

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Факультет інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра системного аналізу та управління
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

Здобувача вищої освіти _____ Комизи Олесі Володимирівни

академічної групи _____ 124-21-2

спеціальності _____ 124 Системний аналіз

за освітньо-професійною програмою _____ Системний аналіз

на тему: «Підвищення ефективності процесів кредитування комерційного банку через управління кредитним портфелем»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	<i>к.ф.-м.н., проф. Ус С.А.</i>			
розділів:				
Інформаційно- аналітичний	<i>к.т.н., доц. Желдак Т.А.</i>			
Спеціальний розділ	<i>к.т.н., доц. Желдак Т.А.</i>			
Рецензент	<i>д.т.н., проф. Алексєєв М.А.</i>			
Нормоконтролер	<i>к.ф.-м.н., доц. Хом'як Т.В.</i>			

Дніпро
2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Системного аналізу та управління
(повна назва)

_____ к.т.н., доц. Желдак Т.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

здобувачу вищої освіти Комизи О. В. академічної групи 124- 21-2
спеціальності: 124 Системний аналіз
за освітньо-професійною програмою Системний аналіз
на тему «Підвищення ефективності процесів кредитування комерційного банку через управління кредитним портфелем»
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 17.05.2025 р.
№163-с

Розділ	Зміст	Терміни виконання
1. Інформаційно-аналітичний розділ	<i>Проаналізувати структуру об'єкта дослідження. Визначити предметну область дослідження та проблему, що розв'язується. Обґрунтувати методи виконання поставлених завдань</i>	10.01.2025 – 01.03.2025
2. Спеціальний розділ	<i>Розв'язати поставлені задачі: розробити алгоритми та створити систему для автоматизації пасажирських перевезень, враховуючи різні фактори, які необхідні для зручного переміщення людей.</i>	01.03.2025 – 10.06.2025

Завдання видано _____ доц. Желдак Т.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі: 06.12.2024 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: _____

Прийнято до виконання _____ Комиза О. В.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 83 с., 41 рис., 20 табл., 7 додатків, 23 джерела.

Об'єктом дослідження в роботі є процеси кредитування у комерційному банку в умовах багатьох критеріїв.

Предметом дослідження є методи формування кредитного портфеля банку на основі оцінки кредитоспроможності позичальників.

Метою даної роботи є підвищення ефективності процесу формування кредитного портфеля банку шляхом вдосконалення оцінки кредитоспроможності позичальників.

Методи дослідження: нечітка логіка – для побудови системи оцінки кредитного ризику, методи багатокритеріальної оптимізації – для побудови оптимального кредитного портфеля.

В інформаційно–аналітичному розділі наведено аналіз об'єкту дослідження та ключових проблем на ньому. Поставлені задачі дослідження та обрано концепції їх розв'язання.

У спеціальному розділі сформовано критерії оцінки кредитоспроможності та складено змістову, математичну моделі задачі, розроблено систему нечіткої логіки з інтерфейсом та визначено декілька варіантів побудови кредитного портфелю із наявних запитів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що здійснення раціонального вибору позичальників та формування збалансованого кредитного портфеля з урахуванням рівня їх кредитоспроможності дозволяє мінімізувати кредитні ризики та підвищити прибутковість комерційного банку.

Ключові слова: КРЕДИТ, РИЗИК, КРЕДИТОСПРОМОЖНІСТЬ, КРЕДИТНИЙ ПОРТФЕЛЬ, БАНК, СИСТЕМА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, МАТЛАВ, БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ, ПОЗИЧАЛЬНИК, НЕЧІТКА ЛОГІКА.

SUMMARY

The explanatory note: 83 p., 41 fig., 20 tab., 7 annex, 23 references.

The object of the research in this work is the lending processes in a commercial bank under the conditions of multiple criteria.

The subject of the research is the methods of forming a bank's credit portfolio based on the assessment of borrowers' creditworthiness.

The purpose of this work is to increase the efficiency of the process of forming a bank's credit portfolio by improving the assessment of borrowers' creditworthiness.

Research methods: fuzzy logic – for building a credit risk assessment system, methods of multi-criteria optimization – for building an optimal credit portfolio.

The information and analytical section provides an analysis of the research object and the key problems on it. The research tasks are set and the concepts of their solution are chosen.

In the special section, the criteria for assessing creditworthiness are formed and a content, mathematical models of the problem are compiled, a fuzzy logic system with an interface is developed and several options for building a credit portfolio from the available requests are determined.

The practical value of the obtained results is that the implementation of a rational choice of borrowers and the formation of a balanced credit portfolio, taking into account the level of their creditworthiness, allows minimizing credit risks and increasing the profitability of a commercial bank.

Keywords: CREDIT, RISK, CREDITWORTHINESS, CREDIT PORTFOLIO, BANK, ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM, MATLAB, MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION, BORROWER, FUZZY LOGIC.

Зміст

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1	8
1.1. Загальна характеристика АТ КБ «ПРИВАТБАНК»	8
1.2. Аналіз організаційної структури АТ КБ «ПРИВАТБАНК»	8
1.3. Аналіз кредитування у АТ КБ «ПРИВАТБАНК»	11
1.4. Огляд наукової літератури	13
1.5. Аналіз існуючих методів складання кредитного портфеля	15
1.6. Аналіз чинників, що розглядаються банком для рішення про видачу кредиту або відмові у кредиті	16
1.7. Багатокритеріальна оптимізація як інструмент для побудови кредитного портфеля	19
1.8. Використання методів штучного інтелекту для оцінки кредитоспроможності позичальника	24
1.9. Постановка задачі	26
Висновки до розділу	28
РОЗДІЛ 2	29
2.1. Постановка задачі оцінки кредитоспроможності і формалізація вхідних та вихідних параметрів	29
2.2. Фазифікація вхідних і вихідних параметрів системи кредитоспроможності	30
2.3. Обґрунтування вибору програмного середовища та розробка моделі штучного інтелекту для прогнозування ризику кредитоспроможності	38
2.4. Експериментальне дослідження ефективності моделі.	54
2.5. Змістова постановка задачі багатокритеріальної оптимізації формування кредитного портфеля	60
2.6. Концептуальна модель задачі багатокритеріальної оптимізації	63
2.7. Математична модель задачі багатокритеріальної оптимізації	63

2.8. Обґрунтування доцільності методів багатокритеріальної оптимізації для формування кредитного портфеля	65
2.9. Розв'язування задачі методом згортки	67
2.10. Розв'язування задачі методом головного критерію	73
2.11. Розв'язування задачі методом послідовної поступки	74
2.12. Аналіз результатів формування оптимального кредитного портфеля методами багатокритеріальної оптимізації	77
Висновки до розділу	79
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
Додаток А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи	85
Додаток Б. Відгук.....	86
Додаток В. Рецензія на кваліфікаційну роботу бакалавра.....	87
Додаток Г. Створення правил для визначення кредитоспроможності фізичних та юридичних осіб	88
Додаток Д. Код програми App Designer для додатків credit_app та credit_app_2 ...	91
Додаток Ж. Інструкція для користувача по роботі з додатками credit_app та credit_app_2	94
Додаток З. Формування кредитних запитів для складання кредитного портфеля .	96

ВСТУП

«Банківська справа – це не стільки про гроші,
скільки про довіру. Це про полегшення
транзакцій та надання кредиту»

©Джон Кеннет Гелбрейт

Для будь-якого комерційного банку кредитний портфель є ключовим активом та основним джерелом доходу. Його формування, збалансованість та якість безпосередньо впливають на фінансову стійкість та прибутковість установи. Однак, кредитування нерозривно пов'язане з ризиком – ризиком неповернення наданих коштів. Відповідно, ефективне управління кредитним портфелем неможливе без точної та об'єктивної оцінки кредитоспроможності позичальників.

Традиційно, процес оцінки позичальників значною мірою залежав від досвіду та аналітичних здібностей фінансових експертів. В умовах зростаючих обсягів доступних даних та високої динаміки економічного середовища, такий підхід має обмеження, оскільки не завжди дозволяє виявити всі приховані фактори ризику та оперативно реагувати на зміни. Необхідність мінімізації кредитних втрат та підвищення якості кредитного портфеля вимагає пошуку та впровадження більш досконалих та точних методів оцінки позичальників.

Метою даної роботи є підвищення ефективності процесу формування кредитного портфеля банку шляхом вдосконалення оцінки кредитоспроможності позичальників та застосування методів багатокритеріальної оптимізації. Для досягнення цієї мети вирішується ряд задач:

- аналіз об'єкту дослідження, вивчення актуальної інформації щодо оцінки кредитоспроможності та формування кредитного портфеля.
- розробка системи для оцінки кредитоспроможності фізичних та юридичних осіб на основі визначеної множини критеріїв.
- побудова математичної моделі задачі щодо кредитного портфеля банку та розв'язання цієї задачі.

Об'єктом дослідження є процеси кредитування у комерційному банку в умовах багатьох критеріїв.

Предметом дослідження є методи формування кредитного портфеля банку на основі оцінки кредитоспроможності позичальників.

Для створення системи оцінки кредитоспроможності використано методи штучного інтелекту, а для складання кредитного портфеля банку – методи багатокритеріальної оптимізації.

Практична цінність отриманих результатів полягає у тому, що здійснення раціонального вибору позичальників та формування збалансованого кредитного портфеля з урахуванням рівня їх кредитоспроможності дозволяє мінімізувати кредитні ризики та підвищити прибутковість комерційного банку.

Апробація результатів дипломної роботи здійснена на II (VIII) міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика» 2025 р.

РОЗДІЛ 1

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ

1.1. Загальна характеристика АТ КБ «ПРИВАТБАНК»

АТ КБ «ПриватБанк» функціонує як системно важливий акціонерний банк, єдиним акціонером якого є держава. Управління банком здійснюється через ієрархічну структуру, що включає Вищий орган (Кабінет Міністрів України), Наглядову раду та Правління [1]. Така структура визначає механізми прийняття рішень та розподіл повноважень, що є важливим для розуміння процесів формування кредитного портфеля та оцінки ризиків позичальників.

Наглядова рада відповідає за стратегічне управління та контроль, включаючи забезпечення функціонування комплексної системи внутрішнього контролю та управління ризиками. Правління здійснює поточне керівництво та відповідає за реалізацію політики внутрішнього контролю. Зокрема, Правління утворює постійно діючі комітети, серед яких обов'язково має бути кредитний комітет, що безпосередньо стосується процесів кредитування.

1.2. Аналіз організаційної структури АТ КБ «ПРИВАТБАНК»

Для глибшого розуміння кредитних процесів на прикладі конкретної фінансової установи було проаналізовано організаційну структуру АТ КБ «ПРИВАТБАНК», спираючись на надану схему (рисунок 1.1). Цей аналіз дозволяє побачити, які підрозділи банку відповідають за ключові аспекти кредитування та управління пов'язаними з ним ризиками.

Заступника Голови Правління з питань ризик-менеджменту свідчить про централізоване управління ризиками на високому рівні. Ця особа, ймовірно, відповідає за загальну політику банку у сфері ризиків, впровадження відповідних стандартів та процедур.

Департаменти, що відносяться до управління ризиками:

- Департамент кредитних ризиків - це основний підрозділ, який проводить детальний аналіз фінансового стану позичальників, їхньої кредитної історії, оцінює забезпечення, визначає кредитний рейтинг та ліміт ризику. Саме тут приймається рішення щодо схвалення чи відхилення кредитної заявки з точки зору ризику.
- Департамент ризик-менеджменту. Цей підрозділ може займатися розробкою та вдосконаленням методологій оцінки кредитних ризиків, створенням моделей скорингу, встановленням загальних лімітів кредитування за галузями, продуктами тощо.
- Департамент моніторингу ризиків. Після видачі кредиту важливо відстежувати стан позичальника та якість портфеля. Цей департамент здійснює постійний моніторинг показників, які можуть свідчити про погіршення фінансового стану позичальника та зростання ризику дефолту.
- Департамент реструктуризації та врегулювання заборгованості. Цей підрозділ працює вже з проблемними активами, намагаючись мінімізувати втрати банку через переговори, зміну умов кредитування або примусове стягнення.

На основі аналізу організаційної структури ПриватБанку можна зробити висновок, що банк має чітко вибудовану систему управління процесами формування кредитного портфеля та оцінки ризиків позичальників. Ці функції централізовані під керівництвом відповідних Заступників Голови Правління, а їх реалізація покладена на спеціалізовані департаменти, які покривають різні аспекти – від залучення клієнтів у конкретних сегментах до глибокого аналізу ризиків,

моніторингу та роботи з проблемною заборгованістю. Така структура свідчить про системний підхід банку до кредитування та управління кредитним ризиком, що є запорукою стабільності фінансової установи.

1.3. Аналіз кредитування у АТ КБ «ПРИВАТБАНК»

ПриватБанк є універсальним банком, який активно працює на ринках кредитування фізичних осіб, малого та середнього бізнесу та вибірково у корпоративному сегменті. Банк пропонує широкий спектр кредитних продуктів, включаючи овердрафти, кредити на поповнення обігових коштів, документарні операції, торгове фінансування для бізнесу, а також кредитні картки, споживчі кредити, іпотеку та автокредити для фізичних осіб. Кредитування визначено як важливе джерело прибутків та компонент відносин банку з клієнтами. У 2023 році банк збільшив чистий портфель як роздрібних кредитів, так і кредитів для бізнесу. Банк застосовує детальні критерії для оцінки потенційних позичальників, що визначені у Положенні про кредитну політику [3]. Кредитний процес включає збір та аналіз інформації про клієнта. Кредитний аналіз базується на принципах орієнтації на майбутнє, адекватності аналізу ризику, орієнтації на комерційний потенціал та перевірки достовірності наданої інформації. Основні елементи аналізу включають:

- Профіль клієнта.
- Мета кредиту та спроможність виконати зобов'язання.
- Фінансовий стан клієнта.
- Стратегія відносин із клієнтом.

Банк вимагає підтвердження доходу та майна (особливо для фізичних осіб, якщо це не масовий продукт). Важливою частиною процесу є відвідування підприємства клієнта (для бізнесу), отримання інформації з внутрішніх (дані рахунків, галузева інформація) та зовнішніх джерел (преса, агенції). Банк також проводить аналіз

групи клієнтів, що мають тісні зв'язки, для оцінки сукупного ризику. Банк не фінансує діяльність у певних галузях, які вважаються незаконними, екологічно шкідливими, або пов'язані зі зброєю, тютюном, азартними іграми тощо. При кредитуванні обов'язковою умовою є розуміння клієнта, його потреб та бізнесу.

Незважаючи на виважену кредитну політику, банк стикається з проблемами у сфері кредитування. Документ «Прострочення кредитів на 180 днів на 1.07.2024»[4] демонструє наявність значної простроченої заборгованості за основною сумою та відсотками у боржників, які є пов'язаними з банком особами. Фінансовий звіт за 2023 рік [5] зазначає, що рівень непрацюючих кредитів (NPL) стабілізувався і має тенденцію до покращення після різкого підвищення у 2022 році, що свідчить про наявність проблеми з проблемною заборгованістю, яка виникла раніше, зокрема внаслідок повномасштабного вторгнення та його економічних наслідків.

На рисунку 1.2 представлено схему розподілу кредитів у кредитному портфелі ПриватБанку.

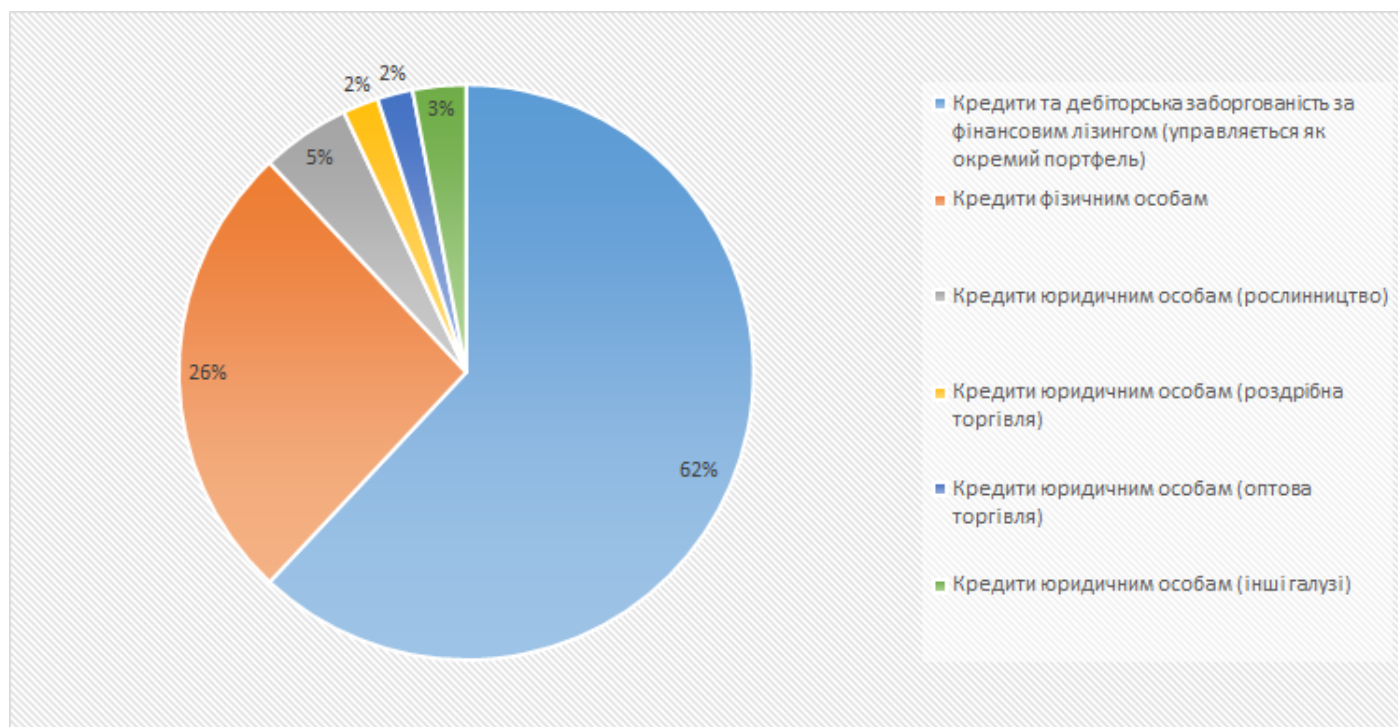


Рисунок 1.2 – Кредитний портфель ПриватБанку, побудований за даними «Річного звіту 2023»

Джерело: складено автором за [5]

Кредити та дебіторська заборгованість за фінансовим лізингом – це кошти, які клієнти винні банку - стандартні банківські позики та суми, які має сплатити клієнт за договором фінансового лізингу. Наявність проблемної заборгованості, особливо непрацюючих кредитів та значних сум прострочень, свідчать про необхідність постійного вдосконалення та адаптації процесів кредитування та управління ризиками.

1.4. Огляд наукової літератури

Деяка актуальна інформація щодо кредитних портфелів банків України та факторів кредитного ризику наведена у наступних джерелах.

У дисертації "Управління ризиками банківського споживчого кредитування" [6] автор виділяє наступні групи факторів, що впливають на кредитний ризик: макроекономічні (рівень інфляції, стан економіки, безробіття тощо), галузеві (розвиток галузі, конкуренція тощо), соціально-демографічні, індивідуальні характеристики (кредитна історія, рівень доходів, вік, освіта тощо) та фактори, що пов'язані з кредитним продуктом. Також він звертає увагу на інструменти його мінімізації, ключові з них – автоматизована система оцінки, застава майна, страхування, диверсифікація кредитного портфеля, лімітування кредитного ризику, моніторинг фінансового стану позичальників. Кілька цих інструментів буде використовуватися у подальшому у цій роботі.

Стаття "Кредитний портфель банків України: аналіз, фактори, тенденції" [7] надає аналіз сучасного стану кредитного портфеля банків України. Виявляється, що станом на 2019 рік в Україні спостерігалася позитивна динаміка зростання наданих кредитів, однак разом із цим «аналіз кредитного портфеля показав, що зі зростанням виданих кредитів останнім часом відбувається збільшення частки проблемної заборгованості у кредитних портфелях, що свідчить про неефективно

побудовану систему кредитування». Автор підкреслює доцільність перегляду кредитних портфелів задля очищення їх від непрацюючих кредитів.

Монографія "Оцінка кредитоспроможності та інвестиційної привабливості суб'єктів господарювання" [8] присвячена комплексному аналізу теоретичних та практичних аспектів оцінки фінансового стану підприємств. Дуже цікаво із цієї монографії можна дізнатися про системи кредитних рейтингів та про галузеві складові оцінки кредитоспроможності.

Методи дослідження та аналізу процесів кредитування описуються у наступних посібниках.

У навчальному посібнику "Моделі й методи прийняття рішень"[9]. Розглядаються моделі, методи оптимізації та аналізу, що можуть бути застосовані для розв'язання задач управління кредитним портфелем. Важливим є акцент на методах багатокритеріальної оптимізації, таких як метод згортки, метод головного критерію та метод послідовної поступки, що будуть використані у цій роботі.

Навчальний посібник "Системний аналіз в управлінні розвитком складних систем"[10] надає комплексний огляд методології системного аналізу, яка є важливою для розуміння складності банківської діяльності та управління кредитним портфелем. Застосування принципів системного аналізу дозволяє розглядати кредитний портфель як складну систему, на яку впливає безліч внутрішніх та зовнішніх факторів.

Навчальний посібник "Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень" [11] детально розглядає теорію нечітких множин та її застосування в задачах управління та прийняття рішень. Автори акцентують увагу на тому, що багато економічних явищ, зокрема оцінка кредитоспроможності, мають нечіткий характер, і традиційні математичні методи не завжди адекватно їх описують. У посібнику розглядаються методи, що дозволяють моделювати якісні критерії та працювати з лінгвістичними змінними.

1.5. Аналіз існуючих методів складання кредитного портфеля

Кредитний портфель – це сукупність усіх позик, наданих банком з метою отримання доходу [12]. Формування ефективного кредитного портфеля є одним із ключових завдань для будь-якого банку, оскільки він є головним джерелом доходу, але водночас і несе найбільше ризиків. Процес складання та управління кредитним портфелем не є одноразовою дією, а являє собою безперервний механізм, спрямований на пошук оптимального співвідношення між власними доходами та ризиками.

Кожна банківська установа, керуючись власними цілями, створює індивідуальний тип кредитного портфеля, адаптований для досягнення максимальної ефективності. Фундаментом цього вибору є пошук оптимального співвідношення між потенційною дохідністю та рівнем ризиків. На рисунку 1.3 можна побачити, чим відрізняються типи кредитних портфелів комерційних банків.

