Міністерство освіти і науки України
Вінницький державний технічний університет

А.О.АЗАРОВА, С.В.ЮХИМЧУК

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РИЗИКУ ДЛЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Монографія

УНІВЕРСУМ-Вінниця
2003

УДК 519.8.816+330.131.700

Ю 94

Рецензенти:

В.Я. Данилов, доктор технічних наук, професор

О.В. Мороз, доктор економічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

С.В.ЮХИМЧУК, А.О.АЗАРОВА

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РИЗИКУ ДЛЯ СИСТЕМ

Ю 94 **ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

МОНОГРАФІЯ. – ВІННИЦЯ: УНІВЕРСУМ-ВІННИЦЯ, 2003.- С.

ISBN

У монографії проаналізовано сучасні математичні моделі ризикових ситуацій, для прийняття рішень в яких використовуються системи підтримки прийняття рішень (СППР). На основі структурної моделі багаторівневої СППР розроблені математичні моделі і алгоритми, що формалізують процес прийняття рішень щодо розв’язання задач банківського кредитування та інвестування. Розроблена модель оцінювання інвестиційної привабливості промислових підприємств, яка враховує як кількісні, так і якісні параметри, що характеризують їх фінансово-господарську діяльність.

Розрахована на наукових, інженерно-технічних працівників, які займаються питаннями розробки і впровадження сучасних інформаційних технологій, а також на аспірантів та студентів вузів III – IV рівня акредитації.

УДК 519.8.816+330.131.7

ISBN

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СППР – система підтримки прийняття рішення;

ОПР – особа, яка приймає рішення;

ПР – прийняття рішення;

ПЕ – пороговий елемент;

НМ – нечіткі множини;

ЦП – цінний папір.

ВСТУП

З початку 70-х років почали інтенсивно вестися роботи щодо автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень, в результаті чого були створені та успішно використовуються нові людино-машинні системи – СППР. За кордоном ці системи відомі під назвою Decision Support Systems [1-8]. Інтерес до СППР як до перспективної галузі застосування обчислювальної техніки й інструментарію підвищення ефективності праці у сфері керування все більш зростає [9-22]. Розробка та реалізація СППР перетворилася за кордоном у галузь бізнесу, що швидко розвивається. У процесі розвитку СППР зміст цього терміна піддавався багатьом перетворенням та поглиблювався. Спочатку використовували так звані ідеальні зразки структури СППР. Потім водночас із розширенням галузі застосування СППР виникла проблема еластичного функціонування цього типу систем, що призвело до змінення відповідних внутрішніх структур. Зрештою, інтенсивний розвиток штучного інтелекту та експертних систем представляє нові інструменти, методи та можливості для побудови систем комп’ютерної підтримки рішень.

СППР – інформаційний інструмент, що складається з відповідної комбінації комп’ютера та програмного забезпечення, а також бази даних і моделей [1]. Відповідно внесок у методологію побудови СППР формують представники принаймні трьох наукових галузей: інформатики, теорії організації та керування, а також психології. Серед вчених, праці яких є значним внеском у розвиток математичного апарату та теорії створення СППР, необхідно зазначити: Канторовича Л.В., Гнеденка Л.В., Бусленка М.П., Вентцель О.С., Міхалевича В.С., Ляшка І.І., Сергієнка І.В., Ситніка В.Ф., Моісеєва М.М., Волковича В.Л., Юдіна Д.Б., Мертенса О.В., Єрмольєва Ю.М., Ларичева О.І., Ємельянова С.В., Єрьоміна І.В., Тюптю В.М., Ястремського О.І., Куксу О.І., Кіні Р., Райфа Х., Неймана Дж., Моргенштерна О., Сааті Т., Беленсона С. та багатьох інших [9-29].

Розвиненість математичного апарату визначила великі можливості комп'ютеризованих засобів прийняття рішень. Завдяки високому рівню розвитку комп'ютерної техніки та відповідного математичного апарату стає можливим застосування комп'ютерного керування в багатьох сферах людської діяльності, зокрема, медицині, автоматизованому керуванні, штучному інтелекті, банківській справі. Специфічністю процесу прийняття рішення у таких галузях є те, що воно здійснюється в умовах ризику.

На думку зарубіжних вчених, використання математичних моделей при аналізі ризику є дуже важливим тому, що [30]:

– кількість впливаючих чинників та складність взаємовідносин між ними може бути дуже великою;

– вони можуть описувати всі можливі ризикові ситуації;

– використання математичних моделей дає можливість ідентифікувати великий спектр можливих рішень, що стосуються розв'язування ризикових ситуацій;

– вони дозволяють обчислити ризик у процесі прийняття ефективного фінансового рішення.

Тому проблема аналізу і оцінювання ризику є актуальною. В існуючих моделях ПР ризик враховується шляхом аналізу множини результатів, що характеризуються відповідними ймовірностями. Це значно ускладнює процес ПР при великій кількості даних та результатів. Тому більш придатним є підхід, в якому ризик враховується на рівні оцінювальних параметрів. Таким чином, виникає необхідність в розробці відповідних моделей, в яких враховується ризик як оцінювальний параметр або сукупність оцінювальних параметрів.

Для формалізації СППР застосовується апарат нечітких множин. Він дозволяє описувати процес ПР природною мовою ОПР, використовуючи причинно-наслідкові зв'язки, що є доволі зручним для ОПР. Крім того, математичний апарат НМ дозволяє формалізувати СППР без обробки об'ємних масивів вхідної інформації, тобто немає необхідності розглядати всі комбінації оцінювальних параметрів. Цей апарат дозволяє приймати рішення для об'єктів, які описуються тільки кількісними або тільки якісними параметрами. Однак, об'єкти, відносно яких необхідно приймати рішення у різних сферах життєдіяльності людини, поруч із кількісними або тільки якісними оцінювальними параметрами можуть характеризуватися кількісно-якісними параметрами, тобто змішаними. Методики формалізації таких СППР є недостатньо розвинутими.

Необхідно зауважити, що проблема прийняття рішення для об'єктів, що характеризуються кількісними оцінювальними параметрами, сформульована давно та найбільш розповсюдженими для її розв'язання є методи ПР, що базуються на лінійній моделі зважених сум та порядкових шкалах. Але при цьому суттєвою проблемою в теорії ПР є відсутність методик, що дозволяють визначати вагові коефіцієнти. Хоча в іншій сфері, а саме при синтезі цифрових схем, для цього застосовують математичний апарат ПЕ. Таким чином, він може бути використаний при формалізації СППР для об'єктів з кількісними оцінювальними параметрами.

Складання відповідних математичних моделей та методик формалізації процесу ПР дає можливість для розвитку відповідних програмних засобів СППР. Впровадження комп'ютеризованих математичних методів оцінювання ризику дає можливість звести ризикованість ПР до мінімуму. Застосування в Україні СППР, що враховують ризик, не є достатньо розвинутим. Водночас застосування розроблених за кордоном СППР в умовах України також неможливо в повному обсязі, тому що вони розраховані на досконалі механізми господарювання, містять переважно результати рекомендаційного характеру щодо прийняття відповідних рішень. Тому, для країн з перехідною економікою актуальним є розробка СППР для вирішення проблем у багатьох сферах людської діяльності, зокрема, економічній з урахуванням ризику й особливостей українського ринку.

1 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Проблема прийняття рішень виникає в багатьох галузях людської діяльності. Причому кожна галузь висуває особливі вимоги, що й зумовило існування різних підходів щодо побудови СППР. Тому необхідним стає огляд цих підходів. Автоматизація процесу прийняття рішень можлива лише при наявності відповідних математичних моделей. Таким чином, виникає потреба в аналізі математичних моделей та методів ПР. Специфічність ПР у багатьох задачах полягає в тому, що необхідно враховувати велику кількість параметрів, обчислювати складні функціональні залежності, виконувати рутинні операції – все це спонукає до застосування сучасних комп’ютеризованих технологій у процесі прийняття рішень. Тому в цьому розділі здійснено також огляд існуючих пакетів прикладних програм щодо прийняття рішень для широкого кола задач.

1.1 Існуючі підходи до побудови СППР

В багатьох галузях людської діяльності виникає проблема прийняття рішення. Прийняття рішень – це невипадковий вибір одного варіанта з принаймні двохелементної множини можливих дій. Вибір цієї дії здійснюється таким чином, щоб була досягнута деяка визначена мета, яка задовільнятиме ОПР. Серед великої кількості рішень можливо відокремити так звані управлінські рішення, які описують необхідні дії інших осіб [1, 59-62]. Управлінські дії диференціюються в залежності від предмета, галузі, важливості, часового горизонту, ступеня неточності ситуації, за якою приймається рішення, та ступеня повторюваності [1].

Рішення, що приймаються на практиці, мають різний ступінь повторюваності – від одноразових рішень (унікальних) до рішень із високим ступенем повторюваності, а також із різним ступенем неточності ситуації, за якою приймається рішення. У зв'язку з цим існує класифікація проблем прийняття рішення, яка виконана з урахуванням знань про їх структури. В ній виділяються такі проблеми [63]: ті, що мають точно визначену та відому структуру; ті, що мають частково відому структуру; ті, що не мають або мають тільки мінімально відому структуру.

При цьому необхідно звернути особливу увагу на залежність між ступенем неточності та ступенем знання структури проблеми, а також на кореляцію між ступенем неточності рішення та горизонтом часу. Чим менш відомою є структура, тим більш неточною є ситуація, за якою приймається рішення. У свою чергу, чим довше період реалізації, тим складніше визначити умови, які можуть мати вплив на успіх та всі можливі наслідки прийнятого рішення.

Складна та маловідома структура проблемної ситуації, велике значення рішень, що приймаються, віддалений часовий горизонт та високий ступінь неточності – це характерні риси так званих стратегічних рішень. При цьому неточність може стосуватися знання наслідків, які можуть викликати вибір певного варіанта або знання множини варіантів, серед якої необхідно здійснювати вибір.

Структуровані рішення охоплюють рутинні проблеми, що повторюються, для яких раніше були розроблені процедури прийняття рішення. Таким чином, немає необхідності у створенні таких процедур знов, коли виникає проблема ПР.

Нові неповторні проблеми, що мають специфічні характерні риси або структура яких є виключно складною, являють галузь неструктурованих рішень. При прийнятті таких рішень, як правило, не існує навіть допоміжних процедур, вони не були об'єктом дослідження. У цьому випадку при ПР необхідно звертатися до здібностей ОПР, його інтелекту, асоціаціям тощо [1].

У роботі [2] визначені характеристики задач ПР, які є найбільш суттєвими з точки зору побудови методів їх розв'язання.

Першою такою характеристикою є наявність (або відсутність) об'єктивної моделі, що пов'язує більшість основних параметрів задач. Існує клас задач ПР, для яких можливо побудувати надійну модель (аналогічну моделям в дослідженні операцій), причому якість отриманого рішення оцінюється за багатьма критеріями.

Другою характеристикою є вимоги, що висуваються до виду остаточного рішення. Найбільш поширеними типами вимог є: 1) виділити один найкращий варіант рішення; 2) розділити варіанти, що розглядаються, на декілька класів рішень; 3) упорядкувати варіанти рішень за якістю.

Третя важлива характеристика пов'язана з тим, наскільки новою для ОПР є проблема, що розглядається.

За інформованістю ОПР можливо розподілити проблеми ПР на два суттєво різних класи – проблеми, де ОПР може сам бути експертом (сам може оцінювати варіанти рішень як в цілому, так і за окремими критеріями) та проблеми, де ролі ОПР та експертів суттєво відрізняються.

Для проблем першого класу характерним є наявність у ОПР уявлення про альтернативний варіант цілісного образу - «гештальта». Часто цей гештальт набагато ширше та глибше ніж його формальне зображення сукупністю оцінок за багатьми критеріями. Якщо проблема знайома ОПР, то він впевнено використовує набір гештальтів у ході її розв'язання [64]. Цей клас проблем називають проблемами цілісного вибору.

Проблеми другого класу характерні для тих випадків, коли ОПР сам по собі не володіє достатньою інформацією, щоб мати уявлення про можливі альтернативи. Для отримання такої інформації необхідна допомога експертів, які володіють спеціальними знаннями. Виходячи з цього, такий клас проблем названо класом критеріально-експертного вибору [2].

Остання важлива характеристика проблеми ПР є її розмірність. Під розмірністю розуміють кількість критеріїв, кількість альтернативних варіантів рішень. Зрозуміло, що розмірність проблеми впливає на вибір метода її розв'язання.

У випадку прийняття рішень у складних задачах, що характеризуються великою розмірністю та широким спектром зовнішніх факторів, що впливають на ПР, використовують СППР, які реалізуються на основі сучасних комп'ютерних технологій.

СППР можливо класифікувати, виходячи з різних точок зору. Якщо їх вважати інформаційним інструментом, що складається з відповідної комбінації комп'ютера й програмного забезпечення, а також БД та моделей, то можна виділити такі підходи щодо побудови СППР: організаційний, управлінський, інструментальний [1].

Представники організаційного підходу акцентують свою увагу на побудові СППР, що сумісні з діями ОПР, реальними процесами, відповідною стратегією та тактикою установи.

При управлінському підході підкреслюється насамперед характер задач, що розв'язуються, (стратегічні, тактичні, операційні або складні – слабоструктуровані або неструктуровані) в процесах прийняття рішень.

Якісні вимоги щодо СППР можна відобразити такими моделями: структури керівництва, ієрархії керування, фаз управлінського процесу, особисностною моделлю ОПР, незалежності ОПР. Окрема СППР не виконує всіх цих вимог. Вимоги, що розглядаються лише у зв'язку одна з одною, дають повне уявлення про цінність конкретної СППР [1].

Модель структури керівництва акцентує увагу головним чином на неструктурованих та частково структурованих проблемах [59].

Модель ієрархії керування забезпечує підтримку ОПР на всіх рівнях керування, а також допомагає в координації цих рівнів там, де це є можливим. Така модель пов'язана з реалізацією задачі підтримки структурованих проблем. Її головна задача – інтеграція та координація прийняття рішень для ОПР, які мають справу із синтезом частини великих проблем.

Модель фаз управлінського процесу – це реалізація ідеї підтримки усіх фаз управлінського процесу. Якщо розділити процес прийняття рішення на декілька фаз (наприклад, розпізнавання, проектування, вибір, оцінювання), тоді можливо отримати додаткову інформацію відносно проблеми, що розглядається. Проблеми можуть бути неструктурованими тільки по відношенню до деяких фаз в рамках прийняття рішення.

Структурована проблема повинна бути структурованою на всіх її фазах. Це означає, що можливо побудувати алгоритми або визначити вирішальні принципи, що дозволяють встановити проблему, спроектувати альтернативні рішення та обрати найкраще рішення.

Особистісна модель ОПР висловлює ідею універсальної підтримки різнорідних процесів прийняття рішень. Інформаційні системи проектування для оперативного рівня менш залежать від інтуїції ОПР чи експерта й тому можуть в значній частині автоматизувати дії, що виконуються людиною. Цим характеризуються добре структуровані задачі. Водночас із зміщенням напрямку до неструктурованих задач та системам стратегічного планування роль інтуїтивного знання збільшується. У процесі ПР для складних проблем інтуїтивні навички людини, таким чином, відіграють домінуючу роль [60].

Модель незалежності ОПР у прийнятті рішення підкреслює його взаємозв'язок та залежність в управлінських процесах. СППР повинна бути здатна до підтримки рішень, при прийнятті яких ОПР – взаємопов'язані або незалежні, тобто коли рішення приймаються колективом або частково декількома особами по черзі.

На інструментальному підході щодо побудови СППР сконцентровано увагу представників інформатики, тобто на можливості найшвидшої розробки основних інформативних інструментів для побудови СППР, генераторів СППР, прикладів специфічного застосування СППР.

З точки зору проектного процесу можливо виділити три рівня СППР. Вони характеризують види апаратного, програмного забезпечення, а також у визначеній ієрархії специфіку задач, для яких побудовано СППР [61].

Перший рівень – це системи, які у наш час удосконалюють працю, тобто специфічні СППР. Такі СППР, на відміну від типових застосувань обробки даних, дозволяють конкретній ОПР або колективу ОПР розв'язати специфічну множину проблем. Прикладом такої системи є система фінансування інвестицій у західних банках.

Другий рівень – це генератор СППР. Це пакет пов'язаного один з одним програмного забезпечення, який дозволяє швидко та легко побудувати специфічну СППР.

Третій рівень – інструменти СППР – охоплює основну галузь технології, яка застосовується для побудови СППР. Найбільша кількість розробок припадає саме на цю категорію інформативних засобів, куди входять, насамперед, нові мови спеціальної спрямованості, удосконалені операційні системи, інструменти для проекції кольорових графічних образів тощо.

Особливістю розглянутих підходів щодо побудови СППР є те, що вони орієнтуються на створення СППР, які призначені для вирішення широкого спектру проблем. Це спричиняє певні складнощі при застосуванні їх для розв'язання конкретних задач. Тому поряд з універсальними СППР доцільно розробляти й спеціалізовані. Однією з галузей, яка потребує використання таких СППР, є банківська справа.

З точки зору процесів, що реалізують СППР, можливо визначити підходи, що засновані на аналізі рішень, дослідженні рішень, обчисленні рішень, процесі їх реалізації [1-8].

Аналіз рішень базується на сучасній теорії прийняття рішень з багатьма цілями в умовах невизначеності або ризику. Даний підхід перш за все спрямований на розробку рекомендацій і розпоряджень щодо того, як приймати рішення; він забезпечує методологію як для структуризації ситуацій, пов'язаних із прийняттям рішень, так і для визначення раціональних варіантів вибору. Суть використання підходу аналізу рішень полягає у розбитті складних проблем на простіші компоненти, які підлягають керуванню. Рішення зображується як послідовність виборів, які обумовлені наслідками попередніх виборів і подіями, якими неможливо керувати. Розподіл функцій між ОПР і засобами підтримки полягає у тому, що ОПР забезпечує всю вхідну інформацію, а система інтегрує цю інформацію для здійснення ранжування різних альтернатив вибору [1-8].

В основі підходу дослідження рішень лежить вибір образу дій ОПР як раціоналіста в обмеженій мірі. Підхід щодо дослідження рішень являє собою процедуру створення СППР як спробу покращити процес прийняття рішення ОПР і підвищити його ефективність. При побудові СППР на основі підходу дослідження рішень використовують складні моделі разом з емпіричними методами для їх застосування, які базуються на дослідженні поведінки ОПР під час прийняття рішення з метою відображення поточного режиму прийняття рішення. Таким чином, хоча при підході дослідження рішень СППР створюються для існуючого процесу прийняття рішень, їх застосовування повинно керувати поведінкою ОПР в межах бажаного процесу [8].

Підхід обчислення рішень базується на застосуванні при створенні СППР методів дослідження операцій. В таких СППР використовуються набори процедур, які реалізують модельний підхід щодо обробки даних і суджень. Модель являє собою такий елемент організації, який створюється для підтримки ОПР суджень і досвіду в процесі прийняття рішення. Процедура спочатку виявляє виражену у словесній формі інтуїтивну версію моделі ОПР. Згодом ця модель може бути перетворена на формалізовану версію в математичній формі. На наступному етапі всі наявні дані, які поєднують оцінки, основані на реальних даних, і власні судження ОПР використовуються для уточнення параметрів моделі й змінних [1-8].

При останньому підході (процес реалізації) до створення СППР основна увага приділяється процесу реалізації. Головна ідея цього процесу полягає в тому, що реалізація систем повинна відбуватись не на заключному етапі її створення, а проводитись паралельно від початку створення системи. Рекомендації щодо реалізації СППР пропонують починати розробку з простої версії, швидко її впровадити на практиці й поступово покращувати та поширювати систему на основі досвіду, одержаного при взаємодії між користувачем, системою й проектувальником [8].

Процеси, що реалізують СППР, не завжди можна описати за допомогою тільки одного підходу. Наприклад, при використанні підходу, що заснований на аналізі рішень, ОПР забезпечує всю вхідну інформацію, а система обробляє її. Але при обробці в певній мірі використовується підхід, заснований на обчисленні рішень. Тобто, при створенні СППР для розв’язання конкретних проблем, будуть використовуватися різні комбінації підходів.

1.2 Моделі та методи прийняття рішень

Наведені підходи щодо побудови СППР свідчать про те, що процес ПР є складним і тому створена спеціальна теорія ПР, становлення якої триває. Існує багато різновидів та типів моделей ПР. Приймаючи за критерій мету, якій відповідає дана модель, можливо виділити моделі, що описують дане явище або систему та моделі рішення, які використовують для прийняття рішень [65-67] .

При аналізі процесів керування крізь призму інформаційних проблем можливо виділити так звані дескрипторні моделі рішення та нормативні моделі.

Дослідження реальних процесів рішення потребує відповіді на питання, які стосуються механізмів та взаємозв'язків цих процесів у практиці керівництва, а також поведінки ОПР у проблемних ситуаціях. Аналізом роду та характеру дій, що складають процес рішення, його взаємозв'язками, роллю осіб або груп осіб у прийнятті рішень займається психологічна теорія рішень (теорія процесу). В рамках цього напрямку вживаються спроби розробити так звані дескрипторні моделі рішення. Ці моделі забезпечують розробку нової стратегії діяльності для підвищення ступеня досягнення мети рішення [1].

Напрямок, який займається розробкою та використанням нормативних моделей, називається формалізованою теорією прийняття рішень або теорією вибору [68]. Його сутність – концентрація на акті вибору рішення, пошук оптимальних рішень, тобто самих найкращих із можливих при визначених початкових принципах. Цей напрямок у широкому обсязі використовує методи та принципи математики, логіки та статистики.

Модель рішення в нормативній теорії рішень є моделлю замкненого характеру. ОПР здійснює вибір, спираючись на знання множини альтернатив, що приймаються, з випливаючими наслідками; систему переваг, яка дає можливість упорядковувати варіанти відповідно з корисністю результатів для ОПР; критерій вибору. В нормативних (кількісних) моделях критерій вибору може змінюватися в залежності від числа та ймовірності появи виділених станів реальних об'єктів. Ці моделі можна використовувати також в умовах впевненості, ризику та невпевненості. В умовах впевненості ОПР знає будь-які можливі стани керованих змінних, а також яка з них з'явиться з ймовірністю, що дорівнює одиниці. Критерій вибору, таким чином, є корисністю даного рішення. Якщо рішення приймається в умовах ризику, то як критерій обирають очікувану корисність результату. При прийнятті рішень в умовах невпевненості використовують різні критерії вибору: максимізація середньої корисності, максиміний, Гурвіца, Лапласа або Севіджа [69].

Практика свідчить, що нормативний підхід застосовують для групи проблем, які гарно або частково слабо структуровані [1, 2].

Найбільшу складність для ПР мають проблеми класу багатокритеріального вибору. Існують такі методи щодо розв’язання цих задач: прямий метод; метод ПР, що повторюються; метод безпосередньої класифікації [2].

Прямими методами називають такі, в яких вид залежності функції корисності від оцінок за багатьма критеріями задається без будь-яких теоретичних підстав, а параметри цієї залежності або також задаються, або безпосередньо оцінюються ОПР.

Найбільш відомим з прямих методів є метод зваженої суми оцінок критеріїв, відповідно з яким корисність U багатокритеріального об’єкту дорівнює

$$U = \sum_{i=1}^{N} w_i x_i ,$$

де x_i - оцінка об’єкта за i-м критерієм (i=1,..,N), що вимірюється за кількісною шкалою;

w_i - вага i-го критерія, що вимірюється також за кількісною шкалою.

Прямі методи звичайно призводять до повного упорядкування варіантів розв’язання, причому розмірність задачі як правило не є суттєвою.

Метод прийняття рішень, що повторюються, використовується в ситуаціях, коли відомі об’єктивні наслідки великої кількості рішень, які повторюються, та можливо підібрати модель, яка найкращим чином передбачить результат рішення, що приймається. Це можливо зробити різними способами [70]. Р. Девіс запропонував використовувати просту лінійну модель зважених сум оцінок критеріїв, не знаючи, що ця модель деякою мірою опише дійсну поведінку ОПР. Він довів у різних експериментах, що модель має добру точність передбачення. Цей підхід отримав назву «бустрепінга» (натягування чобота). За цим підходом, ОПР добре назначають критерії, добре будують шкали, але погано агрегують багатокритеріальну інформацію [64]. В задачах цілісного вибору можливості ОПР великі, завдяки використанню гештальта альтернативи як одної структурної одиниці інформації. В деяких галузях, зокрема, медицині, екології, фінансах необхідно мати більш точні моделі, тому потрібні формалізовані методики визначення ваг критеріїв лінійних моделей. Така методика, наприклад, існує при синтезі схем на ПЕ [71]. Таким чином, виникає задача адаптувати вищезгадану методику до задач ПР.

Метод безпосередньої класифікації застосовується у практичних задачах, в яких необхідно розділити об’єкти на декілька класів [72]. Ці об’єкти характеризуються оцінками за N критеріями. Шкала кожного з критеріїв частіше за все є порядковою та має декілька фіксованих значень.

Припускається, що є декілька рангованих варіантів рішень. Ці варіанти характеризуються лінгвістичними визначеннями. Необхідно побудувати класифікаційне вирішальне правило, яке встановлює для будь-якого довільного сполучення оцінок за критеріями відповідний варіант рішення, що дозволить об’єднувати об’єкти, за якими приймаються однакові рішення, у підмножини, які називаються класами. Особливістю задачі, що розглядається, є використання порядкових шкал критеріїв та упорядкованих класів рішень. Ця особливість може бути врахована при побудові такої процедури опитування ОПР, коли йому для класифікації надається лише порівняно невелика частина сполучень оцінок за критеріями, й отримана інформація дозволяє класифікувати ряд інших векторних оцінок.

При складанні математичної моделі задачі прийняття рішення будь-який процес прийняття рішення характеризується такими елементами [73]:

– ОПР, яка несе відповідальність за наслідки цих рішень;

– множиною змінних, значення яких обираються ОПР (в подальшому керуючі впливи або стратегії);

– множиною змінних, значення яких не регулюються ОПР. Ці змінні можуть залишатися визначеними при розв'язуванні тієї чи іншої задачі, тоді їх називають параметрами задачі. В інших випадках вони можуть змінюватися незалежно від ОПР, тоді вони є збуреннями (визначаються станом зовнішнього середовища). Задається інтервал часу *T*, на якому приймається рішення в задачі, що розглядається;

– математичною моделлю задачі прийняття рішень, що являє собою множину співвідношень, які зв'язують керуючі впливи та параметри задачі, що розглядається, з вихідними змінними;

– обмеженнями, що відображають вимоги, які накладаються ситуацією прийняття рішень на вихідні змінні та керуючі впливи;

– цільовою функцією (критерієм оптимальності), за допомогою якої оцінюються властивості рішення, що обирається. При цьому цільова функція повинна залежати від керуючих впливів відповідно до математичної моделі задачі прийняття рішень.

Виходячи з вищезазначеного, математична модель задачі ПР описується таким відображенням:

$$y:\ \mathbf{X}\times\mathbf{P}\times\mathbf{Q}\ \to\mathbf{Y}, \tag{1.1}$$

де

X - множина керуючих впливів;

P - множина параметрів задачі;

Q - множина зовнішніх збурень;

Y - множина вихідних змінних.

В залежності від вигляду відображення y існують різні типи математичних моделей [73]. В залежності від ступеня мінливості параметрів та зовнішніх збурень моделі можуть бути статичними або динамічними. Якщо параметри **P** та зовнішні збурення **Q** залишаються незмінними в часі, то математична модель буде статичною. У протилежному випадку маємо динамічну модель ситуації ПР. Відображення y, що описує статичну модель, може задаватися різними способами: графічним, табличним, аналітичним тощо. Відображення, що описує динамічну модель, може задаватися різними класами диференційних або різницевих рівнянь.

Математичні моделі розрізняються також виглядом зовнішніх збурень, які можуть бути як невипадковими, так і випадковими. Якщо збурення невипадкові, то їх можна віднести до параметрів **P** задачі, тоді детермінована модель буде описуватися відображенням виду:

$$y:\ \mathbf{P} \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}. \tag{1.2}$$

Якщо збурення є випадковими, то ця модель є стохастичною моделлю задачі ПР. У цьому випадку вихідні змінні будуть також випадковими, їх розподіли при заданих параметрах P будуть визначатися розподілами зовнішніх збурень. Стохастична модель задачі ПР описується загальним відображенням (1.1).

Існує інша математична модель задачі ПР [74]. Під задачею ПР вважають [74] трійку (**X**, F, S), де **X** – множина можливих альтернатив (варіантів, сценаріїв) рішень деякої проблеми, F – принцип оптимальності, S – обмежувальні умови задачі. Конкретизація обмежувальних умов S породжує множину припустимих альтернатив $\mathbf{D} \subseteq \mathbf{X}$, що задовольняють обмежувальним умовам S. Якщо визначені всі три компоненти **X**, F й S, то має місце індивідуальна задача ПР. Рішенням задачі (**X**, F, S) вважається деяка множина $\mathbf{X}^* \subseteq \mathbf{D}$, що задовольняє принципу оптимальності F, який, таким чином, є функцією вибору.

В залежності від повноти інформації про **X** та F в роботі [74] запропонована така класифікація задач ПР: якщо не визначені обидві множини **X** й F, то це - загальна задача ПР; якщо визначено тільки **X**, то це - задача оптимального вибору, причому, якщо **X** – дискретна множина, то цю задачу називають дискретною задачею вибору; якщо визначені як **X**, так і F, то це є звичайна задача оптимізації в загальній постановці.

У роботах [74-78] відзначено, що на практиці при розв'язуванні задач ПР, які складно формалізуються, ОПР не завжди одразу повністю адекватно може описати критерій оптимальності F, тому (1.1) і (1.2) спочатку можуть бути тільки наближенням до початкової проблеми вибору. У роботі [74] запропоновано такі етапи підтримки ПР:

– змістовна постановка конкретної проблеми вибору;

– формування множини припустимих альтернатив;

– опис множини критеріїв (характеристик, показників), відповідно до яких оцінюється ситуація;

– формування експертної групи, отримання експертних оцінок;

– з'ясування переваг ОПР;

– аналіз отриманих даних та визначення ступеня їх повноти й узгодженості (коректності);

– планування обчислювального процесу й розв'язання індивідуальної задачі вибору;

– формування рішення (узагальненого сценарію рішення початкової проблеми);

– аналіз рішення;

– якщо отримані результати не повністю задовольняють ОПР, то уточнюють етапи 3-5 й повторно виконують етапи 6-10.

У залежності від умов зовнішнього середовища та ступеня інформованості ОПР існує така класифікація задач ПР: в умовах визначеності, ризику, невизначеності, конфліктних ситуацій або протидії (наявності активного супротивника) [73].

Прийняття рішень в умовах визначеності характеризується однозначним або детермінованим зв'язком між прийнятим рішенням та його результатом. Основна складність – наявність декількох критеріїв, за якими необхідно порівнювати результати [18, 73,78-80].

Вибір найбільш придатних рішень здійснюється таким чином. Для порівняння різних альтернатив та вибору найкращої серед них спочатку обирають деяку властивість (або сукупність властивостей) альтернатив та будують деяку кількісну міру властивостей, за значеннями якої можна порівнювати альтернативи між собою та обрати найкращу. Таку міру називають функцією корисності, й правила (процедури) ПР використовують теорію корисності, яка була розроблена Дж. фон Нейманом та О. Моргенштерном [12].

Розглянемо прийняття рішень в умовах ризику. Ця задача виникає в тому випадку, коли з кожною стратегією x_i, що приймається, пов'язана ціла множина результатів $\{y_1, y_2, .., y_n\}$ з відомими ймовірностями $P(y_j/x_i)$. Формально модель задачі може бути зображена у вигляді таблиці 1.1. Тут u_{ij} – корисність результату y_j при використанні стратегії x_i. Нехай задані умовні ймовірності $P(y_j/x_i)$ $j = \overline{1,n}$, $i = \overline{1,m}$. При цьому вводять очікувану корисність для кожної стратегії:

$$E\{u(x_i)\} = \sum_{j=1}^{n} u_{ij} P(y_j / x_i),\ i = \overline{1,m}.$$

При такій постановці задачі вирішальне правило для визначення оптимальної стратегії записують так:

$$E\{u(x_i)\} = \max_{x_k} E\{u(x_k)\}.$$

Таблиця 1.1 - Матриця моделі задачі ПР

з урахуванням ризику

x_i \ y_i	y_1	y_2	…	y_j	…	y_n
x_1	u_{11}	u_{12}	…	u_{1j}	…	u_{1n}
…	…	…	…	…	…	…
x_i	u_{i1}	u_{i2}	…	u_{ij}	…	u_{in}
…	…	…	…	…	…	…
x_m	u_{m1}	u_{m2}	…	u_{mj}	…	u_{mn}

Розглянемо прийняття рішення в умовах невизначеності [73]. Одним з визначних чинників в таких задачах є зовнішнє середовище або природа, яка може знаходитися в одному із скінченого числа станів S_1, S_2, .., S_k, які відомі ОПР.

Тоді математична модель задачі ПР в умовах невизначеності може бути сформульована таким чином [73]. Є деяка матриця **U** розмірністю $m \times n$, яка зображається табл.1.1. Елемент цієї матриці u_{ij} можна розглядати як корисність результата y_j при використанні стратегії x_i :

$$u_{ij} = \mathbf{U}(y_j, x_i) \quad j = \overline{1,\ n}\,,\ i = \overline{1,\ m}\,.$$

В залежності від стану середовища результат y_j досягається з ймовірністю $P(y_j/x_i, S_k)$.

Крім того, ОПР розподіл ймовірностей $P(S_k)$ є невідомим. Відносно стану середовища ОПР може висловлювати певні гіпотези. Його гіпотези про ймовірнісний стан природи називають суб'єктивними ймовірностями $P(S_k), k = 1,\ 2, \ldots, K$.

Якщо б величина $P(S_k)$, була відомою ОПР, то це була б задача ПР в умовах ризику. В цьому випадку вирішальне правило x_i визначається таким співвідношенням [73]:

$$\max \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{K} u(y_j, x_i) P(y_j / x_i, S_k) P(S_k).$$

Але стан середовища є невідомим та невідомим є також розподіл ймовірностей $\{P(S_k)\}$, $k = \overline{1, K}$. Суттєвим питанням при цьому є вибір оптимальної стратегії ПР. Для цього існує декілька критеріїв: Вальда, Гурвіца, Лапласа, Севіджа та ін. Вибір критерія є найбільш складним та відповідальним етапом при ПР. Зокрема, якщо приймається дуже відповідальне рішення й навіть мінімальний ризик не є припустимим, то необхідно застосовувати критерій Вальда – гарантованого результату. Навпаки, якщо певний ризик припустимий, то обирають критерій Севіджа [73].

Ризик є поняттям, що використовується у багатьох галузях людської діяльності, в тому числі в техніці, економіці, промисловості й т.п. В кожній галузі є особливості його трактування. Беручи до уваги сучасний складний перехідний період в економіці, особливого значення набуває врахування ризику саме у фінансовій сфері. Тому, далі розглянемо концепцію ризику, що застосовується в економіці.

1.3 Математичні моделі ризикових банківських операцій

В роботах [81-87] ризикова ситуація визначається як ситуація прийняття рішення, в якій шанс виникнення певної події відомий чи може бути обчисленим, або як ситуація, результат якої є невідомим. А сам ризик розглядається як вартісний вираз імовірнісної події, що призводить до збитків [88], або як невизначеність в одержанні певних вигод взагалі чи в одержанні того їх розміру, на який розраховується [89, 90].

Методика вимірювання ризику випливає з його стохастичної суті й базується на трьох основних параметрах, що мають відповідно імовірнісну природу. Це імовірнісні величини, що традиційно визначаються при прийнятті рішення в умовах ризику [81]: очікуване значення деякого показника, його середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації.

У фінансовій сфері існує декілька класифікацій ризиків, які наведені в роботах [30, 81-85] але найбільш поширеною є така, в якій відокремлюють інвестиційний, кредитний, процентний, ринковий та валютний ризики.

Інвестиційний ризик пов'язаний із знецінюванням інвестиційно-фінансового портфелю, що складається з власних та придбаних цінних паперів. Кредитний – пов'язаний з можливістю невиконання позичальником своїх фінансових зобов'язань. Процентний – з можливими коливаннями процентних ставок. Ринковий ризик виникає за умов знецінювання паперів. Валютний ризик з'являється при коливанні курсів валют.

