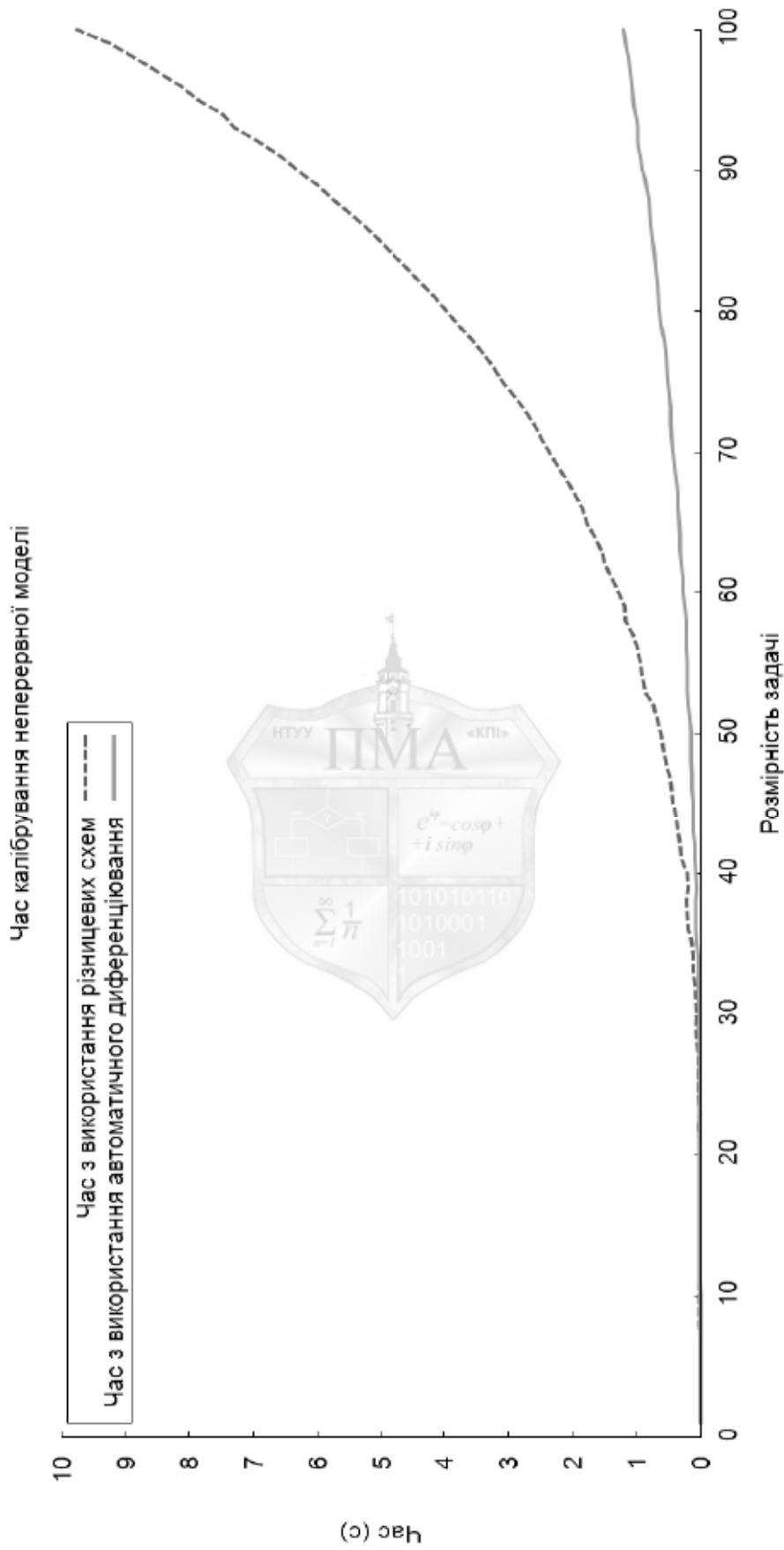


Рисунок 5.1 - Залежність часу калібрування неперервної моделі від розмірності задачі