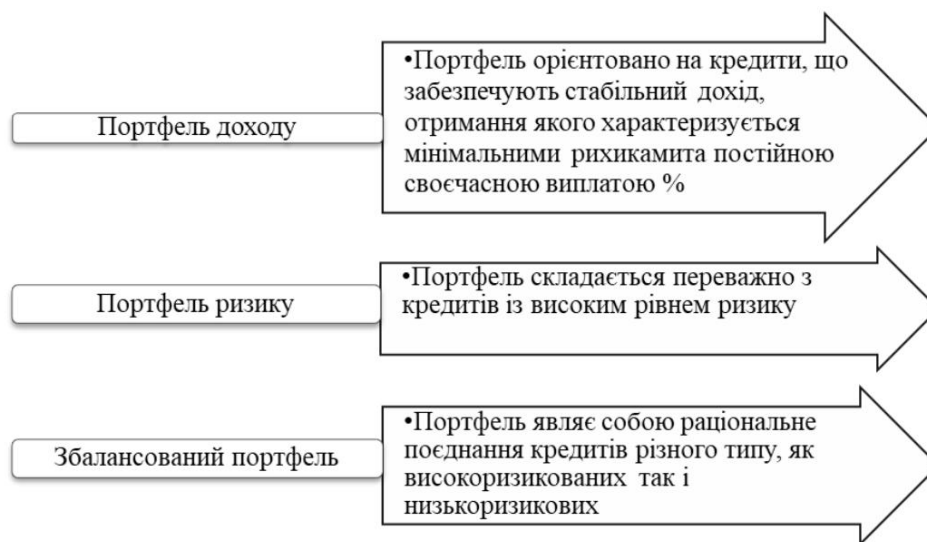


Рисунок 1.3 – Основні типи кредитних портфелів банківських установ

Джерело: [13]

Основні показники для аналізу ефективності кредитного портфеля:

- рівень кредитної активності (з розбивкою за суб'єктами господарювання та фізичними особами);
- рівень доходності відповідних частин портфеля;
- рівень їх ризиковості;
- частка непрацюючих кредитів.

Методика розрахунку доходності для сегментів суб'єктів господарювання та фізичних осіб передбачає віднесення суми отриманих відсоткових доходів до загального обсягу кредитів, наданих цим категоріям позичальників [13].

На рисунку 1.4 наведено діаграму для порівняння найбільших кредитних портфелів банків України.

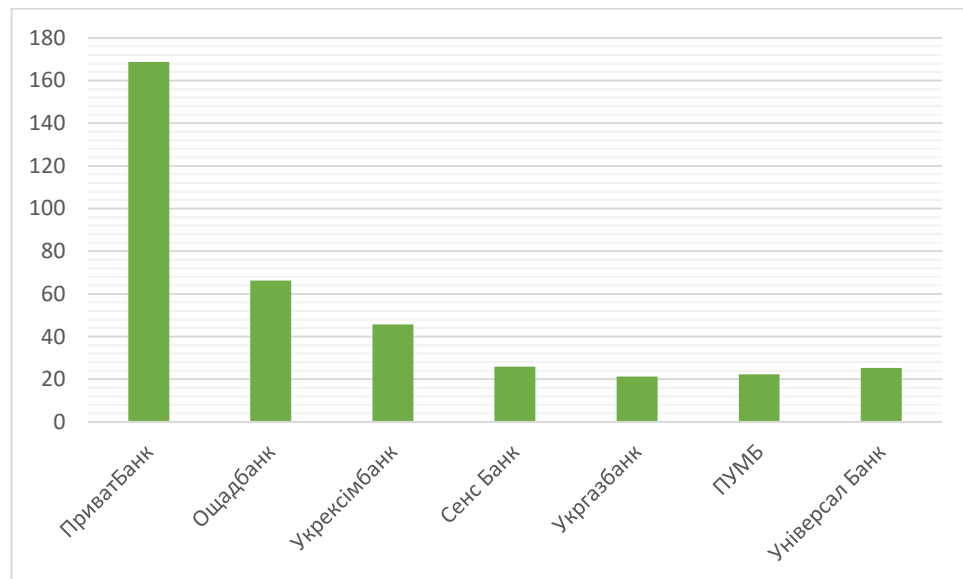


Рисунок 1.4 – Найбільші кредитні портфелі комерційних банків України станом на 1.01.2024 (цифри наведені у млрд грн)

Джерело: складено автором за [14]

1.6. Аналіз чинників, що розглядаються банком для рішення про видачу кредиту або відмові у кредиті

Серед існуючих методів оцінки кредитоспроможності позичальників прийнято виділяти дві основні групи [8]: класифікаційні (статистичні) методи, що

включають рейтингові системи оцінки та моделі прогнозування банкрутств, а також моделі комплексного аналізу, які базуються на експертних оцінках та врахуванні різноманітних якісних і кількісних чинників, таких як «правило 6 Сі», CAMPARI, PARTS, PARSER та інші.

Класифікаційні методи часто передбачають розрахунок інтегрального показника або рейтингу на основі зважених значень вибраних показників, що відрізняється простотою застосування. До цієї групи також належить дискримінантний аналіз, зокрема Z-модель Альтмана, яка обчислює показник для оцінки ймовірності банкрутства. Методи аналізу грошового потоку, засновані на оцінці руху коштів клієнта, також використовуються для визначення класу позичальника. Моделі комплексного аналізу, такі як CAMPARI чи "5С", використовують ширшу систему критеріїв, що охоплюють репутацію, якість менеджменту, фінансовий стан, забезпечення та інші аспекти, як показано у порівняльних характеристиках цих моделей.

Отже, для визначення рівня кредитоспроможності клієнта банки використовують різні методи, але в усіх них враховуються кількісні та якісні показники. Чинники, що розглядаються банками при оцінці кредитоспроможності, можна узагальнити за кількома групами[15]:

- 1) Чинники, притаманні діяльності позичальника. Ці чинники безпосередньо стосуються характеристик самого позичальника та його здатності генерувати достатні грошові потоки для погашення кредиту. Розглядаються як для суб'єктів господарювання, так і для фізичних осіб:
 - Репутація позичальника. Оцінка ділової репутації та історії взаємовідносин з банками чи іншими кредиторами.
 - Капітал позичальника. Оцінка власного капіталу, який може слугувати "подушкою безпеки" та свідчить про фінансову стійкість.

- Спроможність позичальника успішно вести справу (для суб'єктів господарювання). Аналіз ефективності бізнес-моделі, досвіду управління, ринкових позицій компанії.
 - Кредитоспроможність позичальника. Комплексна оцінка фінансового стану, платоспроможності та ліквідності на основі аналізу фінансової звітності (для суб'єктів господарювання) або доходів, витрат та майнового стану (для фізичних осіб). Включає прогнозування майбутніх грошових потоків та здатності генерувати дохід, достатній для обслуговування боргу.
 - Ліквідність забезпечення за кредитом. Оцінка якості, вартості та можливості швидкої реалізації майна, що передається у заставу.
 - Повнота та достовірність наданої інформації. Банк оцінює, наскільки повною та правдивою є інформація, надана клієнтом для аналізу.
- 2) Зовнішні чинники. Це фактори макро- та мікросередовища, які можуть впливати на діяльність позичальника та його здатність повернути кредит, а також на вартість застави:
- Нормативно-законодавче регулювання. Зміни у законодавстві, що стосуються діяльності як банківських установ, так і позичальників, оподаткування.
 - Стан розвитку економіки та кон'юнктура ринку. Загальноекономічна ситуація, галузеві тенденції, рівень інфляції, процентні ставки, попит та пропозиція на ринку, на якому працює позичальник.
 - Економічно-політичне становище у країні. Політична стабільність, геополітичні ризики, форс-мажорні обставини (природні катаклізми, воєнні дії).
 - Рівень конкуренції. Конкурентне середовище на ринку позичальника та на ринку банківських послуг.

- Санітарно-епідеміологічна ситуація. Вплив пандемій та інших надзвичайних ситуацій (актуально в контексті COVID-19).
- 3) Внутрішньобанківські чинники. Ці чинники пов'язані з внутрішньою організацією банку та якістю його процесів кредитування та управління ризиками:
- Кредитна політика банку. Наскільки продуманою та ефективною є внутрішня кредитна політика, визначені критерії та процедури.
 - Ефективність методів оцінки та контролю кредитних ризиків. Використання адекватних методик аналізу кредитоспроможності та системи моніторингу портфеля. Включає використання алгоритмів оцінювання, експертних методів, моделей класифікації позичальників за класами ризику.
 - Рівень концентрації та диверсифікації кредитного портфеля. Оцінка структури портфеля з точки зору ризиків, пов'язаних із надмірною концентрацією на окремих клієнтах, галузях чи продуктах.
 - Кваліфікація персоналу банку. Досвід та компетенція фахівців, які здійснюють оцінку та супровід кредитних операцій.

Аналіз зазначених чинників дозволяє банку сформулювати уявлення про рівень кредитного ризику, пов'язаного з потенційним позичальником, та прийняти обґрунтоване рішення щодо надання кредиту, його умов або відмови. Ефективність виявлення та оцінки цих чинників є запорукою мінімізації проблемної заборгованості та забезпечення стабільності кредитного портфеля банку.

1.7. Багатокритеріальна оптимізація як інструмент для побудови кредитного портфеля

Управління кредитним портфелем банку є прикладом рішення, що вимагає ретельного аналізу наявних альтернатив та вибору оптимального варіанту.

Складність полягає у необхідності одночасного врахування численних критеріїв, які часто мають різну важливість і можуть суперечити один одному. Зокрема, досягнення високого рівня доходу нерідко пов'язане з прийняттям значних ризиків. Тому завдання банку при формуванні кредитного портфеля полягає не лише у прагненні максимізувати потенційний прибуток, але й у мінімізації можливих втрат та управлінні ризиками.

Саме тут знаходить своє застосування багатокритеріальна оптимізація як важливий інструмент сучасного прийняття рішень. Її основною метою є розв'язання задач, де необхідно одночасно враховувати декілька критеріїв оцінки, що можуть перебувати у стані конфлікту. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації до процесу формування кредитного портфеля дозволяє системно підходити до вибору кредитних заявок та структурування портфеля, знаходячи компромісне рішення, яке балансує між такими цілями, як максимізація дохідності та мінімізація кредитного ризику.

Розглянемо поняття та методи для знаходження можливих ефективних альтернатив, що будуть використані у подальших розрахунках цієї роботи.

Поняття ефективної альтернативи. Альтернатива x_0 називається ефективною, якщо на множині допустимих альтернатив X не існує жодної альтернативи x , яка задовольняє такі нерівності [9]:

$$f_i(x) \geq f_i(x_0), i \in I_1, \quad (1.1)$$

$$f_i(x) \leq f_i(x_0), i \in I_2 \quad (1.2)$$

Іншими словами, ніяка інша альтернатива не може «поліпшити» значення жодної цільової функції, не погіршивши при цьому значення деякої іншої. Ось чому іноді ефективні альтернативи називають непокрещуваними за множиною цілей, або оптимальними за Парето [16].

Методи нормалізації критеріїв. В реальних задачах масштаби виміру критеріїв часто неоднакові, а більшість використовуваних моделей чутливі до цього факту (інваріантною є модель відносної поступки) і мають сенс лише в

нормалізованому критерійному просторі, а тому виникає необхідність виконувати нормалізацію критеріїв, тобто штучно зводити їх до єдиної міри. Найбільш поширеними є наведені нижче перетворення нормалізації [9].

$$w_i^1(f_i(x)) = \begin{cases} \frac{f_i^{max} - f_i(x)}{f_i^{max} - f_i^{min}}, \forall i \in I_1 \\ \frac{f_i(x) - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}}, \forall i \in I_2 \end{cases} \quad (1.3)$$

$$w_i^2(f_i(x)) = \begin{cases} \frac{f_i^{max} - f_i(x)}{f_i^{max}}, \forall i \in I_1 \\ \frac{f_i(x) - f_i^{min}}{f_i^{max}}, \forall i \in I_2 \end{cases} \quad (1.4)$$

тут f_i^{max} – максимальне, а f_i^{min} – мінімальне значення критерію $f_i(x)$ на множині допустимих альтернатив.

Метод зведення до узагальненого критерію (згортки) [9]. Розглянемо методи розв'язування, що полягають у зведенні початкової багатокритерійної задачі до скалярної шляхом формування деякого узагальненого критерію. В основі кожного з цих методів лежить така схема:

1. Усі критерії нормують, тобто зводять до порівнянного безрозмірного вигляду.
2. Їх «згортають» в одну цільову функцію, формуючи так званий узагальнений критерій, у якому враховано відносну важливість кожного з критеріїв за допомогою таких вагових коефіцієнтів: $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n), \alpha_i \geq 0, i \in I, \sum_{i \in I} \alpha_i = 1$.

Унаслідок цього вихідна багатокритеріальна задача зводиться до звичайної задачі оптимізації з одним критерієм. Одним із найбільш поширених видів згортки є такий:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \alpha_i k_i, \quad (1.5)$$

Що являє собою лінійну згортку локальних критеріїв. Він зручний у використанні, бо дозволяє зберігати лінійність вихідних функцій. Іншими словами, якщо вихідні критерії лінійні, то вислідний критерій також буде лінійним.

Метод головного критерію[9]. Головна ідея методу полягає в тому, що вихідна багатокритерійна задача оптимізації замінюється однокритерійною із додатковими обмеженнями, які дозволяють у певному сенсі врахувати вимоги, описувані іншими критеріями.

Схема методу:

1. Вибирають один головний критерій $f_1(x)$, за яким буде проводитися оптимізація.
2. Для менш важливих критеріїв $f_2(x), \dots, f_M(x)$ обчислюють допустимі значення $\bar{f}_2, \dots, \bar{f}_M$.
3. Критерії $f_2(x), \dots, f_M(x)$ замінюють на обмеження такого вигляду: $f_i(x) \leq \bar{f}_i$, коли $i \in I$.
4. Замість вихідної, розглядають таку скалярну задачу:

$$\begin{aligned} f_1(x) &\rightarrow \min \\ f_i(x) &\leq \bar{f}_i, i \in I, \\ x &\in X. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Перевагою описаного методу є те, що для його реалізації не потрібна кількісна оцінка пріоритетів критеріїв. А недоліком – складність встановлення допустимих рівнів значень критеріїв. У більшості випадків вони вибираються суб'єктивно. У зв'язку з цим, якщо критерії рівнозначні, за головний може бути обраний будь-який з них, але краще надати перевагу тому, для якого задати допустимі значення найскладніше. Зауважимо також, що розв'язок, отриманий за

допомогою цього методу, завжди буде слабо ефективним, а тоді, коли він єдиний, то й сильно ефективним.

Метод послідовних поступок[9]. Сутність методу послідовних поступок полягає в тому, що вихідна багатокритерійна задача замінюється послідовністю однокритерійних, причому область допустимих розв'язків звужується від задачі до задачі за допомогою додаткових обмежень, де враховано вимоги критеріїв. При формулюванні кожної задачі стосовно важливішого критерію робиться поступка, величина якої залежить від вимог задачі й оптимального розв'язку за цим критерієм.

Схема методу:

1. Розв'язують скалярну задачу оптимізації за найважливішим критерієм на всій множині допустимих альтернатив X , тобто $f_1(x) \rightarrow \min, x \in X$.

результаті цього отримуємо оптимальне значення критерію $f_1(x): f_1^{min}$.

2. Розв'язують задачу оптимізації, керуючись наступним за важливістю критерієм та враховуючи додаткове обмеження: $f_1(x) \leq f_1^{min} + \Delta_1$, де Δ_1 – допустима поступка за першим критерієм. Цю задачу можна записати таким чином:

$$\begin{aligned} f_2(x) &\rightarrow \min, \\ f_1(x) &\leq f_1^{min} + \Delta_1, \\ x &\in X \end{aligned} \quad (1.7)$$

Унаслідок її розв'язування отримуємо оптимальне значення критерію $f_2(x): f_2^{min}$. Нехай після здійснення k кроків було отримано оптимальні значення критеріїв: $f_1^{min}, f_2^{min}, \dots, f_k^{min}$, тоді на $(k + 1)$ –му кроці розв'язують таку задачу:

$$\begin{aligned} f_{k+1}(x) &\rightarrow \min \\ f_1(x) &\leq f_1^{min} + \Delta_1 \\ f_2(x) &\leq f_2^{min} + \Delta_2 \\ &\dots \end{aligned} \quad (1.8)$$

$$f_k(x) \leq f_k^{min} + \Delta_k$$

$$x \in X$$

й обчислюють оптимальне значення критерію f_{k+1}^{min} .

Після розгляду всіх критеріїв задачу буде розв'язано. Оптимальним розв'язком багатокритерійної задачі буде розв'язок останньої скалярної задачі. Цей метод дає можливість враховувати пріоритети критеріїв й уникнути підвищення їхніх значень більше деякого допустимого рівня (у разі, коли критерії мінімізуються) або уникнути їх зниження менше певного встановленого рівня (коли критерії максимізуються). Складність застосування методу зумовлена суб'єктивністю у визначенні допустимих рівнів. Зазвичай допустима поступка встановлюється експертами з огляду на оптимальне значення критерію та умови задачі.

1.8. Використання методів штучного інтелекту для оцінки кредитоспроможності позичальника

Протягом тривалого часу оцінка кредитоспроможності клієнтів у банках повністю залежала від аналітичних можливостей та досвіду людини. Такий підхід має певні обмеження, оскільки людський фактор схильний до суб'єктивних помилок, можливості швидкої обробки великих масивів даних обмежені, і не завжди вдається виявити всі приховані закономірності, що впливають на кредитний ризик.

З приходом ери штучного інтелекту (ШІ) для банківської сфери відкрилися нові, значно ширші можливості у підвищенні точності та об'єктивності процесу оцінки кредитоспроможності позичальників. Штучний інтелект здатен не просто автоматизувати існуючі етапи аналізу, а й здійснювати обробку та інтерпретацію великих обсягів даних, прогнозувати потенційні ризики з вищою ймовірністю та

сприяти ухваленню більш виважених рішень. Завдяки нечіткій логіці та алгоритмам машинного навчання стає можливим враховувати та аналізувати неочевидні фактори, які можуть впливати на здатність клієнта своєчасно виконати свої кредитні зобов'язання, тим самим підвищуючи якість оцінки ризику.

Основи нечіткої логіки [11]. Нечітка логіка є важливим розділом штучного інтелекту, який відходить від класичної бінарної логіки, щоб працювати з інформацією, що містить невизначеність, неточність або суб'єктивність. В її основі лежить теорія нечітких множин, запропонована Лотфі Заде у 1965 році. На відміну від традиційних множин з чіткими межами належності (елемент або належить, або ні), нечіткі множини дозволяють елементам належати до множини частково, зі ступенем належності в діапазоні від 0 до 1.

Ця математична теорія дозволяє формалізувати та обробляти якісні, нечіткі поняття, які часто використовуються людиною у повсякденних міркуваннях та описах ("холодно", "низький", "молодий"). Нечітка логіка застосовує точні кількісні методи для роботи з цими невизначеними об'єктами, дозволяючи алгоритмізувати процеси в умовах, де точні дані відсутні.

Одним з ключових напрямків застосування нечіткої логіки є прийняття рішень в умовах невизначеності. В реальних ситуаціях інформація часто неповна, суб'єктивна, а сама невизначеність може сприйматися по-різному. У випадках високого ступеня невизначеності, коли імовірнісні методи недостатньо надійні, ефективним інструментом стають нечіткі експертні оцінки.

Нечіткі експертні оцінки використовують лінгвістичні терміни для опису суджень експертів. Ці терміни перетворюються на нечіткі числа або множини. Процес прийняття рішення на основі нечіткої логіки зазвичай включає:

- Фазифікацію: Перетворення вхідних даних (чітких або лінгвістичних) у нечіткі множини.

- Нечітке виведення: Застосування набору нечітких правил ("ЯКЩО умова НЕЧІТКА, ТО результат НЕЧІТКИЙ") для отримання нечіткого результату.
- Дефазифікацію: Перетворення нечіткого результату назад у чітке число або конкретний інтервал значень для практичного використання.

У контексті вибору альтернатив, Заде визначав нечітке "рішення" як перетин (наприклад, добуток функцій належності) нечітких множин цілей та обмежень. Отриману нечітку множину потім дефазифікують, щоб вибрати "найкращу" альтернативу, часто ту, що має найвищий ступінь належності до цієї множини.

Серед алгоритмів логічного виведення використовують такі:

- Алгоритм Mamdani. Найчастіше вживаний, включає у себе такі кроки як уведення нечіткості за допомогою правил, які використовують лінгвістичні змінні; отримання логічного висновку шляхом «відсікання» передумов кожного з правил; створення композиції, тобто об'єднання знайдених відсічених функцій; зведення до чіткості з метою одержання значення лінгвістичної змінної.
- Алгоритм Sugeno. Відрізняється від попереднього лише тим, що замість функції належності вихідної змінної розглядається функціональна залежність вихідної змінної від комбінації вхідних.

1.9. Постановка задачі

Основна мета кваліфікаційної роботи полягає у розробці та дослідженні підходів до оптимізації формування кредитного портфеля банку шляхом інтеграції системи оцінки кредитоспроможності позичальників на основі методів штучного інтелекту та методів багатокритеріальної оптимізації для відбору кредитних запитів.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачається вирішення наступних взаємопов'язаних задач:

- 1) Розробка системи оцінки кредитоспроможності потенційних позичальників: Ця задача спрямована на визначення рівня ризику для кожного заявника на кредит (як фізичної, так і юридичної особи). Для її вирішення буде використано методи штучного інтелекту, зокрема нечітку логіку (fuzzy logic), яка є підходом ШІ, що дозволяє працювати з нечіткими та неточними даними, імітуючи людські міркування на основі лінгвістичних правил. В рамках цієї задачі передбачається попередня обробка даних, підбір та налаштування оптимальної моделі нечіткої логіки для оцінки ризику, а також проведення експериментів та оцінка ефективності розробленої системи. Результатом цього етапу буде чисельна або якісна оцінка кредитоспроможності для кожного потенційного позичальника.
- 2) Формування оптимального кредитного портфеля із наявних кредитних запитів: На основі оцінок кредитоспроможності позичальників, отриманих на попередньому етапі, а також з урахуванням інших важливих для банку критеріїв буде здійснено відбір кредитних заявок для включення їх до складу кредитного портфеля. Ця задача буде вирішуватися за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації, таких як метод головного критерію, метод послідовної поступки та метод згортки. Мета полягає у знаходженні такої комбінації кредитних угод, яка б забезпечила оптимальне значення сукупності критеріїв з урахуванням встановлених банком обмежень.

Таким чином, в рамках дипломної роботи передбачається побудова системи, де результати оцінки ризиків стають вхідними даними для задачі багатокритеріальної оптимізації формування портфеля. Розробка даної системи та дослідження запропонованих методів мають на меті створення ефективного інструменту для підтримки прийняття рішень у процесі формування кредитного портфеля.