Розробці моделей для визначення інвестиційного, процентного та ринкового ризиків присвячені роботи [30, 31,81-87,91-95].

Основною задачею фінансово-математичного моделювання інвестиційної діяльності банку є визначення ефективної межі інвестицій, що визначається ризико-прибутковим співвідношенням:

$$D = f(E(r), \sigma), \tag{1.1}$$

де

D - портфель з ефективної межі інвестицій;

$E(r)$ - очікувана норма прибутку цінного паперу;

σ - ризик, що пов'язаний із цим прибутком.

У імовірнісних моделях визначення ризику враховують [30,91] такі економічні стани: глибокий спад, стагнація, піднесення, процвітання. При цьому ймовірність виникнення стану – $P(S)$. Кожному S-му економічному стану відповідає своя норма прибутку $r_i(S)$ i-го ЦП. Виходячи з цього, очікувана норма прибутку ЦП буде:

$$E(r_i) = \sum_{S=1}^{l} P(S)\, r_i(S)\,. \tag{1.2}$$

Статистичною мірою ступеня лінійного взаємозв'язку між нормами прибутку i-го та j-го ЦП є співзмінення [32], що обчислюється:

$$\sigma_{ij} = \sum_{S=1}^{l} P(S)\,(r_i(S) - E(r_i))\,(r_j(S) - E(r_j))\,. \tag{1.3}$$

Набір $\alpha = (\alpha_1,...,\alpha_n)$ з частками ЦП α_i складає портфель з очікуваною нормою прибутку портфеля, яка визначається виразом, що наведений у [91,96] так:

$$E(\alpha) = \sum_{i=1}^{n} \alpha_1 E(r_i)\,, \tag{1.4}$$

Ризиком цього портфеля є середнє квадратичне відхилення портфеля [30, 91, 96], що визначається співвідношенням:

$$\sigma_\alpha^2 = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^{n} \sum_{\substack{j=1,\\ i \neq j}}^{n} \alpha_i \alpha_j \sigma_{ij}\,. \tag{1.5}$$

де

α_j - частка j-го ЦП у портфелі.

Ефективною межею портфеля при відповідній кореляції вважається множина недомінованих портфелів, що мають найбільший прибуток при даному рівні ризику або найменший ризик при даному рівні прибутку [30]. Таким чином, критерієм ефективності є відповідне ризико-прибуткове співвідношення портфеля (1.1).

Ефективна межа може бути побудована рішенням загальної задачі мінімізації ризику за Марковицем [91] :

$$\sigma_\alpha^2 = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^{n} \sum_{\substack{j=1\\ i \neq j}}^{n} \alpha_i \alpha_j \sigma_{ij} \to \min x\,. \tag{1.6}$$

При двох обмеженнях на $E(\alpha)$ та α_i :

$$\sum_i \alpha_i E(r_i) - \overline{R}_n(\alpha) = 0; \qquad (1.7)$$

$$\sum_i \alpha_i - 1 = 0,$$

де

$\overline{R}_n(\alpha)$ - бажаний рівень норми прибутку портфеля.

У [30] запропоновано математичну модель, що оцінює основний актив (CAPM), що дозволяє визначити найбільш прибуткові портфелі інвестора при певному рівні ризику. Суть моделі полягає в тому, що для зменшення інвестиційного ризику та отримання «ризико-прибуткових» винагород необхідно придбати комбінацію ринкового портфеля M з безризиковим активом r_f , що дасть можливість при тій самій очікуваній нормі прибутку мати менший ризик.

При цьому враховують основну ринкову лінію, яка є ефективною межею інвестицій. Це рівноважна ринкова ціна ризику, що показує оптимальне «ризико-прибуткове» рішення для ефективного портфеля інвестора. Рівноважна ринкова ціна ризику визначається, коли попит на активи на ринку дорівнює їх пропозиції, тобто при рівноважному стані ринку.

Основний результат моделі CAPM полягає у визначені очікуваного рівня i-го активу:

$$E(r_i) = r_f + \beta_i [E(r_M) - r_f],$$

де

β_i - вимірює ризик окремого i-го активу. Це рівняння визначає, що в умовах рівноваги очікуваний прибуток $E(r_i)$ i-го активу пов’язаний з $E(r_M)$ через ціну ризику [30].

Недоліками вищерозглянутих моделей інвестиційного ризику є те, що більшість з них спирається на рівноважний стан в економіці, тобто коли попит дорівнює пропозиції на цінні папери, але в сучасній українській економіці немає рівноважного стану, тому не можна використовувати ці моделі для створення інвестиційного портфеля українських банків. Крім того, ці моделі більш орієнтовані на позиції фірм емітентів, а не інвесторів в особі банку. Стосовно САРМ та моделей, що походять від неї, треба зауважити, що в них не розглядається часова структура процентних ставок та змінення ризикованості в часі, тобто динамічна структура ризику. Розглянуті рівноважні моделі спираються на досконалий ринок, тому їх не можна застосовувати України в умовах сучасності. Вони є доброю теоретичною базою, але не можуть враховувати весь спектр чинників, що впливають, зокрема, вони не діють при наявності різного оподаткування процентних виплат та дивідендів, та багатьох інших чинниках, що є характерними для країн з перехідною економікою.

Таким чином, практичне використання цих моделей в повному обсязі за умов сучасного українського ринку цінних паперів є неможливим, але є необхідність вивчати математичні моделі, що створені для держав з розвинутою економікою, щоб адаптувати їх до умов українського ринку і використовувати ці результати для складання вітчизняних математичних моделей ризику, що виникає при інвестиційний діяльності банків.

Розглянемо існуючі математичні моделі, що виникають при банківському кредитуванні, – одній з основних операцій банку. При кредитуванні банк піддається фінансовому ризику, що являє собою сукупність процентного та кредитного ризиків [88]. Оцінювання фінансового ризику полягає у визначенні залежності між певними розмірами втрат банку та ймовірностями їх виникнення [81, 84]. Для розрахунку ймовірностей виникнення втрат треба аналізувати статистичні дані, від яких залежить результативність здійснення банкірами тієї чи іншої операції. При цьому для підвищення точності розрахунків необхідно використовувати якомога більшу статистичну вибірку, щоб можна було зробити припущення, що частота виникнення деякого рівня втрат дорівнює ймовірності їх виникнення, тобто ризику [97]. Частота виникнення певного рівня втрат (*Ч*) визначається за формулою [97, 81]:

$$Ч = n/n_{заг} \ ,$$

де n - кількість випадків виникнення конкретного рівня втрат;

$n_{заг}$ - загальна кількість випадків у статистичній вибірці, яка охоплює й успішно здійснені операції даного виду.

Обчислюючи частоту виникнення певного рівня втрат у декількох характеристичних точках, будують криву ризику [81] .

Однією з найпоширеніших математичних моделей визначення максимального рівня ризику (Y_P) окремої операції банку, зокрема, кредитування є модель, що застосовує графік Лоренца [84]. Для побудови графіку частоти розміщують у ростучий рангований ряд за обсягом явищ. Потім підраховуються кумулятивні (накопичені) підсумки. Далі береться квадрат 100*100 й на вертикальній вісі відкладають кумулятивні підсумки частот, а на горизонтальній – кількість зон ризику. Відклавши на графіку напроти відповідних кумулятивних підсумків точки та з'єднавши їх плавною кривою, отримаємо лінію Лоренца (див. рис.1.1).

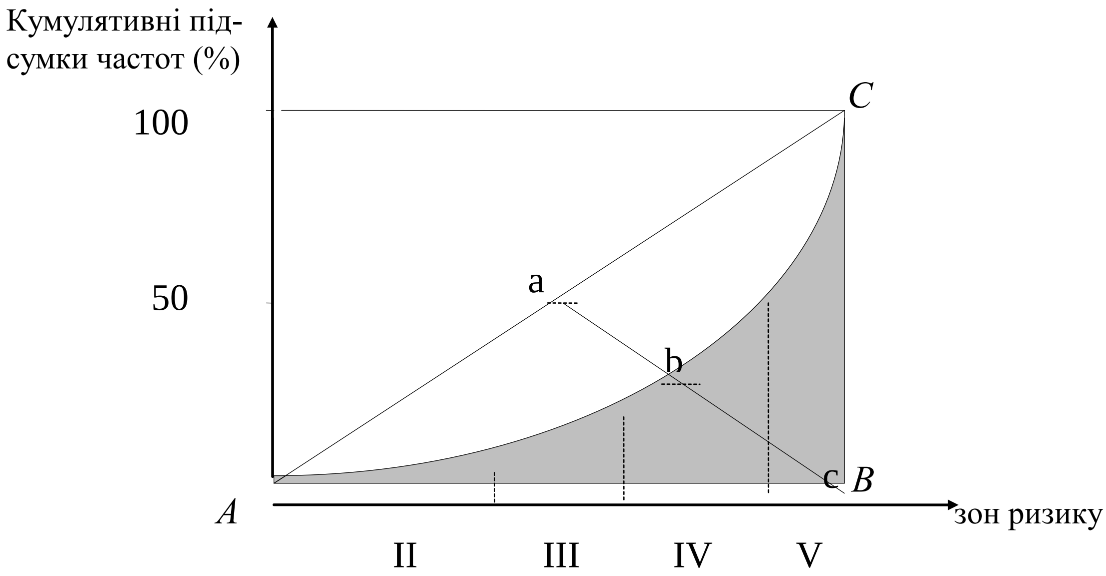


Рис. 1.1 - Максимальний рівень ризику банку щодо кредитування

За відсутності втрат, тобто при роботі у безризиковій зоні, Y_P=0, лінія Лоренца буде прямою. Якщо Y_P>0, тобто рівень ризику підвищується, частота виникнення втрат буде розподілятися нерівномірно. Чим більше Y_P, тим більш опуклою буде лінія Лоренца, тим більше буде відрізок, обмежений цією лінією та лінією рівності. В цьому випадку Y_P підраховується таким чином:

$$Y_P = (1\text{-}ab/ac)*100\% .$$

Опуклість лінії Лоренца може мати й протилежние зображення в залежності від значень кумулятивних підсумків. Якщо лінія Лоренца має протилежне значення, то частота виникнення втрат у зонах катастрофічного й критичного ризику незначна, то обчислення Y_P здійснюється за формулою [84]:

$$Y_P = ab/ac*100\% .$$

Недоліком методу Лоренца є те, що Y_P не буде дорівнювати одиниці при його максимальному значенні. Він буде лише наближатися до одиниці. В останній час набуває широкого застосування метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло). Недоліком цього методу є те, що в ньому для оцінок та висновків використовують імовірнісні характеристики, що не завжди зручно для безпосереднього практичного використання.

У роботах [83, 88, 98-100] та нормативних документах [101,102] надаються тільки рекомендації щодо оцінювання параметрів, які необхідно враховувати при прийнятті кредитових рішень, але відсутні відповідні формалізовані моделі, які б дозволили комп’ютеризувати процес прийняття рішення.

Огляд математичних моделей щодо кредитування показав, що існуючі підходи не дають можливості здійснити кількісне оцінювання ризиків, що виникають при кредитуванні позичальників банками. Крім того, не проводиться кількісний аналіз якісних критеріїв позичальників. Тобто фінансовий аналіз позичальника здійснюється не повністю, що не дає можливості визначити реальний фінансовий стан позичальника й розробити відповідні СППР щодо кредитування.

Потужним інструментом для формалізації СППР є апарат нечітких множин. Він був започаткований Л. Заде у 1965 році [103]. За останнє десятиліття виникло багато публікацій про впровадження цієї теорії у традиційно складені СППР при проектуванні та керуванні [104-112] у багатьох галузях людської діяльності.

В роботі [104] запропоновано декілька науково-методичних принципів, які є корисними при складанні та формалізації будь-яких СППР. Це принцип лінгвістичності остаточного рішення та параметрів, що оцінюють об’єкт. Абстрагуючи ці принципи до загального випадку, можна зазначити, що у відповідності з першим принципом остаточне рішення (вихідна змінна) та оцінювальні критерії (вхідні змінні) необхідно розглядати як лінгвістичні змінні з якісними термами. Лінгвістичною змінною [104] називають змінну, значеннями якої є слова або вислови природної мови, тобто якісні терми. Прикладами лінгвістичних змінних та їх термів (вони надані праворуч у дужках), наприклад, у фінансовій сфері або в промисловості є :

- розрахунок позичальника з попередніми кредитами (не розрахувався; частково розрахувався; не повністю з кредитом й не повністю з відсотками по ньому; не повністю з кредитом, але повністю з відсотками по ньому; повністю в обох випадках);
- визначення функціональної повноти виробленого пристрою (кількість функцій не є задовільною; частково задовільна; задовільна, але тільки за деяких умов; повністю задовільна).

Використовуючи поняття функції належності [104], кожний з лінгвістичних термів можливо формалізувати у вигляді нечіткої множини.

У відповідності з другим принципом, причинно-наслідкові зв’язки між критеріями оцінювання (причинами) та остаточним рішенням (наслідком) необхідно описувати природною мовою, потім формалізувати у вигляді сукупності нечітких логічних висловлювань типу: «якщо – то, інакше» [103]. Сукупність висловлювань «якщо – то, інакше» розглядається як набір точок у просторі «оцінювальні критерії об’єкту». По цих точках з використанням нечіткого логічного виводу складається поверхня, що дає змогу визначити відповідне остаточне рішення (вихідна змінна) за таких значеннях параметрів (вхідних змінних), для яких інформація у базі знань є відсутньою [103], що в свою чергу призводить до такої концептуально важливої тези: «Формалізація СППР на базі нечіткої логіки для загального випадку – це процес прийняття рішення в системі з одним вихідним параметром (відповідним рішенням із загальної множини рішень) з *n* вхідними критеріями (причинами), тобто формалізація причинно-наслідкових зв’язків між критеріями та відповідним остаточним рішенням. Інакше кажучи, потрібно описати ці зв’язки природною мовою з використанням теорії нечітких множин та нечітких змінних [104]».

У [104] запропоновано методику, яка дозволяє складати СППР для об’єктів, що характеризуються тільки кількісними або тільки якісними параметрами. Але на практиці мають справу з об’єктами, що характеризуються сукупністю цих параметрів, тобто змішаними параметрами.

1.4 Автоматизовані засоби прийняття рішень

Використання комп’ютерів дозволяє значно спростити й автоматизувати процес прийняття рішення. За допомогою сучасного програмного й апаратного забезпечення стає можливим розв’язувати в реальному масштабі часу задачі великої розмірності. Крім того існує ряд задач, які можливо розв’язати лише за допомогою суперкомп’ютерів, наприклад, моделювання процесів у СППР методом Монте-Карло, оптимізаційні задачі, задачі теорії ігор та багатоваріантних обчислень [113].

У 80-ті роки і на початку 90-х в Україні велика увага приділялася розробкам ефективних методів і засобів математичного програмування для широкого класу оптимізаційних задач. Створено вітчизняні пакети прикладних програм серії ДИСПРО, ДЕЛЬТАСТАТ, ВЕКТОР-2, ПЛАНЕР [74].

У 90-ті роки в Інституті Кібернетики інтенсивно досліджувалися методи представлення знань про моделі організації обчислень й дружнього інтерфейсу користувача при розробці баз даних і знань для СППР, експертних систем і методів добування знань для них, навчальних систем різної орієнтації [114-120]. Отримали суттєвим розвиток АГ-методи агрегування знань про предметну галузь. АГ-апарат представлення знань є реалізованим як інструментарій реляційно-мережевої СУБД МікроПошук, яка призначена для побудови системи обробки знань й підтримки прийняття рішень [114,115,119]. Ефективність цього інструментарію підтверджено побудовою ряду прикладних систем: системи оболонки «Фактор» для експертного аналізу при обґрунтуванні управлінських рішень .

При розв’язуванні задач дискретної оптимізації різних класів використовуються пакети прикладних програм сімейства ДИСПРО, які включають широкий спектр оптимізаційних методів для розв’язування задач проектування, планування в різних галузях народного господарства [121].

В роботі [122] запропоновано автоматизовану технологію для оцінювання ризику виникнення й прогнозування наслідків незворотних змін на різних рівнях організації екосистем, визначено оптимальне керування ліквідацією негативних наслідків екологічних, техногенних і соціогенних катастроф, знайдено критичні рівні напруги регуляторних відновних механізмів і резервів систем, при досягненні яких різко зростає ризик надзвичайних ситуацій.

У даній роботі описано програмне забезпечення для розв’язування низки оптимізаційних задач щодо мінімізації швидкості зниження матеріального рівня життя, рівня невідновних ресурсів, ризику катастроф і проведення досліджень залежності припустимих рівнів антропогенного навантаження від резервних можливостей екосистеми. Розглянутий підхід щодо визначення оптимальних співвідношень вигод/витрат й розробки найбільш ефективної стратегії ліквідації наслідків екологічних катастроф було реалізовано у вигляді програмного комплексу, який працює в середовищі Windows.

У роботі [123] розроблено машинну реалізацію інформаційної моделі пацієнта, яка містить алгоритм роботи лікаря з хворим. Система, що розглядається, складається з трьох частин: бази даних, підсистеми генерації звітів і графічного інтерфейсу користувача. Вона забезпечує формування масивів результатів і вільний доступ до окремих документів бази даних. Робота з системою базується на використанні меню та підказок мовою користувача. Введення та редагування інформації у базах даних здійснюється з урахуванням контролю інформації, яка вводиться. Система орієнтована на спеціалістів урологів. Вона функціонує на персональній ЕОМ типу IBM PC/AT стандартної комплектації з об’ємом оперативної пам’яті не менше 640 Кб.

Для планування економіки було створено діалогову систему, яка стала засобом не тільки для балансування, але й для глибокої оптимізації планів [124, 125] господарювання. При цьому система ДИСПЛАН сприймалася як ядро нової технології усього планування. Ця технологія призначена для довго- та короткострокового планування в державних масштабах. Впровадження системи дозволяло в найкоротші строки коригувати міжгалузевий баланс.

Для прогнозування економіки України у 1996 р. було розроблено систему моделей – УКР-МАКРО-2 [74], яка є інструментарієм для отримання альтернативних прогнозових рішень соціально-економічного розвитку України з урахуванням різних сценаріїв. При розробці методології моделювання у цій системі враховані особливості перехідного періоду від планової економіки до ринкової.

У роботі [74] описано створення алгоритмічних засобів та досвід розв’язання практичних задач побудови СППР. Було запропоновано СППР «Альтернатива» та ще цілий комплекс спеціалізованих СППР. Ця СППР орієнтується на розв’язання слабоструктурованих проблем оптимального вибору та призначена для безпосереднього використання ОПР з метою систематизації й інформаційно-аналітичної підтримки своєї діяльності. Система дозволяє підвищувати ступінь обґрунтованості рішень в ситуаціях, коли необхідно із заданої скінченної множини можливих альтернатив виділити одну або декілька кращих альтернатив з урахуванням переваг ОПР, і на основі аналізу оцінок, які виставляються декількома експертами за критеріями, що мають якісний характер. Вибір здійснюється на основі результатів розв’язання спеціальної задачі нелінійного програмування, яка формується шляхом відображення думки кожного експерта в точку простору припустимих оцінок, а підсумковий результат визначається на базі розв’язання задачі оптимізації, яка є одним з підкласів відомої задачі Вебера [126]. Структура СППР «Альтернатива» забезпечила можливість адаптації її до конкретних проблемних та програмно-технічних середовищ (підключення до інтегрованих програмних систем, які реалізують комплексні інформаційні технології, зв’язок із СУБД, робота в локальних мережах).

Можливість адаптації компонент та засобів створеної інформаційної технології до нових класів проблем була підтверджена в роботах [127, 128]. Ця технологія покладена за основу ряду СППР, які використовуються при формуванні відповідальних рішень на державному рівні (у зв’язку з приватизацією, вибором економічних стратегій та прогнозуванням розвитку України на макрорівні, питаннями безпеки) [129].

Недоліком розглянутих програмних продуктів є те, що вони не можуть бути безпосередньо застосовані для ПР за умов ризикових банківських операцій.

На сучасному етапі становлення ринкових відносин в Україні тільки започатковується розробка комп'ютеризованих СППР щодо прогнозування та вимірювання банківських ризиків. Фінансовий менеджмент західних країн має відповідні прикладні пакети програм та експертні системи, що дають можливість визначати ризикованість деяких банківських операцій, зокрема, інвестування. Тому при огляді програмних засобів СППР для прогнозування ризиків переважно наводяться закордонні роботи.

Найбільш поширеними серед пакетів програм, що реалізують СППР в різних сферах людської діяльності, є Expert Choice, Decision Master, Decision Aid, ORION, Arborist [32-58].

Система Expert Choice є структурованою СППР, яка дає користувачу графічне зображення, що дозволяє приймати складне рішення з мультиплікативним критерієм оцінювання в таких галузях як фінанси, спорт, культура, клімат, відпочинок. Розглянуто кількість атрибутів, за якими обирають необхідну галузь прийняття рішення. Недоліком цієї СППР є наявність багатьох обмежень на кількість атрибутів та відповідних альтернатив прийняття рішень.

Пакет Decision Master дозволяє користувачу приймати рішення, що включає мультиплікативний вибір та мультиплікативний критерій для кожного вибору. Цей пакет дозволяє кожному критерію бути окремо зваженим, та кожна альтернатива або критерій повинні рангуватися.

Комп'ютерне консультаційне програмне забезпечення Decision Aid орієнтується на проблемну підтримку прийняття рішення в умовах ризикових ситуацій, складається з багатьох компонентів, таких як: індивідуальна імітація вибору рішення, часовий аналіз та планування, мультиплікативна регресія, статистичне тестування гіпотези, фінансове планування проектування менеджменту.

Пакет ORION забезпечує систему аналізу даних для маркетингу та фінансового менеджменту. Він дозволяє прогнозувати продаж, аналізувати ринок цінних паперів, планувати потік готівки, здійснювати чартинговий контроль якості та графік випуску з урахуванням ризикових ситуацій.

Пакет Arborist є інструментом для прийняття рішення при розв’я-зуванні ризикових ситуацій, що зображується деревом рішень. Широко використовуючи графіки, програма дозволяє користувачу спостерігати ціле дерево рішення або його частку за допомогою багатовіконної системи. Arborist використовується для фінансового планування та інвестиційного аналізу.

Розглянуті пакети призначені для розв’язування широкого кола задач, тому вони дають тільки загальне уявлення про ризикованість операцій, не спираючись на їх специфіку, що є суттєвим недоліком. Крім того, в них розглядається тільки ризик при інвестиційних вкладеннях,
тоді як існує широкий спектр різновидів ризику [81-88].

Якість прийняття рішення залежить від якості прогнозування. Необхідно зауважити, що прогнозування є важливим при складанні СППР, які враховують ризик. При цьому використовують такі формальні методи прогнозування: логічні, обчислювальні й асоціативні та часові моделі [32]. Найкращим методом прогнозування, зокрема, ризикової ситуації, є той, на який сукупні витрати мінімальні, але, виходячи з того, що деякі з цих витрат складно вимірювати, а часом і неможливо, то «кращий метод» прогнозування складно визначити. З використанням комп’ютеризованих СППР, що дають можливість програмувати рутинні операції прогнозування, вартість та час, витрачені на прогнозування, значно зменшилися. Це дало можливість застосовувати софістичні методи прогнозування, які забезпечують вищий рівень точності прогнозування при менших витратах [32].

Складність методів прогнозування ризикових ситуацій принципово вимагає використання комп'ютерів. Тому на ринку програмних продуктів існує велика кількість пакетів для мікропрогнозування [32]. В табл. 1.2 наведено найбільш розповсюджені пакети СППР для персональних комп'ютерів. Більшість із цих статистичних пакетів застосовують рутинні операції для прогнозування деяких видів ризиків. Крім того вони є гнучкими, дозволяють користувачу вносити свої дані. Докладно характеристики та можливості пакетів, що наведені у табл. 1.2, надані в роботі [32].

Таблиця 1.2 - Пакети для мікропрогнозування

Назва	Продавець
Autobox , BOXX	Automatic Forecasting Systems, Inc. (Хатборо, шт. Пенсільванія)
EXEC*U*STAT	EXEC*U*STAT Inc. (Прінстон, шт. Нью-Джерсі)
Forecast Master	Scientific Systems, Inc. (Кембрідж, шт. Массачусець)
Forecast Plus	Walonic Associates (Міннеаполіс, шт. Міннесота)
FuturCast	Futurion Assoc, Inc. (Пітсбург, шт. Каліфорнія)
Micro TSP	McGraw-Hill (Нью-Йорк, шт. Нью-Йорк)
Soritec Econometrics	The Soritec Group (Спрінгфілд, шт. Вірджінія)
SPSS/PC+	SPSS, Inc. (Чікаго, шт. Іллінойс)
Systat	Systat, Inc. (Еванстон, шт. Іллінойс)
Forecasting Edge	Human Edge Software (Пало-Альто, шт. Каліфорнія)
1, 2, 3 Forecast	1, 2, 3 Forecast (Салем, шт. Орегон)

Виходячи зі складної структури багатьох інвестиційних проектів, дуже складно повністю вилучити затримки, непередбачені чи зайві витрати, що призводять до ризику. Але, використовуючи відповідні СППР щодо планування, організації, контролю інвестиційних процесів, можливо зменшити їх до мінімального рівня. Основна мета застосовних менеджментських пакетів PERT та CPM – це об'єктивно ідентифікувати критичні події чи процеси, що призводять до ризику [32]. Прийняття рішення за допомогою систем PERT/CPM здійснюється в три етапи: формування вхідних даних, отримання вихідних даних (рішень) й аналіз. Рис. 1.2 ілюструє основні етапи, з яких складається кожна фаза. PERT має більше можливостей ніж тільки інстру-

Рис. 1.2 - Основні етапи ПР в системах PERT/CPM

ментарій для контролю й планування інвестиційного процесу. Він також використовується для виявлення ризику та керування ним, з'ясовуючи затримки в проекті. Ця системи дозволяє здійснювати критичний аналіз, причому розглядається ймовірність закінчення проекту вчасно, до або після визначеної в графіку дати. Цей метод має суттєві обмеження, тому що він може бути використаний тільки за таких умов [32]:

- велика кількість подій (≥25) на критичному шляху;
- термін закінчення подій не залежить у однієї від іншої;
- на некритичних шляхах не знаходиться ступінь ризику.

Системи PERT/CPM взагалі дуже об'ємні та потребують частого перепланування або модернізація [32]. Тому розроблено багато комп'ютерних програм, щоб виконувати частину або загальний їх аналіз цих систем. Вхідна/вихідна інформація для звичайного аналізу ризику вказана на рис. 1.3.

Програмне забезпечення контрольного пакету є доступним для будь--якого апаратного забезпечення. Пакетами, що реалізують системи PERT/CPM для визначення ризику, є: PAC II, PAC III, Quicknet, Artemis. Вони рангуються, виходячи з їх можливості. Перелік таких програмних за -

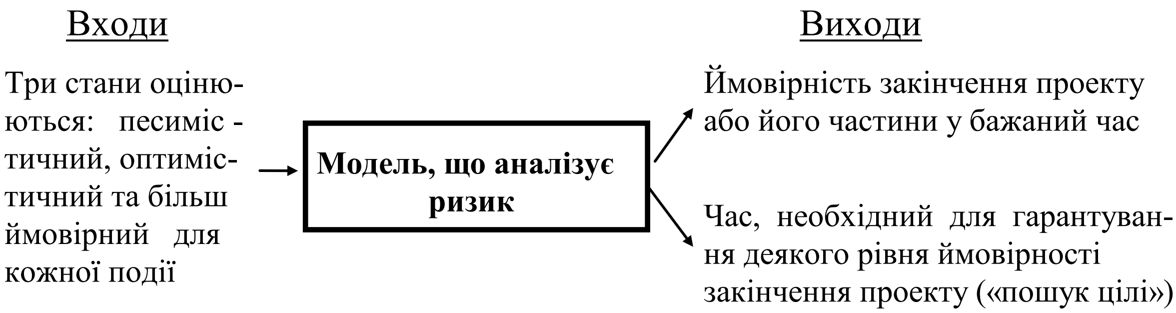


Рис. 1.3 - Вхідна та вихідна інформації для PERT/CPM

собів для виконання окремих операцій, які називаються мікро-пакетами, надано у таблиці 1.3. Вони детально описані у роботі [32].

Таблиця 1.3 - Перелік PC- орієнтованого проекційно-керуючого програмного забезпечення СППР, що враховує ризик

Комп'ютерний продукт	Продавець
Advanced Project 6	Softcorp. Inc. Клірвота, шт. Вірджинія
Harvard Project Manager	Software Publishing Co., Маунтин Вью, шт. Каліфорнія
MacProject	Apple Computer, Inc., Купертіно, шт. Каліфорнія
Microsoft Project	Microsoft Corp., Норсап Вей, шт. Вашингтон
Milestone	Digital Marketing Corp., Волнат Грік, шт. Каліфорнія
Planning Pro	Kepner-Tregoe Inc., Прінстон, шт. Нью-Джерсі
Project Scheduler Network	Scitor Corp., Фостер сіті, шт. Каліфорнія
PC MIS	Davis and Associates, Атланта, шт. Джорджія
Project Manager IBM	Institute of Industrial Engineering, Норкрос, шт. Джорджія
Project Workbench	Applied Business Technology Corp.
Superproject Plus	Computer Associates International, Сан-Хосе, шт. Каліфорнія
Scheduling and Control	Softext Publishing Corp., Нью-Йорк, шт. Нью-Йорк
The Project Manager IBM	Wiley Professional Software, Нью-Йорк, шт.Нью-Йорк
VisiSchedule	Paladin Software Corp, Санта-Клара, шт.Каліфорнія

Широке розповсюдження отримали імітаційні моделі корпоративного планування, особливо фінансових його аспектів, що дозволяють аналізувати ризик [32]. За останні декілька років найбільш відомі корпорації (Sears, GM, JC Penney, New York Times, Eli Lilly, AVCO, Monsanto) вже розробили свої корпоративні імітаційні моделі, які мають можливість аналізу ризику. Системи підтримки прийняття рішення (DSS- Decision Support Systems), які визначають ризик, широко застосовуються у багатьох банківських та інших фінансових установах. Найбільш поширеними DSS є ті, що реалізують рутинні операції метода Монте-Карло. Він є одним з імітаційних методів, що дозволяє визначити ризик шляхом випадкового опробовування розподілів імовірності, яке описує різні життєві процеси.

Виходячи з переліку існуючих прикладних програм та комп'ютерних пакетів, які допомагають аналізувати ризик, можна зауважити, що зарубіжний аналітичний менеджмент широко застосовує комп'ютерні засоби при складанні СППР, які враховують ризик. Але більшість пакетів є дуже узагальненими й не мають інструментів для визначення кількісної оцінки ризику, ідентифікації його в загальній структурній класифікації ризику, що надало б можливість розробки відповідних методик його зниження. Крім того, ці пакети орієнтуються в більшості на ризик, що виникає при інвестиційних операціях, але сучасні, зокрема, банківські установи в роботі враховують велику кількість ризиків з багатьох банківських операцій [81-88].

Вищерозглянуті СППР широко застосовуються промисловими та фінансовими закладами закордонних країн, але ці пакети не є придатними для застосування в умовах українського господарювання. Існуючі комп'ютерні пакети СППР розраховані на досконалий ринок й не орієнтуються на банківські установи країн з нестабільною перехідною економікою, тому, наприклад, українські банки не можуть використовувати їх для прийняття рішення в умовах ризику, зокрема для деякої банківської операції. Вони орієнтуються на інші системи планування промислового устрою й фінансового і статистичного аналізу, ніж ті, що існують в Україні та пристосовані до розвинутих ринкових відносин.

Усі ці чинники вказують, що недоцільно купувати дороге комп’ютерне забезпечення, оскільки воно не враховує специфічності українського фінансового аналізу, промисловості й нестабільності ринку взагалі. Але вони є суттєвою та корисною базою для складання вітчизняних моделей та відповідного комп’ютерного забезпечення для прийняття рішення в умовах ризику, що забезпечить автоматизацію, надійність та прибутковість роботи багатьох систем людської життєдіяльності, зокрема, банківської системи. А це, в свою чергу, позитивно вплине на економіку нашої країни у цілому.

2 МОДЕЛІ, МЕТОДИКИ ТА АЛГОРИТМИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ БАГАТОРІВНЕВОЇ СППР

У даному розділі розглядаються питання щодо розробки загальної структурної моделі багаторівневої СППР, яка може бути використана для розв'язання багатьох управлінських задач. Але серед цих задач існують такі, що мають кількісні вхідні параметри або кількісно-якісні, тобто, змішані. Тому розробляються методики та алгоритми формалізації СППР з кількісними вхідними параметрами на базі математичного апарату ПЕ та зі змішаними – на базі математичного апарату НМ.

2.1 Узагальнена математична модель багаторівневої СППР

У багатьох задачах ПР необхідно здійснити розбиття множини досліджуваних об'єктів на підмножини, тобто зробити їх сортування за певними критеріями. Далі постає задача оптимізувати побудовані підмножини об'єктів. Пропонується така формалізація вищезгаданих задач ПР.

ПР описується множиною $\mathbf{R}=\{\mathbf{O}, \mathbf{X}^*, \mathbf{X}, \mathbf{Q}, \mathbf{D}, \mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3\}$,

де

$\mathbf{O} = \{o_m\}$ – множина досліджуваних об'єктів, $m=\overline{1,M}$;

$\mathbf{X}^* = \{x^*_c\}$ – множина первинних вхідних параметрів, $c=\overline{1,t}$;

$\mathbf{X} = \{x_i\}$ – множина оцінювальних параметрів, $i=\overline{1,n}$;

$\mathbf{Q} = \{q_k\}$ – множина вихідних параметрів, $k=\overline{1,l}$;

$\mathbf{D} = \{d_j\}$ – множина критеріїв, за якими здійснюється сортування, $j=\overline{1,S}$;

$\mathbf{F}_1$: $\mathbf{X}^* \rightarrow \mathbf{X}$ – функція перетворення оцінювальних параметрів;

$\mathbf{F}_2$: $\mathbf{O}^* \rightarrow \mathbf{O}_j$ – функція сортування;

$\mathbf{F}_3$ – функція оптимізації.

Для отримання остаточного результату **Q** при ПР, виходячи з множини первинних вхідних параметрів $\mathbf{X}^*$, необхідно реалізувати вищевказані функції в такій послідовності:

$$\mathbf{X}^* \xrightarrow{\mathbf{F_1}} \mathbf{X} \xrightarrow{\mathbf{F_2}} \mathbf{O} = \{\mathbf{O_j}\} \xrightarrow{\mathbf{F_3}} \mathbf{Q}. \qquad (2.1)$$

Таким чином, СППР повинна містити 3 рівня, кожен з яких призначений для реалізації відповідної функції. Виходячи з цього, пропонується загальна структурна модель багаторівневої СППР, що наведена на рис. 2.1.

Раціональність остаточного рішення суттєво залежить від обсягів та якості отриманої первинної інформації $\mathbf{X}^*$ про елемент $o_m \in \mathbf{O}$. Вона може бути отриманою як від зовнішніх, так і внутрішніх джерел. На базі цієї інформації на першому рівні визначається множина **X** оцінювальних параметрів x_i, $i = \overline{1,n}$, що оцінюють відповідний елемент. Відбір оцінювальних параметрів x_i повинен задовольняти певним вимогам [7].

Для будь-якої проблеми, що пов'язана з прийняттям рішення, важливо, щоб використана множина оцінювальних параметрів була повною – охоплювала всі важливі аспекти проблеми; дійовою, тобто корисною при аналізі; мінімальною – щоб розмірність проблеми залишалася по можливості мінімальною й не дублювалося врахування різних аспектів. Ці вимоги детально висвітлені у роботі [7].

Більшість елементів, відносно яких приймається рішення, мають поруч з кількісними й якісні параметри оцінювання. Наявність підмножини якісних параметрів випливає із специфіки задачі, що розглядається. На першому рівні обчислюються значення оцінювальних параметрів x_i, $i = \overline{1,n}$ на базі множини функцій fi_1, $fi_1 \in \mathbf{F}_1$.