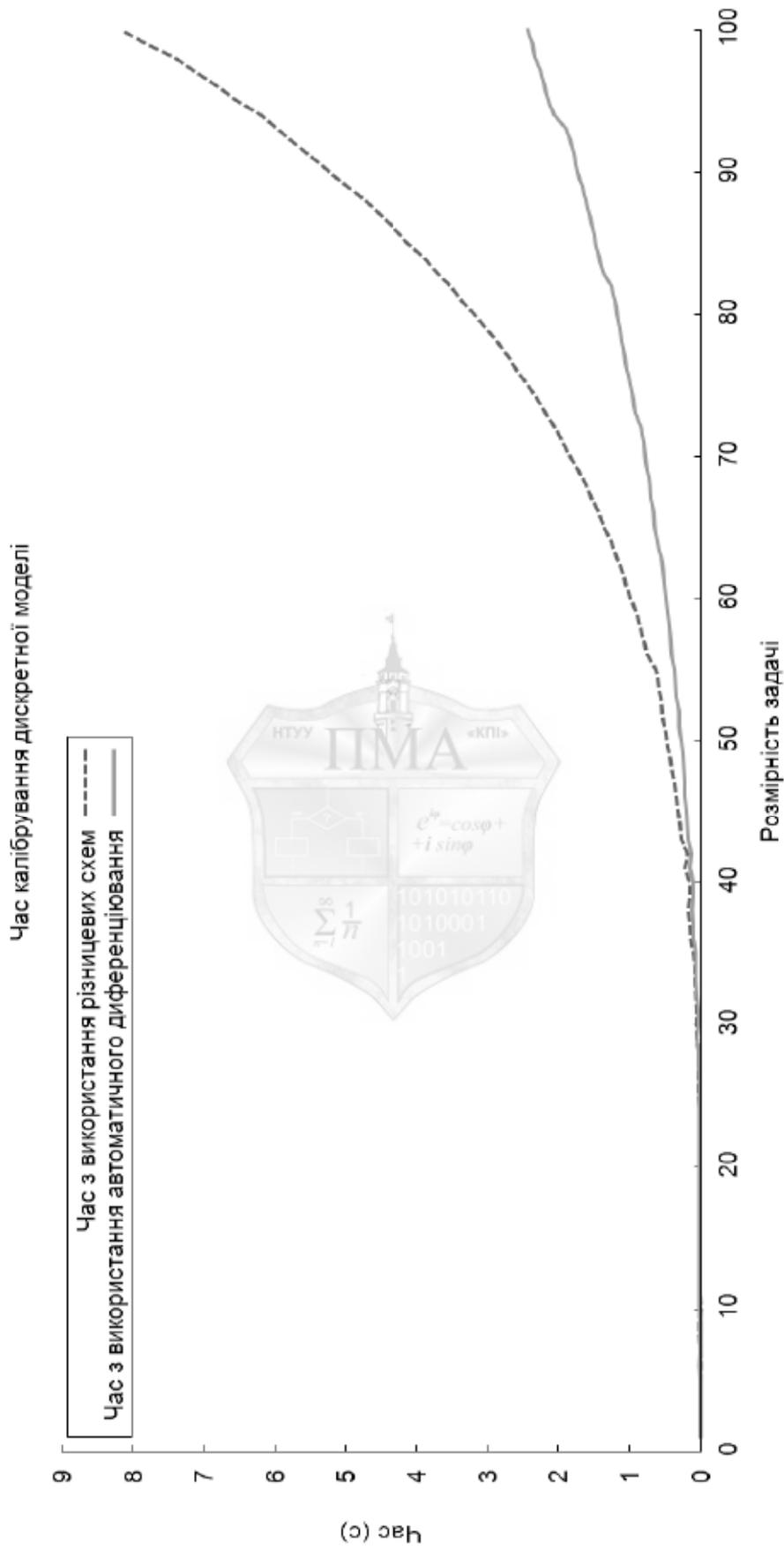


Рисунок 5.2 - Залежність часу калібрування дискретної моделі від розмірності задачі

ВИСНОВКИ

Було спроектовано та розроблено підсистему калібрування фінансових моделей із використанням автоматичного диференціювання.

Під час тестування даної підсистеми було виявлено, що автоматичне диференціювання має набагато більшу швидкість в порівнянні з різницеvими схемами (рисунки 5.1 та 5.2). Таким чином, було доведено, що застосування автоматичного диференціювання в фінансовій математиці може значно прискорити розрахунки, що є важливим фактором у підборі математичного забезпечення для розробки фінансових бібліотек.

Подальшим розвитком в даному напрямленні являється створення спеціальних адаптерів, які дозволяють інтегрувати будь-яку бібліотеку автоматичного диференціювання в сторонню програму. Тобто, даний адаптер дозволяє обирати ту чи іншу бібліотеку автоматичного диференціювання (наприклад, Adept чи ADOL-C) без зміни коду. На даний момент, такі адаптери тільки починають створюватись.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Н.В. Войтоловского, А.П. Калининой, И.И. Мазуровой. Экономический анализ: Основы теории. Комплексный анализ хозяйственной деятельности организации: Учебник /Под ред. 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Высшее образование, 2006. — 256 с.
2. Banks, Erik; Siegel, Paul. The options applications handbook: hedging and speculating techniques for professional investors. - McGraw-HillProfessional.2008 - p. 263 - ISBN 9780071453158
3. Griewank, Andreas; Walther, Andrea. Other Titles in Applied Mathematics (2nd ed.).-2008- p. xxi + 426 - ISBN 978-0-89871-659-7.
4. Hoang, Paul. "1.4 Stakeholders". Business and Management.- Victoria: IBID Press.2007- p. 71- ISBN 1-876659-63-7.
5. Положення про вимоги до стандартної (типової) форми деривативів, затв. постановою Кабінету Міністрів України від 19 квітня 1999 р. № 632.
6. Джон К. Халл. Глава 26. Процентные деривативы: стандартные рыночные модели: Европейские свопционы // Опционы, фьючерсы и другие производные финансовые инструменты — 6-е изд. — М.: «Вильямс», 2007. — С. 1056. — ISBN 0-13-149908-4.
7. Калиткин, Н. Н. Численные методы: учеб. пособие / Н. Н. Калиткин. — 2-е изд., исправленное. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 586 с.: ил. — (Учебная литература для вузов). - ISBN 978-5-9775-0500-0
8. Haug, Espen Gaardner . The Complete Guide to Option Pricing Formulas. - McGraw-HillProfessional 2007 -312 p. - ISBN 9780071389976. ISBN 0-07-138997-0
9. А. В. Кудрявцев, Б. П. Демидович Краткий курс высшей математики : учеб. пособие / - 7-е изд., испр. - Москва : Наука, 1989. - 656 с. : ил. - ISBN 5-02-013927-0