Висновки до розділу

У цьому розділі був проведений аналіз діяльності АТ КБ «ПриватБанк», який дозволяє зробити висновок, що банк має чітко визначену організаційну структуру управління кредитними операціями та процесами оцінки ризиків. Була проаналізована наукова література, більша кількість авторів підкреслює важливість розробки ефективних методів та моделей управління кредитним портфелем та оцінки кредитоспроможності. Також були розглянуті методи нечіткої логіки та багатокритеріальної оптимізації, що стануть у нагоді у наступному розділі цієї роботи.

РОЗДІЛ 2

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Постановка задачі оцінки кредитоспроможності і формалізація вхідних та вихідних параметрів

Банку необхідно оцінити кредитоспроможність позичальників, враховуючи визначені критерії. Тобто, задача полягає у тому, щоб створити систему нечіткої логіки для визначення кредитоспроможності фізичної та юридичної осіб на основі визначеної множини критеріїв. У результаті має бути визначено рівень кредитної довіри банку. Чим більший рівень кредитної довіри, тим більше шансів у позичальника на позитивне рішення. Має бути передбачено 3 можливі рішення: відмова у кредиті, часткова видача кредиту, повна видача кредиту. Для цього будуть виконані наступні кроки:

1. Визначення наборів критеріїв, що впливають на кредитоспроможність фізичних та юридичних осіб.
2. Розробка бази правил, що відображають взаємозв'язок між вхідними критеріями та рівнем кредитоспроможності для обох типів позичальників.
3. Реалізація системи за допомогою відповідного програмного забезпечення.
4. Тестування розробленої системи на сценаріях, що імітують характеристики фізичних та юридичних осіб.

Для реалізації цієї задачі можуть бути використані наступні методи: машинне навчання (логістична регресія, дерева рішень), нейронні мережі, системи нечіткої логіки.

Ми обираємо методи нечіткої логіки, тому що серед критеріїв, що використовуються для оцінки кредитоспроможності, є якісні критерії, що не можуть бути виражені у числовому значенні, а нечітка логіка дозволяє формалізувати та обробляти ці критерії за допомогою лінгвістичних змінних та функцій належності.

Ці системи штучного інтелекту будуть реалізовані у середовищі MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. Кожна із систем буде протестована за створеними сценаріями, що будуть імітувати позичальників різного рівня кредитоспроможності. Також буде створений додаток MATLAB із зручним користувальницьким інтерфейсом для подальшого використання даної системи для визначення кредитоспроможності позичальників із метою складання кредитного портфеля банку.

2.2. Фазифікація вхідних і вихідних параметрів системи кредитоспроможності

Кількісні фактори, що мають нормалізуватися, будуть перераховані за допомогою формули (1.3):

$$I_{norm} = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}, \quad (2.1)$$

де I_{min} – мінімум за цим фактором серед усіх претендентів до майбутнього кредитного портфеля, I_{max} – відповідний максимум за цим фактором.

Оцінка кредитоспроможності фізичних осіб [17] базується на сукупності кількісних та якісних факторів, які дозволяють банку оцінити ризики неповернення кредиту. Формалізація факторів означає перетворення їх у чіткі числові або категорійні значення, які можна використовувати в алгоритмах машинного навчання. Для ефективної роботи системи штучного інтелекту ці фактори мають бути чітко визначені та формалізовані. У таблиці 2.1 наведено список факторів, що розглядатимуться, та їхня формалізація.

Кількісні фактори мають числовий вираз, тому їх можна використовувати безпосередньо в розрахунках. Якісні фактори переводяться у числовий вигляд через категоризацію або бінарне кодування.

Таблиця 2.1

Кількісні та якісні фактори оцінки кредитоспроможності фізичної особи

Кількісні фактори			
Фактор	Позначення	Одиниці виміру	Як розраховується
Рівень доходу	РД	Грн/місяць	Нормалізується щодо всіх кредитних запитів
Співвідношення боргу до доходу	БД		сума боргу/сума доходу
Кредитна історія	КІ	Бал (0-100)	Наявність прострочень, частота виплат
Рівень заощаджень	РЗ	–	Сума заощаджень/сума доходу
Сума запитуваного кредиту	СК	–	Сума кредиту/сума доходу
Тривалість зайнятості	ТЗ	Років	Чим довший стаж роботи, тим менший ризик
Витрати на утримання	ВУ	%	(витрати на утримання/сума доходу)*100%
Вік позичальника	ВП	років	Має нелінійний вплив
Якісні фактори			
Фактор		Позначення	
Тип працевлаштування		ТП	
Сімейний стан		СС	
Кількість утриманців		КУ	
Освіта		О	
Соціальна активність		СА	
Регіон проживання		РП	
Наявність майна		НМ	

Оцінка кредитоспроможності юридичних осіб [18] є складнішим процесом порівняно з аналізом фізичних осіб. Кількісні фактори, такі як фінансова звітність, рівень ліквідності, прибутковість та платоспроможність, дозволяють оцінити

фінансову стійкість компанії. Однак вони не дають повної картини щодо її надійності та перспектив розвитку. У таблиці 2.2 наведено список факторів, що розглядатимуться для юридичної особи, та їхня формалізація.

Таблиця 2.2

Кількісні фактори оцінки кредитоспроможності юридичних осіб [9]

Назва показника	Розрахунок показника	Нормативне значення	Позначення
Оцінка ліквідності та платоспроможності			
Коефіцієнт миттєвої ліквідності	$\frac{\text{Грошові кошти та їх еквіваленти}}{\text{Поточні зобов'язання}}$	>0.2	КМЛ
Коефіцієнт поточної ліквідності	$\frac{\text{Оборотні активи} - \text{Запаси}}{\text{Поточні зобов'язання}}$	>0.5	КПЛ
Коефіцієнт загальної ліквідності	$\frac{\text{Оборотні активи}}{\text{Поточні зобов'язання}}$	>2.0	КЗЛ
Оцінка фінансового стану			
Коефіцієнт маневреності власних коштів	$\frac{\text{Власний капітал} - \text{Необоротні активи}}{\text{Власний капітал}}$	0.5	КМК
Коефіцієнт незалежності	$\frac{\text{Залучені кошти}}{\text{Власний капітал}}$	Зменшення	КН
Оцінка показників рентабельності			
Рентабельність активів	$\frac{\text{Чистий прибуток}}{\text{Активи}}$	Збільшення	РА
Рентабельність продажу	$\frac{\text{Чистий прибуток}}{\text{Обсяг реалізації продукції}}$	Збільшення	РП
Оцінка грошових потоків			
Співвідношення чистих надходжень на рахунки до суми боргу за кредитною операцією та відсотками за нею	$K = \frac{(H_{\text{см}} * n) - (З_{\text{м}} * n) - З_i}{C_k},$ <p>Де $H_{\text{см}}$ – середньомісячні надходження</p>	>1.5	НБ

Важливу роль відіграють якісні фактори. Вони характеризують репутацію підприємства, його ринкове становище, корпоративну структуру, якість управління та інші характеристики, що можуть впливати на здатність компанії виконувати свої

зобов'язання перед кредитором. Список цих факторів та формалізація наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Якісні фактори оцінки кредитоспроможності юридичних осіб

Назва показника	Позначення	Опис
Репутація компанії	РК	Враховує ділову репутацію підприємства, наявність судових справ
Сектор економіки	СЕ	Галузь, у якій працює підприємство, що впливає на ризики
Юридична форма власності	ЮФ	Визначає тип підприємства
Досвід на ринку	ДР	Час існування компанії з моменту реєстрації
Кредитна історія	КІ	Інформація про минулі кредити та прострочення
Диверсифікація доходів	ДД	Наявність кількох джерел доходу
Наявність державних контрактів	ДК	Державні контракти свідчать про стабільність доходу
Якість менеджменту	ЯМ	Рівень компетентності керівників, стабільність управлінського складу
Корпоративна структура	КС	Прозорість власності, наявність афілійованих компаній
Наявність застави	НЗ	Чи має компанія активи, які можна використати як забезпечення кредиту

Що буде на вході? Загалом, у системі буде використано 15 вхідних параметрів для визначення кредитоспроможності фізичної особи та 17 вхідних параметрів – для юридичної особи. Було вирішено розділити ці дві складові на підсистеми. У

таблиці 2.4 відображено, як фазифікуються фактори для визначення кредитоспроможності фізичної особи, у таблиці 2.5 – для юридичної.

Таблиця 2.4

Фазифікація змінних для оцінки кредитоспроможності фізичної особи

Назва фактору	Числове значення	Умовне позначення	Рівень ризику
Рівень доходу	0-0.1	РДв	Високий
	0.1-0.5	РДс	Середній
	0.5-1	РДн	Низький
Співвідношення боргу до доходу	>5	БДв	Високий
	2-5	БДс	Середній
	0-2	БДн	Низький
Кредитна історія	0-30	КІв	Високий
	30-60	КІс	Середній
	60-100	КІн	Низький
Рівень заощаджень	0-1	РЗв	Високий
	1-3	РЗс	Середній
	>3	РЗн	Низький
Сума запитуваного кредиту	>5	СКв	Високий
	2-5	Скс	Середній
	0-2	Скн	Низький
Тривалість зайнятості (роки)	<1	ТЗв	Високий
	1-3	ТЗс	Середній
	>3	ТЗн	Низький
Витрати на утримання (%)	>99	ВУв	Високий
	60-99	ВУс	Середній
	<60	ВУн	Низький

Продовження табл. 2.4

Вік позичальника (роки)	>55	ВПв	Високий
	<28	ВПс	Середній
	28-55	ВПн	Низький
Тип працевлаштування	Безробітний (1)	ТПв	Високий
	Самозайнятий (2)	ТПс	Середній
	Працевлаштований (3)	ТПн	Низький
Сімейний стан	Розлучений (1)	ССв	Високий
	Неодружений (2)	ССс	Середній
	У шлюбі (3)	ССн	Низький
Кількість утриманців	>3	КУв	Високий
	1-3	КУс	Середній
	0	КУн	Низький
Освіта	Без освіти (1)	Ов	Високий
	Середня загальна (2)	Ос	Середній
	Вища (3)	Он	Низький
Регіон проживання (рівень розвитку)	Низький (1)	РПв	Високий
	Середній (2)	РПс	середній
	Високий (3)	РПн	низький
Наявність майна	Відсутнє (1)	НМв	Високий
	Житло (2)	НМс	середній
	Житло+автомобіль (3)	НМн	низький
Соціальна активність	Відсутня (0)	САв	Високий
	Активний (1)	САН	низький

Таблиця 2.5

Фазифікація змінних для оцінки кредитоспроможності юридичної особи

Назва фактору	Числове значення	Умовне позначення	Рівень ризику
Коефіцієнт миттєвої ліквідності	<0.2	КМЛв	Високий
	>0.2	КМЛн	Низький
Коефіцієнт поточної ліквідності	<0.5	КПЛв	Високий
	>0.5	КПЛн	Низький
Коефіцієнт загальної ліквідності	<2.0	КЗЛв	Високий
	>2.0	КЗЛн	Низький
Коефіцієнт маневреності власних коштів	<0.5 або >0.5	КМКв	Високий
	0.5	КМКн	Низький
Коефіцієнт незалежності (%)	0-50	КНв	Високий
	>50	КНн	Низький
Рентабельність активів (%)	0-50	РАв	Високий
	>50	РАн	Низький
Рентабельність продажу	0-50	РПв	Високий
	>50	РПн	Низький
Співвідношення чистих надходжень на рахунки до суми боргу за кредитною операцією та відсотками за нею	<1.5	НБв	Високий
	>1.5	НБн	Низький
Репутація компанії	негативна	РКв	Високий
	нейтральна	РКс	Середній
	позитивна	РКн	Низький
Сектор економіки	Не постійна робота	СЕв	Високий
	Відносна стабільність	СЕс	Середній
	Надійний сектор	СЕН	Низький
Юридична форма власності	ФОП	ЮФв	Високий
	ТОВ	ЮФс	Середній
	ПАТ	ЮФн	Низький
Досвід на ринку (роки)	<1	ДРв	Високий
	1-3	ДРс	Середній
	>3	ДРн	Низький

Продовження табл. 2.5

Назва фактору	Числове значення	Умовне позначення	Рівень ризику
Кредитна історія (бали)	0-50	КІв	Високий
	50-100	КІн	Низький
Диверсифікація доходів	Одне джерело доходу (1)	ДДв	Високий
	>1	ДДн	Низький
Наявність державних контрактів	Відсутні (0)	ДКв	Високий
	Наявні (1)	ДКн	Низький
Якість менеджменту	Низька (1)	ЯМв	Високий
	Середня (2)	ЯМс	Середній
	Висока (3)	ЯМн	Низький
Наявність застави	Відсутня (1)	НЗв	Високий
	Часткова (2)	НЗс	Середній
	Повна (3)	НЗн	Низький

Що буде на виході? Вихідні дані теж мають бути фазифіковані. Нехай банк може прийняти 3 рішення: відмовити у наданні кредиту, виплатити кредит повністю, виплатити кредит частково. Рішенням системи є рівень кредитної довіри банку, що знаходиться у межах $[0, 1]$. Чим більший рівень кредитної довіри, тим більше шансів у позичальника на позитивну відповідь банку. У таблиці 2.6 наведено фазифікацію вихідних параметрів.

Таблиця 2.6

Фазифікація вихідних параметрів задачі

Назва	Коментар	Позначення
Видача кредиту у повному обсязі (0,7-1)	Банк на 100% виконує кредитний запит	П
Видача кредиту частково (0.3-0.7)	Банк виконує кредитний запит, відсоток розраховується індивідуально	Ч
Відмова у наданні кредиту (0-0.3)	Банк відхиляє цей кредитний запит	В

Методи обробки даних. Система штучного інтелекту матиме набір правил, які використовуватиме для визначення, чи варто видавати кредит кожному клієнту. Ці правила створюються на основі вищенаведених факторів кредитоспроможності і використовують буквені позначення цих факторів, тобто фазифіковані змінні.

Змінні також можуть мати різну вагу при прийнятті рішень. Наприклад, рівень доходу фізичної особи, безумовно, важливіше, ніж те, у якому регіоні вона живе. Тому було вирішено розділити фактори на три рівні. Для фізичної особи ключовими факторами першого рівня є рівень доходу, кредитна історія, тип працевлаштування та сума запрошеного кредиту, другого рівня – співвідношення боргу до доходу, тривалість зайнятості, наявність майна, вік позичальника та рівень заощаджень, третього рівня – всі інші. Для юридичної особи фактори першого рівня - це коефіцієнти миттєвої, поточної та загальної ліквідності коефіцієнт маневреності власних коштів та коефіцієнт незалежності, другого рівня - кредитна історія, наявність застави, рентабельність активів та рентабельність продажів, третього рівня – всі інші. На базі цих рівнів факторів будуються правила для нечіткої системи.

Для визначення кредитоспроможності фізичної особи створено 37 правил, юридичної - 41 правило. Процес створення та остаточні таблиці можна знайти у Додатку Г.

2.3. Обґрунтування вибору програмного середовища та розробка моделі штучного інтелекту для прогнозування ризику кредитоспроможності

Середовищем для розробки даної системи штучного інтелекту є MATLAB. Вбудований у нього Fuzzy Logic Toolbox [19] є влучним вибором для розробки системи штучного інтелекту, спрямованої на оцінку кредитоспроможності клієнтів завдяки кільком ключовим перевагам:

- 1) Він має спеціалізовані інструменти для нечіткої логіки. MATLAB надає потужний інструментарій для роботи з нечіткими системами, що є основою для реалізації нечіткої логіки в задачах, де потрібно врахувати невизначеність та неповноту інформації. Fuzzy Logic Toolbox дозволяє моделювати нечіткі множини, будувати правила та створювати нечіткі системи, що зручно для задач типу оцінки кредитоспроможності, де не всі фактори можна оцінити точно.
- 2) Гнучкість та простота моделювання. MATLAB забезпечує зручний графічний інтерфейс для побудови нечітких систем, що дозволяє створювати, тестувати та налаштовувати моделі без необхідності глибоких знань програмування. Це особливо важливо для швидкого прототипування та оцінки різних варіантів правил нечіткої логіки в системі кредитування.
- 3) Інтеграція з іншими математичними інструментами. MATLAB підтримує широкий спектр математичних функцій і алгоритмів, що дає змогу поєднувати нечітку логіку з іншими методами аналізу даних, такими як регресія, оптимізація та статистичні методи. Це особливо корисно при комбінуванні нечіткої логіки з іншими аспектами оцінки кредитоспроможності, такими як фінансові показники чи кредитні історії.
- 4) Різні способи візуалізації результатів. MATLAB дозволяє створювати візуалізації для аналізу результатів нечіткої логіки, що допомагає краще розуміти поведінку системи та прийняті рішення. Це дозволяє детально аналізувати, як різні фактори впливають на результат оцінки кредитоспроможності.
- 5) Документована підтримка і спільнота. MATLAB має велику спільноту користувачів і велику кількість наукових публікацій, що забезпечує доступ до корисних матеріалів та рішень для подібних задач. Це дозволяє швидше вирішувати проблеми, що виникають під час розробки системи.

Усі ці фактори роблять MATLAB з Fuzzy Logic Toolbox оптимальним вибором для розробки системи оцінки кредитоспроможності, оскільки забезпечують потужні інструменти для моделювання, аналізу та оптимізації нечітких систем у фінансових застосуваннях.

Для реалізації моделі було використано MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, що дозволяє створювати нечіткі системи типу Мамдані та Сугено. Оскільки в даному дослідженні необхідно отримати рівень кредитної довіри, що знаходиться у діапазоні $[0, 1]$, було обрано систему Mamdani FIS (Fuzzy Inference System). На рисунку 2.1 показано, як знайти цей Toolbox у MATLAB. Він знаходиться у розділі APPS.

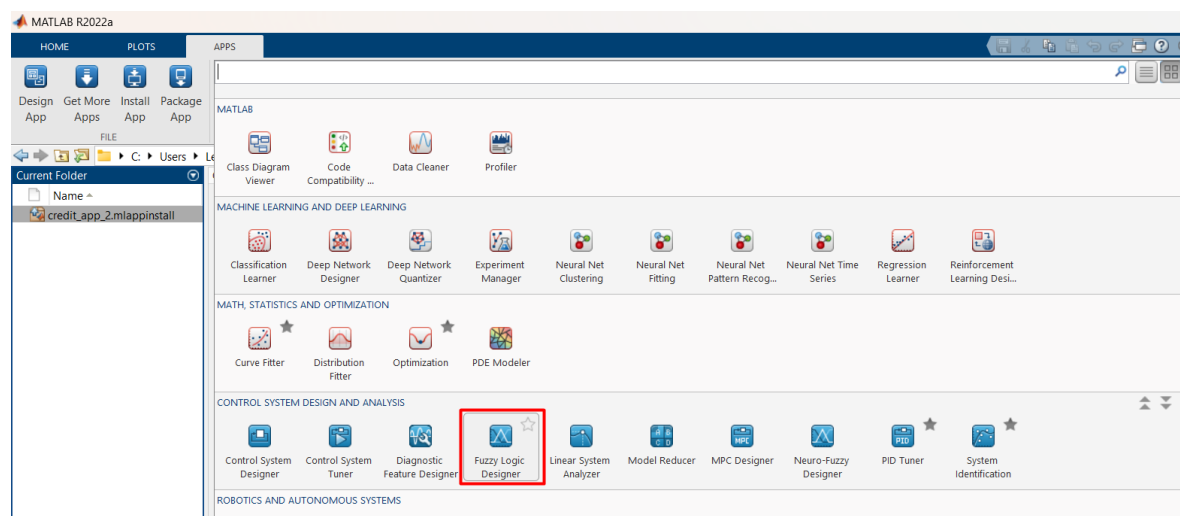


Рисунок 2.1 – Шлях до Fuzzy Logic Toolbox

Щоб створити нову систему, заходимо у File – New FIS – Mamdani (рисунок 2.2)

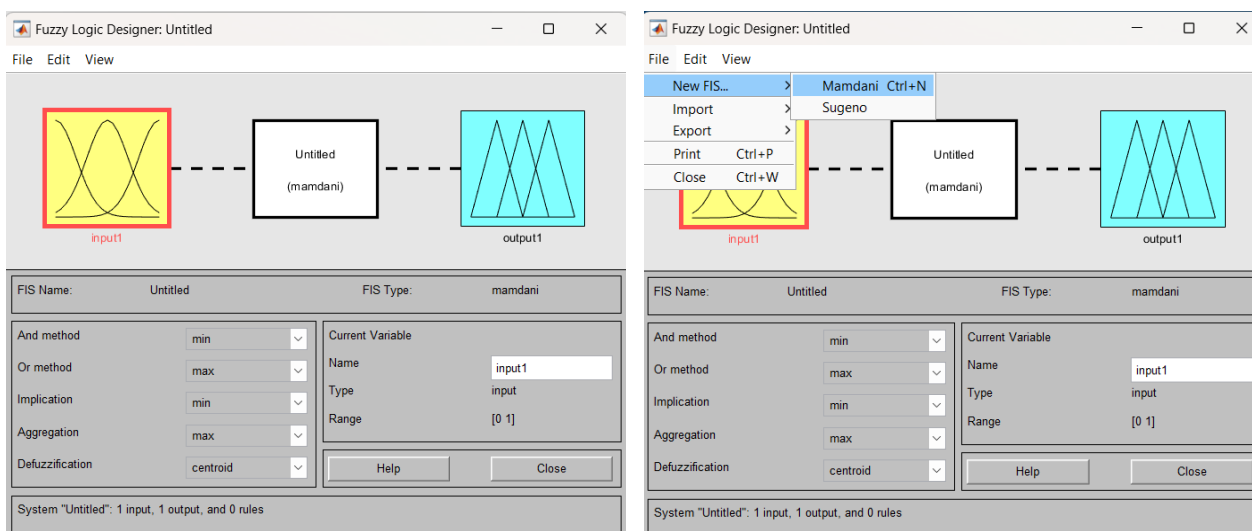


Рисунок 2.2 – Процес створення системи Mamdani

Одразу зберігаємо модель в файл, як показано на рисунку 2.3 (ліворуч). Далі створюємо необхідну кількість входів. Для системи оцінки кредитоспроможності фізичної особи входів буде 15, юридичної - 17. Кожному з них присвоюється назва, надана на кроці фазифікації. Вихід буде мати назву «Рішення» (рис. 2.3 (праворуч)). На рисунку 2.4 показано створену систему для юридичної особи.