Слід відзначити ще одну особливість формування множини **X**. Прийняття рішення в умовах ризику може бути здійснено як описано в підрозділі 1.2. Але в загальному випадку при великій кількості k станів природи s_a, $a=\overline{1,\ k}$, виникає необхідність обчислення k-раз процедури ПР, що значно ускладнює процес ПР. Тому на практиці більш доцільним може бути введення додаткових параметрів ризику. Тоді при формуванні множини **X** використовується методика обчислення ризикових параметрів, що була розглянута у підрозділі 1.3. При цьому ускладнюється процедура формування множини **X**, але обчислення шуканого рішення здійснюється тільки один раз.

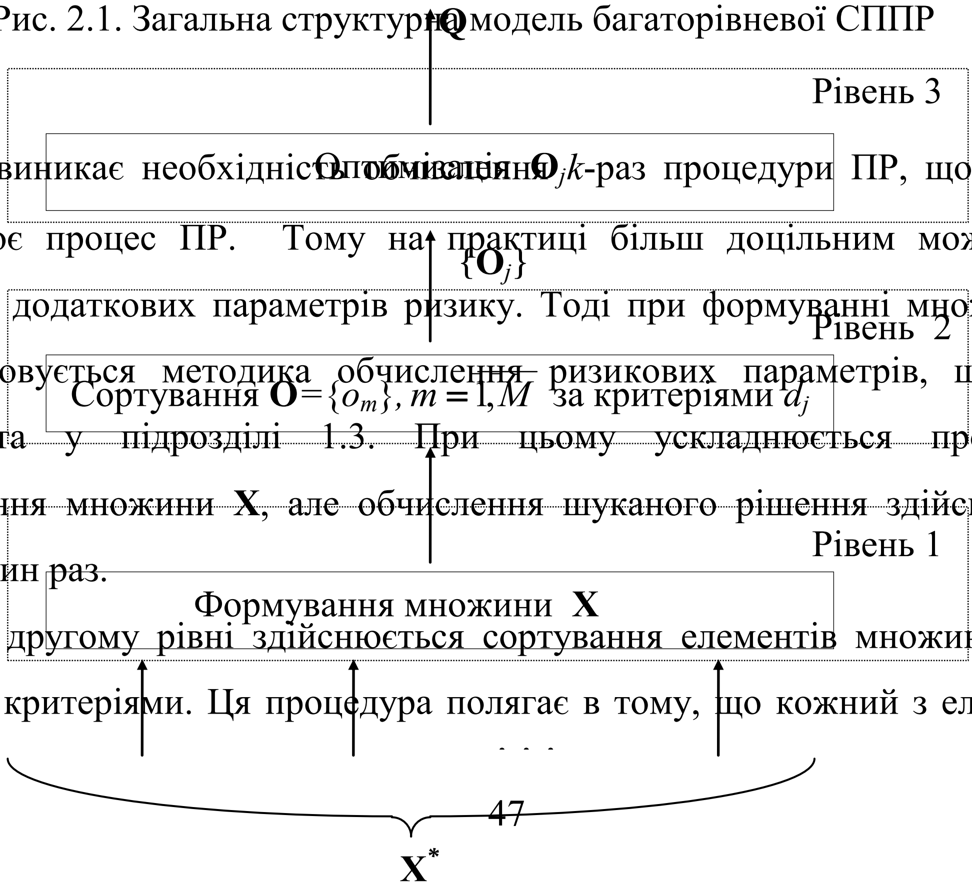


Рис. 2.1. Загальна структурна модель багаторівневої СППР

На другому рівні здійснюється сортування елементів множини **O** за певними критеріями. Ця процедура полягає в тому, що кожний з елементів

o_m відноситься до відповідної підмножини $\mathbf{O}_j$, виходячи із критеріїв d_j , $j=\overline{1,S}$.

На третьому рівні будь-яка із сформованих підмножин $\mathbf{O}_j$ може оптимізуватися за певною цільовою функцією, використовуючи відповідний математичний апарат [130-136].

Реалізацію кожної з множини функцій $\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$ і $\mathbf{F}_3$ у загальному вигляді можна представити як відображення множини **A** початкових даних на множину B вихідних даних: $F\colon \boldsymbol{A} \to \boldsymbol{B}$.

Для більшості реальних задач функція F є дуже складною, тому на практиці використовують декомпозицію складної функції F на набір більш простіших функцій. На структурному рівні реалізація кожної з функцій здійснюється окремим шаром, що входить до складу системи. Існує три варіанти реалізації функції F.

Перший варіант полягає у послідовній багатошаровій реалізації функції F. Цьому процесу відповідає схема, що наведена на рис.2.2. На першому шарі вхідний набір змінних $\boldsymbol{A}_1$ із множини $\boldsymbol{A}$ є вхідною інформацією для функції f_1 . Вхідними даними для функції f_2 є результат розв'язання задачі, що описується функцією f_1 та вхідний набір $\boldsymbol{A}_2$. У загальному випадку вхідними даними для функції f_i є результат функції f_{i-1} та вхідний набір $\boldsymbol{A}_i$, $i=\overline{1,\ k}$. З урахуванням цього і здійснюється розбиття загальної задачі, що описується функцією F на підзадачі, що описуються функціями $f_1,\ldots,f_k$.

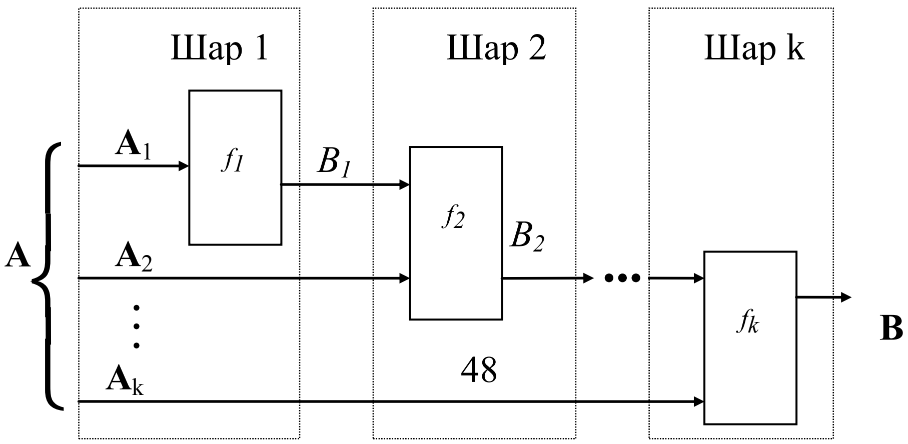


Рис.2.2 - Послідовна реалізація функції F

Другий варіант реалізації функції F полягає у паралельній багато-шаровій реалізації функцій. Схему такого варіанту наведено на рис. 2.3.

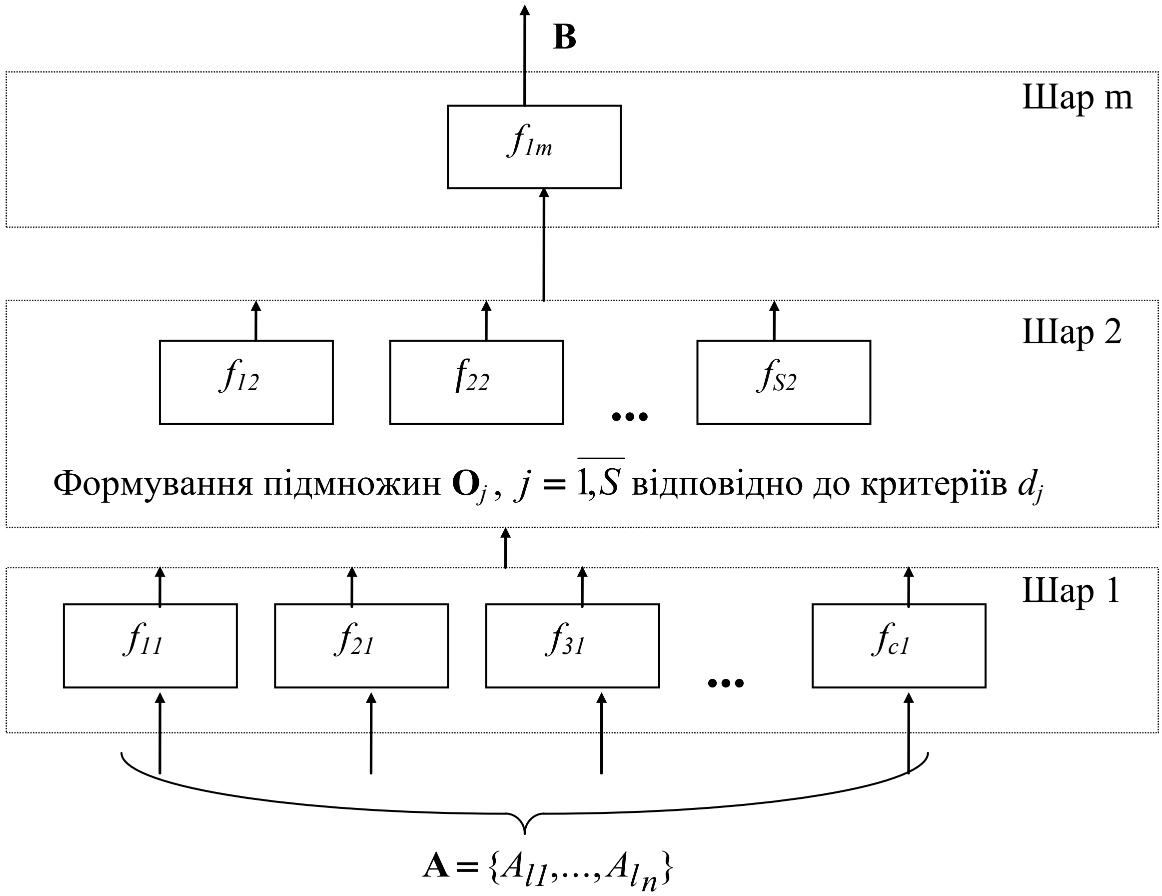


Рис.2.3 - Паралельна реалізація функції F

Особливістю схеми є те, що вхідними даними для функцій f_{l1}, $l=\overline{1,c}$ першого шару є елементи множини $\mathbf{A}=\{A_{l1},..,A_{ln}\}$, при цьому деякі з цих функцій є неперетворювальними, тобто відображають $A_{l1}\to A_{l1}$. Вхідними даними для j-го шару $j=\overline{1,m}$ є вихідні результати, отримані на (j-1)-му шарі. Остаточний результат **B** – множина вихідних параметрів формується на виході *m*-го шару.

Третій варіант реалізації функції F є комбінацією першого та другого варіантів.

Вхідні дані можуть бути як кількісного, так і якісного типу. А якщо функції здійснюють перетворення тільки одного типу даних, то виникає необхідність перетворення іншого типу в той, в якому виконується перетворення. Тобто в цьому випадку вводяться додаткові функції, що пов’язані з перетворенням типів вхідних даних, які реалізуються до початку розв’язування задачі.

У подальших дослідженнях для формалізації багаторівневих СППР автор пропонує використовувати такі підходи. Для формалізації СППР з кількісними оцінювальними вхідними параметрами – математичний апарат ПЕ, а для СППР із змішаними вхідними параметрами – математичний апарат нечітких множин.

2.2 Методики та алгоритмів формалізації СППР з кількісними параметрами на базі математичного апарату ПЕ

У багаторівневій СППР, що описана у підрозділі 2.1, для отримання остаточного результату **Q** необхідно реалізувати послідовність функцій (2.1), змінними для яких є множини первинних вхідних параметрів $\mathbf{X}^*$ та оцінювальних параметрів **X**. Виходячи з цього, автор пропонує таку загальну методику формалізації СППР.

1. Формулюється мета ПР, для якої визначається множина вихідних параметрів **Q**.

2. Визначається множина оцінювальних параметрів **X**. Оскільки множина **X** може містити складні оцінювальні параметри, то визначається множина первинних вхідних параметрів $\mathbf{X}^*$ та функції $f_{1c} \in \mathbf{F}_1$, що пов'язують x^*_c та x_i, $c = \overline{1,t}$, $i = \overline{1,n}$.

3. Складається (обирається) функція оптимізації.

4. Визначаються критерії d_j, $j = \overline{1,S}$, за якими здійснюється сортування елементів множини $\mathbf{O}=\{o_m\}$, $m = \overline{1,M}$.

Розглянемо методику формалізації СППР з кількісними параметрами на базі математичного апарату ПЕ, виходячи із загальної методики.

Для багатьох класів задач ПР метою є формування множини елементів з певними їх кількостями. Кількості цих елементів утворюють множину $\boldsymbol{Q}=\{q_k\}$. Всі елементи множини характеризуються певним параметром, відносно якого здійснюється оптимізація. Нехай це – параметр x_i. Тоді функція оптимізації буде мати вигляд:

$$f(x_1,...,x_m) \to min(max), \tag{2.2}$$

де $f(x_1,...,x_m)$ – залежність, яка описує зв'язок параметрів x_i між собою.

Виходячи зі специфіки конкретної задачі, здійснюється вибір кількості S підмножин $\boldsymbol{O}_j$. Віднесення до кожної підмножини здійснюється за певним критерієм d_j, $j = \overline{1,S}$. Існують багато критеріїв [130-136], але жоден з них в повній мірі не відповідає специфіці сортування, яке реалізується на одному з етапів ПР. Тому автором пропонується використовувати критерій, який складається з двох частин: перша – належність значення оцінювального параметру деякому діапазону його змінення; друга – ступінь впливу цього параметру на прийняття відповідного рішення [137].

Нехай кожний елемент o_m з множини $\boldsymbol{O}$ характеризується деякими параметрами x_i, $i = \overline{1,n}$. Необхідно визначити діапазон змінення

$\left[x_{i\min};\, x_{i\max}\right]_j$ цих параметрів відповідно до критеріїв d_j, $j=\overline{1,S}$. Критерії d_j повинні дозволяти однозначно віднести елемент o_m до однієї з підмножин O_j. Тобто

$$C=\sum_{j=1}^{S} C_j\,, \tag{2.3}$$

де C – потужність множини **O**;

C_j – потужність підмножини $\mathbf{O}_j$.

Належність значення параметру x_i діапазону $\left[x_{i\min};\, x_{i\max}\right]_j$ будемо характеризувати логічною змінною y_i, значення якої знаходиться за таким правилом [137]:

$$y_i=\begin{cases}0, \text{ якщо } x_i\notin[x_{i\min};\, x_{i\max}]_j\;; \\ 1, \text{ якщо } x_i\in[x_{i\min};\, x_{i\max}]_j\;. \end{cases} \tag{2.4}$$

Таким чином, значення параметрів x_i елемента o_m за критерієм d_j, $j=\overline{1,S}$ породжують вектор $\mathbf{Y}_{dj}=[y_{1,j},...,y_{n,j}]$ логічних значень.

Ступінь впливу кожного з оцінювальних параметрів враховується у функції вибору, яка складається для кожного d_j критерія окремо. В якості цієї функції пропонується використовувати логічну функцію, яку будемо у подальшому називати логічною функцією вибору $F(y_1,...,y_n)$. Одиничне значення функції $F(y_1,...,y_n)$ на векторі $\mathbf{Y}_{dj}$ свідчить про належність елемента o_m до підмножини $\mathbf{O}j$.

Розглянемо побудову логічної функції вибору $F(y_1,...,y_n)$. Функція вибору може бути заданою у вигляді таблиці істинності, що містить 2^n наборів значень змінних для будь-якого елементу o_m із множини **O**. Щоб з'ясувати значення функції, необхідно розглянути усі набори. Виходячи з того, що кількість символів у такій таблиці буде $n2^n$, то виникають труднощі при її побудові вже при n>5. Для подолання цих труднощів пропонується інший підхід, який зводиться до виконання таких дій.

Спочатку визначаються групи параметрів, що мають однаковий вплив на процес прийняття рішення щодо віднесення елемента o_m до відповідної підмножини **O***j*. Ця процедура найбільш професійно може бути виконана експертами у галузі, для якої розроблено СППР. В залежності від ступеня впливу, кожній групі присвоюється відповідний ранг. Найбільш впливова група параметрів має ранг $r = 1$. Кількість R цих груп визначає кількість рангів. Розподіл параметрів x_i на групи породжує розбиття множини $\mathbf{Y}=[y_1,...,y_n]$ на підмножини $\mathbf{Y}_r = \{y_{l,\ r}\}$, $l = \overline{1, p_r}$, де p_r - кількість логічних змінних r-го рангу.

Потім складається логічна функція вибору $F(y_1,...,y_n)$, виходячи з таких міркувань. Функція набуває одиничного значення, коли значення всіх логічних змінних 1-го рангу дорівнюють одиниці або коли значення всіх логічних змінних 1-го рангу, крім однієї, дорівнюють одиниці й усі змінні 2-го рангу мають одиничне значення; або, у свою чергу, одна з логічних змінних 2 рангу може мати нульове значення і так далі. У загальному випадку логічні змінні R-го рангу повинні дорівнювати одиниці, якщо одна з логічних змінних (R-1) рангу є нульовою [137].

Таким чином, функція вибору $F(y_1,...,y_n)$ має вигляд:

$$F(y_1,\dots,y_n) = f_1(f_2(\dots(f_i(\dots(f_{R-1}(f_R))\dots))\dots)), \qquad (2.5)$$

де $f_i = \bigwedge_{l=1}^{p_i} y_{l,i} \vee (\bigvee_{l=1}^{p_i-1} (y_{l,i}(\bigvee_{m=1}^{p_i-l} y_{l+m,i}), (i = \overline{1, R-1})$ та $f_R = \bigwedge_{l=1}^{p_R} y_{l,R}$.

Вираз (2.5) описує мінімальну форму. Але така форма не є зручною для практичного використання. Більш зручною є мінімальна диз’юнктивна нормальна форма (МДНФ). У зв’язку з цим дуже важливим є визначення кількості простих імплікант, що містить така форма функції. Відповідь на це питання дає така теорема.

Теорема. *Нехай R - кількість рангів змінних* y_i*,* $i=\overline{1,n}$ *логічної функції вибору* $F(y_1,...,y_n)$*, а* p_r *- кількість логічних змінних r-го рангу* ($r=\overline{1,R}$)*, тоді кількість q простих імплікант у мінімальній диз'юнктивній нормальній формі функції* $F(y_1,...,y_n)$ *дорівнює*

$$q=1+\sum_{j=1}^{R-1}\left(\prod_{l=1}^{j}p_l\right). \qquad (2.7)$$

Доведення. У логічну функцію вибору входить одна імпліканта, що містить усі змінні 1-го рангу. До складу цієї функції належить також p_1 імплікант, в яких відсутньою є одна з логічних змінних 1-го рангу та присутніми - всі змінні 2-го рангу. Крім цього, ця функція містить імпліканти, в яких є відсутньою одна з логічних змінних 1-го рангу й одна з логічних змінних 2-го рангу, але присутні усі змінні 3-го рангу. Кількість таких імплікант відповідно буде p_1p_2 . Також до цієї функції належать імпліканти, в яких є відсутньою одна із змінних 1-го рангу, одна із змінних 2-го рангу, одна з 3-го рангу та присутніми є усі змінні 4-го рангу. Кількість таких імплікант дорівнює $p_1p_2p_3$.

Розмірковуючи таким чином, визначимо, що у загальному випадку у функції містяться імпліканти, в яких є відсутніми одна з логічних змінних 1-го рангу, 2-го рангу,... (R-1)-го рангу та присутніми – усі змінні R-го рангу. Кількість таких імплікант дорівнює $p_1p_2...p_{R-1}$.

Підсумувавши кількість усіх перелічених імплікант, отримаємо (2.7), що й необхідно було довести.

Практичне використання МДНФ функції $F(y_1,...,y_n)$ для великих кількостей елементів o_m та критеріїв d_j викликає певні труднощі. Наприклад, для n=20, R=5, p_1=6, p_2=5, p_3=4, p_4=3, p_5=2, використовуючи (2.7), отримаємо 517 простих імплікант у МДНФ цієї функції. Якщо кількість елементів o_m

дорівнює 20, а кількість S критеріїв d_j дорівнює 10, то необхідно обробити понад 100 000 простих імплікант.

Тому для спрощення процедури прийняття рішення пропонується використовувати порогову функцію, яка має вигляд:

$$H(y_1,\dots,y_n)=\sum_{i=1}^{n} w_i y_i \ , \tag{2.8}$$

де w_i – ваги елементу y_i , $i=\overline{1,n}$. Якщо $H(y_1,\dots,y_n) \geq T$, де T – поріг, то вектор значень $\mathbf{Y}_{dj}$ задовільняє критерію d_j. У протилежному випадку він задовольняє іншому критерію. Використання виразу (2.8) дозволяє значно спростити кількість обчислень. Наприклад, при наведених вище умовах необхідно обробити 10 сум (2.8) для кожного з 20-ти елементів o_m, тобто всього потрібно виконати 200 операцій (2.8), що у 500 разів менше, ніж у попередньому випадку.

Відповідно [71] для переходу від логічної функції вибору $F(y_1,\dots,y_n)$ до порогової $H(y_1,\dots,y_n)$ необхідно виконати такі дії.

1. Отримати МДНФ інверсної функції $\overline{F}(y_1,\dots,y_n)$, використовуючи закон де Моргана та відомі правила поглинання й склеювання [138-140].

2. Обчислити характеристичні параметри h_i для усіх y_i. Характеристичним параметром h_i логічної змінної y_i є кількість імплікант СДНФ функції $F(y_1,\dots,y_n)$ із (одиничною) змінною y_i, на яких вона приймає одиничне значення [71].

3. Визначити співвідношення між вагами w_i логічних змінних y_i, $i=\overline{1,n}$ за правилом:

$$\begin{cases} якщо\ h_i(F) > h_j(F),\ то\ \ w_i > w_j\ , \\ якщо\ h_i(F) = h_j(F),\ то\ \ w_i = w_j\ . \end{cases} \tag{2.9}$$

Етап 2 є допоміжним для етапу 3, щоб визначити співвідношення між вагами w_i . Однак ці два етапи можна вилучити, враховуючи особливість задачі, що розв'язується. Співвідношення між вагами w_i логічних змінних y_i фактично були встановлені при рангуванні y_i. Нехай змінна $y_{l,r}$ має вагу $w_{l,r}$, тоді для змінних одного рангу $y_{1,r}, y_{2,r}, ..., y_{p_r,r}$ ваги будуть однакові

$$w_{1,r} = w_{2,r} = ... = w_{p_r,r}, \tag{2.10}$$

а ваги змінних r-го рангу більші за ваги змінних (r+i) - го, $i = \overline{1, R-r}$,

$$w_{l,r} > w_{j,r+i} \quad l = \overline{1, p_r},\ j = \overline{1, p_{r+i}},\ \forall l, j\ . \tag{2.11}$$

Таким чином, виключення цих етапів значно спрощує алгоритм переходу від логічної функції вибору $F(y_1,...,y_n)$ до порогової $H(y_1,...,y_n)$.

4. Скласти систему нерівностей для ваг змінних.

Ця система має дві складові частини. Перша будується на основі функції $F(y_1,...,y_n)$. Кожна з імплікант функції $F(y_1,...,y_n)$ утворює нерівність. Нехай імпліканта має вигляд $y_{k1}y_{k2}...y_{kr}$. Кожна логічна змінна має відповідну вагу $y_{ki} \rightarrow w_{ki}$. Тоді така імпліканта буде породжувати нерівність:

$$w_{k1} + w_{k2} + ... + w_{kr} \geq T\ . \tag{2.12}$$

Друга частина системи будується на основі імплікант функції $\overline{F}(y_1,..., y_n)$. При цьому для імпліканти $y_{l1}y_{l2}...y_{lS}$ маємо нерівність

$$w_{m1} + w_{m2} + ... + w_{mt} < T, \tag{2.13}$$

де m_1, m_2, ..., m_t – індекси змінних, які не входять до імпліканти, що розглядається.

5. Спростити систему нерівностей. Спрощення здійснюється з урахуванням співвідношення (2.10) та (2.11) між вагами w_i. Нехай, наприклад, маємо таке співвідношення між вагами змінних $w_1 < w_2 = w_3 < w_4 < w_5$ і систему нерівностей:

$$\begin{cases} w_1 + w_2 + w_4 + w_5 \geq T, \\ w_1 + w_3 + w_4 + w_5 \geq T \end{cases}.$$

Оскільки $w_2 = w_3$, то ці дві нерівності еквівалентні й у подальшому достатньо використовувати лише одну з них.

6. Переписати скорочену систему нерівностей, що отримана на етапі 5, з урахуванням такого.

Співвідношення (2.11) можна записати у вигляді рівності:

$$w_{l,r} = w_{S,R} + \sum_{i=1}^{R-r} \delta_i \ , \ \ S = \overline{1, p_R} \tag{2.14}$$

де δ_i – цілі додатні числа, які є більшими за нуль. Однак для визначеності вважаємо S=1, тобто за базову береться вага першої змінної R-го рангу.

7. Визначити таку величину порогу T й такі значення w_i , що задовольняють системі нерівностей, яка отримана на етапі 5, та дають мінімум лінійної форми

$$R = T + \sum_{i=1}^{n} w_i \ . \tag{2.15}$$

Виходячи з вищенаведеного, пропонується такий алгоритм переходу від логічної функції вибору $F(y_1,...,y_n)$ до порогової $H(y_1,...,y_n)$.

Алгоритм 1

Крок 1.1 Визначити МДНФ інверсної логічної функції $\overline{F}(y_1,\ldots,y_n)$.

Крок 1.2 Скласти систему нерівностей виду (2.12) і (2.13) для ваг змінних.

Крок 1.3 Спростити складену систему нерівностей.

Крок 1.4 Перетворити скорочену систему нерівностей з урахуванням (2.14).

Крок 1.5 Отримати значення ваг w_i та порогу T.

Крок 1.6 Записати порогову функцію $H(y_1,...,y_n)$ виду (2.8).

Необхідно зауважити, що після побудови порогових функцій вибору для всіх критеріїв може виникнути ситуація, коли вони не будуть забезпечувати віднесення елемента o_m до жодної з підмножин $\mathbf{O}_j$. Тобто вираз (2.3) не буде справедливим у цьому випадку. Це є наслідком того, що експерти не можуть передбачити всі можливі варіанти віднесення елементів до відповідних підмножин і, крім того, на практиці вони не розглядали функціонально незмістовні елементи. Але існування цих елементів є теоретично можливим.

Щоб врахувати вищеперелічені факти пропонується таке. Введемо поняття коефіцієнта наближення q до порогу T. Виходячи з практичних міркувань, q повинен задовольняти умові $0{,}5<q<1$. Значення q, яке приймається для встановлення належності елемента o_m до підмножини $\mathbf{O}_j$, залежить від точності, з якою необхідно визначити цю належність. Чим більшою потрібна точність прийняття рішення, тим більшим є значення q.

Для елемента o_m визначаються $\delta_j = \dfrac{H_{d_j}}{T_{d_j}}, \quad j=\overline{1,S}$. Серед значень δ_j обирається максимальне $\delta_к = \max\left\{\delta_j\right\}$, $j=\overline{1,S}$. Якщо $\delta_k \geq q$, то елемент o_m належить до підмножини $\mathbf{O}_k$. Інакше елемент o_m належить до підмножини O_{s+1} функціонально незмістовних елементів, які у подальшому не розглядаються.

Виходячи з вищевикладеного, автором пропонується такий алгоритм формалізації СППР на базі математичного апарату ПЕ.

Алгоритм 2

Крок 2.1 Визначити множину **Q** вихідних параметрів.

Крок 2.2 Скласти множину **X** оцінювальних параметрів x_i, $i=\overline{1,n}$.

Крок 2.3 Визначити множину $\mathbf{X}^*$ та функції $f_{1c}\in F_1$, що пов’язують x^*_c та x_i, $c=\overline{1,t}$, $i=\overline{1,n}$.

Крок 2.4 Скласти (обрати) функцію оптимізації виду (2.2) .

Крок 2.5 Побудувати логічні функції вибору $F(y_1,...,y_n)_j$, $j = \overline{1,S}$.

Крок 2.6 Перетворити логічні функції вибору у порогові виду (2.8).

Крок 2.7 Обрати коефіцієнт наближення q.

Процедура прийняття рішення у складеній СППР здійснюється за таким алгоритмом.

Алгоритм 3

Крок 3.1 Визначаються вектори $\mathbf{Y}_{dj}$ =$[y_{1,j},...,y_{n,j}]$ для кожного елемента o_m множини **O**.

Крок 3.2 Обчислюються H_{dj} для векторів $\mathbf{Y}_{dj}$, $j = \overline{1,S}$.

Крок 3.3 Визначається належність елемента o_m до відповідної підмножини .

Крок 3.4 Здійснюється оптимізація обраної підмножини.

Визначення векторів $\boldsymbol{Y}_{dj}$ здійснюється за алгоритмом, граф-схема якого наведена на рис. 2.4.

Належність елемента o_m до відповідної підмножини визначається таким чином. Якщо $H_{dj} \geq T_{dj}$, то елемент o_m належить до підмножини $\mathbf{O}j$. Якщо $H_{dj} < T_{dj}$, для усіх j, то визначаються δ_j. Якщо знаходиться найбільше за значенням $\delta_к \geq q$, то елемент o_m належить до підмножини $\mathbf{O}_k$.

Якщо $\delta_к < q$, тоді цей елемент належить до функціонально незмістовної підмножини O_{s+1} .

Оптимізація сформованої підмножини здійснюється за допомогою відомого математичного апарату, наприклад, апарату лінійного програмування [130-136].

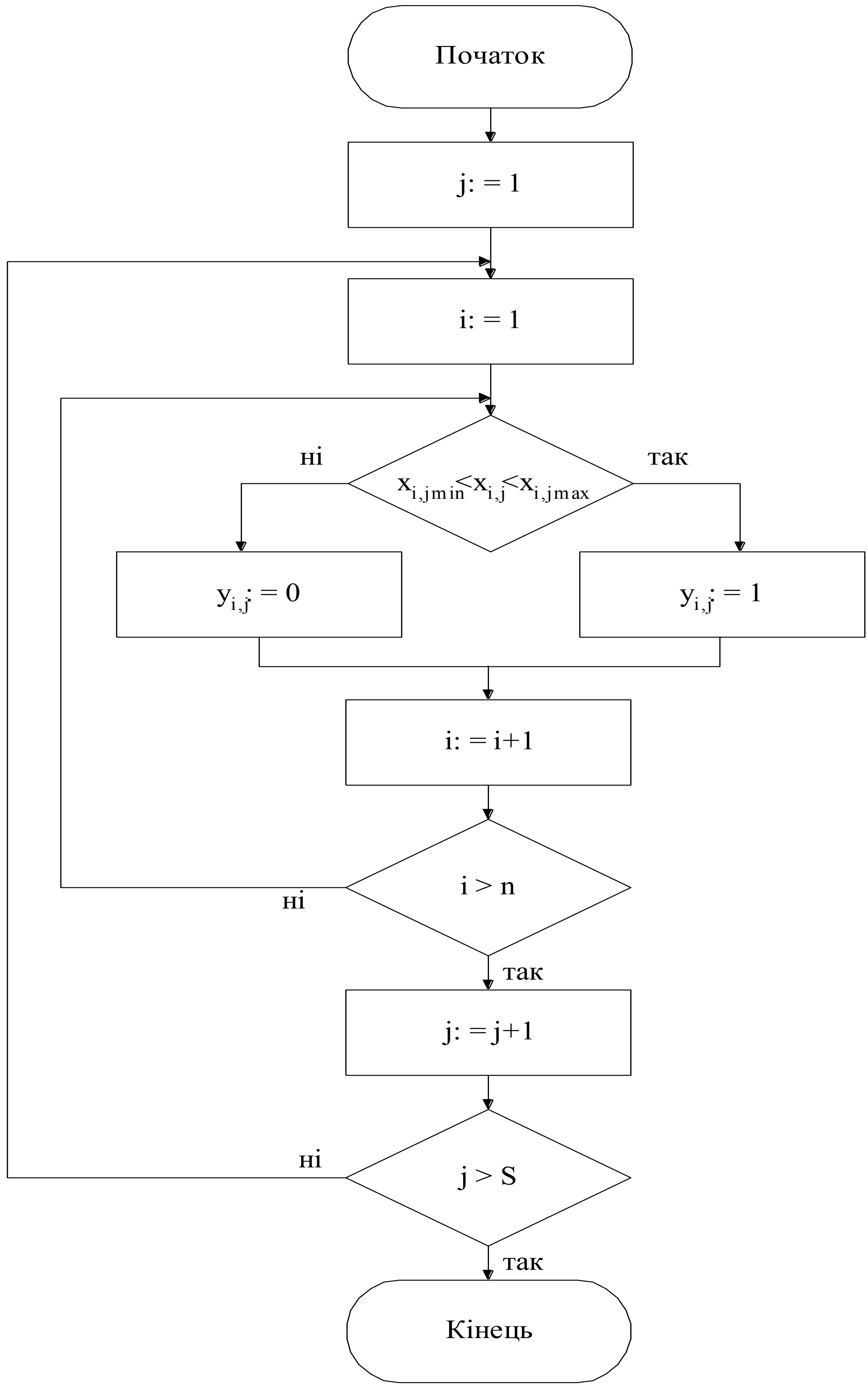


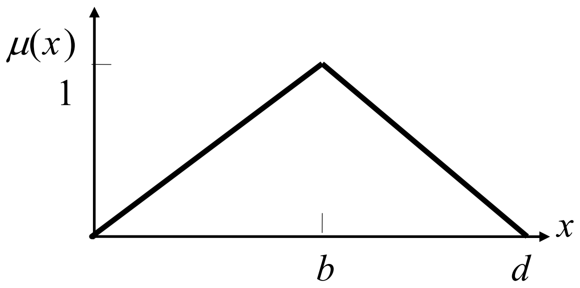
Рис. 2.4 - Граф-схема алгоритму визначення $\boldsymbol{Y_{dj}}$

2.3 Методика та алгоритми формалізації СППР зі змішаними параметрами на базі математичного апарату НМ

Розглянемо застосування загальної методики, що запропонована у підрозділі 2.2, для формалізації СППР зі змішаними параметрами на базі математичного апарату НМ. Але спочатку викладемо деякі теоретичні положення, що стосуються функцій належності, які є одним з основних понять в теорії НМ. В роботах [103, 104] наводяться види функцій належності, проте вони не охоплюють усіх варіантів, які можуть виникнути при практичному застосуванні апарату НМ. Виходячи з цього, автором пропонується поділити всі функції на дві групи.

До першої віднесемо функції, що не мають інтервалів з постійним (одиничним) значенням (рис.2.5), а до другої – функції, що мають інтервал з постійним значенням (рис.2.6). Функції, що мають інтервал (b, c) з постійним значенням, використовуються для параметрів, при зміненні значень x яких на певному інтервалі функція належності буде залишатися одиничною. Це вважається 100%-ю належністю значення змінної до певного лінгвістичного терму. Наприклад, для фінансової галузі рентабельність від 0 до 15% вважається низькою.

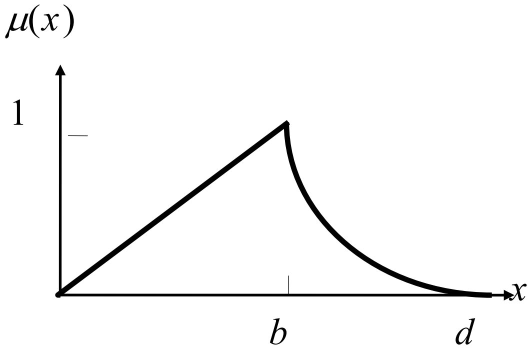
У свою чергу в кожній з груп є функції, що відрізняються функціональною залежністю для інтервалів зростаючих та спадних значень. Опуклість функцій належності на інтервалі зростаючих значень функції свідчить про те, що на початку інтервалу [0; b] при збільшенні x функція швидко зростає, а наприкінці інтервалу – повільно. Аналогічно на початку цього ж інтервалу для гнутих функцій при зростанні x функція зростає повільно, а наприкінці – швидко. На початку напівінтервалу (b, d] або інтервалу [c, d] для опуклих функцій при збільшенні значень x



а)

1) $\mu(x)=\dfrac{x}{b}$, $x\in[0,\ b]$

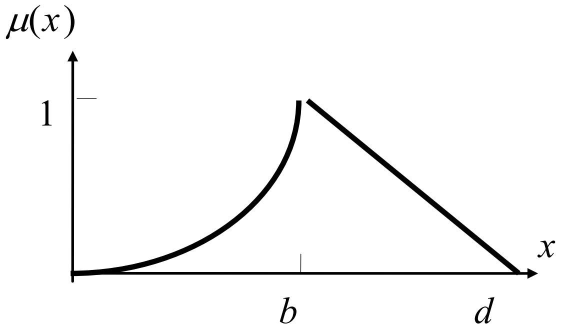
2) $\mu(x)=\dfrac{d-x}{d-b}$, $x\in(b,\ d]$



б)

1) $\mu(x)=\dfrac{x}{b}$, $x\in[0,\ b]$

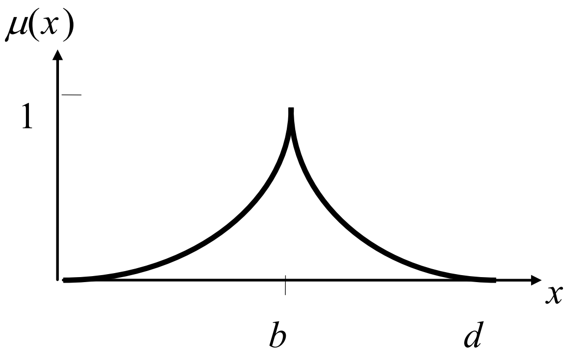
2) $\mu(x)=\left(\dfrac{d-x}{d-b}\right)^{k}$, $k>1,\ x\in(b,\ d]$



в)

1) $\mu(x)=\left(\dfrac{x}{b}\right)^{k}$, $k>1,\ x\in[0,\ b]$

2) $\mu(x)=\dfrac{d-x}{d-b}$, $x\in(b,\ d]$

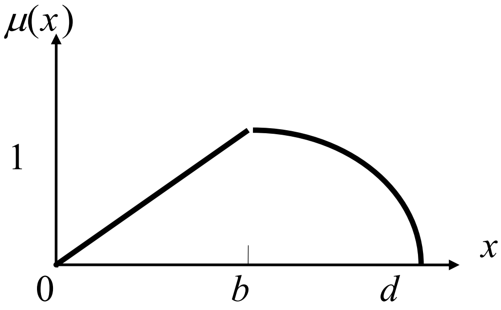


г)

1) $\mu(x)=\left(\dfrac{x}{b}\right)^{k}$, $k>1, x\in[0,b]$

2) $\mu(x)=\dfrac{d-x}{d-b}$, $x\in(b,\ d]$

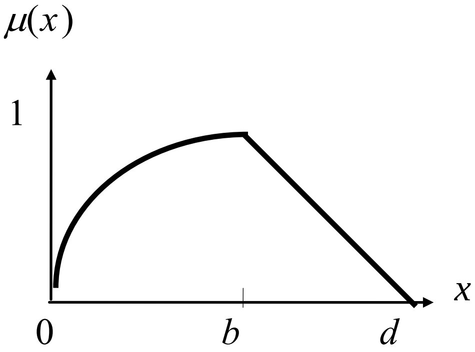
Рис. 2.5 - Графіки функцій, що не мають постійних одиничних значень



д)

1) $\mu(x)=\dfrac{x}{b}$, $x \in [0,\ b]$

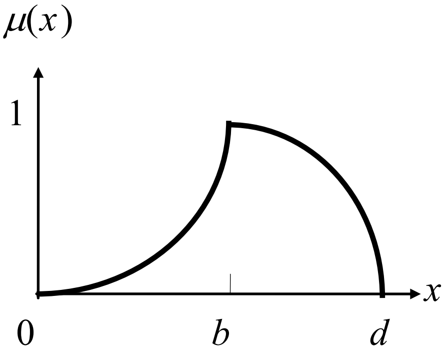
2) $\mu(x)=\left(\dfrac{d-x}{d-b}\right)^{k}$, $0<k<1,\ x \in (b,\ d]$



е)

1) $\mu(x)=\left(\dfrac{x}{b}\right)^{k}$, $0<k<1,\ x \in [0,\ b]$

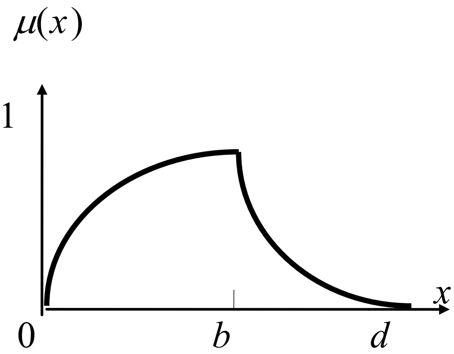
2) $\mu(x)=\dfrac{d-x}{d-b}$, $x \in (b,\ d]$



ж)

1) $\mu(x)=\left(\dfrac{x}{b}\right)^{k}$, $k>1,\ x \in [0,\ b]$

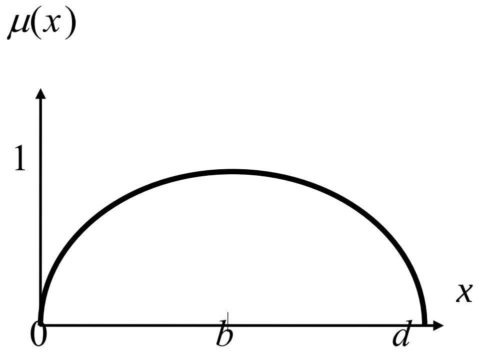
2) $\mu(x)=\left(\dfrac{d-x}{d-b}\right)^{k}$, $0<k<1,\ x \in (b,\ d]$



з)

1) $\mu(x)=\left(\dfrac{x}{b}\right)^{k}$, $0<k<1,\ x \in [0,\ b]$

2) $\mu(x)=\left(\dfrac{d-x}{d-b}\right)^{k}$, $k>1,\ x \in (b,\ d]$

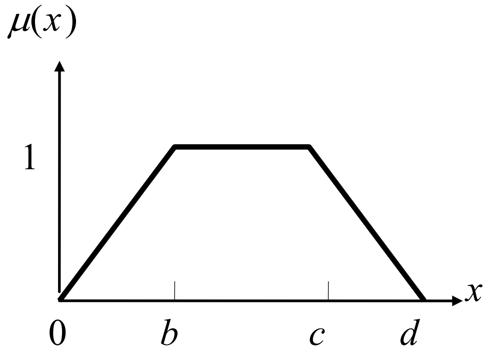


и)

1) $\mu(x) = \left(\dfrac{x}{b}\right)^k$, $0 < k < 1$, $x \in [0, b]$

2) $\mu(x) = \left(\dfrac{d-x}{d-b}\right)^k$, $0 < k < 1$, $x \in (b, d]$

Рис. 2.5 - Графіки функцій, що не мають постійних одиничних значень

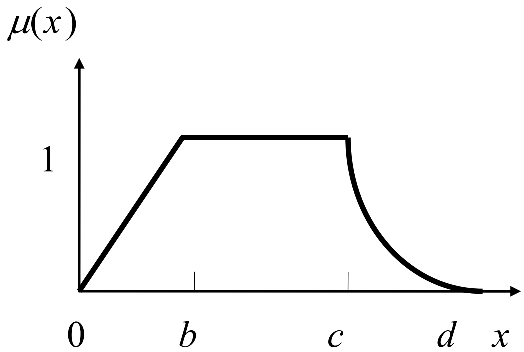


а)

1) $\mu(x) = \dfrac{x}{b}$, $x \in [0, b]$

2) $\mu(x) = 1$, $x \in (b, c)$

3) $\mu(x) = \dfrac{d-x}{d-c}$, $x \in [c, d]$

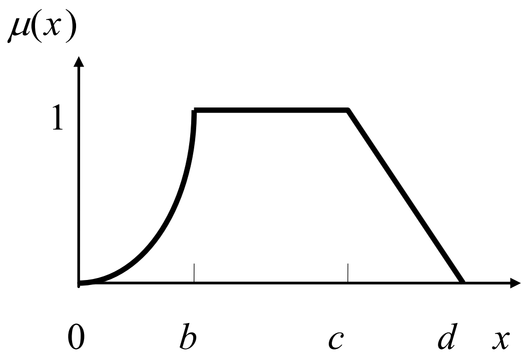


б)

1) $\mu(x) = \dfrac{x}{b}$, $x \in [0, b]$

2) $\mu(x) = 1$, $x \in (b, c)$

3) $\mu(x) = \left(\dfrac{d-x}{d-c}\right)^k$, $k > 1$, $x \in [c, d]$

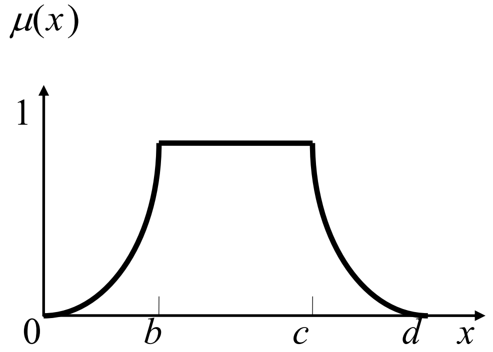


в)

1) $\mu(x) = \left(\dfrac{x}{b}\right)^k$, $k > 1$, $x \in [0, b]$

2) $\mu(x) = 1$, $x \in (b, c)$

3) $\mu(x) = \dfrac{d-x}{d-c}$, $x \in [c, d]$

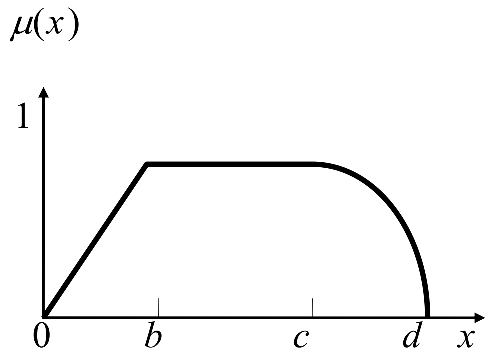


г)

1) $\mu(x) = \left(\dfrac{x}{b}\right)^k$, $k > 1$, $x \in [0,\ b]$

2) $\mu(x) = 1$, $x \in (b,\ c)$

3) $\mu(x) = \left(\dfrac{d-x}{d-c}\right)^k$, $k > 1$, $x \in [c,\ d]$

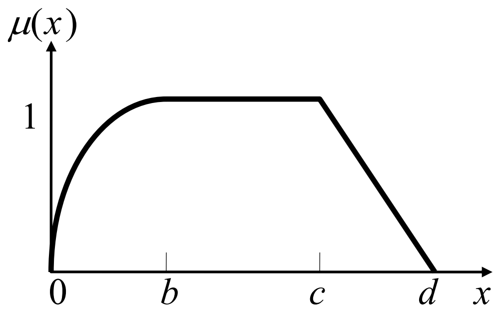


д)

1) $\mu(x) = \dfrac{x}{b}$, $x \in [0,\ b]$

2) $\mu(x) = 1$, $x \in (b,\ c)$

3) $\mu(x) = \left(\dfrac{d-x}{d-c}\right)^k$, $0 < k < 1$, $x \in [c,\ d]$

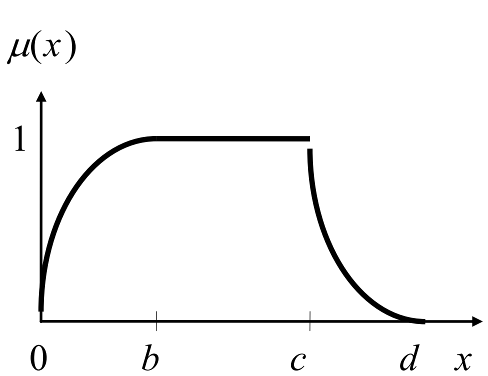


е)

1) $\mu(x) = \left(\dfrac{x}{b}\right)^k$, $0 < k < 1$, $x \in [0,\ b]$

2) $\mu(x) = 1$, $x \in (b,\ c)$

3) $\mu(x) = \dfrac{d-x}{d-c}$, $x \in [c,\ d]$

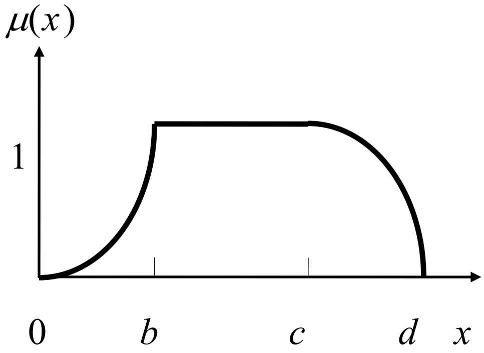


ж)

1) $\mu(x) = \left(\dfrac{x}{b}\right)^k$, $0 < k < 1$, $x \in [0,\ b]$

2) $\mu(x) = 1$, $x \in (b,\ c)$

3) $\mu(x) = \left(\dfrac{d-x}{d-c}\right)^k$, $k > 1$, $x \in [c,\ d]$

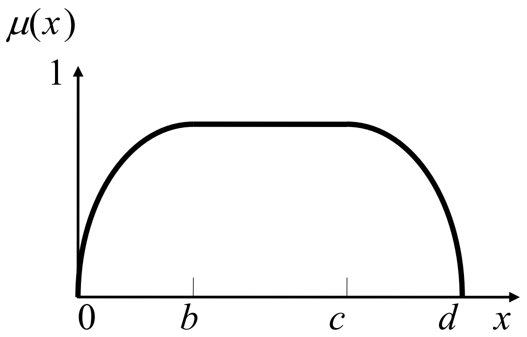


з)

1) $\mu(x) = \left(\dfrac{x}{b}\right)^k$, $k > 1$, $x \in [0,\ b]$

2) $\mu(x) = 1,\ \ x \in (b,\ c)$

3) $\mu(x) = \left(\dfrac{d-x}{d-c}\right)^k$, $0 < k < 1, x \in [c, d]$



и)

1) $\mu(x) = \left(\dfrac{x}{b}\right)^k$, $0 < k < 1, x \in [0, b]$

2) $\mu(x) = 1,\ \ x \in (b,\ c)$

3) $\mu(x) = \left(\dfrac{d-x}{d-c}\right)^k$, $0 < k < 1,\ x \in [c, d]$

Рис. 2.6 - Графіки функцій, що мають інтервал з постійним одиничним значення

початку цього ж інтервалу для гнутих функцій при зростанні значення x функція спочатку швидко зменшується, а наприкінці – повільно.

Для лінійних відрізків функцій на всьому інтервалі [0; b] характерним є те, що при збільшенні x значення функції пропорційно збільшується. А на напівінтервалі (b, d] або інтервалі [c, d] при збільшенні значень x значення функції пропорційно зменшуються .

Наявність елементів, що оцінюються як кількісними, так і якісними параметрами, впливає на формування функцій $f_{1c} \in F_1$, $c = \overline{1,t}$ та формулювання критеріїв d_j, $j = \overline{1,S}$, за якими здійснюється сортування елементів множини $\mathbf{O} = \{o_m\}$, $m = \overline{1,M}$. Тому ретельно розглянемо саме ці пункти загальної методики формалізації СППР.

Множину оцінювальних параметрів **X** утворюють параметри двох видів: кількісні – **К** та якісні – **Я**. Кількісний параметр характеризується чисельним значенням. Він має певну одиницю вимірювання або є відносним. Якісний параметр характеризується лінгвістичним термом Т*j*, $j = \overline{1,t}$ з відповідної множини термів. Тому спочатку визначається кількість t лінгвістичних термів, за якими буде здійснюватися оцінювання вхідних параметрів x_i, $i = \overline{1,n}$. Вона залежить від специфіки досліджуваних об'єктів та точності прийняття рішення. Наприклад, для t=2 маємо лінгвістичні терми – низький (Н) та високий (В). Для t=3 - низький, середній (С) та високий; для t=5 – низький, нижче середнього (НС), середній, вище середнього (ВС), високий.

До складу множини первинних вхідних параметрів $\mathbf{X}^*$ входять два види параметрів: кількісні та якісні. Кількісний параметр характеризується чисельним значенням, яке належить певному діапазону. Серед кількісних параметрів виділимо два види: безпосередньо чисельні, для яких є певні одиниці вимірювання, й бально-чисельні, для яких одиницею вимірювання є бали.

У загальному випадку відображення $\mathbf{X}^* \rightarrow \mathbf{X}$ описується схемою, що зображена на рис. 2.7 .

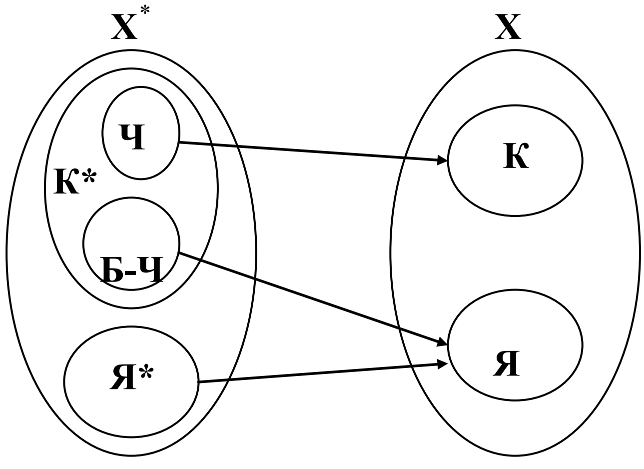


Рис. 2.7 - Відображення первинних параметрів у оцінювальні параметри

На рисунку 2.7 :

К* - підмножини первинних вхідних параметрів з чисельними та бально-чисельними значеннями.

Ч - підмножина первинних вхідних параметрів з чисельними значеннями.

Б-Ч - підмножина первинних вхідних параметрів з бально-чисельними значеннями.

Я* - підмножини якісних первинних вхідних параметрів.

Перетворення **Ч→К** здійснюється за допомогою функціональних залежностей, які є відомими для кожної галузі.

Для перетворення **Б-Ч→Я** пропонується такий підхід [137].

Нехай деякий параметр x_i, $i = \overline{1, n}$ з множини **X** характеризується певними лінгвістичними термами і є складним, тобто описується сукупністю параметрів $x_1^*...x_k^*$. Кожен параметр x_1^*, $l = \overline{1, k}$ оцінюється в балах b_l з певного діапазону. Причому параметру x_1^*, який в більшій мірі впливає на x_i, відповідає більший діапазон. Параметр x_i приймає значення j-го лінгвістичного терму, тобто $x_i = \mathrm{T}_\mathrm{j}$, якщо

$$g_н^j < \sum_{l=1}^{k} b_l \le g_в^j, \quad j = \overline{1, t} \tag{2.16}$$

де t – кількість термів;

$g_н^j$ – нижня межа для j-го терму;

$g_в^j$ – верхня межа для j-го терму.

Для обчислення нижньої та верхньої межі кожного терму пропонуються такі формули:

$$\begin{aligned} g_н^j &= k_н^j * N \ , \\ g_в^j &= k_в^j * N \ , \end{aligned} \tag{2.17}$$

де $k_н^j$, $k_в^j$ – коефіцієнти меж;

N – сумарна бальна оцінка параметрів x_l^*, $l=\overline{1,k}$, що обчислюється за формулою:

$$N = \sum_{l=1}^{k} b_l \max \ , \qquad (2.18)$$

де $b_l \max$ – максимальна бальна оцінка параметру x_1^*.

Для визначення коефіцієнтів меж пропонується така методика.

1. Побудувати функції належності t термів в одній системі координат.

2. Визначити точки перетину функцій належності T_j й T_{j+1} термів, $j=\overline{1,t-1}$.

3. Провести перпендикуляри з кожної точки перетину на вісь x. Точки перетину x_j цих перпендикулярів з віссю x дають значення $k_н^j$, $k_в^j$. Причому $k_н^1 = 0$, $k_в^t = 1$, $k_в^j = k_н^{j+1} = x_j$, $j=\overline{1,t-1}$.

Визначення коефіцієнтів $k_н^j$, $k_в^j$ для трьох термів: Н, С, В проілюстровано на рис. 2.8 .

Значення коефіцієнтів $k_н^j$, $k_в^j$ при j=3 надано у табл. 2.1 .

При перетворенні **Я*→ Я** можливі два варіанта. Перший - це випадок, коли x^*_c, $c=\overline{1,t}$ є неперетворювальним, тобто $x_i = x^*_c$, $i=\overline{1,n}$.

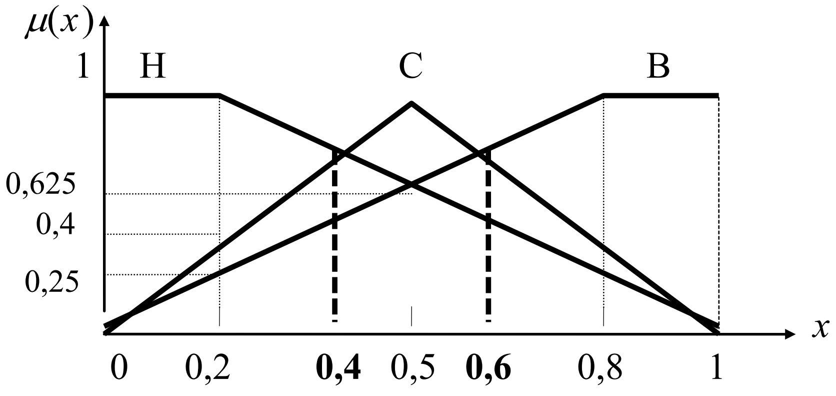


Рис. 2.8 - Функції належності при t=3

Таблиця 2.1 - Значення коефіцієнтів $k_н^j$, $k_в^j$ при j=3

Терм	Коефіцієнт

	$k_н^j$	$k_в^j$
«низький»	0	0,4
«середній»	0,4	0,6
«високий»	0,6	1,0

Другий варіант виникає в тому випадку, коли якісний x^*_c описується тільки двома термами «так» і «ні».

Функції, що пов'язують x_i та первинні вхідні параметри x^*_c, пропонується описувати у вигляді табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Приклад функцій перетворення $\{x^*_c\} \rightarrow x_i$

Оцінювальні параметри				Значення функцій		
A	B	C	D	f_1	f_2	f_3
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0
0	0	1	0	0	1	0
...	...	...	...	...	...	...
1	1	1	1	0	0	1

Набір оцінювальних параметрів A, B, C, D є набором деяких параметрів з множини $\mathbf{X}^*$.

Нульове значення оцінювальних параметрів A, B, C, D відповідає лінгвістичному терму «ні», а одиничне – терму «так».

Кожна з функцій є значенням певного лінгвістичного терму оцінювального параметру x_i. У випадку, що розглядається, одиничним значенням функцій f_1, f_2, f_3 відповідають терми «низький», «середній», «високий».

Оскільки вся методика формалізації СППР спрямована на обробку чисельних значень функцій належності, то необхідно кожному якісному параметру x_i поставити у відповідність значення функцій належності. Для цього спочатку необхідно побудувати функції належності для t лінгвістичних термів, а потім скласти таблицю значень функцій належності $\mu(x)$ для кожного з цих термів. Якщо якісний параметр характеризується j-м лінгвістичним термом $j = \overline{1,\ t}$, то значення функцій належності при цьому термі є $\mu^j(x)=1$, а значення функцій належності для решти термів визначається за допомогою графіків функцій належності. Але користування графіками не дає точних значень, тому пропонується користуватися таблицею, до якої зведено усі чисельні значення функцій належності. Табл. 2.3 відображає загальний принцип побудови такої таблиці для *t* термів.

Таблиця 2.3 - Значення функцій належностей для *t* термів

Терм	$\mu^1(x)$	$\mu^2(x)$	$\cdots$	$\mu^t(x)$
1	1	μ_{12}	…	μ_{1t}
2	μ_{21}	1	…	μ_{2t}
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
t	μ_{t1}	μ_{t2}	…	1

Для практичного користування найчастіше використовують три або п’ять лінгвістичних термів. Розглянемо побудову таблиць для *t*=3 та *t*=5. Для *t*=3 оберемо такі функції належностей, що зображені на рис. 2.8.

Виходячи з графіків функцій, значення $\mu^j(x)$ будемо визначати таким чином. Якщо якісний параметр характеризується термом «низький», то значення функцій належності визначають при *x*=0,2. При цьому $\mu^н(0{,}2)=1$; $\mu^с(0{,}2)=0{,}4$; $\mu^в(0{,}2)=0{,}25$. Якщо якісний параметр описується термом «середній», то $\mu^с(0{,}5)=1$; $\mu^н(0{,}5)=\mu^в(0{,}5)=0{,}625$.

А для терму «високий» – $\mu^н(0{,}8)=0{,}25$; $\mu^с(0{,}8)=0{,}4$; $\mu^В(0{,}8)=1$.

Ці точні значення функцій належності отримані, виходячи з аналітичних виразів відповідних функцій при *x*= 0,2; 0,5; 0,8. Вся сукупність значень функцій належності для *t*=3 наведена у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Значення функцій належностей для *t*=3

Терм	$\mu^н(x)$	$\mu^с(x)$	$\mu^в(x)$
Н	1	0,4	0,25

С	0,625	1	0,625
В	0,25	0,4	1

Аналогічно, виходячи з рис. 2.10, отримаємо табл. 2.5 для t=5.

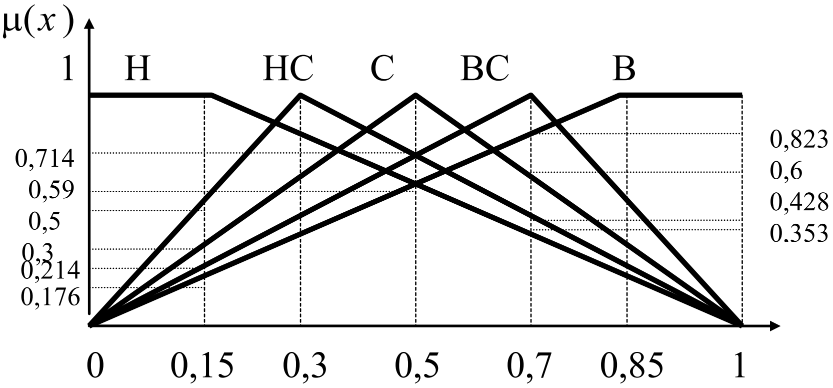


Рис. 2.10 - Функції належностей для якісних параметрів при t=5

Таблиця 2.5 - Значення функцій належностей для t=5

Терм	$\mu^{н}(x)$	$\mu^{нс}(x)$	$\mu^{c}(x)$	$\mu^{вс}(x)$	$\mu^{в}(x)$
Н	1	0,5	0,3	0,214	0,176
НС	0,823	1	0,6	0,428	0,353
С	0,59	0,714	1	0,714	0,59
ВС	0,353	0,428	0,6	1	0,823
В	0,176	0,214	0,3	0,5	1

Критерії d_j віднесення елемента o_m до підмножини **O**j складаються з двох частин:

– належності значення оцінювального параметру x_i, $i = \overline{1,n}$ до певного лінгвістичного терму;

– функціонального впливу цього параметру на прийняття відповідного рішення.

Належність значення оцінювального параметру визначається за допомогою функцій належності.

Виходячи з різноманітності функцій належності, які було запропоновано вище, обирають ту форму функції, яка найбільш повно задовольняє специфіці задачі.

–Як приклад наведемо функції належності для трьох лінгвістичних термів (t=3) (рис. 2.11) .

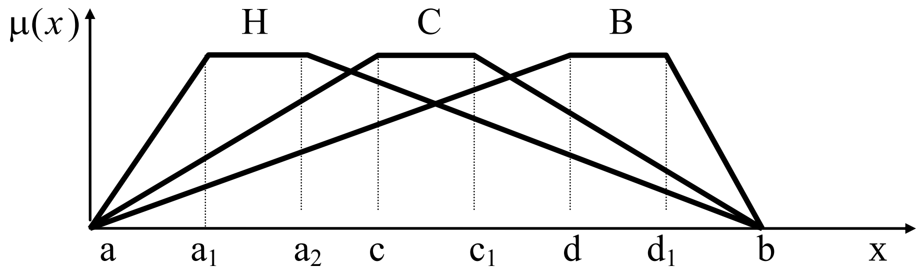


Рис. 2.11 - **Функції належності для трьох лінгвістичних термів**

Для кожного параметру в загальному випадку існує своя функція належності лінгвістичному терму. Тому можливі такі варіанти:

- побудувати один набір функцій належностей з нормованими значеннями a_1, a_2, c, c_1, d, d_1 на інтервалі [a; b], де a=0, b=1 для всіх параметрів x_i ;
- побудувати функції належностей з ненормованими значеннями a, a_1, a_2, c, c_1, d, d_1, b для кожного параметру окремо.

Перший варіант має обмеження застосування, яке полягає в тому, що не для всіх параметрів можливо зробити єдине нормування, але цей варіант є простішим за другий.

Другий варіант є більш універсальним, але більш складним. Він передбачає побудову t функцій і таблиці характеристичних точок a, a_1, a_2, c, c_1, d, d_1, b функцій належностей для кожного з оцінювальних параметрів.

Таким чином, побудувавши функції належності, отримаємо першу складову частину критеріїв сортування елементів o_m.

Друга частина визначається шляхом побудови логічних рівнянь на базі матриць знань. Ці матриці складаються на основі знань та досвіду експертів щодо прийняття рішень в досліджуваній галузі. Загальний підхід до побудови матриць знань та логічних рівнянь на їх основі розглянуто у [104].

Виходячи з вищевикладеного та загальної методики, автор пропонує такий алгоритм формалізації СППР на базі математичного апарату НМ.

Алгоритм 4

Крок 4.1 Визначити множину **Q** вихідних параметрів.

Крок 4.2 Скласти множину **X** оцінювальних параметрів x_i, $i=\overline{1,n}$.

Крок 4.3 Визначити множину $\mathbf{X}^*$ та функції $f_{1c} \in F_1$, що пов'язують x^*_c та x_i, $c=\overline{1,t}$, $i=\overline{1,n}$.

Крок 4.4 Скласти (обрати) функцію оптимізації виду (2.2) .

Крок 4.5 Побудувати функції належності t нечітких термів.

Крок 4.6 Скласти матриці знань для визначення складних параметрів та ПР щодо сортування.

Крок 4.7 Побудувати багатопараметричні функції належності на базі матриць знань.

Процедура прийняття рішення у складеній СППР на базі математичного апарату НМ здійснюється за допомогою такого алгоритму.

Алгоритм 5

Крок 5.1 Для елементів o_m, $m=\overline{1,M}$ обчислити значення функцій належності оцінювальних параметрів x_i t лінгвістичним термам.

Крок 5.2 Обчислити значення багатопараметричних функцій належності.

Крок 5.3 Визначити належність елемента o_m до відповідної підмножини **O***j*.

Крок 5.4 Здійснити оптимізацію обраної підмножини.

Елемент o_m належить до підмножини, що характеризується тією стратегією d_j , при якій значення логічного рівняння є максимальним, тобто:

$$\mu^{d_j}(x_1,x_2,..,x_n)=\max[\mu^{d_j}(x_1,x_2,..,x_n)],\ j=\overline{1,S} \qquad (2.20)$$

Оптимізація здійснюється за допомогою відомого математичного апарату, наприклад, апарату лінійного програмування [130-136].

3 ПРИКЛАДИ СКЛАДАННЯ СППР З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ

У даному розділі розглядається застосування запропонованих загальної структурної моделі СППР та алгоритмів її формалізації на прикладі розв’язання задач ПР щодо банківського кредитування та інвестування. Ці операції є ризиковими, оскільки існує деяка ймовірність того, що сума кредиту або відсотки за користування їм не будуть повернуті в строк, до того ж при нестабільній економіці зростає можливість знецінювання інвестиційно-фінансового портфеля. Виходячи з цього, прийняття рішення повинно здійснюватися з урахуванням ризику. При ПР щодо кредитування та інвестування неможливо перебрати всі сполучення оцінювальних параметрів для визначення остаточного рішення при великій кількості цих параметрів. Крім того, при кредитуванні виникає необхідність врахування як кількісних, так і якісних оцінювальних параметрів. Все це дає підстави автору пропонувати для формалізації СППР у таких задачах використання математичного апарату НМ. Крім того, при прийнятті рішення щодо інвестування обрані оцінювальні кількісні параметри характеризуються різним ступенем впливу на прийняття рішення. Тому пропонується формалізацію такої СППР здійснювати також за допомогою математичного апарату ПЕ.

3.1 Моделі СППР щодо банківського кредитування та інвестування

Задачі прийняття рішень щодо банківського кредитування та інвестування належать до складних задач внаслідок того, що необхідно оцінювати потужні множини $\boldsymbol{X}$ вхідних параметрів та $\mathbf{R}$ вихідних параметрів, а також відповідно й функції відображення $\mathbf{F}$: $\boldsymbol{X} \rightarrow \mathbf{R}$. Тому для розв’язання таких задач у монографії пропонується використовувати декомпозиційне розбиття складної проблеми на простіші підпроблеми так, щоб рішення будь-якої проблеми нижчого рівня однозначно визначало якісь параметри у наступній проблемі більш високого рівня таким чином, що остання стає повністю визначеною й можливо її вирішити. Рішення первісної проблеми досягається тоді, коли всі підпроблеми розв'язані.

Специфічність процесу прийняття рішення при кредитуванні полягає в послідовній реалізації **F** так, як це зображено на рис. 2.1. Задача ПР при кредитуванні полягає у виборі раціонального рішення **R** з множини рішень $\mathbf{O}_j$, $j = \overline{1,S}$. Цей вибір пропонується здійснювати за допомогою критеріїв d_j на базі певної множини ***X*** оцінювальних параметрів позичальника.

У роботах [83, 88, 101, 102] запропоновано для визначення остаточного кредитового рішення враховувати комбінацію параметрів, які оцінюють кредитне котирування позичальника – Z, власні фінансові можливості та резерви позичальника – $x_{c+1},...,x_n$. Тобто необхідно визначити залежність

$$D_s = f_d(Z,\ x_{c+1}, \ldots , x_n), \tag{3.1}$$

що дає можливість на базі сукупності простих ($x_{c+1},...,x_n$) та складного (Z) параметрів здійснити сортування позичальників $\{o_m\}$ за критеріями d_j.

У свою чергу вхідними даними для обчислення складного параметру Z [83, 88] є складний параметр, що оцінює імідж (Y) позичальника, й множина простих параметрів ($x_{k+1},..,x_c$), що враховує ризик позичальника, тобто:

$$Z = f_z(Y, x_{k+1} ,..., x_c),\ \text{де } (k+1) \in \mathbf{N},\ c \in \mathbf{N}\ . \tag{3.2}$$

Згідно з декомпозиційним принципом і [83, 88] складний параметр Y є узагальненою оцінкою відповідних кількісних та якісних параметрів:

$$Y = f_y(x_1,..,x_m, x_{m+1},..,x_k). \tag{3.3}$$

Виходячи із складених оцінювальних функцій (3.1)-(3.3), на необхідно сформувати множину ***X*** оцінювальних параметрів позичальника o_m, $m = \overline{1,M}$. Ця множина формується за допомогою кількісних параметрів

($x_1 ... x_m$, $m \in \mathbf{N}$) позичальника й якісних ($x_{m+1} ... x_k$, $k_{m+1} \in \mathbf{N}$, $k \in \mathbf{N}$), які визначають його репутацію [83, 88]. Для визначення зазначеної множини **X** розглядається отримана від позичальника документація, зокрема, бізнес-план підприємства, що бажає отримати кредит, його план маркетингу, виробництва та керування. Виходячи з бізнес-плану клієнта, з'ясовуються: вид вироблюваної продукції чи послуг, які пропонуються; обсяг виробництва; здійснюються відповідні прогнози щодо його збільшення; річний прибуток, рентабельність, його ліквідність, платоспроможність, кадровий склад підприємства, кваліфікованість керівництва та службовців, а також інші критерії його оцінювання [141-147].

Виходячи з цього, джерелами інформації є фінансова документація та оцінки експертів з різних питань.

З урахуванням зазначеного, автором пропонується така структурна модель СППР щодо кредитування з урахуванням ризику, яка зображена на рис. 3.1.

Ця модель складається з двох рівнів та відповідних джерел інформації.

На першому рівні здійснюється формування множини **X** оцінювальних параметрів позичальника o_m, $m = \overline{1, M}$.