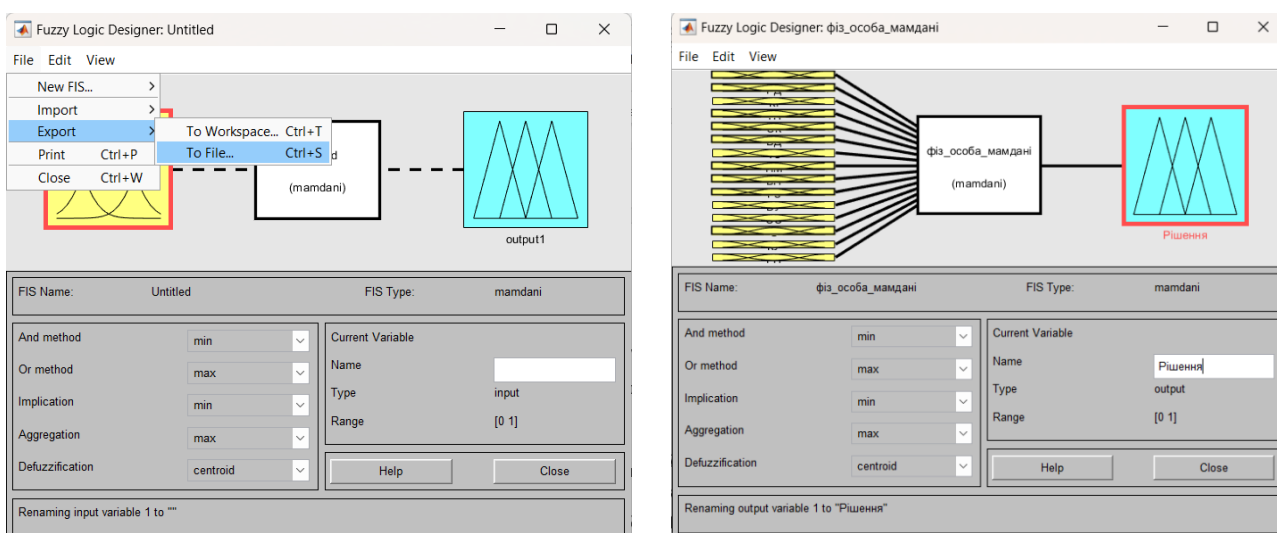


Рисунок 2.3 – Система оцінки кредитоспроможності фізичної особи

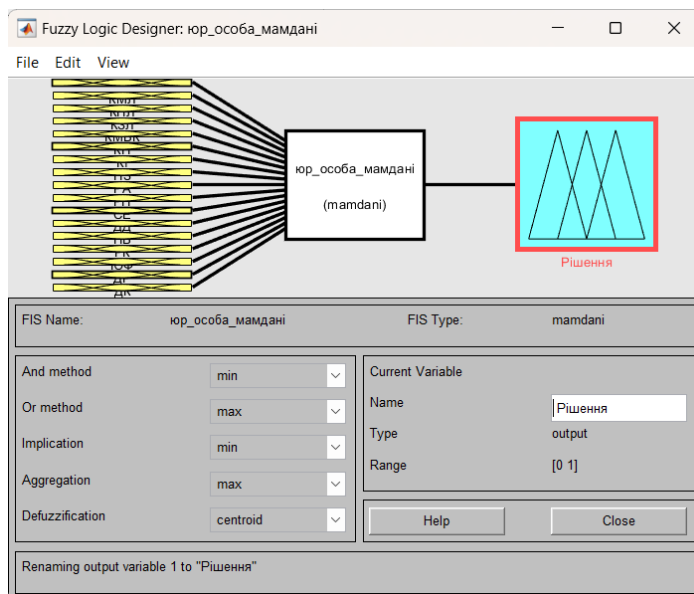


Рисунок 2.4 – Система оцінки кредитоспроможності юридичної особи

Визначення параметрів алгоритму розв'язання задачі (фізична особа). Далі для кожного входу створюємо функції приналежності, спираючись на дані із таблиці 2.5. На наступних рисунках можна побачити готові функції.

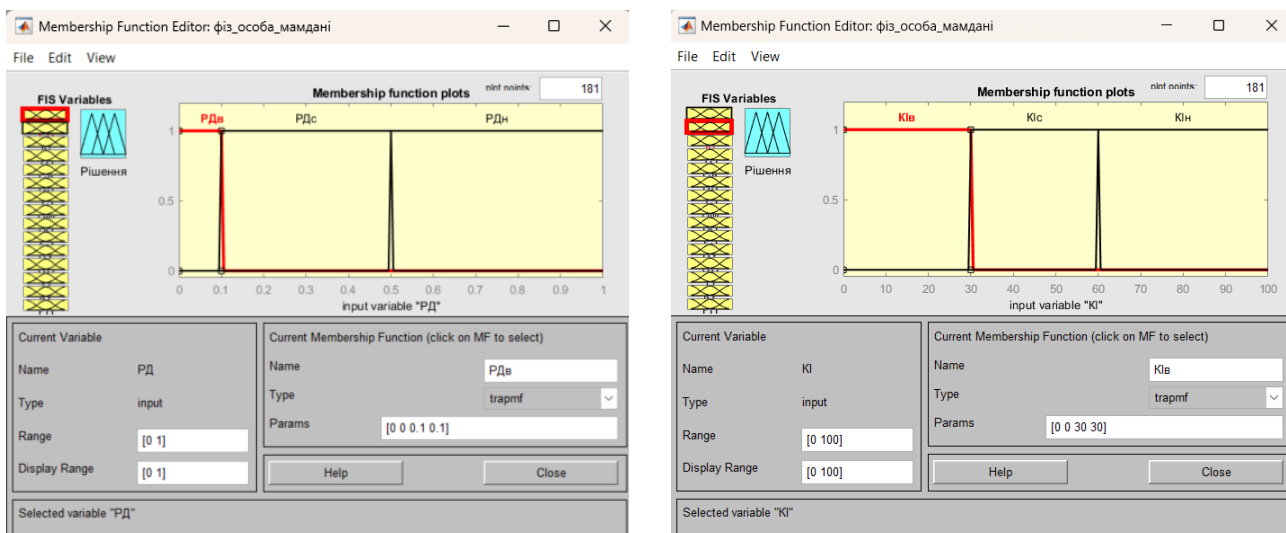


Рисунок 2.5 – Функції приналежності для «Рівень доходу» та «Кредитна історія»

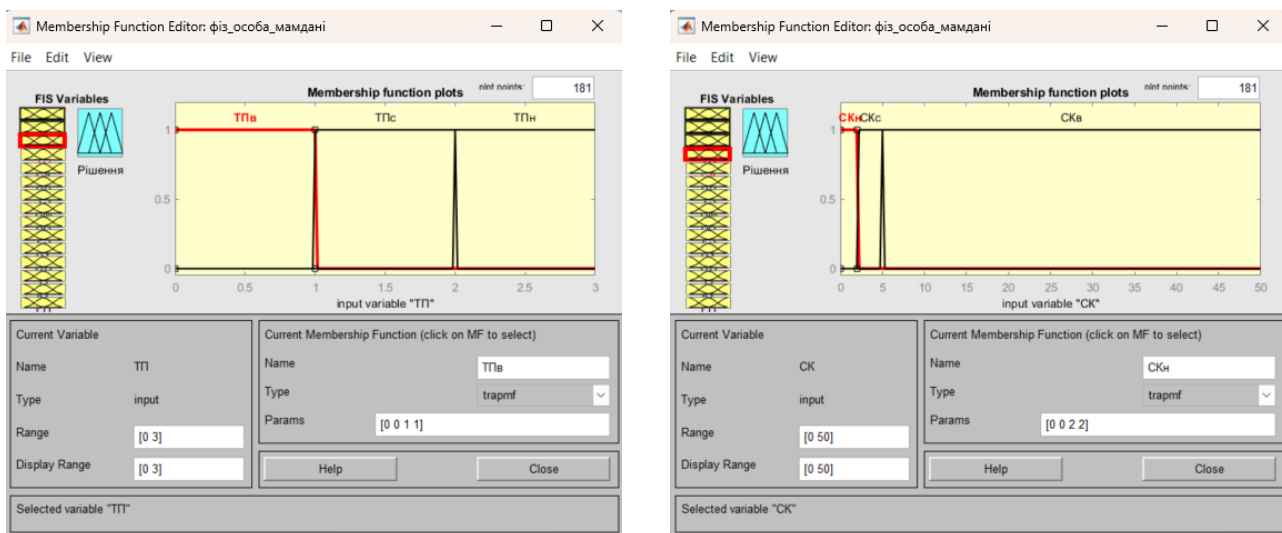


Рисунок 2.6 – Функції приналежності «Тип працевлаштування» та «Сума кредиту»

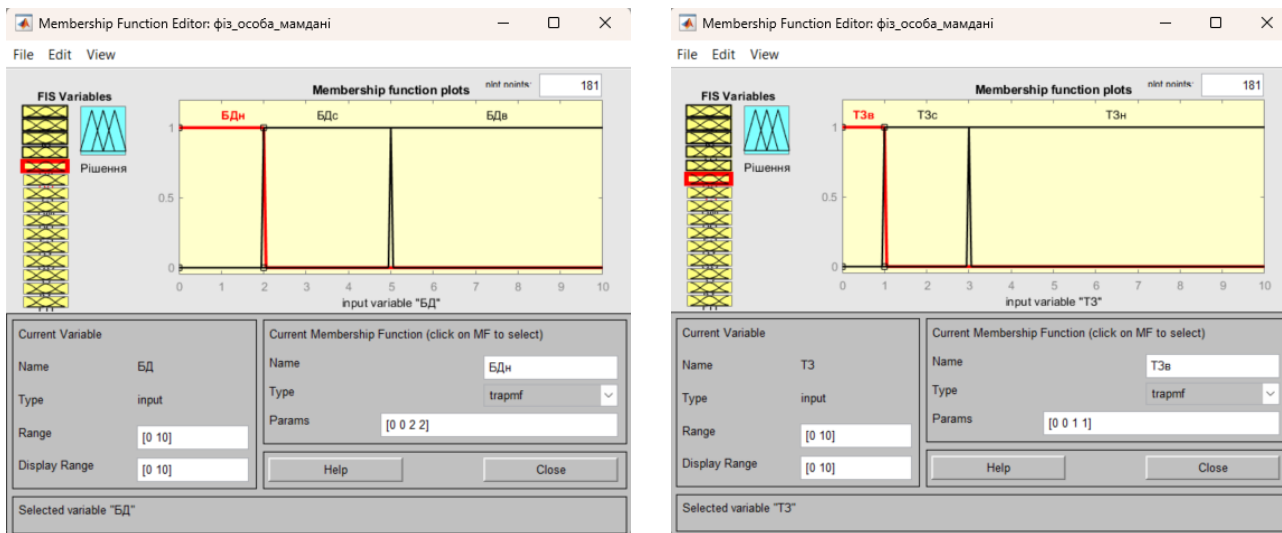


Рисунок 2.7 – Функції приналежності «Співвідношення боргу до доходу» та «Тривалість зайнятості»

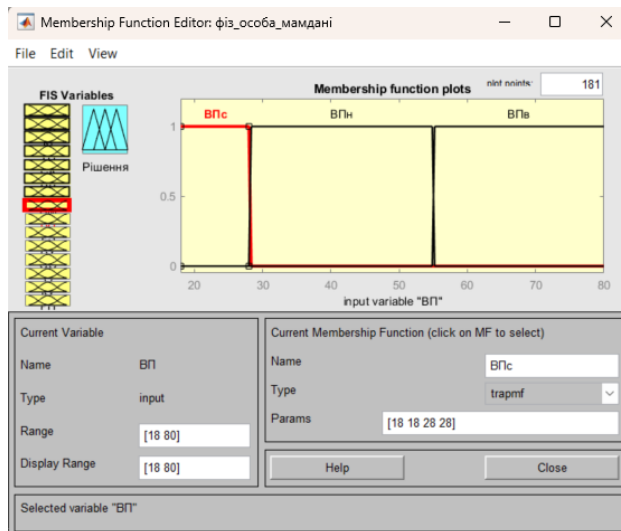
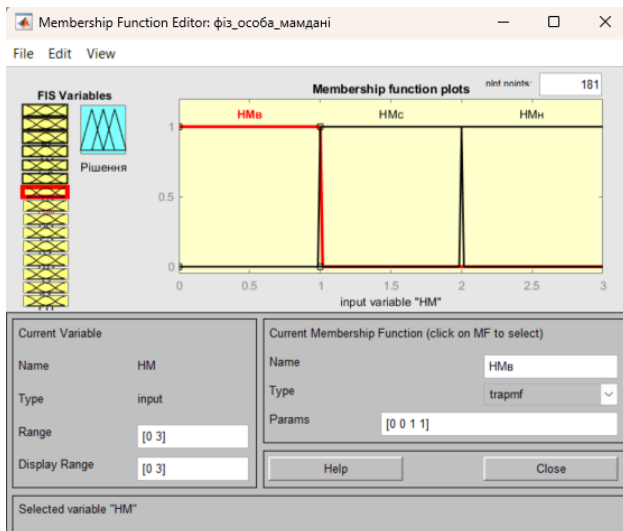


Рисунок 2.8 – Функції приналежності «Наявність майна» та «Вік позичальника»

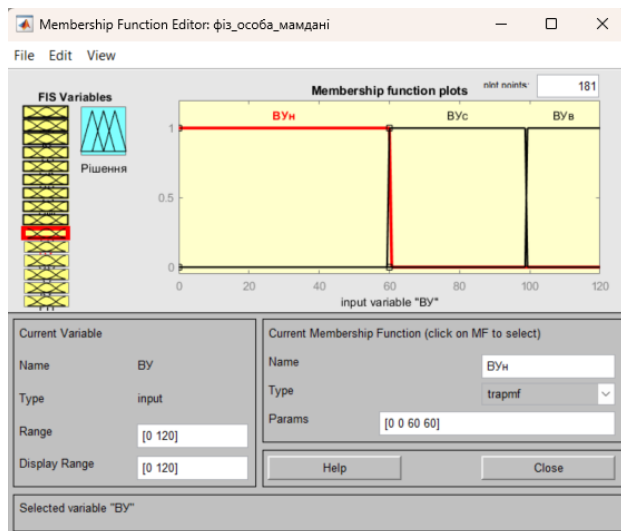
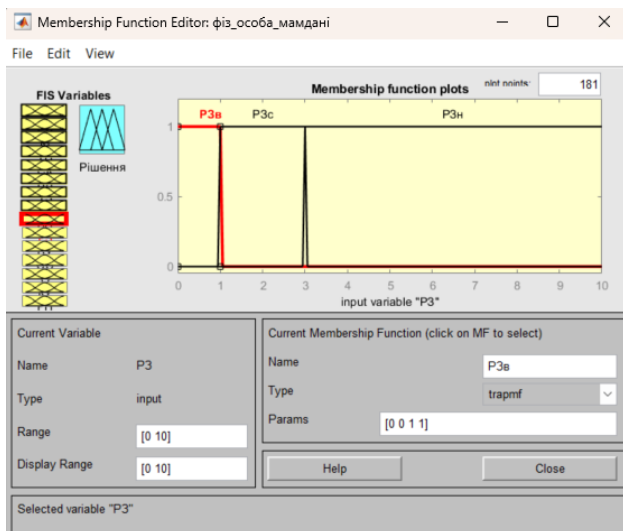


Рисунок 2.9 – Функції приналежності «Рівень заощаджень» та «Витрати на утримання»

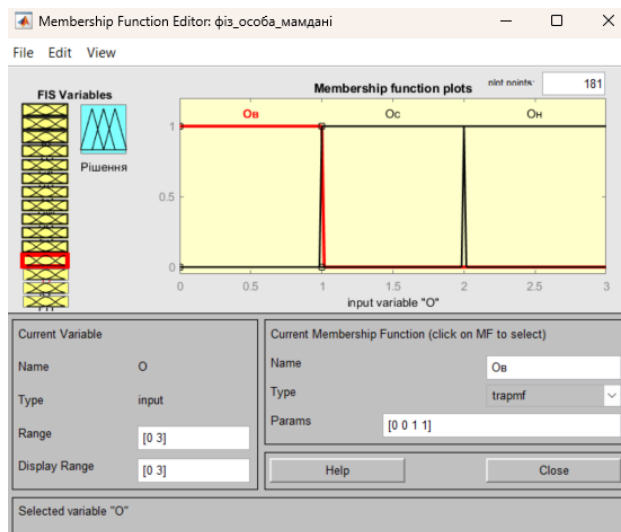
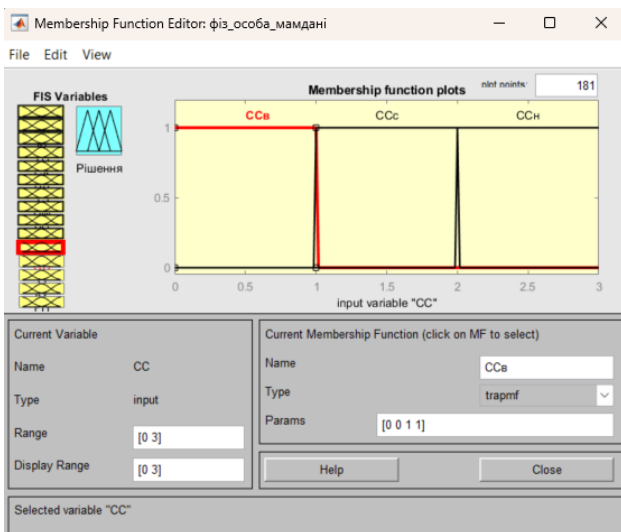


Рисунок 2.10 – Функції приналежності «Сімейний стан» та «Освіта»

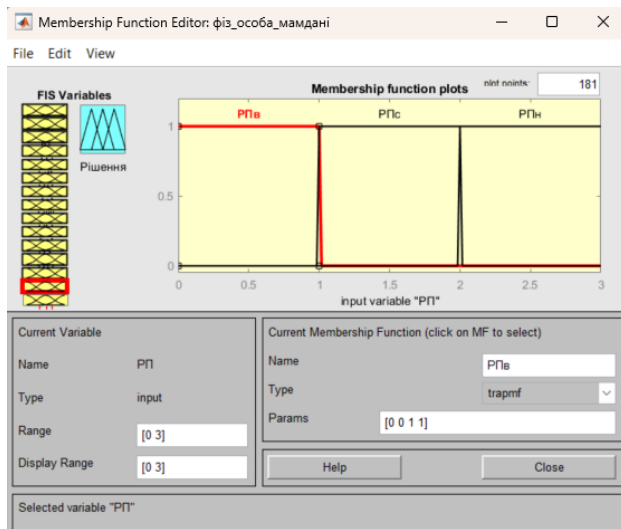
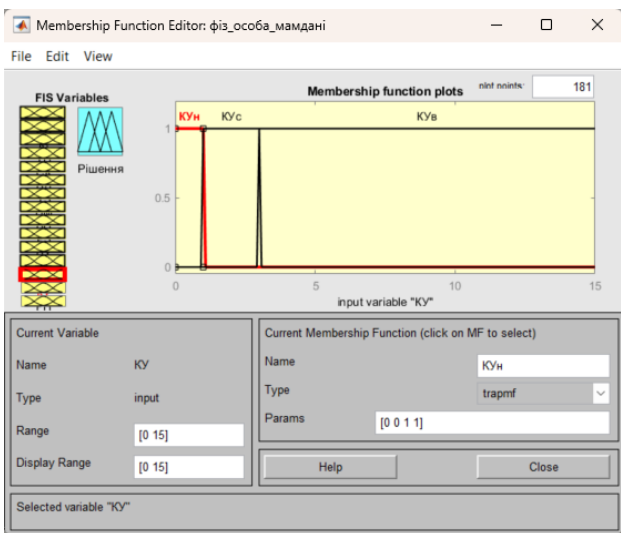


Рисунок 2.11 – Функції приналежності «Кількість утриманців» та «Регіон проживання»

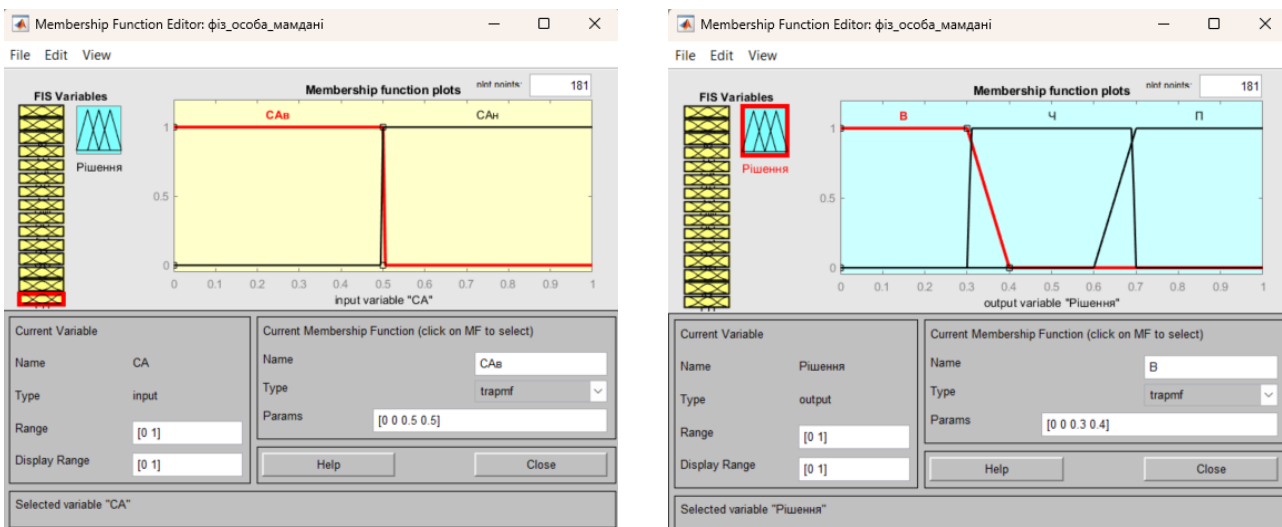


Рисунок 2.12 – Функції приналежності «Соціальна активність» та значення можливих виходів «Рішення»

Як можна побачити на останньому рисунку, для виходу системи також створені можливі варіанти: В – відмова, Ч – часткова видача, П – повна видача.

Юридична особа. Аналогічним чином, створюємо функції приналежності для другої системи, спираючись на дані із таблиці 2.5.