Другий рівень складається з трьох шарів. На першому шарі другого рівня формується складний показник іміджу Y позичальника. Другий шар другого рівня є призначеним для обчислення складного показника кредитного котирування Z позичальника. На третьому шарі другого рівня здійснюється визначення рішення $\mathbf{O}_j$, $j = \overline{1, S}$, яке відповідає цьому позичальнику [141-147].

Специфічність процесу прийняття рішення щодо складення оптимального портфеля цінних паперів полягає в тому, що необхідно одночасно аналізувати велику кількість паперів. Тобто моделлю такого процесу може слугувати паралельна реалізація **F** (див. рис. 2.2). Виходячи з цього, автором

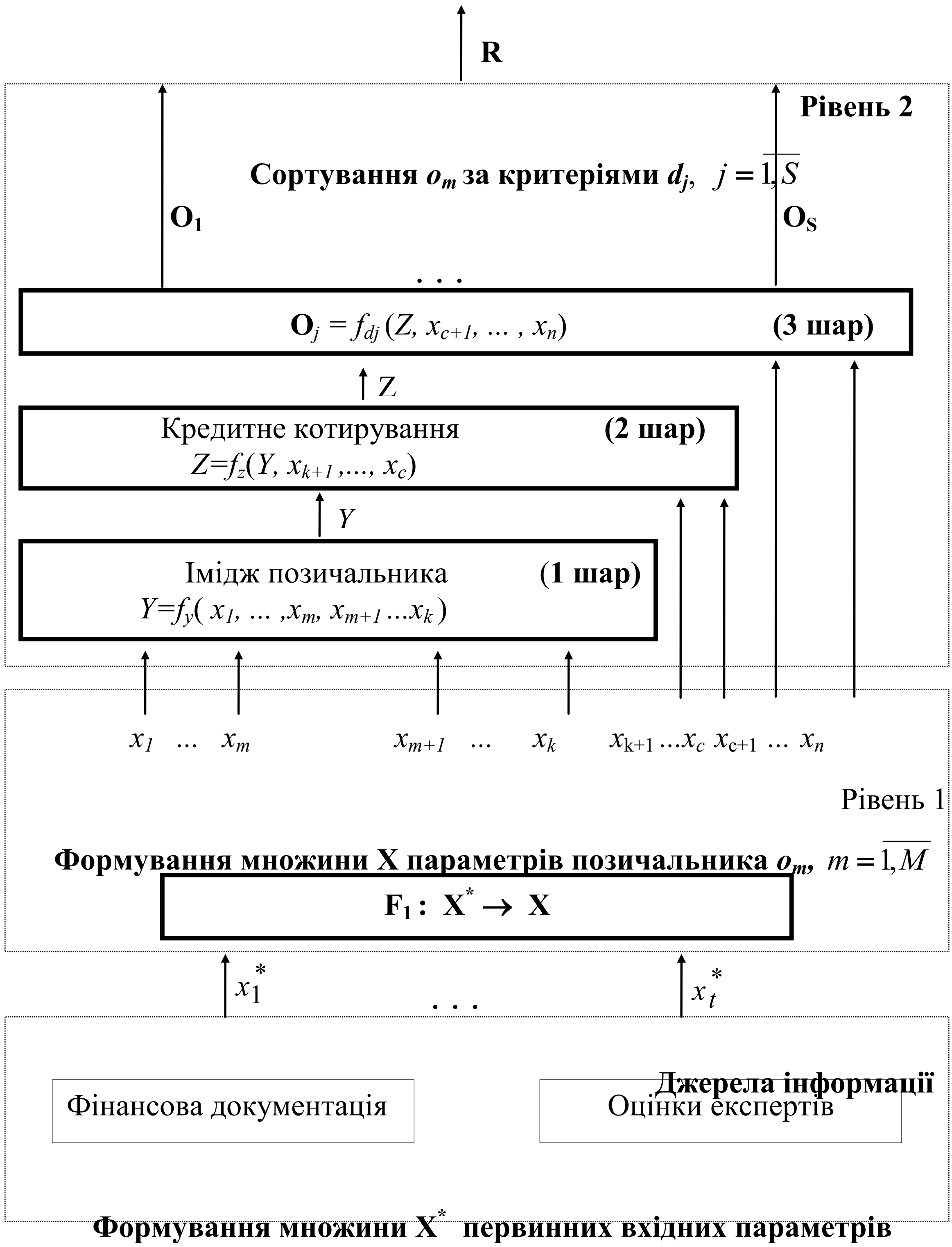


Рис.3.1 - **Структурна модель СППР щодо кредитування з урахуванням ризику**

пропонується загальну структурну модель багаторівневої СППР, що наведена на рис. 2.3, представити в термінах інвестиційної стратегії так, як зображено на рис. 3.2. СППР, що зображена на рис. 3.2, складається з трьох рівнів [148-150].

Задача банка-інвестора полягає у формуванні оптимального інвестиційного портфеля **R**, виходячи з одного з інвестиційних портфелів, що складені за певними інвестиційними стратегіями, які описуються критеріями $d_j,\ j = \overline{1,S}$. Для цього формується єдина множи-на оцінювальних параметрів **X** цінного паперу та його емітента [148-150], виходячи з вищезгаданих вимог щодо її повноти, мінімальності та дійовості. Емітент ЦП - це установа, яка здійснює його випуск. Обчислюються множини $\mathbf{X}_{\mathrm{m}}$, $\mathbf{X}=\{\mathbf{X}_{\mathrm{m}}\}$, кожного o_m цінного паперу. Для цього аналізується інформація про множину цінних паперів, що існують на ринку. З них визначається певна множина М, яка буде підлягати подальшому оцінюванню для визначення належності таких ЦП до відповідної банківської інвестиційної стратегії формування портфеля. Кожний банк має свої стратегічні цілі, які зумовлюють інвестування його грошей у ту чи іншу множину цінних паперів.

Визначивши приблизний перелік потенційних емітентів, банк повинен запросити в них відповідну інформацію, звітність, яка достатньо характеризує їх фінансовий та майновий стан, зокрема, план виробництва, фінансову звітність підприємства, що здійснює випуск.

Виходячи з цього, з’ясовується вид продукції, що виробляється, чи послуг підприємства-емітента; його обсяг виробництва, операційні результати підприємства (річний прибуток, виручка), рентабельність, ліквідність, платоспроможність, рівень продукції чи послуг, ефективність використання активів, рівень заборгованості. Крім того, необхідно з’ясувати стан зовнішньо-економічного та регулятивного оточення.

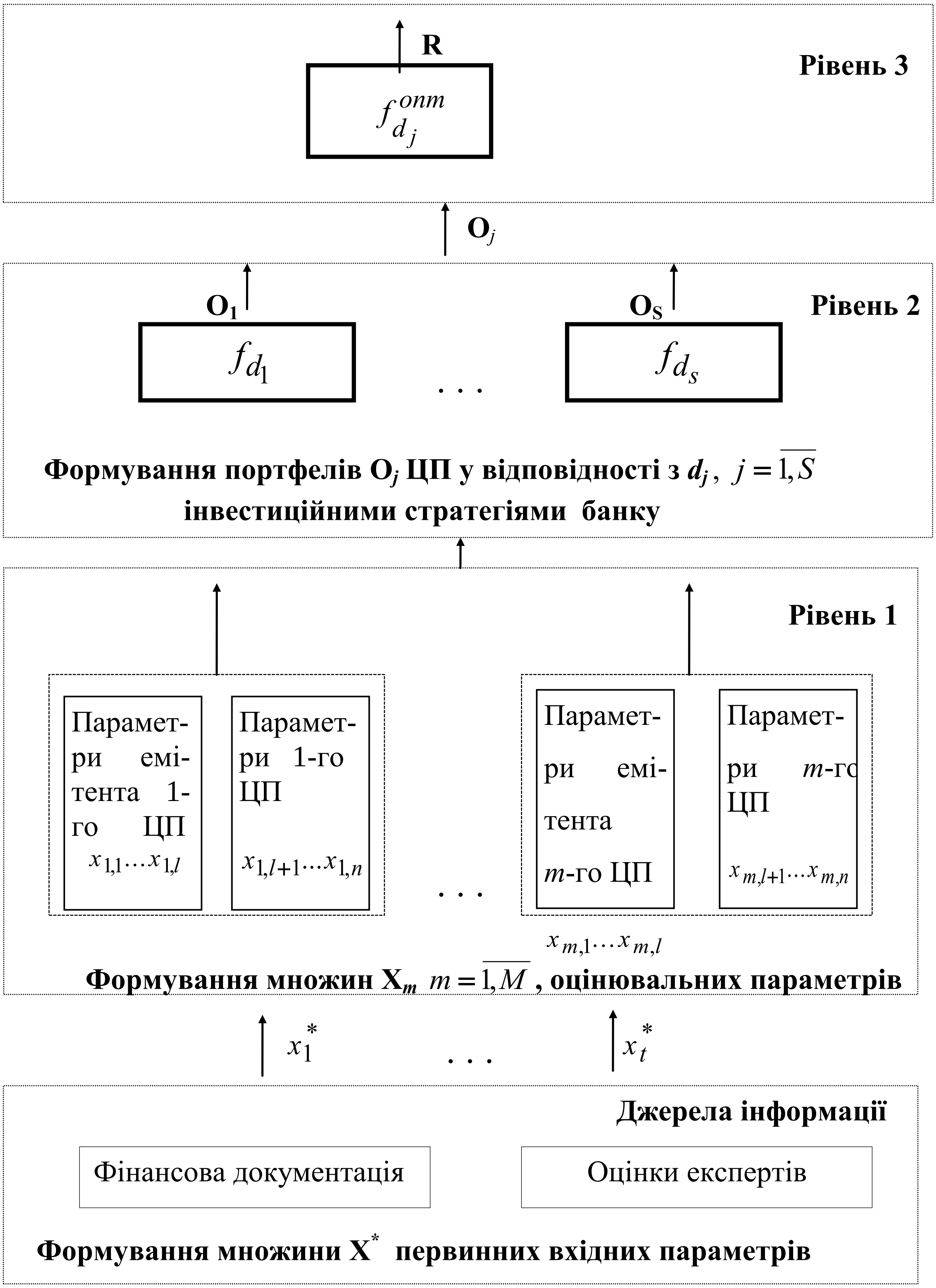


Рис.3.2 **- Структурна модель багаторівневої СППР щодо визначення оптимального інвестиційного портфеля**

Всі ці дані, а також оцінки експертів є джерелом інформації для формування множини **X*** вхідних первинних параметрів.

За допомогою розроблюваної математичної моделі оцінювання інвестиційного ризику та складання оптимального портфеля цінних паперів можливо враховувати n оцінювальних характеристик цінного паперу та його емітента.

На підставі вищерозглянутої інформації на першому рівні з'ясовуються [148-150]: параметри емітента цінного паперу $x_{k,1}...x_{k,l}$ й безпосередньо параметри самого цінного паперу $x_{k,l+1}...x_{k,n}$, $k = \overline{1,m}$.

Для другого рівня вхідними даними є множини $\mathbf{X}_m$ $m = \overline{1,M}$, що отримані на першому рівні. На даному рівні здійснюється формування S інвестиційних портфелів $\mathbf{O}_j$, $j = \overline{1,S}$, виходячи з відповідних інвестиційних стратегій, що описуються критеріями d_j віднесення цінних паперів o_m до відповідного інвестиційного портфеля $\mathbf{O}_j$. Для цього спочатку необхідно визначити кількість S інвестиційних стратегій, якими користуються банки-інвестори, а потім сформувати критерії d_j віднесення цінних паперів o_m до відповідного інвестиційного портфеля $\mathbf{O}_j$.

Вхідними даними для третього рівня СППР є отримані інвестиційні портфелі $\mathbf{O}_j$, $j = \overline{1,S}$. Виходячи зі структурної моделі багаторівневої СППР, що зображена на рис. 2.3, на цьому рівні будь-який із сформованих портфелів $\mathbf{O}_j$ може оптимізуватися за певною цільовою функцією. Для цього спочатку визначаються кореляційні залежності між розглянутими цінними паперами у сформованих інвестиційних портфелях. На базі цих залежностей та ЦП, що складають портфель $\mathbf{O}_j$, визначається часткове співвідношення цінних паперів в інвестиційному портфелі (тобто формується $F_{d_j}^{onm}$) так, щоб він став оптимальним.

Критерієм оптимальності [148-150] для будь-якого сформованого інвестиційного портфеля буде мінімізація ризику при бажаному рівні очікуваного прибутку. Таким чином, стає можливим отримати оптимальний портфель **R** для будь-якої інвестиційної стратегії банку.

Аналіз запропонованих двох моделей показує, що для формалізації процеса прийняття рішення необхідно визначити множини вихідних параметрів, а також сформулювати математичний опис функцій, що реалізуються на кожному шарі та рівні. Для опису цих функцій будемо використовувати математичний апарат ПЕ, НМ та лінійного програмування.

3.2 Формування множин вхідних/вихідних параметрів СППР

Розглянемо спочатку формування множин вхідних/вихідних параметрів СППР щодо кредитування. Згідно зі структурною моделлю СППР (див. рис. 3.1), множина оцінювальних параметрів **X** повинна забезпечити формування таких складних параметрів як імідж позичальника Y та кредитне котирування Z.

Імідж позичальника визначається на основі кількісних та якісних параметрів [141, 145,146] .

Аналіз кількісних оцінювальних параметрів, що пропонується в роботах [83, 88, 101], а також основні вимоги положення «Про формування і використання резерву для відшкодування можливих втрат за кредитними операціями комерційних банків» [102] дозволяють сформувати множину необхідних кількісних параметрів оцінювання позичальника $x_1...x_8$. Тут x_1 – коефіцієнт грошової платоспроможності позичальника, x_2 – коефіцієнт розрахункової платоспроможності позичальника, x_3 – коефіцієнт ліквідної платоспроможності позичальника, x_4 – коефіцієнт загальної ліквідності позичальника, x_5 – коефіцієнт абсолютної ліквідності позичальника, x_6 –

коефіцієнт рентабельності реалізації позичальника, x_7 – коефіцієнт стійкості фінансового стану позичальника, x_8 — коефіцієнт забезпеченості кредиту.

В свою чергу ці оцінювальні параметри обчислюються на основі первинних вхідних параметрів: x_1^* – високоліквідні активи позичальника (250, 260, 270, 280, 290, 310 рядки балансу ф.№1), x_2^* – короткострокові зобов'язання позичальника – підсумок по ІІІ розділу пасива балансу ф.№1; x_3^* – ліквідні активи позичальника – 130 рядок та підсумок по ІІІ розділу активу балансу ф.№1; x_4^* – ІІ та ІІІ розділи активу балансу позичальника; x_5^* – ІІ и ІІІ розділи пасиву балансу та власні обігові кошти позичальника (ф.№1); x_6^* – абсолютно ліквідні активи позичальника; x_7^* –чистий прибуток позичальника від реалізації, x_8^* – обсяг продажу позичальника; x_9^* – основні кошти та вкладення позичальника; x_{10}^* – запаси та витрати; x_{11}^* –грошові кошти, короткострокові фінансові вкладення, дебіторська заборгованість та інші активи; x_{12}^* – джерела власних коштів; x_{13}^* – середньострокові, довгострокові кредити та позикові кошти; x_{14}^* – короткострокові кредити, позики, не погашені в строк; x_{15}^* – кредиторська заборгованість та позикові кошти; x_{16}^* – сума застави; x_{17}^* – розмір кредиту.

Методику обчислення параметрів [x_1... x_6, x_8] надано у [81, 83-85, 88, 101, 102]. Обчислення x_7 — коефіцієнта стійкості фінансового стану позичальника здійснюється за методикою, що викладена у [84] з урахуванням того, що для ідентифікації стійкості фінансового стану необхідно використовувати таке правило:

$$K_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } y_i \geq 0, \\ 0, & \text{якщо } y_i < 1, \end{cases} \qquad [i=1,3]$$

$$x_7 = \sum_{i=1}^{3} K_i ,$$

Виходячи з аналізу якісних оцінювальних параметрів позичальника, що пропонуються в роботах [83, 85, 88, 101], а також основних вимог положення [102], в монографії пропонується така множина якісних параметрів оцінювання позичальника $x_{13}...x_{17}$ [143-145]: x_{13} – розрахунки позичальника з попередніми кредитами та іншими виплатами, x_{14} – розрахунки з робітниками, x_{15} – професійні здібності позичальника, x_{16} – порядність позичальника, x_{17} – стан реклами та досвід позичальника. Оцінювання якісних параметрів $x_{13}..x_{17}$ пропонується здійснюватися природною мовою ОПР за допомогою лінгвістичних термів: Н – низький, С – середній, В – високий.

Оцінювання параметрів x_{13} та x_{14} відповідним лінгвістичним термом здійснюється на базі якісних первинних параметрів: x^*_{18}– розрахунки за кредити (500, 600, 620 рядки балансу позичальника), x^*_{19}– розрахунки по оплаті праці та з іншими кредиторами (700, 720 рядок балансу позичальника), які можуть бути отримані з аналізу початкової балансової інформації.

Виходячи із запропонованої у підрозділі 2.3 методики визначення лінгвістичного терму для таких якісних параметрів, пропонується алгоритм обчислення цих параметрів, граф-схема якого наведена на рис. 3.3 [145]. Тут А – аналіз початкової балансової інформації; В – позичальник розрахувався в повному обсязі із зобов’язаннями; С – позичальник розрахувався не в повному обсязі із зобов’язаннями.

Для визначення параметру x_{15} (професійні здібності позичальника) пропонується використовувати такі характеристики, що найбільш повно описують професіоналізм керівництва фірми-позичальника і мають бальну

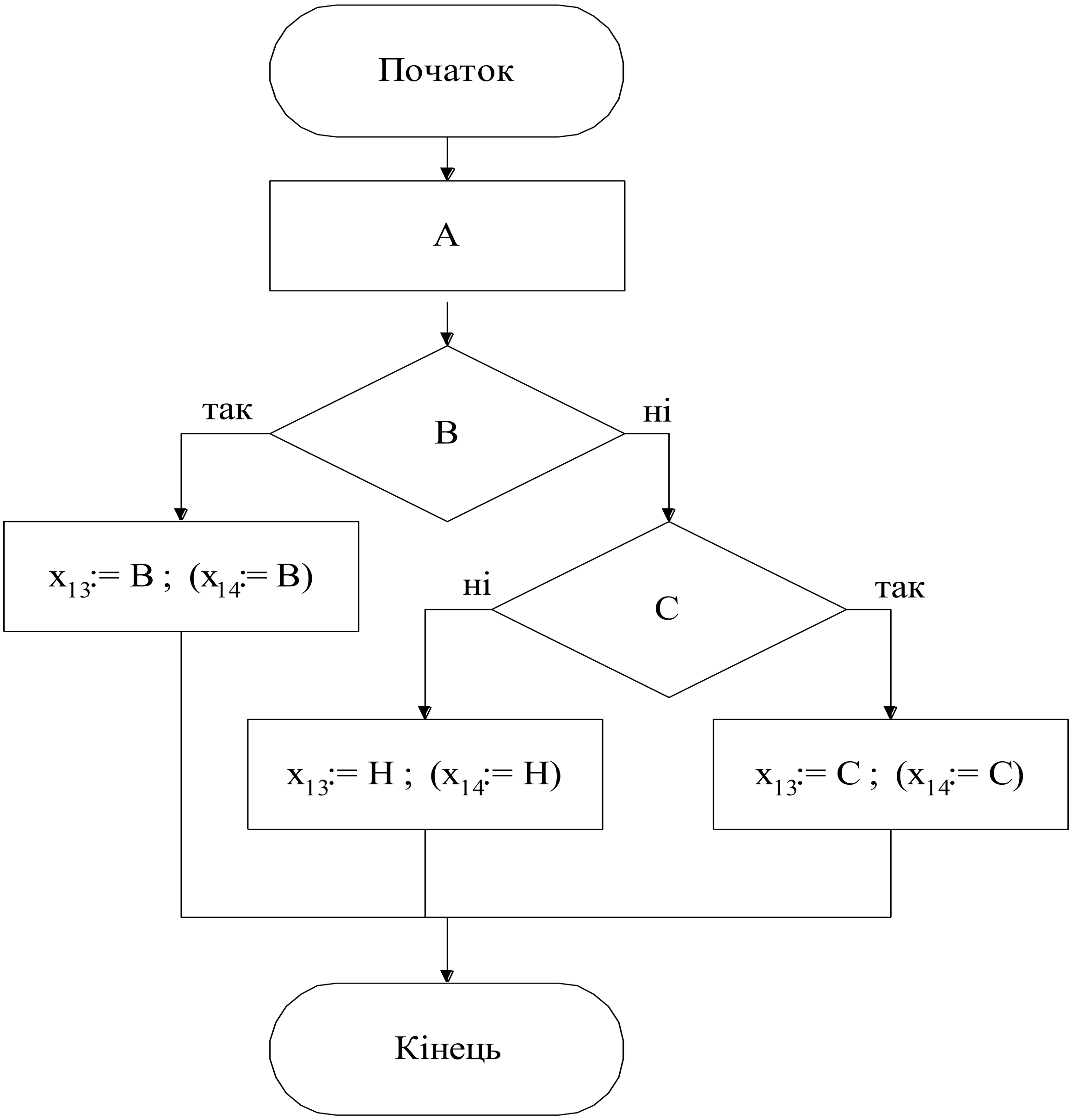


Рис. 3.3 - Граф-схема алгоритму визначення коефіцієнтів x_{13} (x_{14})

оцінку (див. табл. 3.1) [145-147,151,152]. Скориставшися експертними знаннями щодо впливовості первинних вхідних параметрів ($x_{20}^{*} ... x_{25}^{*}$) на рівень професіоналізму та викладеною у підрозділі 2.3 методикою перетворення **Б-Ч→Я**, обчислення параметру x_{15} в даній роботі пропонується здійснювати за допомогою співвідношення:

$$x_{15} = \begin{cases} H, \text{ якщо } 0 \le \sum_{i=1}^{6} b_l \le 8; \\ C, \text{ якщо } 8 < \sum_{i=1}^{6} b_l \le 12; \\ B, \text{ якщо } 12 < \sum_{i=1}^{6} b_l \le 20. \end{cases}$$

Таблиця 3.1 - Професійні характеристики оцінювання позичальника

Найменування параметра	Параметр	Бальна оцінка – b_l
Рівень спеціальних знань	x_{20}^{*}	[0 - 5]
Компетентність	x_{21}^{*}	[0 - 5]
Аналітичність	x_{22}^{*}	[0 - 4]
Оперативність	x_{23}^{*}	[0 - 2]
Комунікативність	x_{24}^{*}	[0 - 2]
Комунікаційність	x_{25}^{*}	[0 - 2]

Оцінювання параметра x_{16} (порядність позичальника) певним лінгвістичним термом ОПР здійснюється за допомогою таких вхідних первинних параметрів: x_{26}^{*} – наявність правопорушень, судимостей керівництва фірми-позичальника; x_{27}^{*} – точність виконання укладених раніше договорів та сплата зобов’язань; x_{28}^{*} – повнота та коректність наданих у банк фінансових звітів позичальника. Ця інформація надасть можливість визначити належність x_{16} до певного лінгвістичного терму за алгоритмом, граф-схема якого зображена на рис. 3.4. Тут A – аналіз інформації, що отримано з міжбанківських архівів, бізнес-плану та інших джерел; B – позичальник мав кримінальне минуле; C – позичальник не є точним при виконанні раніше укладених договорів з банками (або іншими фінансовими партнерами); D – позичальник приховує деяку інформацію, яка стосується його фінансового стану; E – позичальник коректно складає звітність у відповідності до існуючого законодавства.

Оцінювання параметра x_{17} (рекламна політика та досвід позичальника) відповідним лінгвістичним термом пропонується визначати за допомогою первинних вихідних параметрів: x_{29}^{*} – кількість коштів, що витрачаються на рекламу щорічно, x_{30}^{*} – строк діяльності фірми-позичальника. Визначення лінгвістичного терму, яким описується цей параметр, автором пропонується здійснювати з використанням алгоритму, граф-схема якого зображена на рис. 3.5. Тут A – аналіз необхідної інформації з бізнес-плану; B – стан реклами на фірмі є задовільним; C – досвід роботи фірми є більшим за три роки.

Згідно з [83, 145, 146], вхідною інформацією для визначення кредитного котирування Z позичальника o_m, $m = \overline{1,M}$ є коефіцієнт ризику позичальника (x_9) та складний показник іміджу позичальника Y.

У роботі [88] пропонується обчислювати параметр x_9 за допомогою первинних вхідних параметрів: x_{31}^{*} – розміри ризиків, пов'язаних з даною кредитною операцією, що розглянуті у таблиці 2.4 роботи [88], x_{32}^{*} – коригуючий коефіцієнт, що враховує кредитоспроможність позичальника, x_{33}^{*} – коефіцієнт зовнішньо-економічного впливу та x_{17}^{*}.

Але в роботі [88] не надано чіткої методики визначення значення

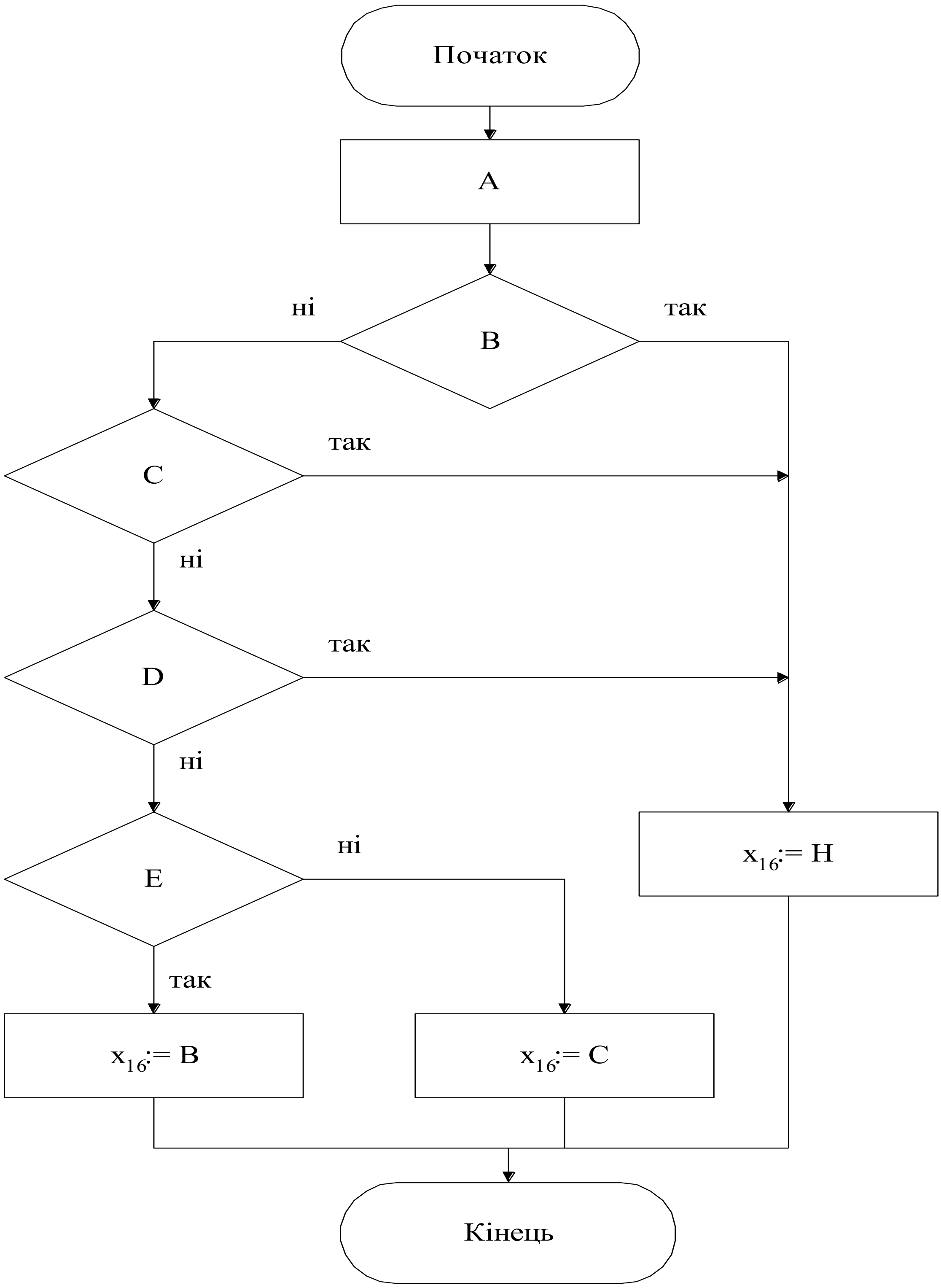


Рис. 3.4 - Граф-схема алгоритму визначення параметру x_{16}

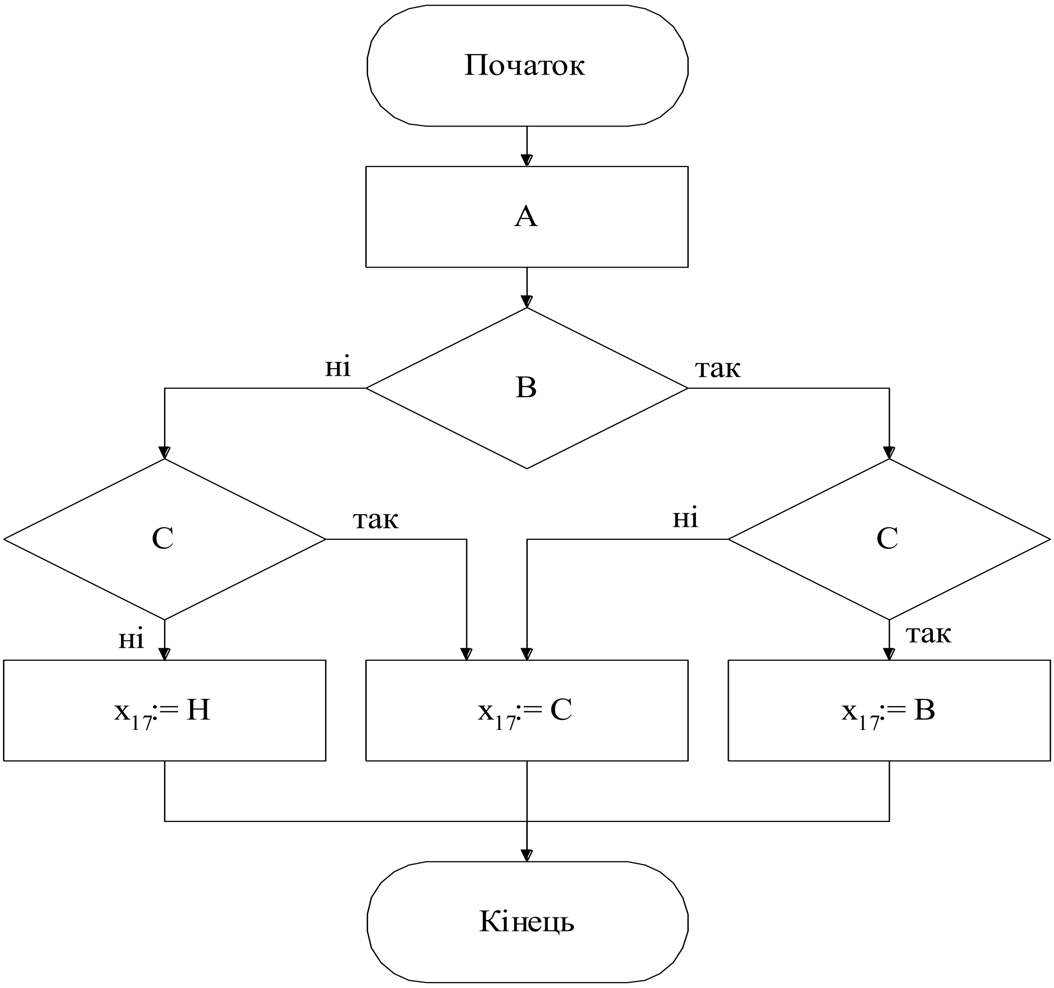


Рис. 3.5 - Граф-схема алгоритму визначення параметру x_{17}

коефіцієнту зовнішньо-економічного впливу. Тому автор запропонував у [144, 145] методику обчислення його на базі сукупності таких характе-ристик: x^*_{34} – коефіцієнт загрози стабільності іззовні (k_1), $x^*_{34} \in [0..1]$; x^*_{35} – коефіцієнт загрози стабільності уряду (k_2), $x^*_{35} \in[0..1]$; x^*_{36}– коефіціфіцієнт зростання експорту в наступні 12 місяців (k_3), $x^*_{36} \in[1..0]$; x^*_{37} –коефіцієнт зростання імпорту в наступні 12 місяців (k_4), $x^*_{37} \in[0..1]$; x^*_{38} – коефіцієнт змінення обмінного курсу валюти в наступні 12 місяців (k_5), $x^*_{38} \in[1..0]$;

x_{39}^{*} – коефіцієнт динаміки обмежень на торгівлю з доларовою зоною у наступні 12 місяців (k_6), $x_{39}^{*} \in [1..0]$.

Вхідною інформацією для третього шару другого рівня є обчислене на другому шарі кредитне котирування (Z) та параметри: x_{10} – коефіцієнт заборгованості позичальника, x_{11} – коефіцієнт власних коштів позичальника; x_{12} – коефіцієнт суми кредиту. Ці параметри обчислюються за методиками, що надані у роботах [83, 84, 88, 153, 154] на базі вхідних первинних параметрів: x_{40}^{*} – власні кошти позичальника (SS), x_{41}^{*} – II та III розділи пасиву балансу позичальника (P_{23}).

Множину вихідних параметрів $\boldsymbol{O} = \{O_1,..,O_s\}$ згідно з [102], складають такі рішення [145-147]:

O_1 – негативне рішення про надання кредиту;

O_2 – позитивне рішення про надання кредиту за жорстких умов кредитування (гарантії третіх осіб, збільшена застава, підвищена процентна ставка, страхування);

O_3 – позитивне рішення про надання кредиту за умов його страхування або застави;

O_4 – позитивне рішення про надання кредиту за стандартних умов кредитування;

O_5 – позитивне рішення про надання кредиту за пільгових умов (для надійних постійних клієнтів банку).

Таким чином, визначено множину (x_{11},..,x_{17}) оцінювальних параметрів x_i позичальника, значення яких обчислюються на базі вхідних первинних параметрів (x_1^{*},...,x_{41}^{*}).

Розглянемо формування множин вхідних/вихідних параметрів СППР щодо визначення оптимального інвестиційного портфеля ЦП.

Згідно зі структурною моделлю багаторівневої СППР щодо визначення оптимального інвестиційного портфеля (див. рис. 3.2) необхідно скласти множину параметрів, що оцінюють o_m, $m=\overline{1,M}$ цінний папір та його емітента. Визначення оцінювальних параметрів будемо здійснювати, виходячи з декомпозиційного принципу паралельної реалізації F, який було викладено у підрозділі 2.1.

На першому рівні формується множина оцінювальних параметрів (x_1,..,x_{14}), яка складається з параметрів емітента цінного паперу і параметрів самого цінного паперу.

Автором було проаналізовано множини параметрів, що оцінюють ЦП та його емітента, які розглянуті у роботах [87-89, 91, 93], а також основні вимоги положення [96]. Це дозволило сформувати множину оцінювальних параметрів емітента ЦП (x_1,..,x_{10}) та самого ЦП (x_{11},..,x_{14}). Тут x_1 – коефіцієнт річної виручки x_2 – коефіцієнт маневрування емітента; x_3 – коефіцієнт рентабельності реалізації емітента; x_4 – коефіцієнт загальної ліквідності емітента; x_5 – коефіцієнт абсолютної ліквідності емітента; x_6 – коефіцієнт грошової платоспроможності емітента; x_7 – коефіцієнт розрахункової платоспроможності емітента; x_8 – коефіцієнт автономності емітента [102]; x_9 – коефіцієнт власних обігових коштів емітента; x_{10} – коефіцієнт зовнішньоекономічного впливу на емітента; x_{11} – очікувана доходність ЦП; x_{12} – коефіцієнт ризику ЦП; x_{13} – коефіцієнт ліквідності ЦП; x_{14} – коригуючий коефіцієнт, що враховує вид ЦП.

У свою чергу ці оцінювальні параметри обчислюються на основі первинних вхідних параметрів: x_1^* – розмір річної виручки; x_2^* – розмір статутного фонду емітента; x_3^* – І розділ пасиву балансу емітента; x_4^* – ІІ розділ пасиву балансу емітента; x_5^* – короткострокові зобов’язання емітента – підсумок по ІІІ розділу пасива балансу ф.№1; x_6^* – чистий прибуток від реалізації емітента; x_7^* – обсяг продажу емітента; x_8^* – II та III розділи активу балансу емітента; x_9^* – абсолютно ліквідні активи емітента; x_{10}^* – високоліквідні активи позичальника (250, 260, 270, 280, 290, 310 рядки балансу ф.№1); x_{11}^* – ліквідні активи емітента – 130 рядок та підсумок по III розділу активу балансу ф.№1; x_{12}^* – I розділ активу балансу емітента; x_{13}^* – коефіцієнт загрози стабільності іззовні, $x_{13}^* \in$ [0..1]; x_{14}^* – коефіцієнт загрози стабільності уряду, $x_{14}^* \in$[0..1]; x_{15}^* – коефіцієнт зростання експорту в наступні 12 місяців, $x_{15}^* \in$[1..0]; x_{16}^*– коефіцієнт зростання імпорту в наступні 12 місяців, $x_{16}^* \in$[0..1]; x_{17}^* – коефіцієнт змінення обмінного курсу валюти в наступні 12 місяців $x_{17}^* \in$[1..0]; x_{18}^* – коефіцієнт динаміки обмежень на торгівлю з доларовою зоною у наступні 12 місяців, $x_{18}^* \in$ [1..0]; x_{19}^* – дохідність акції при певному економічному стані S; x_{20}^* – кількість проданих ЦП, x_{21}^* – кількість повернутих ЦП.

Методики обчислення коефіцієнтів x_1, x_3 – x_7, x_9 викладено у [83, 87-89, 96, 154, 155], а коефіцієнтів x_2 та x_8 у положенні [102]. Обчислення коефіцієнта x_{10} (зовнішньо-економічний вплив на емітента) автор пропонує здійснювати за методикою, що визначена вище для коефіцієнта – x_{33}^*, який оцінюється при кредитуванні позичальника. Обчислення параметрів x_{11} та x_{12} пропонується за підходом, який розглянуто у підрозділі 1.3. Визначення параметра x_{13} (ліквідність ЦП) пропонується здійснювати за допомогою співвідношення [148]:

$$x_{13} = \frac{SA - RA}{SA} \quad , \quad x_{13} \in [0..1] \,,$$

де

SA – кількість проданих ЦП,

RA – кількість повернутих ЦП.

Числові значення для коригуючого параметра x_{14} з урахуванням виду ЦП, які надано у табл.3.2, розглянуті в роботах [148-150].

Таблиця 3.2 - Визначення параметра x_{14}

Вид ЦП	**Значення x_{14}**
Облігації держави	$x_{14} = 0,9$
Облігації, що забезпечені заставою	$x_{14} = 0,8$
Облігації, що не забезпечені заставою	$x_{14} = 0,6$
Привілейовані акції	$x_{14} = 0,4$
Прості акції	$x_{14} = 0,3$

Таким чином, визначено множину ($x_1,..,x_{14}$) оцінювальних параметрів x_i ЦП та його емітента, значення яких обчислюються на базі вхідних первинних параметрів ($x_1^*,...,x_{21}^*$).

Відповідно з існуючими підходами [100] на другому рівні СППР будемо здійснювати сортування паперів за інвестиційними стратегіями $\{d_1,..,d_3\}$, користуючися такими правилами: d_1 – портфель, що характеризується консервативною банківською стратегією; d_2 – портфель з помірною стратегією банку; d_3 – портфель, що характеризується агресивною банківською стратегією.

3.3 Алгоритми формалізації СППР щодо кредитування на основі математичного апарата НМ

У підрозділі 2.3 запропоновано алгоритм формалізації СППР на базі математичного апарату нечітких множин. Умовно цей алгоритм можливо поділити на дві частини. Перша частина (кроки 4.1-4.3) полягає в тому, що визначаються множини вхідних/вихідних параметрів. Друга – (кроки 4.4 - 4.7) це визначення функцій, що реалізуються в СППР. Перша частина згаданого алгоритму стосовно кредитування була розглянута у підрозділі 3.2 даної монографії. Тому в цьому підрозділі будемо розглядати другу частину цього алгоритму для прийняття кредитового рішення [145,146].

Для реалізації кроків 4.5-4.7 пропонується такий алгоритм.

Алгоритм 6

Крок 6.1 Визначити кількість t оцінювальних лінгвістичних термів.

Крок 6.2 Побудувати графіки функцій належності μ^{d_j}, $j=\overline{1,S}$ значень кількісних параметрів $x_1,...,x_{12}$ t лінгвістичним термам у загальному вигляді.

Крок 6.3 Визначити математичні вирази, що описують функції належності μ^{d_j} кількісних параметрів.

Крок 6.4 Скласти таблицю значень характеристичних точок t лінгвістичних термів для кількісних параметрів оцінювання $x_1...x_{12}$.

Крок 6.5 Побудувати графіки функцій належності μ^{d_j} значень якісних параметрів $x_{13},...,x_{17}$ t лінгвістичним термам у загальному вигляді.

Крок 6.6 Визначити математичні вирази, що описують функції належності μ^{d_j} якісних параметрів $x_{13},...,x_{17}$.

Крок 6.7 Скласти таблицю значень функцій належності якісних параметрів t лінгвістичним термам.

Крок 6.8 Скласти матриці знань для визначення іміджу позичальника Y, його кредитного котирування Z та остаточного рішення.

Крок 6.9 Побудувати багатопараметричні функції належності $\mu^{d_j}(x_1,\ldots,x_{14})$ на базі матриць знань.

Розглянемо реалізацію даного алгоритму. Для оцінювальних параметрів $x_1,\ldots,x_{17}$ будемо використовувати єдину шкалу лінгвістичних термів: Н – низький, С – середній, В – високий.

Побудуємо функції належності з ненормованими значеннями a, a_1, a_2, c, c_1, d, d_1, b для кожного параметру окремо. Для кожного лінгвістичного терму задамо функцію належності, виходячи з варіантів функцій, що наведені на рис.2.6. Специфіка обраних кількісних параметрів полягає в тому, що при зміненні цих параметрів в певному проміжку значення функції не змінюється, а за межами цього проміжку існує нелінійна залежність. Тому в монографії пропонується використовувати [145, 146] для терму Н функцію належності, що зображена на рис. 2.6 (б) при b=0. Для терму С – функцію належності, що наведена на рис. 2.6 (г), а терму В буде відповідати функція належності, що зображена на рис. 2.6 (в) при $c = d$.

Таким чином, отримаємо функції належності трьох нечітких термів для кількісних параметрів $x_1,\ldots,x_{12}$, які зображено на рис. 3.6.

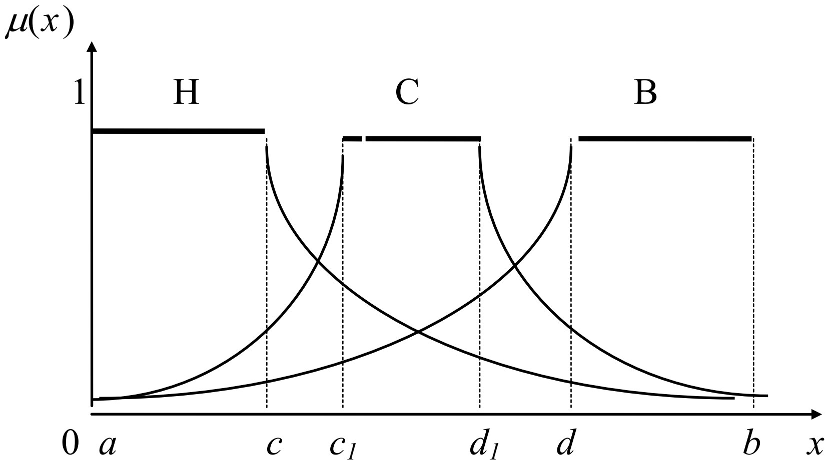


Рис.3.6 - Функції належності трьох нечітких термів для кількісних параметрів $x_1 \ldots x_{12}$

У цих функціях (3.4)–(3.6) приймемо k=1.5, яке наближує їх до функціональних залежностей реальних банківських даних.

$$\mu^{н}(x)=\begin{cases}1, & x\in[a,c);\\ \left(\dfrac{b-x}{b-c}\right)^{1,5}, & x\in[c,b],\end{cases} \tag{3.4}$$

$$\mu^{c}(x)=\begin{cases}\left(\dfrac{x-a}{c_1-a}\right)^{1,5}, & x\in[a,c_1];\\ 1, & x\in(c_1,d_1);\\ \left(\dfrac{b-x}{b-d_1}\right)^{1,5}, & x\in[d_1,b].\end{cases} \tag{3.5}$$

$$\mu^{в}(x)=\begin{cases}\left(\dfrac{x-a}{d-a}\right)^{1,5}, & x\in[a,d];\\ 1, & x\in(d,b],\end{cases} \tag{3.6}$$

Значення a, c, c_1, d, d_1, b для кожного кількісного параметру визначаються, виходячи із запропонованого діапазону змінювання параметрів, та зведені у таблицю 3.3.

Графіки функцій належності μ^{d_j} значень якісних параметрів $x_{13},...,x_{17}$ t лінгвістичним термам у загальному вигляді надано на рис. 2.8.

Для визначення математичних виразів, що описують функції належності μ^{d_j} якісних параметрів $x_{13},...,x_{17}$ скористаємося рівнянням прямої. Виходячи з цього, отримаємо такі рівняння прямих з рис. 2.8:

$$\mu^{н}(x)=\begin{cases}1, & x\in[0;\ 0{,}2]\\ \dfrac{1-x}{0{,}8}, & x\in(0;\ 1]\end{cases}$$

Таблиця 3.3 - Значення параметрів *a...b* для кількісних параметрів $x_1 \dots x_{12}$

x	a	b	c	d_1	c_1	d
x_1	0	3,0	1	1,6	1,2	1,8
x_2	0	3,0	1,2	1,8	1,4	2,0
x_3	0	3,0	1,0	1,6	1,2	1,8
x_4	0	3,0	1,1	1,7	1,3	1,9
x_5	0	3,0	1,1	1,7	1,3	1,9
x_6	0	1,0	0,35	0,55	0,45	0,65
x_7	0	3,0	1,0	2,5	2,0	2,7
x_8	0	2,0	1,25	1,6	1,4	1,8
x_9	0	1,0	0,2	0,6	0,4	0,8
x_{10}	0	2,0	0,5	0,9	0,7	1,1
x_{11}	0	1,0	0,5	0,8	0,65	1,0
x_{12}	0	1,0	0,2	0,4	0,3	0,5

$$\mu^{c}(x) = \begin{cases} \dfrac{x}{0{,}5}, & x \in [0;\ 0{,}5] \\ \dfrac{1-x}{0{,}5}, & x \in (0{,}5;\ 1] \end{cases}$$

$$\mu^{в}(x) = \begin{cases} \dfrac{x}{0{,}8}, & x \in [0;\ 0{,}8] \\ 1, & x \in (0{,}8;\ 1] \end{cases}$$

Вся сукупність значень функцій належності для t=3 наведена у табл. 2.4.

Використовуючи інформацію, що була надана банківськими експертами в галузі фінансового менеджменту [156], складемо відповідні матриці знань для визначення іміджу позичальника Y, його кредитного котирування Z та остаточного рішення.

Таблиця 3.4 - Матриця знань для визначення

іміджу позичальника

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	**Y**
Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	
Н	С	Н	Н	Н	Н	С	С	Н	Н	Н	С	Н	
Н	С	С	С	С	Н	С	Н	Н	С	Н	Н	Н	**Н**
Н	С	Н	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	С	С	С	
С	С	Н	С	С	С	С	С	С	Н	Н	Н	Н	
Н	С	Н	С	С	Н	С	С	Н	Н	Н	С	С	
С	В	С	С	С	С	В	С	С	С	С	С	С	
С	В	С	С	С	С	В	Н	С	Н	С	С	С	
С	В	С	В	В	С	С	Н	С	С	С	Н	С	**С**
С	С	С	С	В	С	С	С	В	В	В	С	В	
С	В	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	
Н	В	С	С	В	С	В	Н	С	Н	С	В	В	
С	В	В	В	С	С	В	С	С	В	С	С	С	
В	В	В	В	В	В	В	В	В	С	В	В	В	
В	С	С	В	В	В	С	С	В	С	С	С	С	
С	С	В	В	В	С	С	В	С	В	В	В	В	**В**
В	В	В	В	В	В	В	С	В	В	С	В	В	
В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	
С	В	В	С	С	В	В	С	В	В	С	В	В	

Таблиця 3.5 - Матриця знань для

визначення кредитного котирування

Y	x_9	**Z**
Н	В	**Н**
С	В	
С	С	**С**
С	Н	
В	С	**В**
В	Н	

Таблиця 3.6 - Матриця знань для визначення остаточного рішення

x_{10}	x_{11}	x_{12}	**Z**	**O**
Н	Н	В	Н	O_1
С	Н	В	Н	
С	С	В	Н	
Н	С	С	Н	
Н	Н	В	С	
Н	Н	С	С	O_2
Н	В	В	С	
В	В	В	Н	
С	С	С	С	O_3
С	Н	С	С	
С	В	С	В	O_4
В	С	С	В	
В	В	Н	В	O_5

Використовуючи методику, що наведена в [102], опишемо ці матриці знань логічними рівняннями (3.7) – (3.17), що пов’язують функції належності змінних Y, Z та O_j:

$$\begin{aligned}
\mu^{н}(y) = {} & \mu^{н}(x_1)*\ldots*\mu^{н}(x_8)*\mu^{н}(x_{13})*\ldots*\mu^{н}(x_{17}) \vee \mu^{н}(x_1)*\mu^{с}(x_2)*\mu^{н}(x_3)* \\
& *\mu^{н}(x_4)*\mu^{н}(x_5)*\mu^{н}(x_6)*\mu^{с}(x_7)*\mu^{с}(x_8)*\mu^{н}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14})*\mu^{н}(x_{15})* \\
& *\mu^{с}(x_{16})*\mu^{н}(x_{17}) \vee \mu^{н}(x_1)*\mu^{с}(x_2)*..*\mu^{с}(x_5)*\mu^{н}(x_6)*\mu^{с}(x_7)*\mu^{н}(x_8)* \\
& *\mu^{н}(x_{13})*\mu^{с}(x_{14})*\mu^{н}(x_{15})*\mu^{н}(x_{16})*\mu^{н}(x_{17}) \vee \mu^{н}(x_1)*\mu^{с}(x_2)*\mu^{н}(x_3)* \\
& * \ldots *\mu^{н}(x_8)*\mu^{с}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14})*\mu^{с}(x_{15})*\mu^{с}(x_{16})*\mu^{с}(x_{17}) \vee \mu^{с}(x_1)* \\
& *\mu^{с}(x_2)*\mu^{н}(x_3)*\mu^{с}(x_4)*\ldots*\mu^{с}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14})* \ldots *\mu^{н}(x_{17}) \vee \mu^{н}(x_1)* \\
& *\mu^{с}(x_2)*\mu^{н}(x_3)*\mu^{с}(x_4)*\mu^{с}(x_5)*\mu^{н}(x_6)*\mu^{с}(x_7)*\mu^{с}(x_8)*\mu^{н}(x_{13})* \\
& *\mu^{н}(x_{14})*\mu^{н}(x_{15})*\mu^{с}(x_{16})*\mu^{с}(x_{17});
\end{aligned} \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned}
\mu^{с}(y) = {} & \mu^{с}(x_1)*\mu^{в}(x_2)*\mu^{с}(x_3)*..*\mu^{с}(x_6)*\mu^{в}(x_7)*\mu^{с}(x_8)*\mu^{с}(x_{13})*..*\mu^{с}(x_{17}) \\
& \vee \mu^{с}(x_1)*\mu^{в}(x_2)*\mu^{с}(x_3)*..*\mu^{с}(x_6)*\mu^{в}(x_7)*\mu^{н}(x_8)*\mu^{с}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14})*
\end{aligned} \tag{3.8}$$

$$* \mu^{c}(x_{15}) * \mu^{c}(x_{16}) * \mu^{c}(x_{17}) \vee \mu^{c}(x_1) * \mu^{в}(x_2) * \mu^{c}(x_3) * \mu^{в}(x_4) * \mu^{в}(x_5) *$$

$$* \mu^{c}(x_6) * \mu^{c}(x_7) * \mu^{н}(x_8) * \mu^{c}(x_{13}) * \ldots * \mu^{c}(x_{15}) * \mu^{н}(x_{16}) * \mu^{c}(x_{17}) \vee$$

$$* \mu^{c}(x_1) * .. * \mu^{c}(x_4) * \mu^{в}(x_5) * \mu^{c}(x_6) * \mu^{c}(x_7) * \mu^{c}(x_8) * \mu^{в}(x_{13}) * .. * \mu^{в}(x_{15}) *$$

$$* \mu^{c}(x_{16}) * \mu^{в}(x_{17}) \vee \mu^{c}(x_1) * \mu^{в}(x_2) * \mu^{c}(x_3) * \ldots * \mu^{c}(x_{17}) \vee \mu^{н}(x_1) *$$

$$* \mu^{в}(x_2) * \mu^{c}(x_3) * \mu^{c}(x_4) * \mu^{в}(x_5) * \mu^{c}(x_6) * \mu^{в}(x_7) * \mu^{н}(x_8) * \mu^{c}(x_{13}) *$$

$$* \mu^{н}(x_{14}) * \mu^{c}(x_{15}) * \mu^{в}(x_{16}) * \mu^{в}(x_{17});$$

$$\begin{aligned}
\mu^{в}(y) = {} & \mu^{c}(x_1) * \mu^{в}(x_2) * \mu^{в}(x_3) * \mu^{в}(x_4) * \mu^{c}(x_5) * \mu^{c}(x_6) * \mu^{в}(x_7) * \\
& * \mu^{c}(x_8) * \mu^{c}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14}) * \mu^{c}(x_{15}) * \mu^{c}(x_{16}) \mu^{c}(x_{17}) \vee \mu^{в}(x_1) * \\
& * \mu^{в}(x_2) * \ldots * \mu^{в}(x_{13}) * \mu^{c}(x_{14}) * \mu^{в}(x_{15}) * \ldots * \mu^{в}(x_{17}) \vee \mu^{в}(x_1) * \\
& * \mu^{c}(x_2) * \mu^{c}(x_3) * \mu^{в}(x_4) * \mu^{в}(x_5) * \mu^{в}(x_6) * \mu^{c}(x_7) * \mu^{c}(x_8) * \\
& * \mu^{в}(x_{13}) * \mu^{c}(x_{14}) * .. \mu^{c}(x_{17}) \vee \mu^{c}(x_1) * \mu^{c}(x_2) * \mu^{в}(x_3) * \mu^{в}(x_4) * \\
& * \mu^{в}(x_5) * \mu^{c}(x_6) * \mu^{c}(x_7) * \mu^{в}(x_8) * \mu^{c}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14}) * .. * \mu^{в}(x_{17}) \vee \\
& * \mu^{в}(x_1) * \ldots * \mu^{в}(x_7) * \mu^{c}(x_8) * \mu^{в}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14}) * \mu^{c}(x_{15}) * \mu^{в}(x_{16}) * \\
& * \mu^{в}(x_{17}) \vee \mu^{в}(x_1) * \ldots * \mu^{в}(x_{17}) \vee \mu^{c}(x_1) * \mu^{в}(x_2) * \mu^{в}(x_3) * \mu^{c}(x_4) * \\
& * \mu^{c}(x_5) * \mu^{в}(x_6) * \mu^{в}(x_7) * \mu^{c}(x_8) * \mu^{в}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14}) * \mu^{c}(x_{15}) * \\
& * \mu^{в}(x_{16}) * \mu^{в}(x_{17});
\end{aligned} \tag{3.9}$$

$$\mu^{н}(Z) = \mu^{н}(y) * \mu^{в}(x_9) \vee \mu^{c}(y) * \mu^{в}(x_9); \tag{3.10}$$

$$\mu^{c}(Z) = \mu^{c}(y) * \mu^{c}(x_9) \vee \mu^{c}(y) * \mu^{н}(x_9); \tag{3.11}$$

$$\mu^{в}(Z) = \mu^{в}(y) * \mu^{c}(x_9) \vee \mu^{в}(y) * \mu^{н}(x_9). \tag{3.12}$$

$$\begin{aligned}
\mu^{O_1}(x_{10}, x_{11}, x_{12}, Z) = {} & \mu^{н}(x_{10}) * \mu^{н}(x_{11}) * \mu^{в}(x_{12}) * \mu^{н}(Z) \vee \mu^{c}(x_{10}) * \mu^{н}(x_{11}) * \\
& * \mu^{в}(x_{12}) * \mu^{н}(Z) \vee \mu^{c}(x_{10}) * \mu^{c}(x_{11}) * \mu^{в}(x_{12}) * \mu^{н}(Z) \vee \\
& \vee \mu^{н}(x_{10}) * \mu^{c}(x_{11}) * \mu^{c}(x_{12}) * \mu^{н}(Z) \vee \mu^{н}(x_{10}) * \mu^{н}(x_{11}) * \\
& * \mu^{в}(x_{12}) * \mu^{c}(Z).
\end{aligned} \tag{3.13}$$

$$\mu^{O_2}(x_{10},x_{11},x_{12},Z) = \mu^{н}(x_{10}) * \mu^{н}(x_{11}) * \mu^{c}(x_{12}) * \mu^{c}(Z) \vee \mu^{н}(x_{10}) * \mu^{в}(x_{11}) * \\ * \mu^{в}(x_{12}) * \mu^{c}(Z) \vee \mu^{в}(x_{10}) * \mu^{в}(x_{11}) * \mu^{в}(x_{12}) * \mu^{н}(Z); \tag{3.14}$$

$$\mu^{O_3}(x_{10},x_{11},x_{12},Z) = \mu^{c}(x_{10}) * \mu^{c}(x_{11}) * \mu^{c}(x_{12}) * \mu^{c}(Z) \vee \mu^{c}(x_{10}) * \mu^{н}(x_{11}) * \\ * \mu^{c}(x_{12}) * \mu^{c}(Z); \tag{3.15}$$

$$\mu^{O_4}(x_{10},x_{11},x_{12},Z) = \mu^{c}(x_{10}) * \mu^{в}(x_{11}) * \mu^{c}(x_{12}) * \mu^{в}(Z) \vee \mu^{в}(x_{10}) * \mu^{c}(x_{11}) * \\ * \mu^{c}(x_{12}) * \mu^{в}(Z); \tag{3.16}$$

$$\mu^{O_5}(x_{10},x_{11},x_{12},Z) = \mu^{в}(x_{10}) * \mu^{в}(x_{11}) * \mu^{н}(x_{12}) * \mu^{в}(Z). \tag{3.17}$$

В СППР, що реалізована за алгоритмом 6, прийняття рішення здійснюється за таким алгоритмом [145,146] .

3 АЛГОРИТМ 7

Крок 7.1 Обчислити значення функцій належності μ^{d_j} (3.4-3.6) t лінгвістичним термам для конкретних значень оцінювальних параметрів x_i, $i=\overline{1,17}$ позичальника.

Крок 7.2 Обчислити значення багатопараметричних функцій (3.7-3.17) належності $\mu^{d_j}(x_1,..,x_{17})$ для вектора оцінювальних параметрів $\mathbf{X}=\{x_1,...,x_{17}\}$.

Крок 7.3 Визначити таке рішення $\mathbf{O}_j$, для якого:

$$\mu^{d_j}(x_1,..,x_{17}) = \max[\mu^{d_j}(x_1,..,x_{17})],\ j=\overline{1,5}\ . \tag{3.18}$$

Розглянемо реалізацію цього алгоритму на прикладі отриманих в банку реальних даних щодо позичальника 1 [156]: $x_1 = 1{,}2$; $x_2 = 2{,}37$; $x_3 = 1{,}5$; $x_4 = 2{,}26$; $x_5 = 1{,}2$; $x_6 = 0{,}4$; $x_7 = 3$; $x_8 = 1{,}4$; $x_9 = 0{,}8$; $x_{10} = 1{,}1$; $x_{11} = 0{,}53$; $x_{12} = 0{,}4$; $x_{13} =$ C; $x_{14} = x_{15} = x_{16} = x_{17} =$ B.

За допомогою виразів (3.4)-(3.6) знайдемо значення функцій належності кількісних параметрів x_i ($i=\overline{1,12}$) для всіх нечітких термів і зведемо їх у табл. 3.7. Значення функцій належності якісних параметрів $x_{13}..x_{17}$ беремо з табл. 2.4 .

Таблиця 3.7- Значення функцій належності
при конкретних значеннях параметрів

x_i	$\mu^н(x_i)$	$\mu^c(x_i)$	$\mu^в(x_i)$
1,2	0,235	1,0	0,544
2,37	0,207	0,38	1,0
1,5	0,65	1,0	0,761
2,26	0,243	0,429	1,0
1,2	0,922	0,887	0,502
0,4	0,887	0,838	0,483
3	0,058	0,465	1,0
1,4	0,716	1,0	0,686
0,8	0,125	0,354	1,0
1,1	0,465	0,74	1,0
0,53	0,911	0,736	0,386
0,4	0,65	1,0	0,72
С	0,625	1,0	0,625
В	0,25	0,4	1,0
В	0,25	0,4	1,0
В	0,25	0,4	1,0
В	0,25	0,4	1,0

Підставляючи отримані значення функцій належності в логічні рівняння (3.7-3.17), отримаємо :

$$\begin{aligned}\mu^{н}(y) = {} & 0{,}235*0{,}207*0{,}65*0{,}243*0{,}922*0{,}887*0{,}058*0{,}76*0{,}625*0{,}25*0{,}25*\\ & *0{,}25*0{,}25\vee 0{,}235*0{,}38*0{,}65*0{,}243*0{,}922*0{,}887*0{,}465*1*0{,}625*\\ & *0{,}25*0{,}25*0{,}4*0{,}25 \quad\vee\quad 0{,}235*0{,}38*1*0{,}429*0{,}887*0{,}887*0{,}465*\\ & *0{,}716*0{,}625*0{,}4*0{,}25*0{,}25*0{,}25\vee 0{,}235*0{,}38*0{,}65*0{,}243*0{,}922*\\ & *0{,}887*0{,}058*0{,}716*1*0{,}25*0{,}4*0{,}4*0{,}4 \quad\vee\quad 1*0{,}38*0{,}65*0{,}429*0{,}887*\\ & *0{,}838*0{,}465*1*1*0{,}25*0{,}25*0{,}25*0{,}25\vee 0{,}235*0{,}38*0{,}65*0{,}429*0{,}887*\\ & *0{,}465*1*0{,}625*0{,}25*0{,}25*0{,}4*0{,}4=0{,}058\vee 0{,}235\vee 0{,}235\vee 0{,}058\vee 0{,}25\vee\\ & \vee 0{,}235=0{,}25;\end{aligned}$$

$$\mu^{C}(y) = 1*1*1*0{,}423*0{,}887*0{,}838*1*0{,}716*1*0{,}4*0{,}4*0{,}4*0{,}4 \vee 1*1*1* \\ *0{,}423*0{,}887*0{,}838*1*0{,}716*1*0{,}25*0{,}4*0{,}4*0{,}4 \vee 1*1*1*1* \\ *0{,}502*0{,}838*0{,}465*0{,}716*1*0{,}4*0{,}4*0{,}25*0{,}4 \vee 1*0{,}38*1* \\ *0{,}429*0{,}502*0{,}838*0{,}465*1*0{,}625*1*1*0{,}4*1 \vee 1*1*1*0{,}429* \\ *0{,}887*0{,}838*0{,}465*1*1*0{,}4*0{,}4*0{,}4*0{,}4 \vee 0{,}235*1*1*0{,}429*0{,}502* \\ *0{,}838*1*0{,}716*1*0{,}25*0{,}4*1*1 = 0{,}4 \vee 0{,}25 \vee 0{,}25 \vee 0{,}38 \vee 0{,}4 \vee 0{,}235 = \\ = 0{,}4;$$

$$\mu^{B}(y) = 1*1*0{,}761*1*0{,}887*0{,}838*1*1*1*1*0{,}4*0{,}4*0{,}4 \vee 0{,}544*1*0{,}761* \\ *1*0{,}502*0{,}483*1*0{,}686*0{,}625*0{,}4*1*1*1 \vee 0{,}544*0{,}38*1*1* \\ *0{,}502*0{,}483*0{,}465*1*0{,}625*0{,}4*0{,}4*0{,}4*0{,}4 \vee 1*0{,}38*0{,}761* \\ *1*0{,}502*0{,}838*0{,}465*0{,}686*1*1*1*1*1*1 \vee 0{,}544*1*0{,}761*1* \\ *0{,}502*0{,}483*1*1*0{,}625*1*0{,}4*1*1 \vee 0{,}544*1*0{,}761*1*0{,}502* \\ *0{,}483*1*0{,}686*0{,}625*1*1*1*1 \vee 1*1*0{,}761*1*0{,}887*0{,}483*1* \\ *1*0{,}625*1*0{,}4*1*1 = 0{,}4 \vee 0{,}4 \vee 0{,}38 \vee 0{,}38 \vee 0{,}483 \vee 0{,}4 = 0{,}483;$$

$$\mu^{H}(Z) = 0{,}25*1 \vee 0{,}4*1 = 0{,}25 \vee 0{,}4 = 0{,}4;$$

$$\mu^{C}(Z) = 0{,}354*0{,}4 \vee 0{,}4*0{,}125 = 0{,}354 \vee 0{,}125 = 0{,}354;$$

$$\mu^{B}(Z) = 0{,}483*0{,}354 \vee 0{,}483*0{,}125 = 0{,}354 \vee 0{,}125 = 0{,}354;$$

$$\mu^{O_1}(x_{10}, x_{11}, x_{12}, Z) = 0{,}465*0{,}911*0{,}72*0{,}354 \vee 0{,}74*0{,}911*0{,}72*0{,}354 \vee \\ \vee 0{,}74*0{,}736*0{,}72*0{,}354 \vee 0{,}465*0{,}736*1*0{,}354 \vee \\ \vee 0{,}465*0{,}911*0{,}722*0{,}354 = 0{,}354 \vee 0{,}354 \vee 0{,}354 \vee \\ \vee 0{,}354 \vee 0{,}354 = 0{,}354;$$

$$\mu^{O_2}(x_{10}, x_{11}, x_{12}, Z) = 0{,}465*0{,}911*1*0{,}354 \vee 1*0{,}386*0{,}72*0{,}354 \vee 1* \\ *0{,}386*0{,}72*0{,}354 = 0{,}354 \vee 0{,}354 \vee 0{,}354 = 0{,}354;$$

$$\mu^{O_3}(x_{10}, x_{11}, x_{12}, Z) = 0{,}74*0{,}736*1*0{,}354 \vee 0{,}74*0{,}911*1*0{,}354 = \\ = 0{,}354 \vee 0{,}354 = 0{,}354;$$

$$\mu^{O_4}(x_{10}, x_{11}, x_{12}, Z) = 0{,}74*0{,}386*1*0{,}4 \vee 1*0{,}736*1*0{,}4 = 0{,}386 \vee \\ \vee 0{,}4 = 0{,}4;$$

$$\mu^{O_5}(x_{10}, x_{11}, x_{12}, Z) = 1*0{,}386*0{,}65*0{,}4 = 0{,}386;$$

Виходячи з (3.18) та вищевикладених логічних рівнянь, отримаємо:

$$\max \mu^{O_j}(x_1,...,x_{17}) = \mu^{O_4}(x_1,...,x_{17}),$$

тобто як шукане рішення обираємо рішення про надання позичальнику 1 кредита за стандартних умов.

Приклади прийняття кредитових рішень щодо інших позичальників 2-5 наведено у додатку А.

3.4 Методика прийняття рішення щодо інвестування на базі математичних апаратів ПЕ та НМ

У підрозділі 2.2 даної монографії запропоновано алгоритм 2 формалізації СППР на базі математичного апарату порогових елементів. Умовно цей алгоритм можливо поділити на дві частини. Перша частина (кроки 2.1-2.3) полягає в тому, що визначаються множини вхідних/вихідних параметрів. Друга – (кроки 2.4-2.7) це визначення функцій, що реалізуються в СППР. Перша частина згаданого алгоритму стосовно інвестування була ретельно розглянута у підрозділі 3.2 даної монографії. Тому у цьому підрозділі будемо розглядати другу частину цього алгоритму в термінах інвестиційного менеджменту [148-150].

Для реалізації кроків 2.4 -2.7 пропонується такий алгоритм.

Алгоритм 8

Крок 8.1 Визначити діапазон змінення $\left[x_{i\min}; x_{i\max}\right]_j$ оцінювальних параметрів x_i, $i=\overline{1,14}$ відповідно до критеріїв d_j, $j=\overline{1,S}$, $S = 3$.

Крок 8.2 Здійснити ранжування оцінювальних параметрів x_i для кожної стратегії.

Крок 8.3 Побудувати логічні функції вибору $F_{dj}(y_1,...,y_n)$ (2.3) для трьох інвестиційних стратегій.

Крок 8.4 Отримати МДНФ інверсних функцій $\overline{F}_{d_j}(y_1,...,y_n)$.

Крок 8.5 Визначити співвідношення між вагами w_i, $i=\overline{1,14}$ за правилами (2.7) та (2.8).

Крок 8.6 Скласти скорочені системи нерівностей для вагів змінних за правилами (2.9) та (2.10).

Крок 8.7 Перетворити скорочені системи нерівностей, що отримані на кроці 8.6 з урахуванням (2.14).

Крок 8.8 Визначити для кожної стратегії такі значення порогу T й w_i, що задовільняють системам нерівностей, які відповідно отримані на кроці 8.7 та дають мінімум лінійної форми (2.12) .

Крок 8.9 Обрати коефіцієнт наближення q.

Крок 8.10 Обрати цільову функцію $f^{опт}$, що мінімізує ризик.

Крок 8.11 Визначити систему обмежень для функції $f^{опт}$.

Крок 8.12 Побудувати функцію Лагранжа для обраної цільової функції та умови першого порядку.

Крок 8.13 Скласти систему рівнянь, що містить функцію Лагранжа та умови першого порядку.

Крок 8.14 Обрати метод розв'язання системи рівнянь, що складена на кроці 8.13 .

У підрозділі 3.2 було показано, що інвестування, як правило, здійснюється за трьома стратегіями: консервативна з відповідним критерієм d_1, помірна – з критерієм d_2, агресивна – з критерієм d_3.

Кожний цінний папір o_m характеризується оцінювальними параметрами x_i, $i=\overline{1,14}$, що були визначені в підрозділі 3.2 даної монографії.

За допомогою експертних оцінок визначається діапазон змінення

$\left[x_{i\min};\, x_{i\max}\right]_j$ цих параметрів відповідно до трьох інвестиційних стратегій, що описуються критеріями d_j так, як вказано у табл. Б.1.1 додатку Б.1.

Розглянемо реалізацію алгоритму 8 на прикладі агресивної стратегії, а його застосування для інших стратегій наведено відповідно у додатку Б.2 та Б.3.

Здійснимо рангування параметрів $x_1,...,x_{14}$ таким чином [148-150]:

I – y_{11}, y_{12}, y_{13} (вищий рівень)

II – y_2, y_3, y_4, y_5, y_8 (середній рівень)

III – $y_1, y_6, y_7, y_9, y_{10}, y_{14}$ (нижчий рівень) .

Таким чином, кожний з коефіцієнтів I чи II рівнів дорівнює сукупності усіх коефіцієнтів нижчого рівня, наприклад, y_2 може компенсуватися сукупністю коефіцієнтів: $\{y_1, y_6, y_7, y_9, y_{10}, y_{14}\}$; а y_{13} – $\{y_2, y_3, y_4, y_5, y_8\}$.

Виходячи зі схеми ранжування, можна охопити весь спектр сполучень із 14 розглянутих коефіцієнтів шляхом їх логічного складення. Це дасть можливість з’ясовувати належність до інвестиційного портфелю цінного паперу з будь-якими характеристиками, при будь-яких їх комбінаціях.