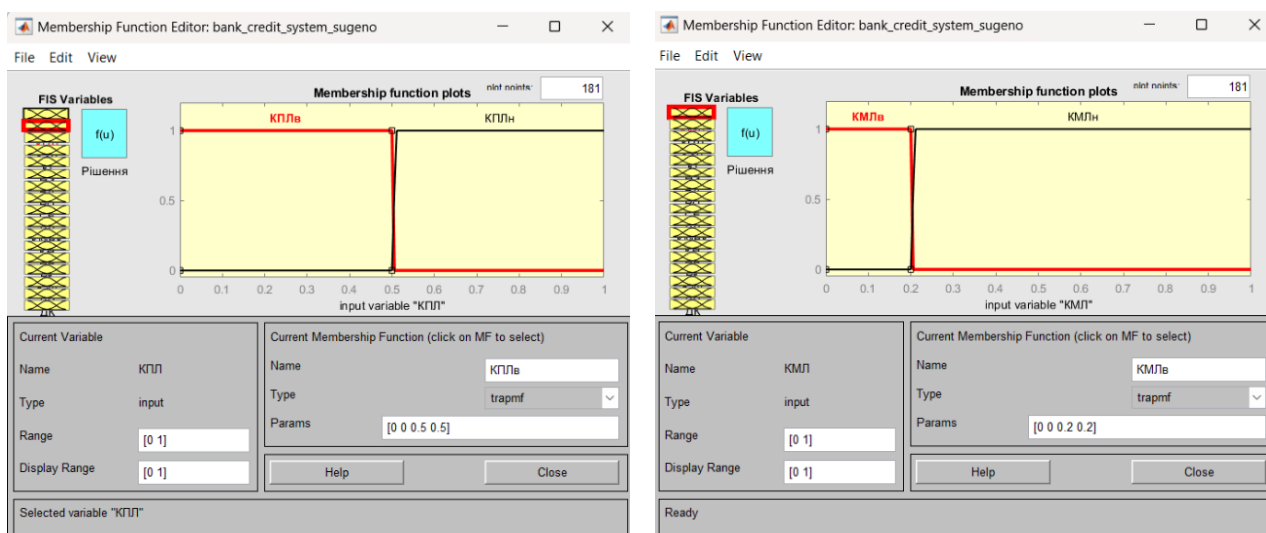


Рисунок 2.13 – Функції приналежності «Коефіцієнт миттєвої ліквідності» та «Коефіцієнт поточної ліквідності»

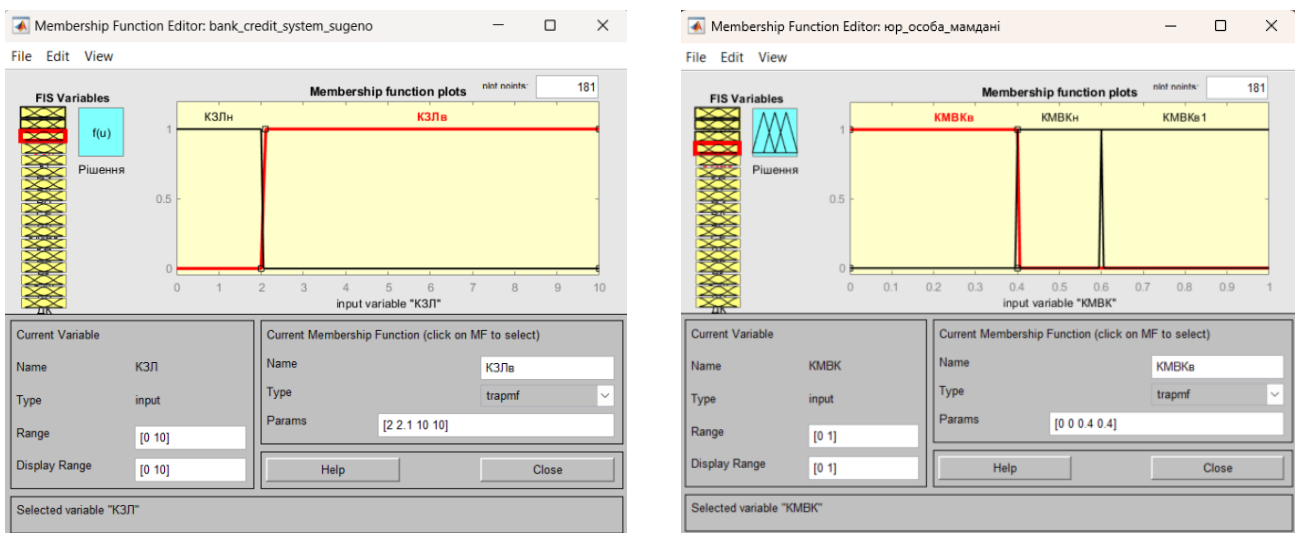


Рисунок 2.14 – Функції приналежності «Коефіцієнт загальної ліквідності» та «Коефіцієнт маневреності власних коштів»

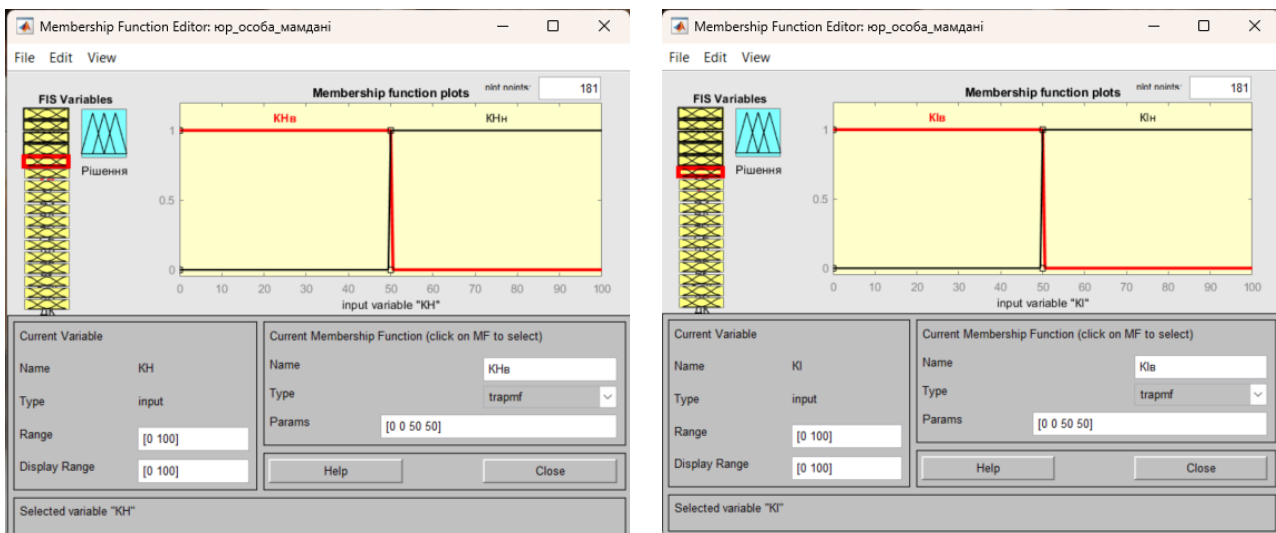


Рисунок 2.15 – Функції приналежності «Коефіцієнт незалежності» та «Кредитна історія»

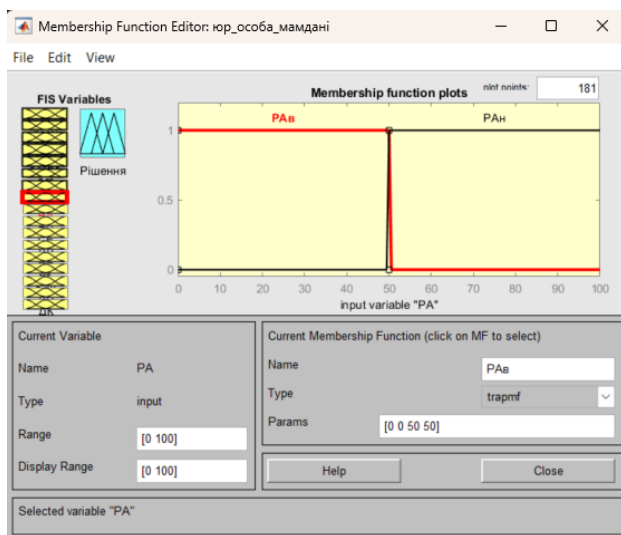
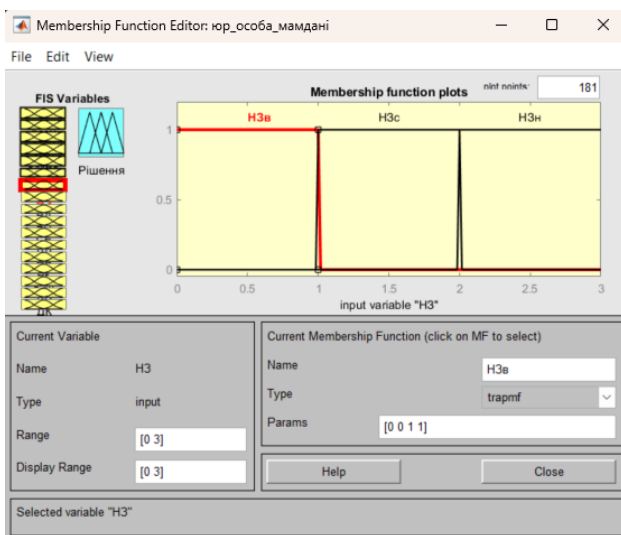


Рисунок 2.16 – Функції приналежності «Наявність застави» та «Рентабельність активів»

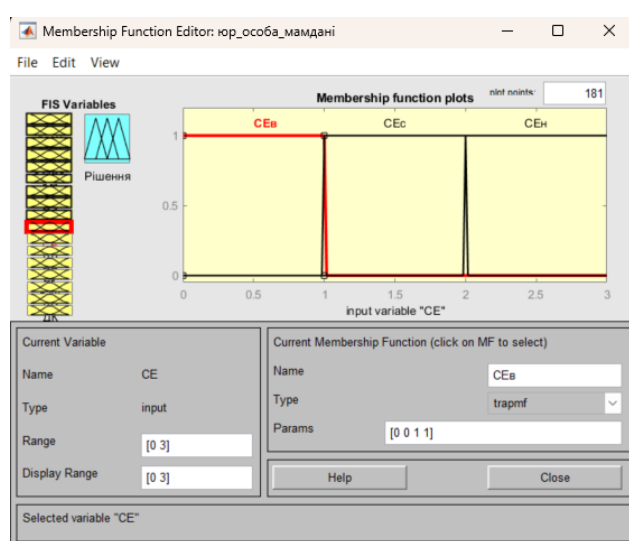
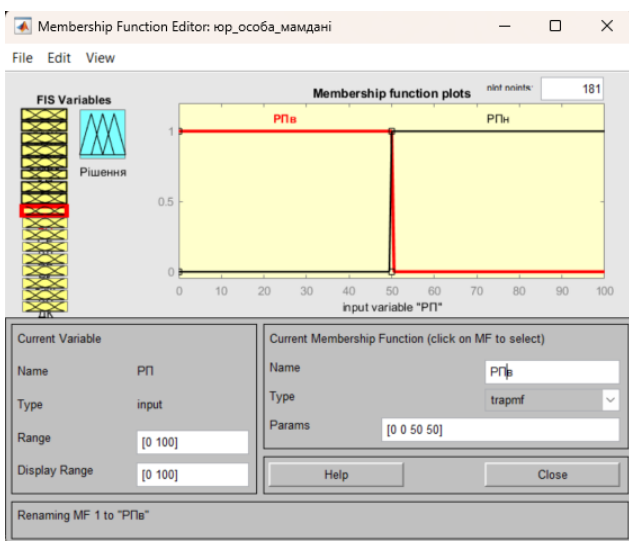


Рисунок 2.17 – Функції приналежності «Рентабельність продажів» та «Сектор економіки»

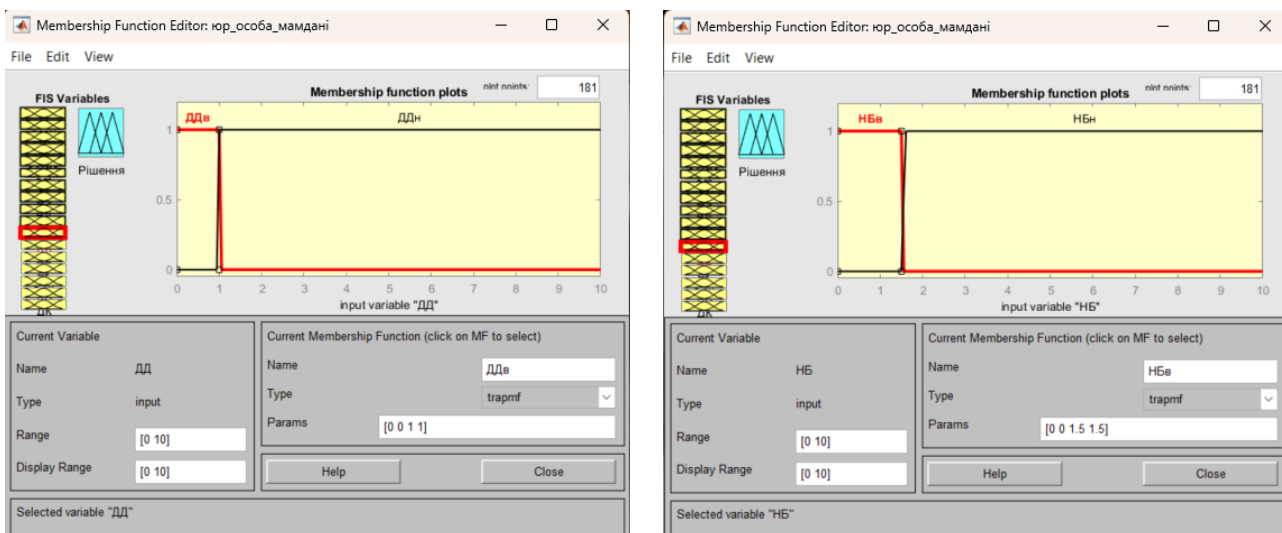


Рисунок 2.18 – Функції приналежності «Диверсифікація доходів» та «Співвідношення чистих надходжень на рахунки до суми боргу за кредитною операцією та відсотками за нею»

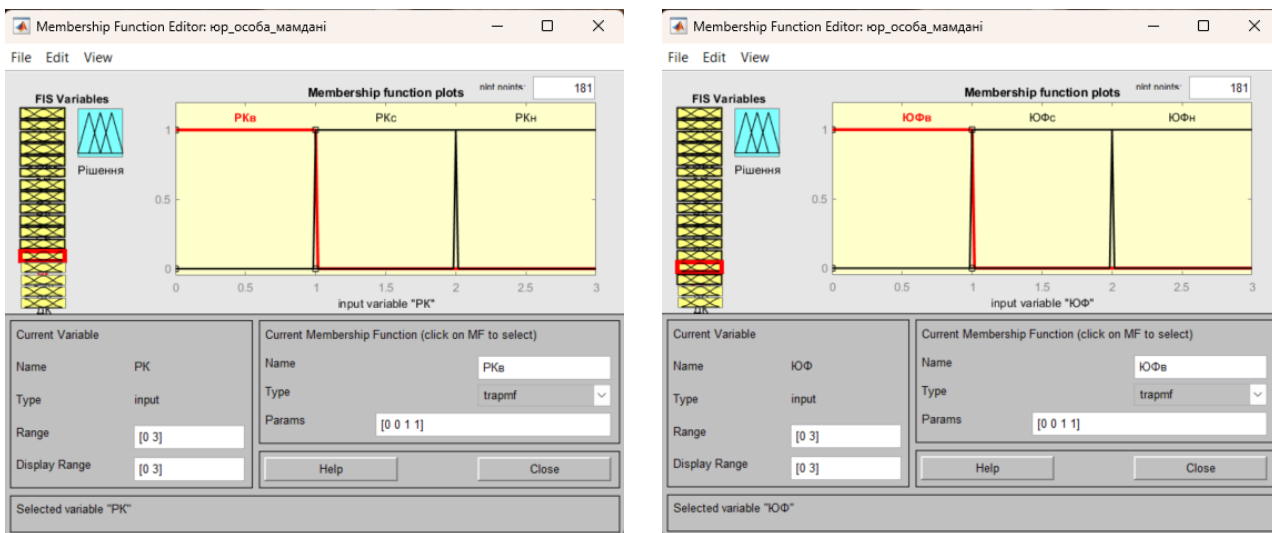


Рисунок 2.19 – Функції приналежності «Репутація компанії» та «Юридична форма власності»

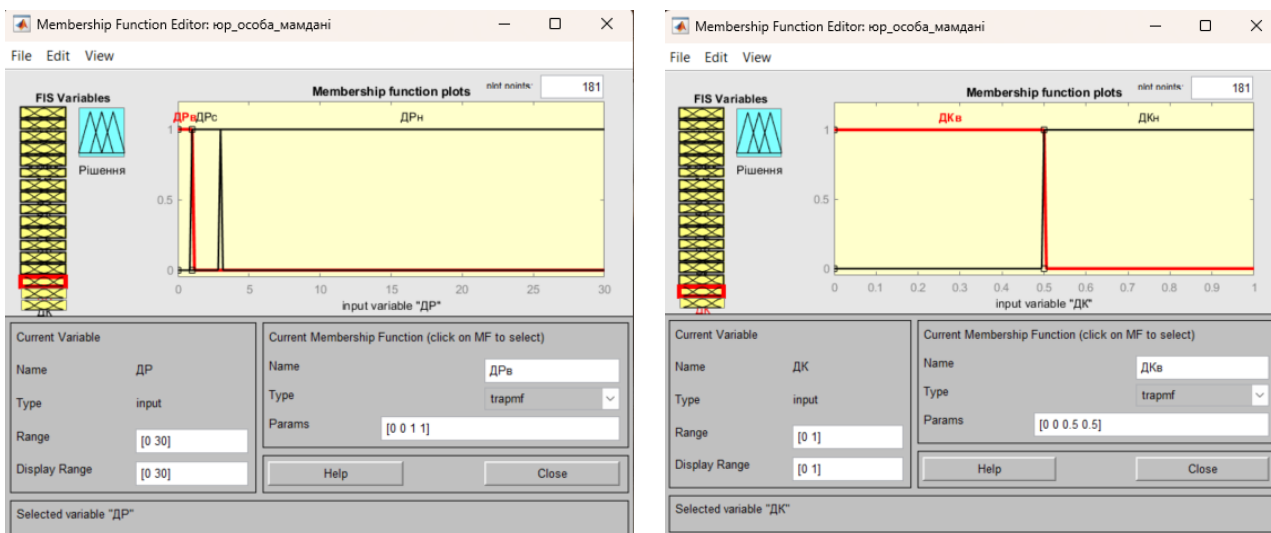


Рисунок 2.20 – Функції приналежності «Досвід на ринку» та «Наявність державних контрактів»

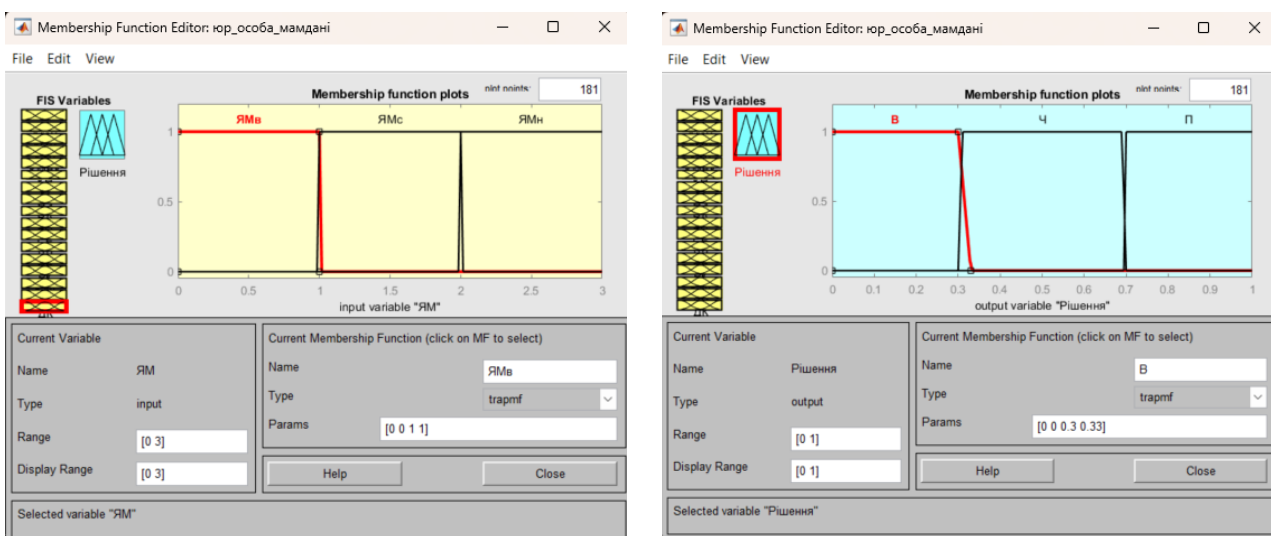


Рисунок 2.21 – Функції приналежності «Якість менеджменту» та «Рішення»

Створення правил нечіткої логіки. Правила для системи нечіткої логіки, що складені і наведені у додатку Г, вводимо до системи. Заходимо до Edit – Rules (рис. 2.22).

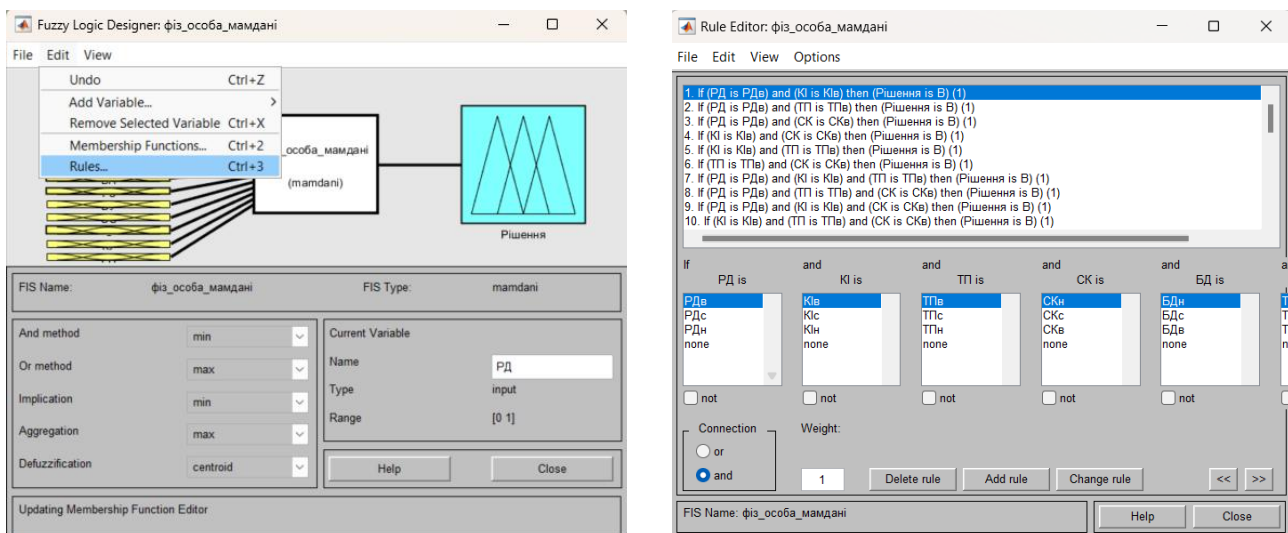


Рисунок 2.22 – Редактор правил

Результати вирішення задачі. Відкриємо загальний вид правил для системи оцінки кредитоспроможності фізичної особи через View – Rules – Surface.