На базі викладеної методики у розділі 2.2 отримаємо таку логічну функцію:

$$
\begin{aligned}
f(y_1 \ldots y_{14}) = {} & y_{11}y_{12}y_{13} \vee y_{11}y_{12}y_2y_3y_4y_5y_8 \vee y_{11}y_{13}y_2y_3y_4y_5y_8 \vee y_{12}y_{13}y_2y_3y_4y_5y_8 \vee \\
& \vee y_{11}y_{12}y_3y_4y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee y_{11}y_{12}y_2y_4y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee \\
& \vee y_{11}y_{12}y_2y_3y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee y_{11}y_{12}y_2y_3y_4y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee \\
& \vee y_{11}y_{12}y_2y_3y_4y_5y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee y_{11}y_{13}y_3y_4y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee \\
& \vee y_{11}y_{13}y_2y_4y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee y_{11}y_{13}y_2y_3y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee \\
& \vee y_{11}y_{13}y_2y_3y_4y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee y_{11}y_{13}y_2y_3y_4y_5y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee \\
& \vee y_{12}y_{13}y_3y_4y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee y_{12}y_{13}y_2y_4y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee \\
& \vee y_{12}y_{13}y_2y_3y_5y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee y_{12}y_{13}y_2y_3y_4y_8y_1y_6y_7y_9y_{10}y_{14} \vee
\end{aligned}
$$

$\vee\, y_{12}y_{13}y_{2}y_{3}y_{4}y_{5}y_{1}y_{6}y_{7}y_{9}y_{10}y_{14}\,.$

Для того, щоб знайти МДНФ заперечення $\overline{F}_{d_j}(y_1,...,y_{14})$ логічної функції $F_{d_j}(y_1,...,y_n)$, скористаємося таким правилом [71] :

$$\overline{f}(y_1,y_2,...,y_{14},\vee,*)=f(\overline{y}_1,\overline{y}_2,...,\overline{y}_{14},\ *,\vee)\ .$$

Для того, щоб отримати цю обернену функцію, необхідно виконати дуже громіздкі обчислення, тому було розроблено відповідну комп'ютерну програму, за допомогою якої було здійснено всі операції склеювання та поглинання й отримано такий результат:

$$\overline{f}_1(y_1,...,y_{14})=\overline{y}_2\overline{y}_6\overline{y}_{11}\vee\overline{y}_2\overline{y}_3\overline{y}_{11}\vee\overline{y}_{11}\overline{y}_{12}.$$

Відповідно з ранжуванням визначимо співвідношення між вагами:

$$w_1=w_6=w_7=w_9=w_{10}=w_{14}<\ w_2=w_3=w_4=w_5=w_8<w_{11}=w_{12}=w_{13}\ .$$

Використовуючи (2.10) та (2.11), отримаємо таку скорочену систему нерівностей:

1) $w_{11}+w_{12}+w_{13}\geq T$,

2) $w_{11}+w_{12}+w_{3}+w_{4}+w_{5}+w_{8}\geq T$,

3) $w_{11}+w_{12}+w_{3}+w_{4}+w_{5}+w_{8}+w_{1}+w_{6}+w_{7}+w_{9}+w_{10}+w_{14}\geq T$,

4) $w_{1}+w_{3}+w_{4}+w_{5}+w_{7}+w_{8}+w_{9}+w_{10}+w_{12}+w_{13}+w_{14}<T$.

Перепишемо складену систему нерівностей з урахуванням (2.14) таким чином. Нехай для агресивної стратегії:

$$\begin{aligned} w_2=w_3=w_4=w_5=w_8=w_1+\delta_1\ ,\\ w_{11}=w_{12}=w_{13}=w_1+\delta_1+\delta_2\ . \end{aligned} \qquad (3.20)$$

Тут δ_1, δ_2 – цілі додатні числа, що є більшими за нуль. Тоді скорочена система нерівностей буде мати вигляд:

$$\begin{cases} 3w_1 + 3\sigma_1 + 3\sigma_2 \geq T \ , \\ 7w_1 + 7\sigma_1 + 2\sigma_2 \geq T \ , \\ 12w_1 + 6\sigma_1 + 2\sigma_2 \geq T \ , \\ 11w_1 + 6\sigma_1 + 2\sigma_2 \leq T \ . \end{cases} \tag{3.21}$$

Визначимо такі значення порогу T й ваг, що задовольняють складеній скороченій системі нерівностей та (2.15) .

Для того, щоб отримати розв'язки системи нерівностей, при яких сума (2.15) перетворюється на мінімум, необхідно обрати мінімально можливі значення: w_1, δ_1 , δ_1 .

Розв'язуючи систему нерівностей (3.21), отримаємо, що вона є сумісною при таких мінімальних значеннях: $w_1 = 1$; $\delta_1 = 5$; δ_2=24 . Підставляючи ці значення, ця система нерівностей перепишеться так:

$$\begin{cases} 90 > T_1 \ , \\ 90 > T_1 \ , \\ 90 > T_1 \ , \\ 89 \leq T_1 \ . \end{cases} \tag{3.22}$$

Таким чином, система нерівностей (3.22) для агресивної стратегії сумісна при мінімальному порозі T_{min1} = 90

Враховуючи (3.20), визначимо вагу всіх 14-ти параметрів для цієї інвестиційної стратегії:

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}	w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{14}	$\mathbf{T}_{\mathbf{min1}}$
1	6	6	6	6	1	1	6	1	1	30	30	30	1	90

Перевіримо на мінімальність [71] отриманий ПЕ таким чином.

З кожної групи рівних між собою ваг, але таких, що не дорівнюють водночас одиниці, виділимо по одній вазі. Наприклад, з групи ваг w_2,w_3,w_4,w_5,w_8 (w_2=w_3=w_4=w_5=w_8= 6) візьмемо вагу w_2, а з групи w_{11} ,w_{12}, w_{13} (w_{11} =w_{12}= w_{13} = 30) – вагу w_{12}.

З мінімальної диз'юнктивної нормальної форми функції випишемо диз'юнктивні члени, котрі містять хоча б одну із змінних y_2 й y_{12} .

Для кожного диз'юнктивного члена визначаємо y_{k1}, y_{k2}, …, y_{km} значення суми $w_{k1}+w_{k2}+...+w_{km}$. Для нашого випадку суми для будь-якого з диз'юнктивних членів дорівнюють 90.

Виходячи з того, що є тільки такі диз'юнктивні члени, які містять змінні y_2 й y_{12}, яким відповідає сума ваг (90), яка не перевищує поріг (T_{min1} = 90), то жодну з ваг зменшити неможна.

Таким чином, визначений ПЕ для агресивної стратегії: [1,6,6,6,6,1,1,6, 1,1,30,30,30,1; 90] є мінімальним.

Виходячи з потрібної точності прийняття рішення, оберемо коефіцієнт наближення $q = 0{,}5$.

Скористаємося цільовою функцією мінімізації ризику [149, 150] для здійснення оптимізації будь-якого зі сформованих портфелів, при критерії оптимальності – мінімізація ризику при певному рівні бажаного прибутку:

$$\sigma_\alpha^2 = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^{n} \sum_{\substack{j=1,\\ i \neq j}}^{n} \alpha_i \alpha_j \sigma_{ij} \to \min . \qquad (3.23)$$

Існує два обмеження на цільову функцію [149, 150]:

$\sum_i \alpha_i E(r_i) - \overline{R}_n(\alpha) = 0$ – фіксує бажаний рівень прибутку; (3.24)

$\sum_i \alpha_i - 1 = 0$ (14) – нормує вагові коефіцієнти портфеля. (3.25)

Функція Лагранжа для цільової функції (3.23) при (3.24) та (3.25)

$$\partial L / \partial \alpha_i = \partial L / \partial \lambda_i = 0 \ , \qquad (3.27)$$

для всіх ЦП i та для $j = 1; 2$.

У матричній формі функція Лагранжа та відповідні умови першого порядку (обмеження на цільову функцію) будуть мати вигляд:

$$
\begin{bmatrix}
2\sigma_{11} & \dots & 2\sigma_{1k} & E_1 & 1 \\
2\sigma_{21} & \dots & 2\sigma_{2k} & E_2 & 1 \\
2\sigma_{31} & \dots & 2\sigma_{3k} & E_3 & 1 \\
\vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\
E_1 & \dots & Ek & 0 & 0 \\
1 & \dots & 1 & 0 & 0
\end{bmatrix}
*
\begin{pmatrix}
\alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \vdots \\ \lambda_1 \\ \lambda_2
\end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix}
0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \overline{R}_n \\ 1
\end{pmatrix}
. \qquad (3.28)
$$

Матриця (3.28) визначає систему рівнянь, що є лінійною по ваговим коефіцієнтам (α_i) та множникам Лагранжа, тому її можна розв'язати за допомогою методів лінійного програмування, зокрема, в даній монографії вона розв'язується методом Жордана-Гауса.

В СППР, що реалізована за алгоритмом 8, прийняття рішення здійснюється за таким алгоритмом.

Алгоритм 9

Крок 9.1 Скласти вектори $\mathrm{Y}_{mdj} = [y_{m1,j},...,y_{mn,j}]$ для кожного цінного паперу o_m, використовуючи (2.2) та алгоритм, граф-схема якого наведена на рис. 2.4.

Крок 9.2 Обчислити H_{mdj}.

Крок 9.3 Здійснити віднесення цінного паперу o_m до відповідного інвестиційного портфеля $\mathbf{O}_j$.

Крок 9.4 Визначити оптимальні співвідношення ЦП в інвестиційному портфелі.

Розглянемо реалізацію цього алгоритму на прикладі реальних ЦП1-ЦП6, значення оцінювальних параметрів для яких були отримані за методиками, що визначені у розділі 3.2 та наведені у табл. Б.1.2 додатку Б.1 [157-158].

Враховуючи дані табл. Б.1.1 (додаток Б.1), отримаємо для кожного ЦП1-ЦП6 вектори Y_{mdj} при трьох стратегіях, які наведено у табл. Б.1.3 додатку Б.1.

Обчислимо H_{mdj} для кожного ЦП за допомогою (2.8) та зведемо їх у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 - Значення H_{mdj} для o_m, $m=\overline{1,\ 6}$

d_j \ o_m	ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5	ЦП 6
Консервативна	$H_{11}=93$	$H_{21}=7$	$H_{31}=8$	$H_{41}=25$	$H_{51}=50$	$H_{61}=2$
Помірна	$H_{12}=42$	$H_{22}=61$	$H_{32}=82$	$H_{42}=62$	$H_{52}=87$	$H_{62}=67$
Агресивна	$H_{13}=7$	$H_{23}=112$	$H_{33}=8$	$H_{43}=9$	$H_{53}=13$	$H_{63}=100$

Якщо перевірити для всіх цінних паперів справедливість виразу $H_{mdj} \geq T_{minj}$, де $T_{min1}=90$, $T_{min2}=90$, $T_{min3}=120$, то можливо зазначити, що тільки цінні папери 2 та 6 можливо віднести одразу до агресивної стратегії, виходячи з методики, викладеної у розділі 2.2 даної монографії. Для того, щоб визначити належність інших цінних паперів до певних інвестиційних стратегій, необхідно визначити δ_{mj} так: $\delta_{mj}=\frac{H_{d_j}}{T_{d_j}}$. Зведемо значення δ_{mj} для ЦП1, ЦП3- ЦП5 у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 - Значення δ_{mj} для o_m, $m=1, 3, 4, 5$

o_m	ЦП 1	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5
Консервативна	$\delta_{11}=0{,}775$	$\delta_{31}=0{,}07$	$\delta_{41}=0{,}22$	$\delta_{51}=0{,}42$
Помірна	$\delta_{12}=0{,}47$	$\delta_{32}=0{,}922$	$\delta_{42}=0{,}69$	$\delta_{52}=0{,}97$
Агресивна	$\delta_{13}=0{,}08$	$\delta_{33}=0{,}08$	$\delta_{43}=0{,}1$	$\delta_{53}=0{,}14$

Таким чином, оскільки $\delta_{11}=\max \delta_{1j}$ й $\delta_{11}>q$, де $q=0{,}5$, то цінний папір 1 належить до портфеля банку, що керується консервативною інвестиційною стратегією. Розмірковуючи аналогічно, отримаємо, що цінні папери 3-5 належать до помірної інвестиційної стратегії.

Зазначимо, що (для розглянутих o_m, $m=\overline{1,\ 6}$) інвестиційний портфель при помірній стратегії містить ЦП 3-5, а інші портфелі немає сенсу розглядати, тому що вони містять замало ЦП. Таким чином, розглянемо оптимізацію портфеля на прикладі складання оптимального портфеля банку, що керується помірною стратегією.

Виходячи з (3.26), функція Лагранжа для задачі з трьома цінними паперами (o_m, $m = \overline{3,\ 5}$) записується так:

$$L = \alpha_1^2\sigma_{11} + \alpha_2^2\sigma_{22} + \alpha_3^2\sigma_{33} + 2\alpha_1\alpha_2\sigma_{12} + 2\alpha_1\alpha_3\sigma_{13} + 2\alpha_2\alpha_3\sigma_{23} +$$
$$+ \lambda_1(\alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2 + \alpha_3 E_3 - \overline{R}_\text{п}) + \lambda_2(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - 1). \qquad (3.29)$$

Умови першого порядку для (3.29) з урахуванням (3.27) будуть:

$$\partial L / \partial\alpha_1 = 2\alpha_1\sigma_{11} + 2\alpha_2\sigma_{12} + 2\alpha_3\sigma_{13} + \lambda_1 E_1 + \lambda_2 = 0\ ,$$
$$\partial L / \partial\alpha_2 = 2\alpha_2\sigma_{22} + 2\alpha_1\sigma_{12} + 2\alpha_3\sigma_{23} + \lambda_1 E_2 + \lambda_2 = 0\ ,$$
$$\partial L / \partial\alpha_3 = 2\alpha_3\sigma_{33} + 2\alpha_1\sigma_{13} + 2\alpha_2\sigma_{23} + \lambda_1 E_3 + \lambda_2 = 0\ , \qquad (3.30)$$
$$\partial L / \partial\lambda_1 = \alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2 + \alpha_3 E_3 - \overline{R}_\text{п} = 0\ ,$$
$$\partial L / \partial\lambda_2 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - 1 = 0\ .$$

У матричній формі система рівнянь, яку утворюють рівняння (3.30), буде мати вигляд:

$$\begin{bmatrix} 2\sigma_{11} & 2\sigma_{12} & 2\sigma_{13} & E_1 & 1 \\ 2\sigma_{21} & 2\sigma_{22} & 2\sigma_{23} & E_2 & 1 \\ 2\sigma_{31} & 2\sigma_{32} & 2\sigma_{33} & E_3 & 1 \\ E_1 & E_2 & E_3 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \overline{R}_n \\ 1 \end{pmatrix}\ . \qquad (3.31)$$

Бажаний рівень прибутку – $\overline{R}_n$ буде визначатися у межах [minE_i ... maxE_i]. Нехай, наприклад, $\overline{R}_n = 0{,}269$.

Якщо позначити ризико-прибуткову матрицю через **V**, вектор (α, λ) через **A**, а вектор в правій частині через **W**, то необхідно розв’язувати таку систему рівнянь відносно **A**:

$$\mathbf{VA} = \mathbf{W}.$$

Розглянемо ЦП3-ЦП5, що мають параметри E_i=(x_{11}) та σ_{ii}=(x_{12}), значення яких надані в табл. Б.1.2. Обчислимо співзмінення цих ЦП за допомогою залежності (1.3). Зведемо ці дані у табл. 3.10 .

Таблиця 3.10 - Початкові дані для оптимізації портфеля із ЦП3-ЦП5

ЦП	Очікуваний прибуток (x_{11}) – E_i	Варіація прибутку (x_{12}) – σ_{ii}	Співзмінення σ_{ij}	i,j
ЦП 3	0,2	0,31	0,07112	(1,2)
ЦП 4	0,27	0,28	0,0967	(1,3)
ЦП 5	0,2	0,31	0,07112	(2,3)

При такій інформації матриці **V** та **W** будуть:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} 0{,}62 & 0{,}14224 & 0{,}1934 & 0{,}2 & 1 \\ 0{,}14224 & 0{,}56 & 0{,}14224 & 0{,}27 & 1 \\ 0{,}1934 & 0{,}14224 & 0{,}62 & 0{,}2 & 1 \\ 0{,}2 & 0{,}27 & 0{,}2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{W} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0{,}269 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Розв’язання системи рівнянь, що зображена матрицею (3.31), було здійснено за допомогою метода Жордана-Гауса й отримано таке розв’язання задачі мінімізації ризику помірного інвестиційного портфеля (при $\overline{\mathrm{R}}_{\mathrm{П}}$ = =0,269) для ЦП3-ЦП5:

$$\alpha_1 = 0{,}0071$$

$$\alpha_2 = 0{,}9857$$

$$\alpha_3 = 0{,}0071$$

Тобто часткове співвідношення ЦП у цьому портфелі: ЦП 3 – 0,71%, ЦП 4 – 98,6 % та ЦП 5 – 0,71% .

Іншим математичним апаратом, що може бути придатним для реалізації кроків 4.4-4.7 запропонованого алгоритму 4 в термінах інвестиційного менеджменту, є апарат нечітких множин. Для цього автором пропонується такий алгоритм формалізації СППР на базі математичного апарату НМ.

Алгоритм 10

Крок 10.1 Визначити кількість t оцінювальних лінгвістичних термів.

Крок 10.2 Побудувати графіки функцій належності μ^{d_j}, $j=\overline{1,3}$, значень оцінювальних параметрів $x_1,...,x_{14}$ t лінгвістичним термам у загальному вигляді.

Крок 10.3 Визначити математичні вирази, що описують функції належності μ^{d_j} параметрів.

Крок 10.4 Скласти таблицю значень характеристичних точок t лінгвістичних термів для оцінювальних параметрів.

Крок 10.5 Скласти матрицю знань для здійснення сортування ЦП за трьома інвестиційними стратегіями d_j, $j=\overline{1,3}$.

Крок 10.6 Побудувати багатопараметричні функції належності $\mu^{d_j}(x_1,\ldots,x_{14})$ на базі матриці знань.

Крок 10.7 Обрати цільову функцію $f^{опт}$, що мінімізує ризик.

Крок 10.8 Визначити систему обмежень для функції $f^{опт}$.

Крок 10.9 Побудувати функцію Лагранжа для обраної цільової функції та умови першого порядку.

Крок 10.10 Скласти систему рівнянь, що містить функцію Лагранжа та умови першого порядку.

Крок 10.11 Обрати метод розв’язання системи рівнянь, що складена на кроці 10.10 .

Розглянемо реалізацію даного алгоритму.

Для оцінювальних параметрів $x_1,...,x_{14}$ будемо використовувати єдину шкалу лінгвістичних термів: Н – низький, С – середній, В – високий.

Враховуючи схожість в економічному сенсі операцій кредитування та інвестування, оберемо функції належності для інвестування такі, які наведено на рис. 3.6.

У цих функціях приймемо k = 1.35, яке наближує їх до функціональних залежностей реальних даних [157].

Значення a, c, c_1, d, d_1, b у формулах (3.5)-(3.7) для кожного параметру визначаються, виходячи із запропонованого діапазону змінювання параметрів та зведено у таблицю 3.11.

Таблиця 3.11 - Значення a, c, c_1, d, d_1, b для x_i, $i=\overline{1,14}$

x	a	b	c	c_1	d_1	d
x_1	0	1	0,2	0,3	0,5	0,8
x_2	0	1	0,3	0,4	0,45	0,5
x_3	0	1	0,2	0,25	0,35	0,65
x_4	0	4	1,5	2,0	2,5	3,0
x_5	0	2	0,3	0,5	0,7	1,0
x_6	0	3	0,6	1,0	1,2	1,8
x_7	0	3	1,5	1,8	2,0	2,5
x_8	0	2	0,9	1,0	1,2	1,4
x_9	0	1	0,4	0,45	0,5	0,6
x_{10}	0	6	2,0	3,0	3,5	4,0
x_{11}	0	1	0,05	0,2	0,4	0,45
x_{12}	0	1	0,15	0,25	0,35	0,4
x_{13}	0	1	0,5	0,6	0,7	0,8
x_{14}	0	1	0,4	0,6	0,8	0,9

Використовуючи наведені лінгвістичні терми, складемо відповідну матрицю знань, виходячи з отриманих експертних даних, що описують специфіку інвестиційного процесу [157].

Таблиця 3.12 - Матриця знань для віднесення ЦП у портфель O_j

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	**O**
Ñ	В	В	В	В	В	В	С	Â	Н	Н	Н	Â	Â	
С	С	В	В	С	С	С	Н	С	С	Н	Н	В	В	
С	В	В	В	С	В	В	Н	С	С	Н	Н	В	В	O_1
В	С	В	В	В	С	В	Н	В	С	Н	Н	В	В	
В	В	С	В	В	С	С	Н	С	Н	Н	Н	В	В	
С	С	С	С	С	Н	Н	С	С	С	С	С	С	С	
В	С	С	В	С	С	Н	В	С	С	С	С	С	С	
С	Н	С	В	С	С	Н	С	Н	В	С	С	С	С	O_2
В	Н	С	С	С	Н	Н	Н	С	С	С	С	С	С	
С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	
В	С	Н	Н	Н	С	Н	С	С	В	В	В	Н	Н	
С	В	Н	С	Н	В	С	В	С	В	В	С	Н	Н	
С	С	С	Н	Н	Н	В	В	В	В	В	В	С	Н	O_3
Н	В	С	Н	Н	С	С	В	С	В	В	В	Н	Н	
В	С	Н	С	Н	С	С	С	С	В	В	С	Н	Н	

На базі матриці знань складемо відповідні логічні рівняння:

$$\begin{aligned}
&\mu^{O_1}(x_1 ... x_{14}) = \mu^{c}(x_1) * \mu^{в}(x_2) * ... * \mu^{в}(x_7) * \mu^{c}(x_8) * \mu^{в}(x_9) * \mu^{н}(x_{10}) * ... * \mu^{н}(x_{12}) * \\
&\mu^{в}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14}) \vee \mu^{c}(x_1) * \mu^{c}(x_2) * \mu^{в}(x_3) * \mu^{в}(x_4) * \mu^{c}(x_5) * .. * \mu^{c}(x_7) * \\
&* \mu^{н}(x_8) * \mu^{c}(x_9) * \mu^{c}(x_{10}) * \mu^{н}(x_{11}) * \mu^{н}(x_{12}) * \mu^{в}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14}) \vee \\
&\mu^{c}(x_1) * \mu^{в}(x_2) * .. * \mu^{в}(x_4) * \mu^{c}(x_5) * \mu^{в}(x_6) * \mu^{в}(x_7) * \mu^{н}(x_8) * \mu^{c}(x_9) * \\
&\mu^{c}(x_{10}) * \mu^{н}(x_{11}) * \mu^{н}(x_{12}) * \mu^{в}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14}) \vee \mu^{в}(x_1) * \mu^{c}(x_2) * \mu^{в}(x_3) * \\
&.. * \mu^{в}(x_5) * \mu^{c}(x_6) * \mu^{в}(x_7) * \mu^{н}(x_8) * \mu^{в}(x_9) * \mu^{c}(x_{10}) * \mu^{н}(x_{11}) * \mu^{н}(x_{12}) * \\
&\mu^{в}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14}) \vee \mu^{в}(x_1) * \mu^{в}(x_2) * \mu^{c}(x_3) * \mu^{в}(x_4) * \mu^{в}(x_5) * \mu^{c}(x_6) * \\
&* \mu^{c}(x_7) * \mu^{н}(x_8) * \mu^{c}(x_9) * \mu^{н}(x_{10}) * ... * \mu^{н}(x_{12}) * \mu^{в}(x_{13}) * \mu^{в}(x_{14});
\end{aligned} \tag{3.32}$$

$$\begin{aligned}
&\mu^{O_2}(x_1 ... x_{14}) = \mu^{c}(x_1) * ... * \mu^{c}(x_5) * \mu^{н}(x_6) * \mu^{н}(x_7) * \mu^{c}(x_8) * ... \mu^{c}(x_{14}) \vee \mu^{в}(x_1) * \mu^{c}(x_2) * \\
&\mu^{c}(x_3) * \mu^{в}(x_4) * \mu^{c}(x_5) * \mu^{c}(x_6) * \mu^{н}(x_7) * \mu^{в}(x_8) * \mu^{c}(x_9) * .. * \mu^{c}(x_{14}) \vee \\
&\mu^{c}(x_1) * \mu^{н}(x_2) * \mu^{c}(x_3) * \mu^{в}(x_4) * \mu^{c}(x_5) * \mu^{c}(x_6) * \mu^{н}(x_7) * \mu^{c}(x_8) * \\
&\mu^{н}(x_9) * \mu^{в}(x_{10}) * \mu^{c}(x_{11}) * ... * \mu^{c}(x_{14}) \vee \mu^{в}(x_1) * \mu^{н}(x_2) * \mu^{c}(x_3) * ... * \\
&* \mu^{c}(x_5) * \mu^{н}(x_6) * ... * \mu^{н}(x_8) * \mu^{c}(x_9) * ... * \mu^{c}(x_{14}) \vee \mu^{c}(x_1) * ... * \mu^{c}(x_{14});
\end{aligned} \tag{3.33}$$

$$
\begin{aligned}
&\mu^{O_3}(x_1..x_{14})=\mu^{в}(x_1)*\mu^{с}(x_2)*\mu^{н}(x_3)*...*\mu^{н}(x_5)*\mu^{c}(x_6)*\mu^{н}(x_7)*\mu^{c}(x_8)*\mu^{c}(x_9)*\\
&\mu^{в}(x_{10})*...*\mu^{в}(x_{12})*\mu^{н}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14})\vee\mu^{с}(x_1)*\mu^{в}(x_2)*\mu^{н}(x_3)*\mu^{с}(x_4)*\\
&\mu^{н}(x_5)*\mu^{в}(x_6)*\mu^{с}(x_7)*\mu^{в}(x_8)*\mu^{с}(x_9)*\mu^{в}(x_{10})*\ \mu^{в}(x_{11})*\ \mu^{с}(x_{12})*\\
&\mu^{н}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14})\vee\mu^{с}(x_1)*..*\mu^{с}(x_3)*\mu^{н}(x_4)*..*\mu^{н}(x_6)*\mu^{в}(x_7)*..*\mu^{в}(x_{12})*\\
&*\mu^{с}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14})\vee\ \mu^{н}(x_1)*\ \mu^{в}(x_2)*\ \mu^{с}(x_3)*\ \mu^{н}(x_4)*\ \mu^{н}(x_5)*\ \mu^{с}(x_6)*\\
&*\mu^{с}(x_7)*\mu^{в}(x_8)*\mu^{с}(x_9)*\mu^{в}(x_{10})*..*\mu^{в}(x_{12})*\mu^{н}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14})\vee\mu^{в}(x_1)*\\
&*\mu^{с}(x_2)*\mu^{н}(x_3)*\mu^{с}(x_4)*\mu^{н}(x_5)*\mu^{с}(x_6)*...*\mu^{с}(x_9)*\mu^{в}(x_{10})*\mu^{в}(x_{11})*\\
&*\mu^{с}(x_{12})*\mu^{н}(x_{13})*\mu^{н}(x_{14}).
\end{aligned}
\tag{3.34}
$$

Кроки 10.7–10.11 реалізуються аналогічно крокам 8.10–8.14 алгоритму 8.

В процедурі формалізації СППР, що реалізована за алгоритмом 10, прийняття рішення здійснюється за таким алгоритмом.

Алгоритм 11

Крок 11.1 Обчислити значення функцій належності μ^{d_j} трьом лінгвістичним термам для конкретних значень оцінювальних параметрів x_i, $i=\overline{1,14}$ позичальника.

Крок 11.2 Обчислити значення складених багатопараметричних функцій належності $\mu^{d_j}(x_1,\dots,x_{14})$ при векторі оцінювальних параметрів $\mathbf{X}=\{x_1,\dots,x_{14}\}$.

Крок 11.3 Визначити таке рішення $\mathbf{O}_j$, для якого:

$$
\mu^{d_j}(x_1,..,x_{17})=\max[\mu^{d_j}(x_1,..,x_{17})],\ j=\overline{1,3} \tag{3.35}
$$

Розглянемо реалізацію цього алгоритму на прикладі ЦП1-ЦП6, значення оцінювальних параметрів $x_1,\dots,x_{14}$ яких було надано у табл. Б.1.2 .

За допомогою виразів (3.4)-(3.6) (при k = 1,35) знайдемо значення функцій належності в точках x_i ($i=\overline{1,14}$) для всіх нечітких термів та зведемо їх для ЦП 1 у табл. 3.13, а для ЦП 2-6 – у табл. В.1-В.5 додатку В.

Підставляючи отримані функції належності в складені логічні рівняння (3.32-3.34) та скорочуючи їх, отримаємо для цінного паперу 1:

Таблиця 3.13 - Значення функцій належності

цінного паперу 1

x_i	$\mu^н(x_i)$	$\mu^c(x_i)$	$\mu^в(x_i)$
0,3	0,835	1,0	0,266
0,5	0,53	0,879	1,0
0,35	0,756	1,0	0,434
2,0	0,74	1,0	0,578
0,5	0,845	1,0	0,392
1,2	0,678	1,0	0,578
2	0,578	1,0	0,74
0,9	1,0	0,867	0,551
0,6	0,578	0,74	1,0
2,4	0,867	0,74	0,502
0,15	0,861	0,678	0,227
0,078	1,0	0,285	0,11
0,9	0,114	0,227	1,0
0,9	0,089	0,392	1,0

$$\mu^{O_1}(x_1..x_{14}) = 1*1*0{,}434*0{,}578*0{,}392*0{,}578*0{,}74*0{,}867*1*0{,}867$$
$$*0{,}861*1*1*1 \vee 1*0{,}879*0{,}434*0{,}578*1*1*1*1*0{,}74*$$
$$*0{,}74*0{,}861*1*1*1 \vee 1*1*0{,}434*0{,}578*1*0{,}578*0{,}74*$$
$$*1*0{,}74*0{,}74*0{,}861*1*1*1 \vee 0{,}266*0{,}879*0{,}434*0{,}578*$$
$$*0{,}392*1*0{,}74*1*1*0{,}74*0{,}861*1*1*1 \vee 0{,}266*1*1*$$
$$*0{,}266*1*1*0{,}578*0{,}392*1*1*1*0{,}74*0{,}867*0{,}861*1*$$
$$*1*1 = 0{,}392 \vee 0{,}434 \vee 0{,}434 \vee 0{,}266 \vee 0266 = 0{,}434;$$

$$\mu^{O_2}(x_1..x_{14}) = 1*0{,}879*1*1*1*0{,}678*05{,}78*0{,}867*0{,}74*0{,}74*0{,}74*$$
$$*0{,}678*0{,}275*0{,}227*0{,}392 \vee 0{,}266*0{,}879*1*0{,}578*1*$$
$$*1*0{,}578*0{,}551*0{,}74*0{,}74*0{,}678*0{,}275*0{,}227*0{,}392 \vee$$
$$1*0{,}53*1*0{,}578*1*1*0{,}578*0{,}867*0{,}578*0{,}502*0{,}678*$$
$$*0{,}275*0{,}227*0{,}392 \vee 0{,}266*0{,}53*1*1*1*0{,}678*0{,}578*$$
$$*1*0{,}74*0{,}74*0{,}678*0{,}275*0{,}227*0{,}392 \vee 1*0{,}879*1*1*$$
$$*1*1*1*0{,}867*0{,}74*0{,}74*0{,}678*0{,}275*0{,}227*0{,}392 =$$
$$= 0{,}227 \vee 0{,}227 \vee 0{,}227 \vee 0{,}227 \vee 0227 = 0{,}227;$$

$$\mu^{O_3}(x_1..x_{14}) = 0{,}266*0{,}879*0{,}756*0{,}74*0{,}845*1*0{,}578*0{,}867*0{,}74*0{,}502*$$
$$*0{,}227*0{,}11*0{,}114*0{,}089 \vee 1*1*0{,}756*1*0{,}845*0{,}578*1*0{,}551$$
$$*0{,}74*0{,}502*0{,}227*0{,}275*0{,}114*0{,}089 \vee 1*0{,}879*1*0{,}74*0{,}84$$

$$* 0{,}678 * 0{,}74 * 0{,}551 * 1 * 0{,}502 * 0{,}227 * 0{,}11 * 0{,}227 * 0{,}089 \vee 0{,}835 * 1$$
$$* 1 * 0{,}74 * 0{,}845 * 1 * 1 * 0{,}551 * 0{,}74 * 0{,}502 * 0{,}227 * 0{,}11 * 0{,}114 * 0{,}089 \vee$$
$$0{,}266 * 0{,}879 * * 0{,}756 * 1 * 0{,}845 * 1 * 1 * 0{,}867 * 0{,}74 * 0{,}502 * 0{,}227 * 0{,}275 *$$
$$* 0{,}114 * 0{,}089 = 0{,}089 \vee 0{,}089 \vee 0{,}089 \vee 0{,}089 \vee 0{,}089 = 0{,}089.$$

Виходячи з (3.35), $\max \mu^{d_j} = \mu^{d_1}$, тобто ЦП 1 належить до портфеля банку, який керується консервативною інвестиційною стратегією. В додатку Б наведені функції належності для цінних паперів $o_m,\ m = \overline{2,6}$. Порівнюючи результати сортування ЦП, що отримані при застосуванні математичних апаратів ПЕ та НМ, необхідно зазначити, що вони є однаковими, а це свідчить про адекватність одного підходу другому.

3.5 Адекватність та переваги складених СППР щодо кредитування та формування оптимального інвестиційного портфеля

Для того, щоб проаналізувати адекватність запропонованої методики прийняття рішення щодо інвестування, порівняємо рівні очікуваного прибутку та ризику портфеля при нормативному підході прийняття інвестиційного рішення, що пропонується у [96], і при методиці, що запропонована в монографії.

Складемо портфель для помірної інвестиційної стратегії банку, використовуючи нормативну методику [96]. Виходячи з викладеної у [96] нормативної методики, портфель із помірною стратегією повинен складатися на 55% з акцій та на 45% – з облігацій. Тоді частки цінних паперів портфеля, (які було розглянуто у попередньому підрозділі) тобто облігацій ЦП3 та ЦП5, будуть – 0,45, а акції ЦП5 – 0,55.

Скористаємося цим нормативним співвідношенням ЦП у портфелі ($\alpha_3 = 0{,}225;\ \alpha_4 = 0{,}55;\ \alpha_5 = 0{,}225$) для підрахунку рівнів очікуваного прибутку та ризику портфеля за методикою, що пропонується в даній монографії. Так, очікуваний прибуток:

$$\overline{R}_n = \sum_{m=1}^{3} R_m \alpha_m = 0{,}225 * 0{,}2 + 0{,}55 * 0{,}27 + 0{,}225 * 0{,}2 = 0{,}24 \ ,$$

а ризик портфеля, використовуючи (1.5), буде дорівнювати:

$$\sigma_{\text{п}} = \left[\alpha_3^2\sigma_3^2 + \alpha_4^2\sigma_4^2 + \alpha_5^2\sigma_5^2 + 2\left(\alpha_3\alpha_4\sigma_{34} + \alpha_3\alpha_5\sigma_{35} + \alpha_4\alpha_5\sigma_{45}\right)\right]^{1/2} =$$

$$= \left[0{,}225^2 * 0{,}31^2 + 0{,}55^2 * 0{,}28^2 + 0{,}225^2 * 0{,}31^2 + 2 * \left(0{,}225 * 0{,}55 * 0{,}7112 + 0{,}225 *\right.\right.$$

$$\left.\left.* 0{,}225 * 0{,}0967 + 0{,}55 * 0{,}225 * 0{,}07112\right)\right]^{1/2} = 0{,}28 \ .$$

Нескладно підрахувати, що таке ж значення ризику портфеля при цьому ж рівні очікуваного прибутку можливо отримати, використовуючи запропонований в монографії підхід. Для цього скористаємося отриманим у підрозділі 3.4 оптимальним співвідношенням ЦП (α_3 = 0,2143, α_4 = 0,5714, α_5 = 0,2143) у портфелі при $\overline{R}_{\text{п}}$ = 0,24. Тоді ризик портфеля дорівнюватиме:

$$\sigma_n = \left[\alpha_3^2\sigma_3^2 + \alpha_4^2\sigma_4^2 + \alpha_5^2\sigma_5^2 + 2\left(\alpha_3\alpha_4\sigma_{34} + \alpha_3\alpha_5\sigma_{35} + \alpha_4\alpha_5\sigma_{45}\right)\right]^{1/2} =$$

$$= [0{,}2143^2 * 0{,}31^2 + 0{,}5714^2 * 0{,}28^2 + 0{,}2143^2 * 0{,}31^2 + 2(0{,}2143 * 0{,}5714 *$$

$$* 0{,}07112 + 0{,}2143 * 0{,}2143 * 0{,}0967 + 0{,}5714 * 0{,}2143 * 0{,}07112)]^{1/2} = 0{,}28$$

Таким чином, отримані однакові чисельні результати підтверджують адекватність запропонованого підходу ПР щодо складання оптимального інвестиційного портфеля.