Рисунок 2.23 – Залежність вихідного параметра від вхідних даних та правил

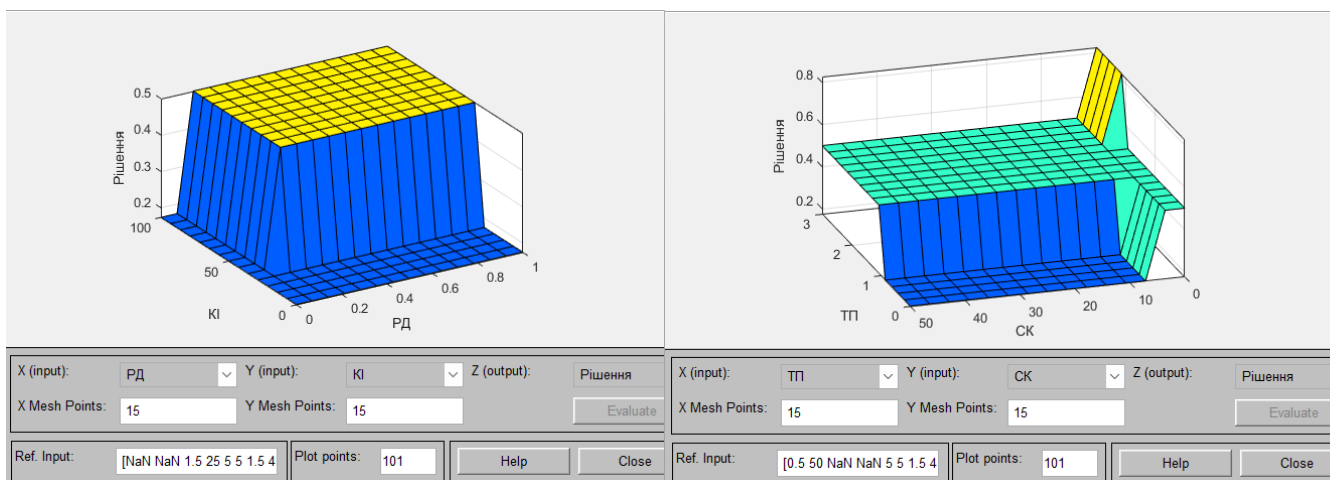


Рисунок 2.24 – Поверхні впливу вхідних параметрів РД, КІ і ТП, СК на вихід системи

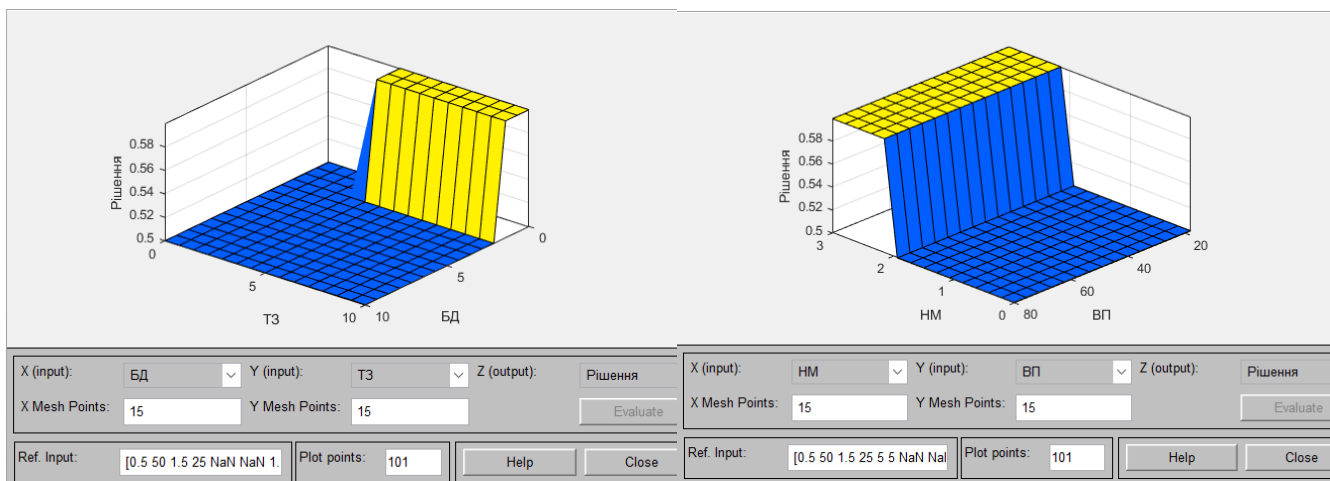


Рисунок 2.25 – Поверхні впливу вхідних параметрів БД, ТЗ та НМ, ВП на вихід системи

Аналогічно відкриємо загальний вид правил для системи оцінки кредитоспроможності юридичної особи.



Рисунок 2.26 – Залежність вихідного параметра від вхідних даних та правил

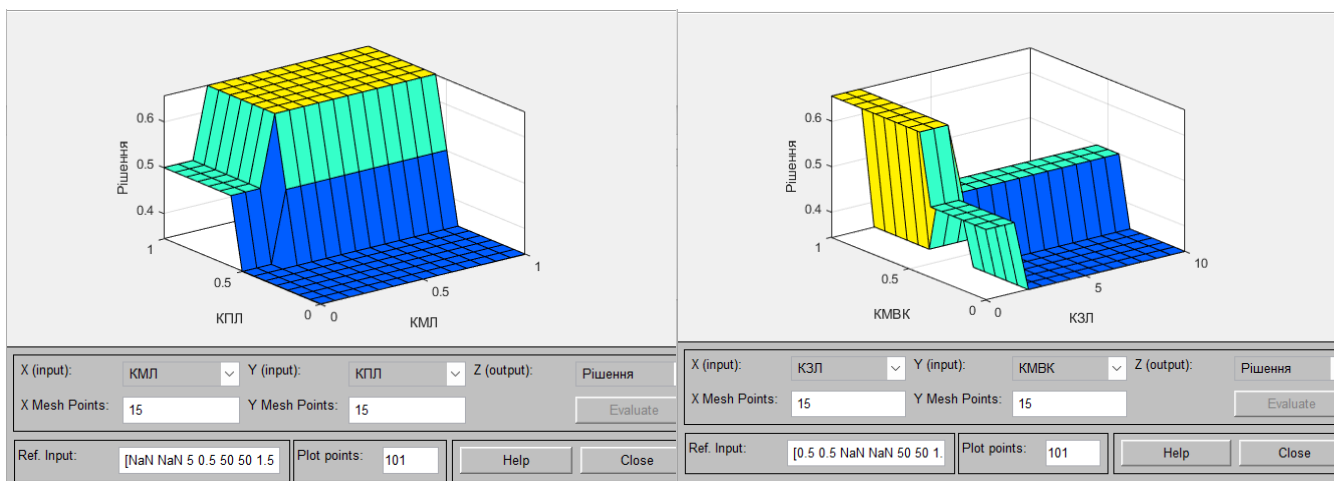


Рисунок 2.27 – Поверхні впливу вхідних параметрів КПЛ, КМЛ та КМВК, КЗЛ на вихід системи

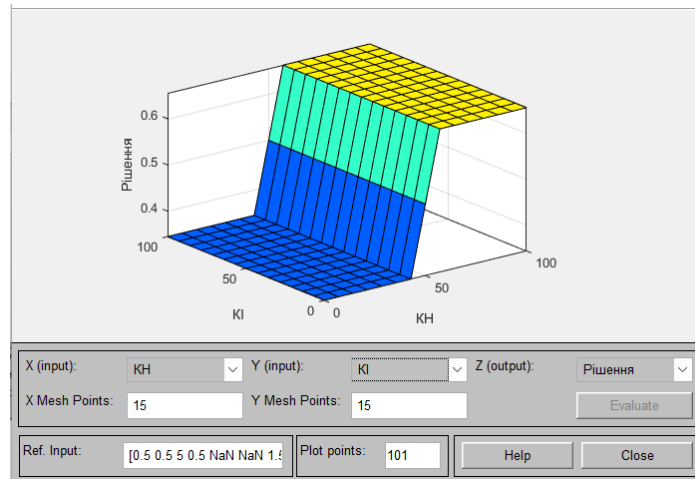


Рисунок 2.28 – Поверхня впливу вхідних параметрів KI, KH на вихід системи

2.4. Експериментальне дослідження ефективності моделі.

З метою зручності взаємодії з розробленою нечіткою системою було прийнято рішення створити окремі додатки в середовищі MATLAB. Такі додатки дають змогу реалізувати інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, через який користувачі можуть ввести необхідні дані та отримати оцінку кредитоспроможності без потреби взаємодії з кодом або математичними моделями безпосередньо.

Для проведення експериментального дослідження було розроблено два окремі додатки:

- для фізичних осіб — із урахуванням факторів, характерних для приватних клієнтів (доходи, кредитна історія, зайнятість тощо);
- для юридичних осіб — із розширеним набором економічних і фінансових показників підприємства.

Обидва додатки будуть створені за допомогою інструменту App Designer, який входить до складу MATLAB і дає змогу розробляти інтерактивні графічні

інтерфейси. У цьому розділі буде детально описано процес створення цих додатків, їх функціональність та підготовку до тестування на прикладах.

Таким чином, планування експерименту включає:

- розробку графічного інтерфейсу користувача;
- інтеграцію з побудованими FIS-моделями типу Mamdani;
- підготовку тестових наборів даних для моделювання ситуацій;
- оцінювання результатів роботи системи на практичних прикладах.

Головні етапи розробки додатків:

- Створення форми інтерфейсу з елементами введення та кнопкою для запуску оцінки;
- Завантаження відповідної FIS-моделі з файлу .fis;
- Обробка введених користувачем даних і передача їх у систему;
- Відображення результату оцінки у графічному інтерфейсі;
- Зробити додатки доступними для використання у MatLab.

На рисунках нижче зображено інтерфейси обох реалізованих додатків.

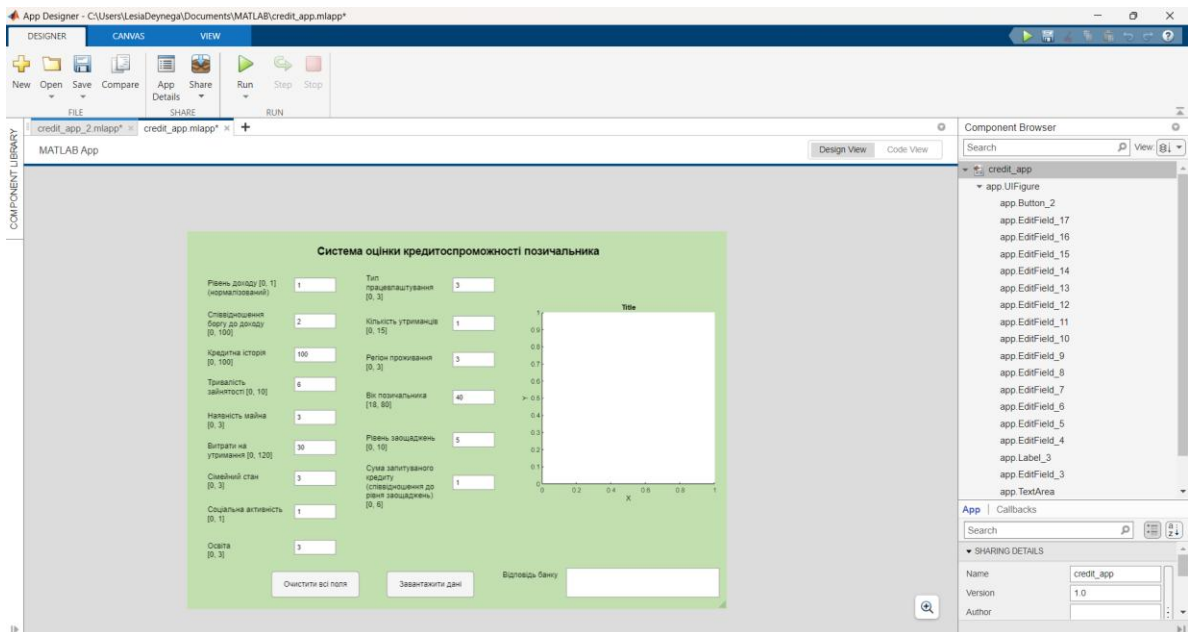


Рисунок 2.29 – Створення інтерфейсу додатка оцінки кредитоспроможності фізичної особи

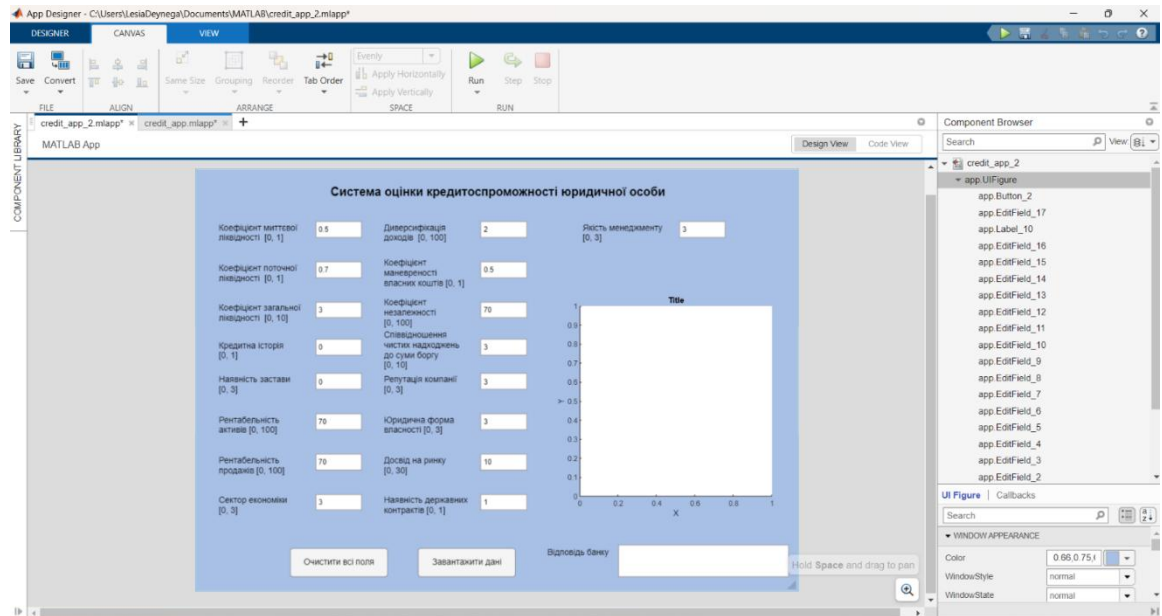


Рисунок 2.30 – Створення інтерфейсу додатка оцінки кредитоспроможності юридичної особи

Код реалізації додатків розміщено у Додатку Д. Він містить усі необхідні функції для збору даних, обробки введеної інформації, взаємодії з нечіткою системою та виводу результатів. Дані, введені користувачем, обробляються, коли користувач натискає на кнопку «Завантажити дані». Тепер створимо із цього додаток MatLab через Share – MATLAB App:

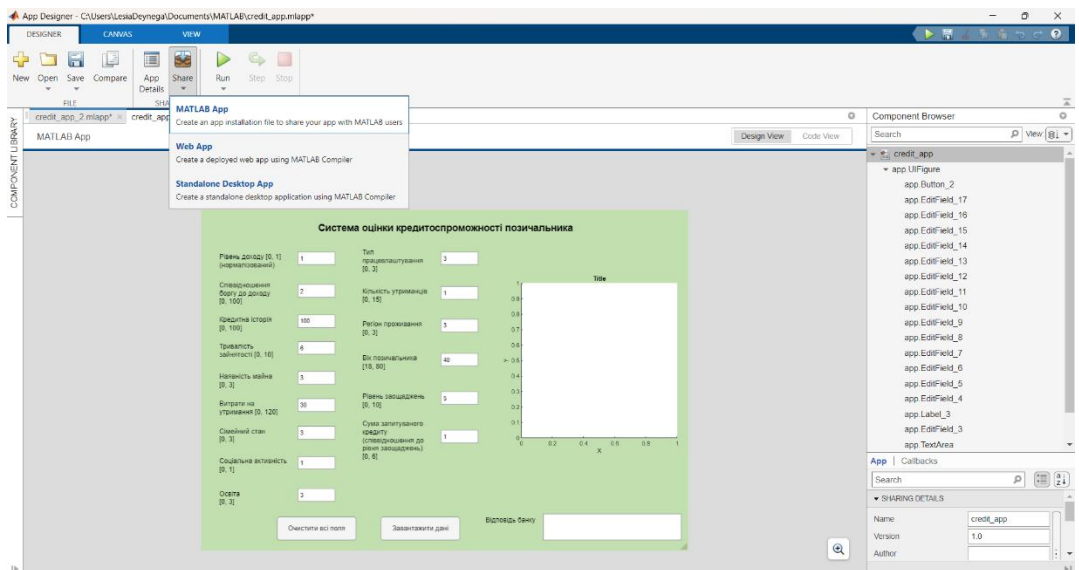


Рисунок 2.31 – Share – MATLAB App

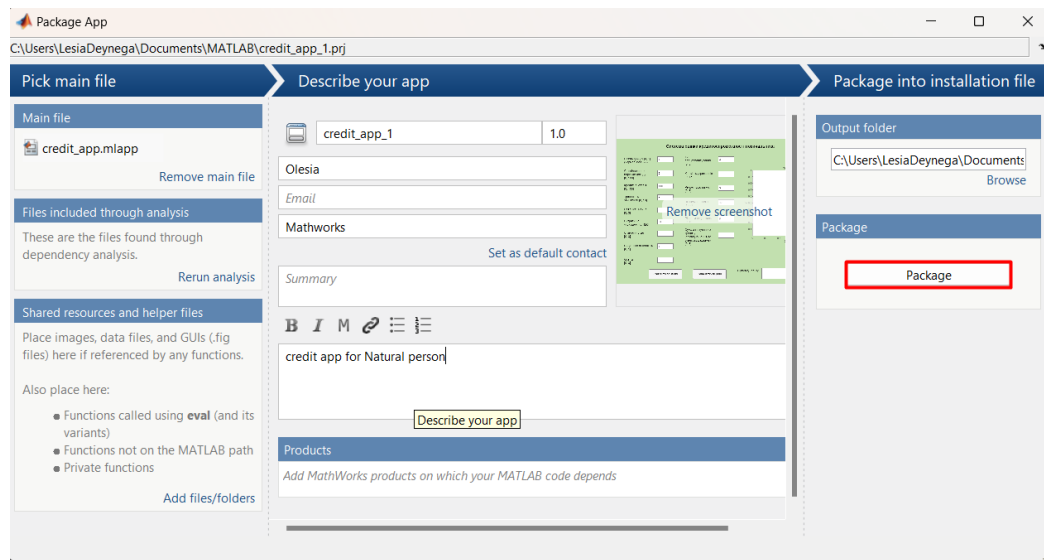


Рисунок 2.32 – Вводимо дані про додаток та натискаємо Package

Далі знаходимо у файлах поточної папки файл з розширенням mlappinstall та запускаємо його, встановлюючи таким чином цей додаток до MATLAB (рис.2.33). Тепер ці додатки можна знайти у MATLAB – Apps – My apps (рис. 2.34).

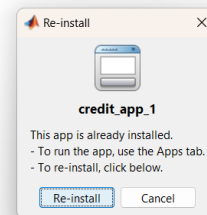
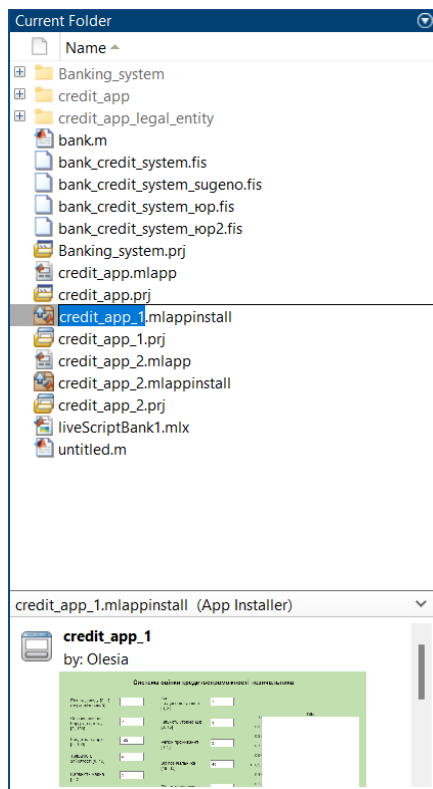


Рисунок 2.33 – Встановлення додатку до робочої області MATLAB

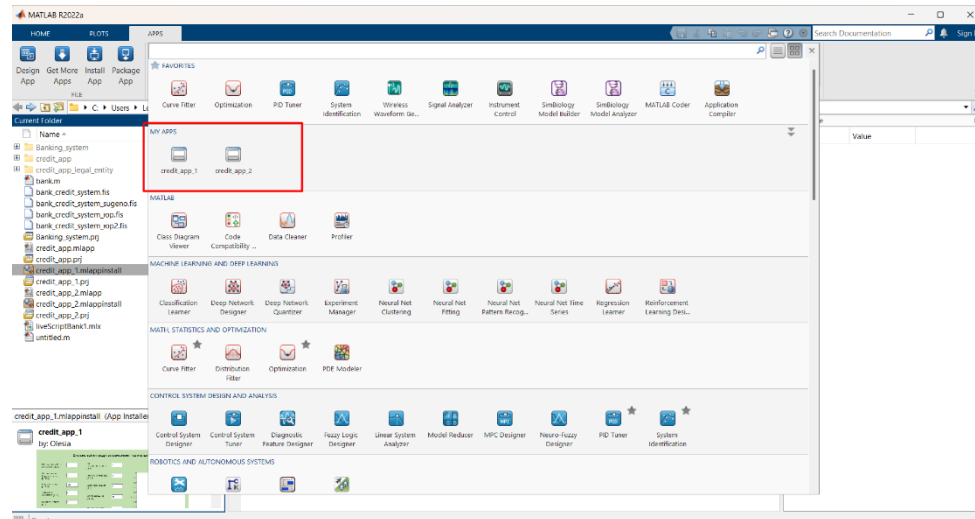


Рисунок 2.34 – Шлях до додатків

Демонстрація роботи додатків розміщена у наступному підрозділі. Інструкція для користувача додатків знаходиться у Додатку Ж.

Результати експерименту. Після створення інтелектуальної системи оцінки кредитоспроможності та розробки відповідних графічних інтерфейсів у середовищі MATLAB App Designer було проведено експериментальне дослідження. Метою експерименту було перевірити коректність роботи додатків для фізичної та юридичної особи, проаналізувати результати та переконатися в правильності логіки прийняття рішень на основі побудованої нечіткої системи типу Mamdani.

Для тестування було обрано реалістичні вхідні дані, які дозволяють змоделювати різні рівні кредитного ризику. Кожен додаток запускався кілька разів із різними наборами значень, щоб перевірити, як система реагує на критичні випадки. Було протестовано два сценарії, дані про які зібрані у таблицю 2.8.

Як видно з результатів експерименту, очікуване рішення було запропоноване системою, в залежності від значень факторів, що було введено із таблиці 2.8. Отже, дана система може бути використана для складання кредитного портфеля банку.

Таблиця 2.8

Сценарії для тестування додатків

Фізична особа				Юридична особа			
№ сценарію/назва критерію	1	2	3	№ сценарію/назва критерію	1	2	3
РД	0.9	0.05	0.1	КМЛ	0.5	0.1	0.1
КІ	90	25	25	КПЛ	0.7	0.2	0.7
ТП	3	1	3	КЗЛ	3	1	3
СК	0.5	5	1	КМВК	0.5	0.6	0.5
БД	0.5	5	2	КН	70	40	55
ТЗ	8	0	6	КІ	85	25	57
НМ	3	1	3	НЗ	2	1	3
ВП	30	60	40	РА	70	55	67
РЗ	6	0.5	5	РП	70	45	86
ВУ	40	110	30	СЕ	3	1	2
СС	3	1	3	ДД	2	1	1
О	3	1	3	НБ	3	1.4	3
КУ	0	1	1	РК	3	1	3
РП	3	1	3	ЮФ	3	2	1
СА	1	0	1	ДР	10	0.5	2
				ДК	1	0	1
				ЯМ	3	1	3
Очікуваний результат	повна видача	відмова	часткова видача		повна видача	відмова	часткова видача

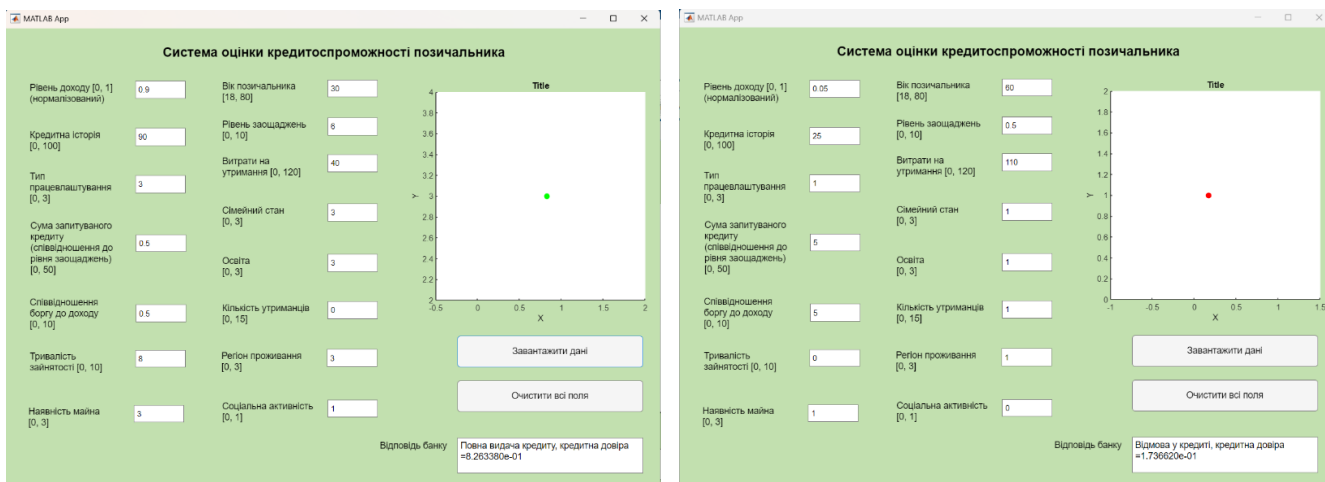


Рисунок 2.35 – Сценарії низького та високого ризику для фізичної особи

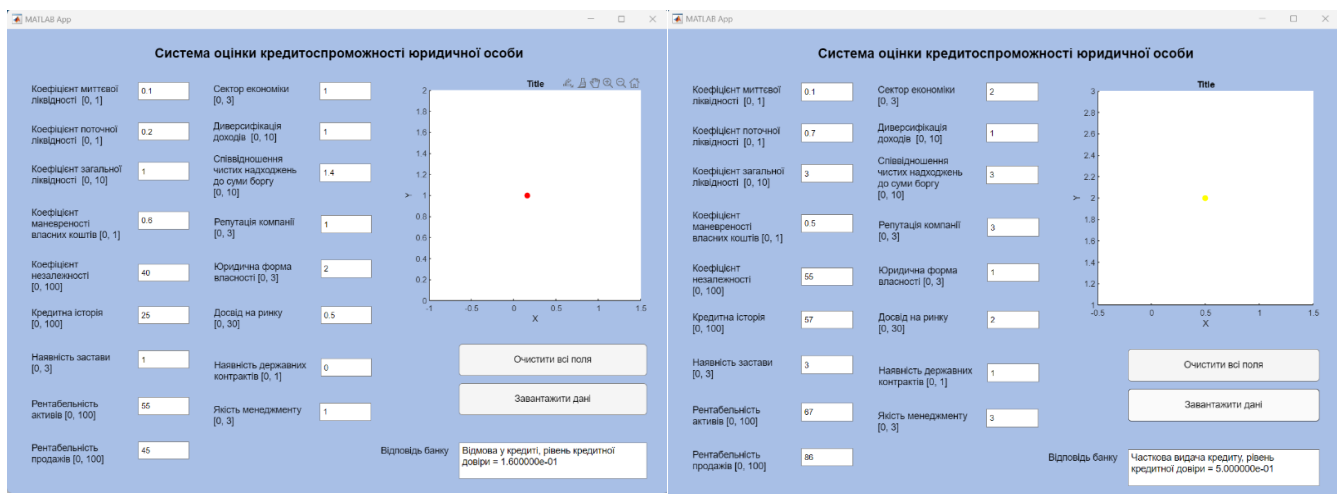
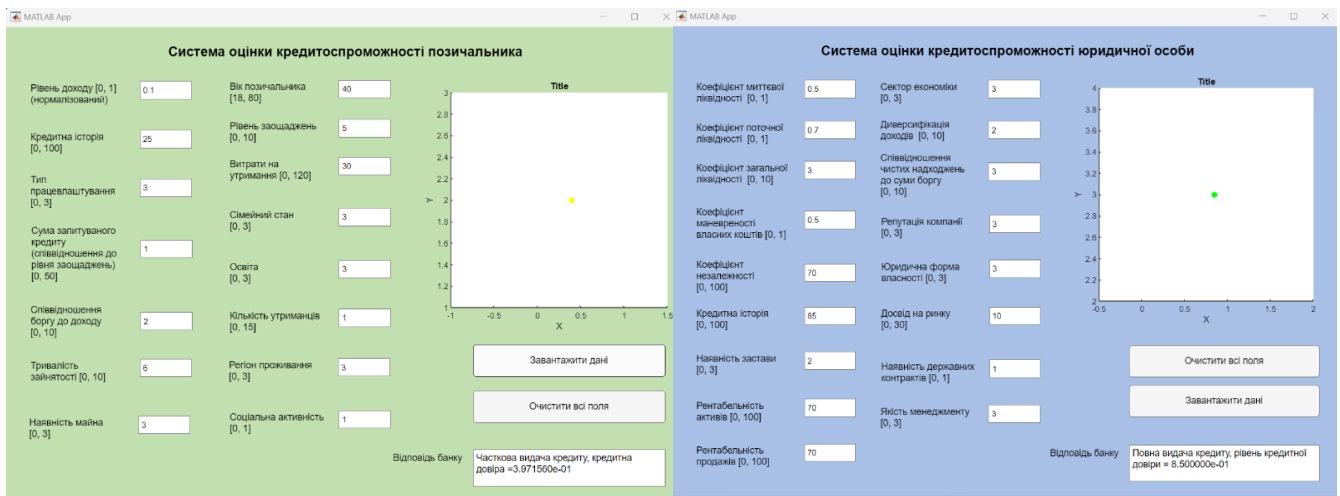


Рисунок 2.36 – Сценарій помірного ризику для фізичної особи (вгорі ліворуч) та сценарії низького, високого, помірного ризику для юридичної особи

2.5. Змістова постановка задачі багатокритеріальної оптимізації формування кредитного портфеля

Має бути сформовано оптимальний кредитний портфель банку на основі наявних 30 кредитних запитів. Для кожного запиту відомі: сума кредиту; кількість років, на яку може бути виданий кредит; значення усіх критеріїв, що враховуються при оцінці кредитоспроможності.

Банк повинен прийняти рішення, маючи кредитний портфель Q , максимальну кількість грошей Z_{max} , якими він може ризикнути, та річну відсоткову ставку r . Він має задовольнити ці запити повністю, частково або відхилити їх. Мінімальна кількість кредитів, що банк має розмістити у своєму кредитному портфелі – N_{min} . Розміри кредитних запитів C_i , видана сума Q_i , кількість років n , на яку видається кредит, ризики невиконання m , кількість грошей Z , що може втратити банк, величина прибутку D_i , які задані для кожного запиту, відображено у табл. 2.9. Розмір кредитного портфеля Q , максимальна кількість грошей, якими банк може ризикнути Z_{max} , річна відсоткова ставка r та мінімальна кількість кредитних запитів, які має задовольнити банк N_{min} , відображено у табл. 2.10.

Мета задачі - максимізація прибутковості кредитного портфеля при одночасному обмеженні загального кредитного ризику банку. Завдання є багатокритерійним, оскільки банк повинен оптимізувати два ключові критерії: максимізація чистого доходу та мінімізація ризику неплатоспроможності. Тому задача буде розв'язана методами багатокритерійної оптимізації, що були описані у першому розділі цієї роботи. Основні кроки розв'язання задачі:

1. Визначення кредитного ризику для кожного із 30 запитів за допомогою розробленої системи штучного інтелекту.
2. Розробка критеріїв та обмеження для формування кредитного портфеля з 30 запитів.
3. Застосування методів багатокритерійної оптимізації для вибору оптимальної комбінації кредитних запитів.
4. Проаналізувати сформовані кредитні портфелі за основними показниками та порівняти з альтернативами.

Процес формування списку фізичних та юридичних осіб, яких може бути включено до майбутнього портфеля, описано у Додатку 3.

Для кожного такого кредитного запиту необхідно визначити рівень кредитного ризику за допомогою системи нечіткої логіки, що була побудована у попередній

задачі. Оскільки ця система показує рівень кредитної довіри – протилежність до кредитного ризику, то кожне значення буде конвертоване на рівень ризику.

Таблиця 2.9

Дані про потенційних позичальників

Фізичні особи							
№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z
1	15000	1	15000	1	7.62E-01	1500	11436.08
2	800000	1	800000	7	1.85E-01	758973.68	148210.6
3	60000	1	60000	3	5.00E-01	19860	30000
4	12000	1	12000	2	1.74E-01	2520	2083.944
5	80000	1	80000	4	8.26E-01	37128	66107.04
6	30000	1	30000	1	2.86E-01	3000	8574.756
7	70000	1	70000	3	5.00E-01	23170	35000
8	10000	1	10000	1	8.26E-01	1000	8263.38
9	90000	1	90000	5	4.00E-01	54945.9	36041.28
10	75000	1	75000	5	1.85E-01	45788.25	13894.74
11	1000000	1	1000000	10	1.74E-01	1593742.46	173662
12	25000	1	25000	2	8.26E-01	5250	20658.45
13	8000	1	8000	1	8.26E-01	800	6610.704
14	100000	1	100000	5	8.26E-01	61051	82633.8
15	5000	1	5000	1	6.55E-01	500	3275

Юридичні особи							
№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z
1	150000	1	150000	2	0.753496	31500	113024.4
2	800000	1	800000	5	0.285149	488408	228118.8
3	5000000	1	5000000	7	0.285149	4743585.5	1425743
4	600000	1	600000	4	0.285149	278460	171089.1
5	50000	1	50000	1	0.285149	5000	14257.43
6	900000	1	900000	5	0.285149	549459	256633.7
7	1200000	1	1200000	6	0.388662	925873.2	466394.4
8	70000	1	70000	2	0.285149	14700	19960.4
9	3500000	1	3500000	10	0.285149	5578098.61	998019.8
10	250000	1	250000	3	0.388662	82750	97165.5
11	1800000	1	1800000	5	0.285149	1098918	513267.3
12	400000	1	400000	3	2.85E-01	132400	114059.4
13	100000	1	100000	2	2.46E-01	21000	24590.16
14	2500000	1	2500000	7	0.285149	2371792.75	712871.3
15	300000	1	300000	3	0.753496	99300	226048.7

Таблиця 2.10

Дані про кредитний портфель банку

Q	2000000
Zmax	15000
r	10%
Nmin	7

2.6. Концептуальна модель задачі багатокритеріальної оптимізації

Сформулюємо такі гіпотези:

1. Об'єктом моделювання є кредитний портфель банку.
2. Керовані змінні завдання: $x_i = [0,1]$ – змінна, що визначає, у якому обсязі буде виданий кредит, де 1 – схвалення позики у повному обсязі, 0 – відмова у позиці, а значення у проміжку (0,1), відповідно, схвалення часткової позики; Q_i – розмір позики, яку дійсно отримає позичальник.
3. Некеровані змінні – розмір та своєчасність майбутніх платежів.
4. Формула нарощення прибутку за складними річними відсотками [20]:

$$S_i = Q_i * (1 + r)^n, \quad (2.2)$$

де S_i – нарощений прибуток, Q_i – сума кредиту, яку видав банк, r – відсоткова ставка банку, n – кількість років кредитування.

5. Чистий дохід банку при своєчасному погашенні кредиту [21]:

$$D_i = -Q_i + S_i \quad (2.3)$$

6. Кредитні ресурси банку обмежені Q, існує максимальний допустимий ризик Z_{max} [22].
7. Існує мінімальна кількість кредитів, яку має ухвалити банк N_{min} .

2.7. Математична модель задачі багатокритеріальної оптимізації

Сформулюємо критерії оптимізації:

1. Максимізація доходу

$$F_1 = \sum_{i=1}^{30} D_i \rightarrow \max \quad (2.4)$$

2. Мінімізація ризику

$$F_2 = \sum_{i=1}^{30} Q_i m_i \rightarrow \min \quad (2.5)$$

Обмеження задачі:

1. Обмеження на кредитні ресурси

$$\sum_{i=1}^{30} Q_i \leq Q \quad (2.6)$$

2. Мінімальна кількість кредитів

$$\sum_{i=1}^{30} x_i (x_i > 0) \geq N_{min} \quad (2.8)$$

3. Обмеження на обсяг кредиту:

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad (2.9)$$

Остаточний вигляд математичної моделі:

$$F_1 = \sum_{i=1}^{30} D_i \rightarrow \max$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^{30} Q_i m_i \rightarrow \min$$

$$\sum_{i=1}^{30} Q_i \leq Q \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=1}^{30} x_i (x_i > 0) \geq N_{min}$$

$$0 \leq x_i \leq 1$$

2.8. Обґрунтування доцільності методів багатокритеріальної оптимізації для формування кредитного портфеля

Розрахуємо суму нарощення кредитних коштів для кожного кредитного запиту за формулою (2.2) та занесено результати до таблиці 2.11. Встановимо, що всі $x_i = 1$. Тобто, кожен кредитний запит виконується повністю.

Таблиця 2.11

Нарощення кредитних коштів для всіх запитів

Фізичні особи		Юридичні особи	
S_1	16500	S_1	181500
S_2	1558974	S_2	1288408
S_3	79860	S_3	9743586
S_4	14520	S_4	878460
S_5	117128	S_5	55000
S_6	33000	S_6	1449459
S_7	93170	S_7	2125873
S_8	11000	S_8	84700
S_9	144945.9	S_9	9078099
S_{10}	120788.3	S_{10}	332750
S_{11}	2593742	S_{11}	2898918
S_{12}	30250	S_{12}	532400
S_{13}	8800	S_{13}	121000
S_{14}	161051	S_{14}	4871793
S_{15}	5500	S_{15}	399300

За тими ж самими умовами розрахуємо чистий прибуток D_i за кожним запитом, скористаємось формулою (2.3). Результат занесемо у таблицю 2.12.

Таблиця 2.12

Чистий прибуток банку за умови повної виплати усіх запитів

Фізичні особи		Юридичні особи	
D_1	1500	D_1	31500
D_2	758973.68	D_2	488408
D_3	19860	D_3	4743585.5
D_4	2520	D_4	278460
D_5	37128	D_5	5000
D_6	3000	D_6	549459
D_7	23170	D_7	925873.2
D_8	1000	D_8	14700
D_9	54945.9	D_9	5578098.61
D_{10}	45788.25	D_{10}	82750
D_{11}	1593742.46	D_{11}	1098918
D_{12}	5250	D_{12}	132400
D_{13}	800	D_{13}	21000
D_{14}	61051	D_{14}	2371792.75
D_{15}	500	D_{15}	99300

За таких значень гроші, які банк витратить, $\sum_{i=1}^{30} Q_i = 20\,000\,000$ грн, а за умови кредитний портфель $Q = 2\,000\,000$ грн. Також банк ризикує втратити на ненадійних позичальниках $\sum_{i=1}^{30} Q_i m_i = 616\,413.1$ грн, хоча максимальна сума ризику передбачена як $Z_{max} = 15\,000$. Тому банк має обрати, які запити йому вигідніше схвалити та у якому обсязі.

Цю задачу буде вирішено трьома методами багатокритеріальної оптимізації: згортки, головного критерію та послідовної поступки.

Метод згортки є доцільним у цій задачі, оскільки дозволяє інтегрувати обидва критерії в один для застосування традиційних методів оптимізації, зберігаючи можливість враховувати співвідношення їх важливості. Це робить метод зручним для використання в задачах, де важливо знайти компромісне рішення.

Метод головного критерію використовують, коли один із критеріїв явно переважає за важливістю або має строгі обмеження, що відповідає реальним умовам банку. У даному випадку банк готовий іти на певний ризик, але лише до певної межі. Метод дозволяє зосередитися на максимізації прибутку, водночас дотримуючись обмежень щодо ризику.

Метод послідовної поступки використовують, коли неможливо відразу визначити вагу критеріїв або коли критерії мають різну природу, і потрібна гнучкість у процесі оптимізації. У даному випадку це може відображати реальну практику банку, де на першому етапі ухвалюється базове рішення, а потім воно коригується для врахування ризиків.

У наступних розділах буде викладено розв'язання задачі кожним із цих методів за допомогою програмного забезпечення MS Excel.

2.9. Розв'язування задачі методом згортки

У методі згортки необхідно першим кроком нормалізувати критерії. Для цього скористаємося формулами (1.3) та (1.4).

Знайдемо максимальне значення першого критерію (2.4) за обмежень (2.6), (2.8) та (2.9), не беручи до уваги другий критерій взагалі.

Для розв'язування задачі скористаємось функцією “Solver” програми MS Excel. Результати розв'язування подано нижче у вигляді таблиці 2.13, де показано x_i – частка кредитних грошей, що надаються за відповідним запитом (тут і надалі кредитні запити юридичних осіб №1-15 пронумеровані у загальному списку як №16-30, щоб було зручніше вирішувати задачу в Excel).

Таблиця 2.13

Пошук максимального значення першого критерію

№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z	S
1	15000	0.353562	5303.427	1	7.62E-02	530.3427225	404.336	5833.77
4	12000	0.52	6240	2	1.74E-02	1310.399921	108.3651	7550.4
8	10000	0.569041	5690.412	1	8.26E-02	569.0411976	470.2204	6259.453
11	1000000	7.1E-05	70.99473	10	1.74E-02	113.1473166	1.232909	184.142
13	8000	0.655233	5241.864	1	8.26E-02	524.1863856	433.1551	5766.05
15	5000	0.784521	3922.603	1	6.55E-02	392.2602995	256.9305	4314.863
24	3500000	0.563866	1973531	10	2.85E-02	3145299.693	56274.93	5118830
Q		r		Ризик кошти		N		
2000000		10%		57949.17221		7		
Zmax		Nmin		Прибуток		Витрати		
15000		7		3148739.071		2000000.013		

Отже, перший критерій досягає свого максимуму $F_1 = 3\,148\,739.1$, якщо виконує сім запитів із табл. 2.13, а інші відхиляє, оскільки вже досягнуто максимуму кредитного портфеля. Знайдемо мінімальне значення першого критерію (2.4) за обмежень (2.6), (2.8) та (2.9). Результат поданий у табл. 2.14.

Отже, перший критерій досягає свого мінімуму $F_1 = 5\,634.8$, якщо виконує сім кредитних запитів із табл. 2.14.

Таблиця 2.14

Пошук мінімального значення першого критерію

№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z	S
1	15000	0.705992	10589.88	1	7.62E-02	1058.988116	807.3779	11648.87
4	12000	0.52	6240	2	1.74E-02	1310.400079	108.3651	7550.4
6	30000	0.411984	12359.52	1	2.86E-02	1235.952466	353.2664	13595.48
8	10000	0.803995	8039.947	1	8.26E-02	803.9947139	664.3714	8843.942

Продовження табл. 2.14

13	8000	0.843196	6745.566	1	8.26E-02	674.5566153	557.4118	7420.123
15	5000	0.901997	4509.987	1	6.55E-02	450.9986787	295.4041	4960.985
20	50000	0.019974	998.678	1	2.85E-02	99.86780356	28.47715	1098.546
Q		r		Ризик кошти		N		
2000000		10%		2814.673833		7		
Zmax		Nmin		Прибуток		Витрати		
15000		7		5634.758472		49483.5843		

Аналогічно для другого критерію (2.5), визначимо максимальне та мінімальне значення, враховуючи, що критерій мінімізується. При цьому використаємо обмеження (2.6), (2.7), (2.8), (2.9). Кредитні запити, що мають бути задоволені при максимізації другого критерію, наведені у табл. 2.15.

Таблиця 2.15

Пошук максимального значення другого критерію

№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z	S
1	15000	1	15000	1	7.62E-02	1500	1143.608	16500
3	60000	1	60000	3	5.00E-02	19860	3000	79860
5	80000	1	80000	4	8.26E-02	37128	6610.704	117128
7	70000	1	70000	3	5.00E-02	23170	3500	93170
8	10000	1	10000	1	8.26E-02	999.9999982	826.338	11000
9	90000	1	90000	5	4.00E-02	54945.9	3604.128	144945.9
12	25000	1	25000	2	8.26E-02	5249.99999	2065.845	30250
13	8000	1	8000	1	8.26E-02	800	661.0704	8800
14	100000	1	100000	5	8.26E-02	61050.99955	8263.38	161051
15	5000	1	5000	1	6.55E-02	500	327.5	5500
16	150000	1	150000	2	7.53E-02	31500	11302.44	181500
22	1200000	0.905833	1087000	6	3.89E-02	838686.8181	42247.56	1925687
30	300000	1	300000	3	7.53E-02	99300	22604.87	399300
Q		r		Ризик кошти		N		

Продовження табл. 2.15

2000000	10%	106157.4397	13
Zmax	Nmin	Прибуток	Витрати
15000	7	1174691.718	2000000.014

Із табл. 2.15 випливає, що для максимізації ризику необхідно задовольнити 13 запитів, поки не закінчиться максимальний розмір портфеля. Тоді максимальне значення $F_2 = 106\,157.4$. Кредитні запити, що мають бути задоволені при мінімізації другого критерію, наведені у табл. 2.16.

Таблиця 2.16

Пошук мінімального значення другого критерію

№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z	S
1	15000	0.226274	3394.111	1	7.62E-02	339.4111436	258.7688	3733.523
4	12000	0.849226	10190.71	2	1.74E-02	2140.049615	176.974	12330.76
6	30000	0.400066	12001.99	1	2.86E-02	1200.199256	343.0472	13202.19
8	10000	0.441813	4418.131	1	8.26E-02	441.8130793	365.0869	4859.944
13	8000	0.55345	4427.604	1	8.26E-02	442.7603557	365.8697	4870.364
15	5000	0.777681	3888.406	1	6.55E-02	388.8405882	254.6906	4277.246
20	50000	0.002353	117.6508	1	2.85E-02	11.76508218	3.354796	129.4159
Q	r	Ризик кошти			N			
2000000	10%	1767.791954			7			

Продовження табл. 2.16

Zmax	Nmin	Прибуток	Витрати
15000	7	4964.839121	38438.60751

Отже, мінімум цього критерію $F_2 = 1767.8$. Тепер нормалізуємо обидва критерії, використовуючи формулу (1.3):

$$F_1^H(x) = \frac{F_i^{max} - F_i(x)}{F_i^{max} - F_i^{min}} = \frac{3\,148\,739.1 - \sum_{i=1}^{30} D_i}{3\,148\,739.1 - 5\,634.8} \quad (2.11)$$

$$F_2^H(x) = \frac{F_i(x) - F_i^{min}}{F_i^{max} - F_i^{min}} = \frac{\sum_{i=1}^{30} Q_i m_i - 1\,767.8}{106\,157.4 - 1\,767.8} \quad (2.12)$$

Оскільки критерії нормалізовані, то цю задачу можна розв'язувати методом згортки. Вважатимемо, що експерти оцінили значущість критеріїв таким чином: $\alpha_1 = 0.6$, $\alpha_2 = 0.4$, тобто пріоритет першого критерію дорівнює 0.6, а другого – 0.4. Обидва критерії лінійні, тому будемо використовувати лінійну адитивну згортку (1.5). Узагальнений критерій матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} F(x) &= \alpha_1 F_1^H(x) + \alpha_2 F_2^H(x) = \\ &= 0.6 * \frac{3\,148\,739.1 - \sum_{i=1}^{30} D_i}{3\,148\,739.1 - 5\,634.8} + 0.4 * \frac{\sum_{i=1}^{30} Q_i m_i - 1\,767.8}{106\,157.4 - 1\,767.8} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Відповідна скалярна задача матиме вигляд:

$$\begin{aligned} F(x) &= \alpha_1 F_1^H(x) + \alpha_2 F_2^H(x) = \\ &= 0.6 * \frac{3\,148\,739.1 - \sum_{i=1}^{30} D_i}{3\,148\,739.1 - 5\,634.8} + 0.4 * \frac{\sum_{i=1}^{30} Q_i m_i - 1\,767.8}{106\,157.4 - 1\,767.8} \rightarrow \min \\ &\sum_{i=1}^{30} Q_i \leq 2\,000\,000 \\ &\sum_{i=1}^{30} x_i (x_i > 0) \geq 7 \\ &0 \leq x_i \leq 1 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Для розв'язання цієї задачі створимо нову комірку, що буде новою цільовою функцією. Значення цієї комірки буде дорівнювати узагальненому критерію (2.13). Нова цільова функція буде мінімізуватися. Розв'язок цієї задачі представлено у табл. 2.17.

Таблиця 2.17

Розв'язання задачі методом згортки

№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z	S
1	15000	0.22626 3	3393.94	1	7.62E-02	339.3939566	258.755 7	3733.33 4
4	12000	0.84922 5	10190.7	2	1.74E-02	2140.046127	176.973 7	12330.7 4
6	30000	0.40005 8	12001.75	1	2.86E-02	1200.175298	343.040 3	13201.9 3
8	10000	0.44180 5	4418.048	1	8.26E-02	441.8047894	365.080 1	4859.85 3
13	8000	0.55344 4	4427.551	1	8.26E-02	442.7550539	365.865 3	4870.30 6
15	5000	0.77767 8	3888.39	1	6.55E-02	388.8389552	254.689 5	4277.22 9
20	50000	0.00234	116.9867	1	2.85E-02	11.69867311	3.33585 9	128.685 4
Q		r		Ризик кошти		N		
2000000		10%		1767.740477		7		
Zmax		Nmin		Прибуток		Витрати		
15000		7		4964.712854		38437.36311		

Метод згортки

F1(max)	F1(min)	F2(max)	F2(min)	a1	a2	F(x)
3148739	5634.758	106157.4	1767.792	0.6	0.4	0.57287602

Оптимальне значення узагальненого критерію за результатами обчислень дорівнює 0.57287602, при цьому чистий дохід становить 4964.7 грн, а можливі ризики складуть 1767.7 грн. Виходить, вирішивши обрати цей кредитний портфель, банк отримає малий прибуток, але і залишиться із мінімальним ризиком.

2.10. Розв'язування задачі методом головного критерію

Будемо розв'язувати задачу, вважаючи, що перший критерій більш значущий, ніж другий. Нормалізація при застосуванні цього способу не потрібна. Сформулюємо додаткові обмеження для другого критерію.

За умовою задачі, максимальний ризик дорівнює 15 000. Перетворимо це на додаткове обмеження:

$$\sum_{i=1}^{30} Q_i m_i \leq 15\,000 \quad (2.15)$$

Відповідна скалярна задача буде такою:

$$\begin{aligned} F_1 &= \sum_{i=1}^{30} D_i \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^{30} Q_i m_i &\leq 15\,000 \\ \sum_{i=1}^{30} Q_i &\leq 2\,000\,000 \\ \sum_{i=1}^{30} x_i (x_i > 0) &\geq 7 \\ 0 &\leq x_i \leq 1 \end{aligned} \quad (2.16)$$

У табл. 2.18 представлені результати розв'язання задачі цим методом.

Таблиця 2.18

Розв'язання задачі методом головного критерію

№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z	S
4	12000	0.809993	9719.913	2	1.74E-02	2041.181746	168.798	11761.09
6	30000	0.162253	4867.58	1	2.86E-02	486.7580027	139.1277	5354.338
8	10000	0.186366	1863.656	1	8.26E-02	186.3655502	154.0009	2050.021
11	1000000	0.811075	811075.1	10	1.74E-02	1292644.897	14085.29	2103720
13	8000	0.349092	2792.739	1	8.26E-02	279.2739295	230.7747	3072.013
15	5000	0.677881	3389.403	1	6.55E-02	338.9403071	222.0059	3728.343
17	800000	1.62E-11	1.29E-05	5	2.85E-02	7.8893E-06	3.68E-07	2.08E-05
Q		r			Ризик кошти		N	
	2000000		10%		15000.00034		7	
Zmax		Nmin			Прибуток		Витрати	
	15000		7		1295977.417		833708.4362	

За методом головного критерію розв'язок дає високий прибуток, але і максимальний ризик. Значення першого критерію $F_1 = 1\,295\,977.4$, а другого $F_2 = 15\,000$.

2.11. Розв'язування задачі методом послідовної поступки

Розв'яжемо задачу, враховуючи, що перший критерій більш важливий, ніж другий. Спочатку розв'яжемо скалярну задачу за більш важливим критерієм, яка виглядає так:

$$F_1 = \sum_{i=1}^{30} D_i \rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^{30} Q_i \leq 2\,000\,000 \quad (2.17)$$

$$\sum_{i=1}^{30} x_i (x_i > 0) \geq 7$$

$$0 \leq x_i \leq 1$$

Розв'язанням цієї задачі є $F_1 = 3\,148\,739$, $F_2 = 57\,949$. Через неприпустиме значення ризику будемо робити поступку розміром 148 739. Отже, значення прибутку має бути не менше ніж 3 000 000. Перша цільова функція перетворюється на обмеження, а друга стає головною цільовою функцією.

Тепер задача на другому кроці буде такою:

$$F_2 = \sum_{i=1}^{30} Q_i m_i \rightarrow \min$$

$$F_1 = \sum_{i=1}^{30} D_i \geq 3\,000\,000$$

$$\sum_{i=1}^{30} Q_i \leq 2\,000\,000 \quad (2.18)$$

$$\sum_{i=1}^{30} x_i (x_i > 0) \geq 7$$

$$0 \leq x_i \leq 1$$

У результаті розв'язування отримаємо наступні значення: $F_1 = 3\,000\,000$, $F_2 = 43\,426.65$. Ризик знизився у незначній мірі і все ще є завеликим. Зробимо наступну поступку у 1 500 000. Тоді значення прибутку має бути не менше ніж 1 500 000. Тепер задача виглядає так:

$$F_2 = \sum_{i=1}^{30} Q_i m_i \rightarrow \min$$

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \sum_{i=1}^{30} D_i \geq 1\,500\,000 \\
 \sum_{i=1}^{30} Q_i &\leq 2\,000\,000 \\
 \sum_{i=1}^{30} x_i (x_i > 0) &\geq 7 \\
 0 &\leq x_i \leq 1
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

При розв'язанні отримуємо такий результат: $F_1 = 1\,500\,000$, $F_2 = 17\,159.4$. Ризик значно зменшився, але все ще потребує мінімізації. Наступну поступку зробимо у розмірі 200 000. Тепер задача виглядає так:

$$\begin{aligned}
 F_2 &= \sum_{i=1}^{30} Q_i m_i \rightarrow \min \\
 F_1 &= \sum_{i=1}^{30} D_i \geq 1\,300\,000 \\
 \sum_{i=1}^{30} Q_i &\leq 2\,000\,000 \\
 \sum_{i=1}^{30} x_i (x_i > 0) &\geq 7 \\
 0 &\leq x_i \leq 1
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

Після розв'язання отримуємо, що $F_1 = 1\,300\,000$, $F_2 = 14\,967$. Це вже припустиме значення ризику, тому це розв'язання залишаємо як остаточне. Повний результат відображено у табл. 2.19.

Отже, у результаті розв'язання задачі методом послідовної поступки прибуток складає 1 300 000, а ризик – 14 967.

Таблиця 2.19

Розв'язання методом послідовної поступки

№	Ci	X	Qi	n	m	D	Z	S
1	15000	1E-06	0.015000001	1	7.62E-02	0.0015	0.001144	0.0165
4	12000	0.798993	9587.915993	2	1.74E-02	2013.462359	166.5057	11601.38
6	30000	0.119288	3578.640212	1	2.86E-02	357.8640212	102.2866	3936.504
8	10000	0.159685	1596.848676	1	8.26E-02	159.6848676	131.9537	1756.534
11	1000000	0.813728	813728.3942	10	1.74E-02	1296873.493	14131.37	2110602
13	8000	0.327748	2621.982917	1	8.26E-02	262.1982917	216.6644	2884.181
15	5000	0.666499	3332.495701	1	6.55E-02	333.2495701	218.2785	3665.745
Q		r	Ризик кошти		N			
2000000		10%	14967.05996		7			
Zmax		Nmin	Прибуток		Витрати			
15000		7	1299999.953		834446.2927			
Метод послідовної поступки								
№	F1	Поступка	Обмеження	Z				
1	3148739	148739	3000000.071	57949.17				
2	3000000	1500000	1500000.092	43426.65				
3	1500000	200000	1299999.953	17159.39				
4	1300000			14967.06				

2.12. Аналіз результатів формування оптимального кредитного портфеля методами багатокритеріальної оптимізації

Зведемо результати всіх обчислень у табл. 2.20. Метод згортки демонструє відносно низький прибуток порівняно з іншими методами, але й значно нижчий рівень ризику. Витрати банку є найменшими серед представлених методів. Метод головного критерію показує значно вищий прибуток порівняно з методом згортки. При цьому рівень ризику досяг максимально дозволеного значення. Витрати банку

є найвищими серед трьох методів. Метод послідовної поступки демонструє найвищий прибуток серед усіх трьох методів, при цьому рівень ризику є дуже близьким до максимально дозволеного значення.

Таблиця 2.20

Результати розв'язання задачі методами багатокритеріальної оптимізації

Метод розв'язування	Значення критеріїв		Витрати банку	Кількість схвалених запитів	Обмеження на ризик	Розмір кредитного портфеля
	$F_1(x)$	$F_2(x)$				
Згортки	4964.7	1767.7	38 437.4	7	15 000	2 000 000
Головного критерію	1 295 977.4	15 000	833 708.4	7	15 000	2 000 000
Послідовної поступки	1 300 000	14 967	834 446.3	7	15 000	2 000 000

Оцінимо також структуру сформованих кредитних портфелів. На рис. 2.37 можна побачити діаграми, що ілюструють склад портфелів. З діаграм видно, що в результаті методу послідовної поступки портфель складається тільки із фізичних осіб, а при використанні двох інших методів портфель складається на 14% із юридичних осіб, і на 86% - із фізичних.

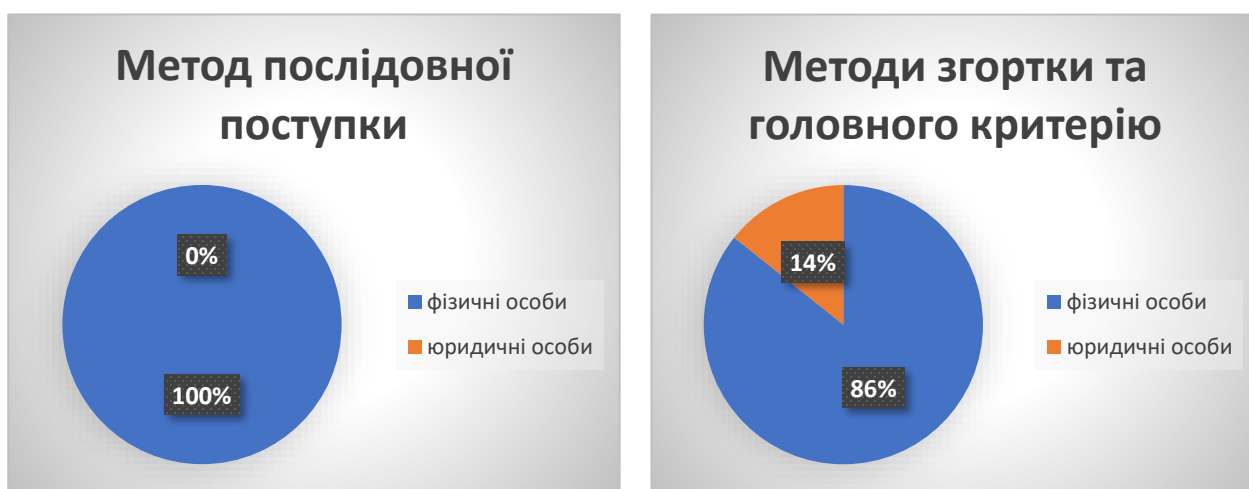


Рисунок 2.37 – Структура кредитних портфелів

Отже, отримано три ефективних розв'язки задачі багатокритеріальної оптимізації. Який із них використовувати, має вирішити особа, яка приймає рішення. Вибір найкращого методу залежить від стратегічних цілей банку, його схильності до ризику та пріоритетності між прибутковістю та безпекою кредитного портфеля.

Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено систему оцінки кредитоспроможності на основі методів штучного інтелекту та вирішено задачу формування кредитного портфеля за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації.

Розроблена система штучного інтелекту, реалізована в середовищі MATLAB з використанням Fuzzy Logic Toolbox, забезпечує комплексну оцінку кредитоспроможності як фізичних, так і юридичних осіб. Створені додатки з графічним інтерфейсом у MATLAB спрощують взаємодію користувачів з розробленою системою, роблячи її зручною для практичного застосування.

Отримані оцінки кредитоспроможності були використані як вхідні дані для задачі формування кредитного портфеля банку. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації (метод згортки, метод головного критерію, метод послідовної поступки) дозволило врахувати множинні критерії (максимізація прибутку, мінімізація ризику) та обмеження (обсяг кредитних ресурсів, мінімальна кількість кредитів) при виборі кредитних заявок.

Порівняльний аналіз результатів, отриманих за допомогою різних методів багатокритеріальної оптимізації, показав, що кожен метод має свої переваги та недоліки. Вибір конкретного методу залежить від стратегічних цілей банку, його схильності до ризику та пріоритетів між прибутковістю та безпекою кредитного портфеля.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було проведено дослідження, спрямоване на підвищення ефективності процесу формування кредитного портфеля комерційного банку.

В роботі було проаналізовано діяльність АТ КБ "ПриватБанк", що дозволило виявити особливості організації процесів кредитування та управління ризиками у банку.

Основним практичним результатом дослідження є розробка системи оцінки кредитоспроможності на основі методів штучного інтелекту та вирішення задачі формування кредитного портфеля комерційного банку за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації.

Розроблена система штучного інтелекту забезпечує комплексну оцінку кредитоспроможності позичальників, враховуючи велику кількість факторів та ефективно працюючи з нечіткою інформацією. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації дозволяє формувати кредитний портфель, який оптимально поєднує критерії прибутковості та ризику, враховуючи обмеження банку.

Таким чином, результати даної роботи мають практичне значення для банківських установ, оскільки вони можуть бути використані для вдосконалення процесів кредитування та управління кредитним портфелем, що, в свою чергу, сприятиме їх фінансовій стабільності та прибутковості. Також результати даної роботи мають значну цінність для мене, оскільки процес дослідження сприяв поглибленню знань та набуттю практичних навичок у сфері кредитування в банківських установах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. АТ КБ «ПриватБанк». Кодекс корпоративного управління. Київ, 2024. 16 с.
2. Офіційний сайт АТ КБ «ПриватБанк». URL: <https://privatbank.ua> (дата звернення: 21.04.2025).
3. Положення про кредитну політику АТ КБ «ПРИВАТБАНК». 51 с.
4. Прострочення кредитів на 180 днів на 1.07.2024 АТ КБ «ПРИВАТБАНК». 3 с.
5. Річний звіт. Акціонерне товариство комерційний банк «ПриватБанк», 2023. 187 с.
6. Шаповал, О. А. Управління ризиками банківського споживчого кредитування : дис. ... канд. екон. наук : 08.00.08. Київ : Київський національний торговельно-економічний університет, 2017. 261 с.
7. Харченко, А. М. Кредитний портфель банків України: аналіз, фактори, тенденції / А. М. Харченко // Вісник університету банківської справи. 2020. № 2. С. 7.
8. Єпіфанов, А. О. Оцінка кредитоспроможності та інвестиційної привабливості суб'єктів господарювання : монографія. Суми : УАБС НБУ, 2007. 288 с.
9. Ус, С. А., Коряшкіна, Л. С. Моделі й методи прийняття рішень : навч. посіб. / С. А. Ус, Л. С. Коряшкіна ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – 2-ге вид., випр. – Дніпро : НТУ «ДП», 2018. 300 с.
10. Молоканова, В. М., Малієнко, А. В., Одновол, М. М., Владико, О. Б. Системний аналіз в управлінні розвитком складних систем : навч. посіб. / В. М. Молоканова, А. В. Малієнко, М. М. Одновол, О. Б. Владико. – Дніпро : Видавець Лізунов Є. В., 2024. 94 с.
11. Желдак, Т. А., Коряшкіна, Л. С., Ус, С. А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень : навч. посіб. / Т. А. Желдак, Л. С. Коряшкіна,

- С. А. Ус ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 387 с.
12. Бугель, Ю. Поняття кредитного портфеля комерційного банку та необхідність ефективного управління ним / Ю. Бугель // Світ фінансів. 2011. № 2. С. 98–107.
 13. Степаненко, С. В., Римар, О. Г., Гулюк, О. І. Методи вдосконалення управління кредитним портфелем банку в сучасних умовах / С. В. Степаненко, О. Г. Римар, О. І. Гулюк // Ефективна економіка. 2021. № 2 (3). С. 80–88.
 14. Офіційний сайт Національного банку України. URL: <https://bank.gov.ua/> (дата звернення: 01.05.2025).
 15. Шалигіна, І. В. Кредитний портфель українських банків під час війни: ефективне формування та мінімізація ризиків / І. В. Шалигіна // Сталий розвиток економіки. 2024. № 2 (49). С. 186–194.
 16. Анікін, В. К., Крилов, Є. В., Пасько, В. П. Теорія прийняття рішень : навч. посіб. / В. К. Анікін, Є. В. Крилов, В. П. Пасько ; М-во освіти і науки України, НТУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Київ : НТУ «КПІ», 2023. 134 с.
 17. Новоселецький, О. М., Якубець, О. В. Оцінка кредитоспроможності фізичної особи-позичальника капіталу банку із застосуванням нечітко-множинного підходу / О. М. Новоселецький, О. В. Якубець // Національний університет «Острозька академія». 2013. С. 6.
 18. Балицька, М., Паржицька, М. Сучасні методи оцінки кредитоспроможності позичальників-юридичних осіб банками України / М. Балицька, М. Паржицька // Київський національний університет ім. Т. Шевченка. 2022. С. 7.
 19. Документація MATLAB [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mathworks.com/help/fuzzy/index.html?s_tid=CRUX_lftnav (дата звернення: 03.04.2025).

21. **Навчальна** практика з обчислень [Електронний ресурс] : методичні рекомендації для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Системний аналіз» спеціальності 124 Системний аналіз / уклад.: Л.С. Коряшкіна, О.М. Алексєєв, Д.М. Гаранжа, Ю.О. Шевченко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 57 с. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/1731>
22. Коряшкіна, Л. С., Станіна, О. Д., & Шевченко, Ю. О. (2024). Практикум з диференційних рівнянь. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/167658>
23. **Програмування** та алгоритмічні мови [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Системний аналіз» зі спеціальності 124 Системний аналіз. У 2 ч. Ч 2 / уклад.: Т.В. Хом'як, Ю.О. Шевченко, Д.М. Гаранжа ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2026. – 48 с. Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/173149>
24. **Кваліфікаційна** робота бакалавра [Електронний ресурс] : методичні рекомендації для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Системний аналіз» зі спеціальності 124 Системний аналіз / уклад.: Т. А. Желдак, Т. В. Хом'як, А. В. Малієнко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 32 с. url: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/170863>
25. **Аналіз** програмного забезпечення [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня бакалавра галузі знань 12 (F) Інформаційні технології / уклад.: О.С. Мінеєв, Ю.О. Шевченко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2026. – 28 с. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/173326>