Для визначення переваг запропонованої в монографії методики складання оптимального інвестиційного портфеля спочатку розглянемо нормативну методику [96] складання «помірного» портфеля на базі вже розглянутих ЦП3-ЦП5.

Скористаємося даними таблиці 3.14, в якій значення $r_i\,(t_i)$ були раніше використані у підрозділі 3.4 даної монографії для визначення очікуваного рівня прибутку ЦП.

Припустимо, що банк вкладає по одній умовній одиниці в кожний ЦП. Тоді курсова ціна ЦП3 буде:

$$КЦ_{цп31} = 1 - 0{,}27 = 0{,}73 \text{ (ум.од.)},$$

$$КЦ_{цп32} = 1 + 0{,}1 = 1{,}1 \text{ (ум.од.)},$$

$$КЦ_{цп33} = 1+0{,}48 = 1{,}48 \text{ (ум.од.)},$$

$$КЦ_{цп34} = 1 + 0{,}7 = 1{,}7 \text{ (ум.од.)}.$$

Аналогічно визначається курсова ціна для двох інших ЦП.

Курсова ціна портфеля при t_i знаходиться, враховуючи запропоноване у [96] співвідношення між акцією ЦП4 та облігаціями ЦП3 й ЦП5 таким чином:

Таблиця 3.14 - Обчислення рівня прибутку та ризику помірного портфеля

Період часу t_i	$r_i\ (t_i)$			$КЦ_{цпі}$ (ум.од.)			$КЦ_{пі}$, (ум.од.)	R_{ni}
	ЦП3	ЦП4	ЦП5	ЦП3	ЦП4	ЦП5	0,55ЦП4+0,225*ЦП3 + +0,225 ЦП5	
t_1	-0,27	-0,3	-0,27	0,73	0,7	0,73	0,714	-0,286
t_2	0,1	0,38	0,1	1,1	1,38	1,1	1,254	0,254
t_3	0,48	0,43	0,48	1,48	1,43	1,48	1,453	0,453
t_4	0,7	0,44	0,7	1,7	1,44	1,7	1,557	0,557
$\overline{R}п$								0,245
$\sigma_п$								0,325

$$КЦ_{п1} = 0{,}55*0{,}7 + 2*0{,}225*0{,}73 = 0{,}714 \text{ (ум.од.)},$$

$$КЦ_{п2} = 0{,}55*1{,}38 + 2*0{,}225*1{,}1 = 1{,}254 \text{ (ум.од.)},$$

$$КЦ_{п3} = 0{,}55*1{,}43 + 2*0{,}225*1{,}48 = 1{,}453 \text{ (ум.од.)},$$

$$КЦ_{п4} = 0{,}55*1{,}44 + 2*0{,}225*1{,}7 = 1{,}557 \text{ (ум.од.)}.$$

Тоді очікуваний прибуток портфеля ЦП складає:

$$\overline{R}_n = \sum_{i=1}^{4} \frac{R_{ni}}{4} = \frac{-0{,}286 + 0{,}254 + 0{,}453 + 0{,}557}{4} = 0{,}245$$

Рівень ризику портфеля буде дорівнювати:

$$\sigma_n = \sqrt{\sum_{i=1}^{4} \frac{(R_{ni} - \overline{R}_n)^2}{4}} =$$

$$\sqrt{\frac{(-0{,}286 - 0{,}245)^2 + (0{,}254 - 0{,}245)^2 + (0{,}453 - 0{,}245)^2 + (0{,}557 - 0{,}245)^2}{4}} = 0{,}325$$

Таким чином, отримано «помірний» портфель за нормативною методикою, який має рівень ризику σ_n =0,325 при рівні очікуваного прибутку $\overline{R}_n$= 0,245.

На прикладі цих же ЦП3-ЦП5 визначимо оптимальний «помірний» портфель за методикою, що запропонована у підрозділі 3.4. Для цього скористаємося отриманим у розділі 3.4 оптимальним співвідношенням цінних паперів у портфелі (α_3 = 0,0071, α_4 = 0,986, α_5 = 0,0071) при ($\overline{R}_n$=0,269) та даними табл.3.20 (σ_3 =0,31, σ_4 = 0,28, σ_5=0,31; σ_{34} = 0,07112, σ_{35} = 0,0967, σ_{45} = 0,07112). Тоді рівень ризику портфеля за цих умов буде дорівнювати:

$$\sigma_n = \left[\alpha_3^2\sigma_3^2 + \alpha_4^2\sigma_4^2 + \alpha_5^2\sigma_5^2 + 2\left(\alpha_3\alpha_4\sigma_{34} + \alpha_3\alpha_5\sigma_{35} + \alpha_4\alpha_5\sigma_{45}\right)\right]^{1/2} =$$

$$= [0{,}0071^2 * 0{,}31^2 + 0{,}986^2 * 0{,}28^2 + 0{,}0071^2 * 0{,}31^2 + 2(0{,}0071 * 0{,}986 *$$

$$* 0{,}07112 + 0{,}0071 * 0{,}0071 * 0{,}0967 + 0{,}986 * 0{,}0071 * 0{,}0967)]^{1/2} = 0{,}28 .$$

При такому ж рівні прибутку портфеля ($\overline{R}_n$=0,269), але іншому співвідношенні ЦП у помірному портфелі (α_3 = 0,2, α_4 = 0,7, α_5 = 0,2), отримано рівень ризику σ_n = 0,306. Тобто цей портфель є більш ризикованим, ніж попередній (при α_3 = 0,0053, α_4 = 0,986, α_5 = 0,009).

За запропонованою методикою було обчислено оптимальні співвідношення при інших рівнях очікуваних прибутків. У табл. 3.15 розглянуто ці співвідношення ЦП у портфелі, очікувані прибутки та відповідні обчислені рівні ризику.

Таблиця 3.15 - Рівні прибутку та ризику за запропонованою методикою

Співвідношення ЦП	$\overline{R}_п$	$\sigma_п$
$\alpha_3 = 0,0071$ $\alpha_4 = 0,9859$ $\alpha_5 = 0,0071$	0,269	0,28000
$\alpha_3 = 0,0214$ $\alpha_4 = 0,9571$ $\alpha_5 = 0,0214$	0,267	0,27896
$\alpha_3 = 0,0357$ $\alpha_4 = 0,9286$ $\alpha_5 = 0,0357$	0,265	0,27844
$\alpha_3 = 0,0500$ $\alpha_4 = 0,9000$ $\alpha_5 = 0,0500$	0,263	0,27797
$\alpha_3 = 0,0714$ $\alpha_4 = 0,8571$ $\alpha_5 = 0,0714$	0,26	0,27746
$\alpha_3 = 0,1071$ $\alpha_4 = 0,7857$ $\alpha_5 = 0,1071$	0,255	0,27708
$\alpha_3 = 0,1429$ $\alpha_4 = 0,7143$ $\alpha_5 = 0,1429$	0,250	0,27731
$\alpha_3 = 0,1786$ $\alpha_4 = 0,6429$ $\alpha_5 = 0,1786$	0,245	0,278115
$\alpha_3 = 0,2143$ $\alpha_4 = 0,5714$ $\alpha_5 = 0,2143$	0,240	0,27954

Порівняємо складені за запропонованою в монографії методикою портфелі з оптимальними співвідношеннями при певних рівнях прибутку з отриманим портфелем за нормативною методикою [96].

Аналізуючи дані табл. 3.15 та порівнюючи їх з результатами, що отримані при нормативній методиці ($\overline{R}_n = 0{,}245$, $\sigma_n = 0{,}325$), відзначимо, що запропонована автором методика дає кращий результат ніж нормативний підхід, виходячи як з отриманих рівнів ризику, так і з відповідних рівнів прибутку.

Проаналізуємо адекватність запропонованої методики ПР щодо кредитування. Скористаємося для цього даними позичальника 1, значення оцінювальних параметрів якого було розглянуто у підрозділі 3.3. Згідно із запропонованою методикою йому відповідало рішення d_4 , тобто надання кредиту за стандартних умов.

Розглянемо методику визначення кредитового рішення при нормованому підході [102] на прикладі позичальника 1. Коефіцієнт загальної ліквідності [83-85, 88, 102] (нормативний інтервал значень (2-2,5)) буде дорівнювати:

$$\text{КЛ}_1 = \frac{\text{А}_{23} - \text{V}}{\text{Р}_{23} - \text{Н}} = \frac{9000 - 2220}{15000 - 12000} = 2{,}26 \ ,$$

Коефіцієнт абсолютної ліквідності [83-85, 88, 102] (нормативний інтервал значень (0.25-4)) дорівнює:

$$\text{КЛ}_2 = \frac{\text{ALA}}{\text{Р}_3} = \frac{5400}{4500} = 1{,}2 \ .$$

Коефіцієнт автономності [102] (нормативний інтервал значень (0-1)) дорівнює:

$$\text{КА} = \frac{P_2 + P_3}{P_1} = \frac{10500 + 4500}{16000} = 0{,}9 \ .$$

Коефіцієнт маневрування [102] (нормативний інтервал значень (0,5 - 4)) буде таким:

$$\text{КМ} = \frac{\text{P}_1 - \text{A}_1}{\text{P}_1} = \frac{16000 - 7400}{16000} = 0{,}54\,.$$

Виходячи з отриманих значень оцінювальних коефіцієнтів, можна зауважити, що за значеннями перших двох коефіцієнтів фінансова діяльність є дуже доброю, але значення коефіцієнтів автономності та маневрування надто близькі до граничних, що свідчить про те, що немає можливості підтримувати високий рівень фінансового стану протягом тривалого часу.

Таким чином, розглянутий позичальник, згідно з п.2.3 [102], належить до класу «Б», що відповідає рішенню d_4 в запропонованій СППР щодо надання кредиту. Таке співпадіння результатів свідчить про адекватність методики, що запропонована.

Переваги запропонованої методики ПР щодо кредитування полягають в тому, що на відміну від нормативної методики визначення кредитоспроможності [102], вона дозволяє враховувати як кількісні, так і якісні оцінювальні параметри. Це дає можливість здійснити аналіз впливу різнобічних факторів, зокрема, зовнішньоекономічного середовища, макроекономічних показників та ін. Є можливість оцінити рівень ризику позичальника. Крім того, запропонований підхід дозволяє приймати раціональне кредитове рішення при неповній вхідній інформації на базі лінгвістичної інформації, що дає можливість автоматизувати процес ПР щодо кредитування шляхом математичного моделювання. Побудовані математичні моделі, методики та алгоритми ПР за умов ризику щодо кредитування дозволили створити комп'ютеризовану СППР, яка значно спрощує процес ПР.

3.6 Математична модель оцінки інвестиційної привабливості промислових підприємств

Найактуальнішими для сьогодення України є проблеми вибору для інвестування промислових підприємств, що мають найкращі перспективи розвитку і зможуть забезпечити високу ефективність вкладеного капіталу. Для розв'язання цієї проблеми необхідно розробити об'єктивну модель оцінки інвестиційної привабливості окремих підприємств – потенційних об'єктів інвестування. У монографії матричну модель такої оцінки на прикладі підприємств молочної промисловості [159].

Методика побудови моделі полягає у формуванні певного інтегрального показника, який дасть змогу здійснити кількісну оцінку різноманітних показників господарської діяльності підприємств. Сам багаторівневий процес формування такого показника представлений на рис. 3.7.

Як видно з рис.3.7, на першому рівні визначається мета інвестиційного завдання та зміст його вирішення.

На другому рівні здійснюється інформаційне забезпечення, необхідне для вирішення інвестиційного завдання. Для цього використовується відкрита інформація, а саме фінансова та статистична звітності підприємства [160].

На третьому рівні формується набір критеріїв, які дають змогу оцінити інвестиційну привабливість підприємств. Такий набір критеріїв передбачає проведення аналізу кількісних $F_1(x_1...x_4)$ і якісних $F_2(x_5...x_{11})$ показників, які допомагають зусібіч здійснити процес оцінювання.

Так, складовими показника $F_1(x_1..x_4)$ є:

$f(x_1)$ – показник, за допомогою якого визначається ліквідність активів підприємства;

$f(x_2)$ – показник, що визначає фінансову стійкість підприємства;

$f(x_3)$ – показник, що дає змогу проаналізувати оборотність активів підприємства;

$f(x_4)$ – показник, що визначає прибутковість використовуваних активів.

$F_2(x_5...x_{11})$ – показник, що характеризує якісні характеристики оцінки інвестиційної привабливості підприємства. Його складовими є відповідні показники $f(x_5)$; $f(x_6)$; $f(x_7)$; $f(x_8)$; $f(x_9)$; $f(x_{10})$; $f(x_{11})$.

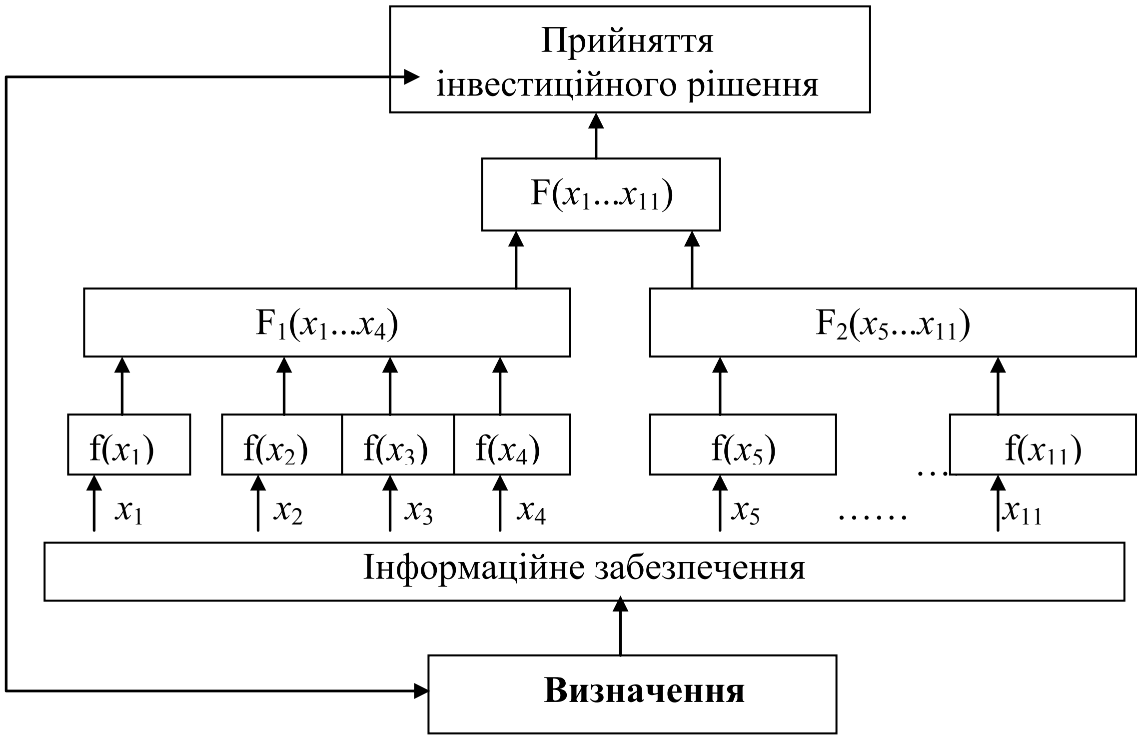


Рис. 3.7 - Формування загального показника, що оцінює інвестиційну привабливість промислових підприємств

Зауважимо, що $f(x_5)$ – це галузева приналежність підприємства, а основним показником інвестиційної привабливості галузей промисловості може слугувати рівень прибутковості використання активів [161-166];

$f(x_6)$ – регіональна інвестиційна привабливість (згруповані у чотири групи регіони (області) України) [167, 168];

$f(x_7)$ – стадія життєвого циклу підприємства;

$f(x_8)$ – розрахунки підприємства за кредитами згідно з балансом підприємства (ф. 1);

$f(x_9)$ – розрахунки підприємства з персоналом;

$f(x_{10})$ – інформація щодо професійних здібностей керівництва;

$f(x_{11})$ – інформація про добросовісність (чесність, порядність) керівника підприємства як партнера.

Щоб сформувати узагальнений показник $F(x_1...x_{11})$, необхідно визначити пріоритети і впорядкувати варіанти рішень із допомогою певних правил. Для відображення цього показника використовується матрична форма, яка забезпечує зручність і прозорість в інтерпретації відповідних результатів.

Отже, виходячи з рисунка для прийняття рішення про інвестиційну привабливість підприємства необхідно сформувати узагальнений показник F(x_1...x_{11}), який враховує кількісні та якісні показники інвестиційної привабливості, і з його допомогою прийняти відповідне рішення. Такий показник має бути кількісним і адекватно відображати фінансовий стан підприємства.

Врахування кількісних показників пропонується здійснювати шляхом складання підсумкової матриці E(n×m), кількість рядків якої визначається числом кількісних показників, що оцінюють фінансовий стан підприємства (для нашого випадку n = 4), а кількість стовпчиків матриці – кількістю складових, які забезпечують коректне визначення відповідних кількісних показників (для нашого випадку m = 3).

Таким чином, матриця E матиме вигляд:

$$E = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} \\ e_{41} & e_{42} & e_{43} \end{pmatrix}. \qquad (3.36)$$

Визначимо правила формування елементів матриці E.

Елементи першого рядка (e_{1i}) (i = 1,3) визначаються за допомогою показників ліквідності (x_{11}, x_{12}, x_{13}), де x_{11} – коефіцієнт абсолютної ліквідності (платоспроможності), що обчислюється так:

$$x_{11} = \frac{\text{найліквідніші активи}}{\text{короткострокові зобов'язання}}. \qquad (3.37)$$

Рекомендоване значення цього показника x_{11}> 0,2 [169].

Якщо ця умова виконується, вважаємо, що $e_{11} = 1$, якщо ні – приймаємо, що $e_{11} = 0$.

Елемент матриці e_{12} обчислюється за допомогою величини x_{12} – коефіцієнта остаточної ліквідності (коефіцієнт покриття), який розраховується за співвідношенням:

$$x_{12} = \frac{\text{сума поточних активів}}{\text{сума поточної (короткострокової) заборгованості}}. \quad (3.38)$$

Рекомендоване значення показника $x_{12} > 1$.

Якщо ця умова виконується, вважаємо, що $e_{12} = 1$, якщо ні – приймаємо, що $e_{12} = 0$.

Елемент e_{13} матриці (3.36) розраховується за допомогою коефіцієнта миттєвої оцінки, який можна обчислити у такий спосіб:

$$x_{13} = \frac{\text{гроші + цінні папери + дебіторська заборгованість}}{\text{поточні зобов'язання}}. \quad (3.39)$$

Рекомендоване значення цього показника $x_{13} > 0{,}7 – 0{,}8$.

Якщо ця умова виконується, вважаємо, що $e_{13} = 1$, якщо ні – приймаємо, що $e_{13} = 0$.

Таким чином, якщо

$$\begin{aligned} &x_{11} > 0{,}2 \Rightarrow \mathrm{e}_{11} = 1, \\ &x_{12} > 1 \Rightarrow \mathrm{e}_{12} = 1, \\ &x_{13} > 0{,}7 - 0{,}8 \Rightarrow \mathrm{e}_{13} = 1. \end{aligned} \quad (3.40)$$

Для оцінки інвестиційної привабливості промислових підприємств важливим показником є показник фінансової стійкості підприємства, який пропонується ідентифікувати за допомогою елементів другого рядка матриці (3.36), що розглядається. Елементи цього рядка визначаються за допомогою коефіцієнтів стійкості фінансового стану підприємства (x_{21}, x_{22}, x_{23}), де x_{21} –

коефіцієнт автономії, що свідчить, якою мірою використовуються даним підприємством його активи, сформовані за рахунок власного капіталу підприємства. Так

$$x_{21} = \frac{\text{сума власного капіталу}}{\text{сума всіх використовуваних активів}}. \qquad (3.41)$$

Зауважимо, що рекомендоване значення показника $x_{21} > 0{,}5$ відтак якщо ця умова виконується, то $e_{21} = 1$, якщо ні, то $e_{21} = 0$.

x_{22} – це коефіцієнт маневреності (мобільності), він свідчить, яка частина власного капіталу не закріплена у цінностях іммобільного характеру і перебуває у формі, що дає змогу вільно маневрувати цими коштами.

Так

$$x_{22} = \frac{\text{власні обігові кошти}}{\text{власні кошти}}. \qquad (3.42)$$

Рекомендоване значення $x_{22} \geq 0{,}5$, якщо ця умова виконується, то $e_{22} = 1$, якщо ні – $e_{22} = 0$.

x_{23} – це коефіцієнт заборгованості. Він визначається співвідношенням:

$$x_{32} = \frac{\text{позичені кошти}}{\text{власні кошти}}. \qquad (3.43)$$

Рекомендоване значення $x_{23} \leq 1$, якщо ця умова виконується, $e_{23} = 1$, якщо ні – $e_{23} = 0$.

Отже, якщо

$$\begin{aligned} x_{21} \geq 0{,}5 &\Rightarrow e_{21} = 1, \\ x_{22} \geq 0{,}5 &\Rightarrow e_{22} = 1, \\ x_{23} \leq 1 &\Rightarrow e_{23} = 1. \end{aligned} \qquad (3.44)$$

Елементи третього рядка матриці (3.36) характеризують оборотність активів підприємства, їх розраховують за допомогою трьох коефіцієнтів. Зокрема, коефіцієнт оборотності активів x_{31} обчислюється таким чином:

$$x_{31} = \frac{\text{обсяг реалізації продукції}}{\text{середня вартість активів, що використовуються}}. \qquad (3.45)$$

Цей показник повинен мати тенденцію до підвищення. Якщо ця умова виконується, $e_{31} = 1$, якщо ні – $e_{31} = 0$.

Коефіцієнт x_{32} – це тривалість обороту всіх активів, що розраховується у днях, він визначається виразом:

$$x_{32} = \frac{\text{д}}{\text{коефіцієнт оборотності усіх активів}}, \qquad (3.47)$$

де д – число днів у періоді, що розглядається.

Цей показник повинен мати тенденцію до зниження. Якщо ця умова виконується, $e_{32} = 1$, якщо ні – $e_{32} = 0$.

Коефіцієнт x_{32} характеризує оборотність поточних активів і визначається за формулою:

$$x_{33} = \frac{\text{обсяг реалізації продукції}}{\text{середня вартість поточних активів}}. \qquad (3.48)$$

Цей показник повинен мати тенденцію до підвищення. Якщо така умова виконується, $e_{33} = 1$, якщо ні – $e_{33} = 0$.

Отже, якщо

$$\begin{aligned} &x_{31} \Rightarrow \text{підвищується} \Rightarrow e_{21} = 1, \\ &x_{32} \Rightarrow \text{знижується} \Rightarrow e_{22} = 1, \\ &x_{33} \Rightarrow \text{підвищується} \Rightarrow e_{23} = 1. \end{aligned} \qquad (3.49)$$

Елементи четвертого рядка матриці Е (3.36) оцінюють прибутковість капіталу, їх визначають за допомогою коефіцієнтів (x_{41}, x_{42}, x_{43}).

x_{41} – це коефіцієнт прибутковості усіх використовуваних активів підприємства (%). Він характеризує рівень чистого прибутку, що генерується усіма активами підприємства, які знаходяться у його користуванні на балансі.

Так,

$$x_{41} = \frac{\text{(загальна сума чистого прибутку)} \times 100}{\text{середня вартість усіх активів}}. \tag{3.50}$$

Рекомендоване значення цього показника повинне мати тенденцію до підвищення. Якщо ця умова виконується, $e_{41} = 1$, якщо ні – $e_{41} = 0$.

x_{42} – коефіцієнт рентабельності власного капіталу, або коефіцієнт фінансової рентабельності. Він характеризує рівень прибутковості власного капіталу, який вкладений у підприємство.

Так

$$x_{42} = \frac{\text{(загальна сума чистого прибутку)} \times 100}{\text{середня сума власного капіталу}}. \tag{3.51}$$

Рекомендоване значення цього показника повинне мати тенденцію до підвищення. Якщо ця умова забезпечується, $e_{42} = 1$, якщо ні – $e_{42} = 0$.

x_{43} – коефіцієнт прибутковості реалізації продукції. Він характеризує прибутковість виробничо-комерційної діяльності підприємства і визначається у такий спосіб:

$$x_{43} = \frac{\text{(прибуток від реалізації)} \times 100}{\text{виручка від реалізації}}. \tag{3.52}$$

Рекомендоване значення цього показника повинне мати тенденцію до підвищення. При забезпеченні цієї умови $e_{43} = 1$, в іншому разі $e_{43} = 0$. Отже, якщо:

$$x_{41} \Rightarrow \text{ підвищується} \Rightarrow \text{ e}_{21} = 1,$$

$$x_{42} \Rightarrow \text{ підвищується} \Rightarrow \text{ e}_{22} = 1, \tag{3.53}$$

$$x_{43} \Rightarrow \text{ підвищується} \Rightarrow e_{23} = 1.$$

Співвідношення (3.37)–(3.53) дають змогу досить просто алгоритмізувати процес знаходження значень елементів матриці Е (3.36), що використовується для загальної оцінки кількісних показників, які оцінюють інвестиційну привабливість підприємств молочної промисловості. Відповідно до цього інвестиційне привабливим треба вважати підприємство зі стійким фінансовим станом, тобто у випадку, якщо матриця Е матиме вигляд:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \text{ або } \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \tag{3.54}$$

тобто сума елементів усіх чотирьох рядків матриці Е має дорівнювати 11 або 9.

У разі, якщо сума елементів матриці Е менша за 9, можна зробити висновок, що дане підприємство не є привабливим як об'єкт інвестування.

Тому найстійкіший фінансовий стан підприємств задамо двома матрицями Е, які мають вигляд:

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \tag{3.55}$$

або

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \tag{3.56}$$

Критичний фінансовий стан задамо матрицею Е такого вигляду:

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \qquad (3.57)$$

Кризовий стан підприємств характеризується більшістю нульових елементів матриці Е (кількість таких елементів має бути не менш як 6).

Враховуючи (3.36), сформуємо загальний показник, який характеризує усі кількісні показники. Для цього обчислимо суму всіх елементів матриці (3.36). Таку суму позначимо K_n – показником кількісних характеристик інвестиційної привабливості промислових підприємств. Необхідно взяти до уваги усі можливі варіанти і те, що обов'язковою умовою визначення фінансового стану є наявність у матриці (3.36) 11 або хоча б 9 одиниць. Якщо розглянути всі варіанти, отримаємо таблицю 3.13, яка дає можливість визначити фінансовий стан промислових підприємств як об'єктів інвестування.

У табл. 3.13 наведено вагові коефіцієнти фінансового стану підприємства Р, які мають відповідні значення, що залежать від стійкості фінансового стану.

Таблиця 3.13 – Визначення фінансового стану промислового підприємства

Кризовий фінансовий стан	Нестійкий фінансовий стан	Стійкий фінансовий стан
Якщо $K_n \le 2$, то $P_{11} = 0$	Якщо $K_n \le 8$, то $P_{12} = 0,5$	Якщо $9 \le K_n \le 11$, то $P_{13} = 1$

Визначення якісних показників F_2 ($x_5 \ldots x_{11}$) пропонується здійснювати шляхом проведення детальної аналітичної роботи експертним методом, використовуючи при цьому теорію вагових коефіцієнтів.

Надамо кожному із відповідних якісних показників вагові коефіцієнти – k_1 (i = 5,11) (див. табл. 3.14).

Перелік основних професійних здібностей керівництва та відповідні вагові коефіцієнти $k_{i\ проф.}$ (i = 1,5) задамо таким чином:

рівень спеціальних знань, освіти $k_{i\ проф.}$ = 0,25;

компетентність — $k_{2\ проф.}$ = 0,25;

аналітичність – $k_{3\ проф.}$ = 0,2;

оперативність – $k_{4\ проф.}$ = 0,2;

комунікативність – $k_{5\ проф.}$ = 0,1.

Якщо використати наведений перелік професійних здібностей керівництва підприємств, можна визначити відповідний рівень професійних здібностей керівництва промислових підприємств.

Для цього використаємо подані нижче вагові коефіцієнти (табл. 3.15).

Для обчислення вагового коефіцієнта якісного показника $f(x_{10})$ у табл. 3.15 використовуються співвідношення:

$$k_{проф.} = \sum_{i=1}^{5} k_{i\ проф.} \tag{3.58}$$

Таблиця 3.14 – Вагові коефіцієнти якісних показників оцінки інвестиційної привабливості підприємств молочної промисловості

Назва показника	Показник	Інтервали зміни вагових коефіцієнтів
1	2	3
1. Галузева приналежність підприємства	$f(x_5)$	$0 < k_5 \leq 0,05$
2. Регіональна приналежність	$f(x_6)$	$0 < k_6 \leq 0,05$
3. Стадія життєвого циклу підприємства	$f(x_7)$	$0 < k_7 \leq 0,25$

(продовження таблиці 3.14)

1	2	3
4. Розрахунки підприємства з персоналом	$f(x_8)$	$0 < k_8 \leq 0{,}15$
5. Розрахунки підприємства за кредитами	$f(x_9)$	$0 < k_9 \leq 0{,}25$
6. Професійні здібності керівництва	$f(x_{10})$	$0 < k_{10} \leq 0{,}2$
7. Добросовісність (чесність, порядність) підприємства як партнера	$f(x_{11})$	$0 < k_{11} \leq 0{,}05$

Таблиця 3.15 - Рівні професійних здібностей керівництва промислового підприємства

Рівні	Низький рівень	Середній рівень	Високий рівень
Інтернати зміни вагових коефіцієнтів	$0 < k_{проф.} \leq 0{,}4$	$0{,}4 < k_{проф.} \leq 0.6$	$0{,}6 < k_{проф.} \leq 1$
Відповідний ваговий коефіцієнт	$К_{15} = 0$	$К_{25} = 0{,}1$	$К_{35} = 0{,}2$

При обчисленні показника F_2 ($x_5 ... x_{11}$) враховуватимемо вагові коефіцієнти тільки тих якісних показників, які зможуть найсуттєвіше охарактеризувати інвестиційну привабливість підприємств. Такі якісні показники, як стадія життєвого циклу підприємства, розрахунки підприємства за кредитами та професійні здібності керівництва, треба враховувати обов'язково, вони мають найбільші вагові коефіцієнти (див. табл. 3.14).

Таким чином, можна скласти таблицю рейтингу підприємства як об'єкта інвестування.

В основу такого рейтингу покладено набір відповідних коефіцієнтів, які отримують оцінку в балах, що залежить від значення цього коефіцієнта як критерію оцінки та од відповідного йому вагового значення.

Сума цих балів за всіма коефіцієнтами дає підставу віднести підприємство до того чи іншого рівня. Щоб розв'язати це завдання, складемо відповідні таблиці рейтингових рівнів для n = 2 (табл. 3.16 і табл. 3.17) для більшої кількості рангових економічних показників (коефіцієнтів).

Таблиця 3.16 - Рейтингові рівні (n = 2)

Комбінація критеріїв за рангами	Сума балів	Отриманий рейтинговий рівень
3,5	0,5	високий
3,6	0,45	високий
3,4	0,4	середній
4,5	0,4	середній
4,6	0,35	низький
1,6	0,25	низький

Таблиця 3.17 - Рейтингові рівні (n > 2)

Комбінація критеріїв за рангами	Сума балів	Отриманий рейтинговий рівень
3, 5,6	0,7	високий
3,4, 5	0,65	високий
3,4, 6	0,6	середній
2, 3,5	0,55	середній
2, 3, 6	0,5	середній
1, 2, 3	0,35	низький
2, 3, 7	0,35	низький

Проаналізувавши отримані рейтингові рівні для n = 2 і n > 2, отримаємо загальну таблицю 3.18 для довільного *n*.

Таблиця 3.18 - Рейтингові рівні для довільного *n*

Низький рівень якісних показників	Середній рівень якісних показників	Високий рівень якісних показників
$0,3 \le k \le 0,5$	$0,5 < k \le 0,6$	$0,6 < k \le 1$
$K_{мін.}$	$K_{доп.}$	$K_{макс.}$

Тоді, якщо здійснити аналіз даних таблиць 3.14 і 3.18, можна запропонувати співвідношення, що дасть змогу оцінити сумарний допустимий рейтинговий рівень інвестиційної привабливості промислового підприємства, який на нашому рисунку на початку розділу 3.6 поданий у вигляді узагальненого показника $F(x_1...x_{11})$ (на прикладі підприємств молочної промисловості) і який слід проводити на четвертому рівні моделі.

$$K_{25} + k_{доп.} < F(x_1...x_{11}) \le K_{35} + k_{макс.}, \qquad (3.59)$$

де
$$K_{25} + k_{доп} = 0,1 + 0,5 = 0,6. \qquad (3.60)$$

Цю суму позначаємо через $F_{2\,мін}(x_5...x_{11})$.

$$K_{35} + k_{макс} = 0,2 + 1 = 1,2. \qquad (3.61)$$

Цю суму позначаємо через $F_{2\,макс}(x_5...x_{11})$

Враховуючи вирази (3.59) – (3.61), отримаємо:

$$F_{2\,мін}(x_5...x_{11}) < F(x_5...x_{11}) \le F_{2\,макс}(x_5...x_{11}) \qquad (3.62)$$

Формування узагальненого показника оцінки інвестиційної привабливості промислових підприємств проводиться шляхом підсумовування його складових.

Якщо врахувати (3.62), а також значення P_{12} та P_{13} із табл. 3.13, отримаємо вираз для оцінки допустимого рівня інвестиційної привабливості промислових підприємств:

$$F_{мін}(x_5...x_{11}) + P_{12} < F(x_1...x_{11}) \le F_{макс}(x_5...x_{11}) + P_{13} \quad . \qquad (3.63)$$

Нескладно довести, що підприємства, які розглядаються у монографії, будуть інвестиційне привабливими, якщо:

$$1{,}1 < \mathrm{F}(x_1 \ldots x_{11}) \leq 2{,}2. \qquad (3.64)$$

Ця методика може бути використана для промислових підприємств будь-яких галузей, але при цьому змінюватимуться межі значень кількісних показників, що враховуються в $\mathrm{F}(x_1 \ldots x_4)$, тобто матриця Е матиме різний вигляд для різних промислових підприємств.

ВИСНОВКИ

Існує певний клас задач, в яких необхідно приймати рішення з урахуванням великої кількості вхідних даних, впливаючих чинників, а також при неповній інформації, тобто за умов відсутності можливості проаналізувати всі комбінації оцінювальних параметрів. Складність прийняття рішення для такого класу задач полягає в тому, що за даними психологічних досліджень, ОПР може сприймати та аналізувати лише 7±2 одиниці інформації; при більшій кількості вхідних даних людина не спроможна приймати раціональні рішення. Тому при розв'язуванні таких задач доцільно використовувати автоматизовані комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень.

В останні десятиліття значна увага приділяється методичній базі, відповідному математичному забезпеченню та побудованим на їх основі СППР, що дозволяють вирішувати проблему прийняття рішення у багатьох галузях людської діяльності, зокрема, економіці, штучному інтелекті, автоматиці, медицині, екології, системах безпеки й т.п. Специфічністю процесу прийняття рішення у таких галузях є те, що воно здійснюється за умов ризику.

Необхідно зазначити, що імідж країни на міжнародній арені, її політичний та соціальний статус суттєво залежать від міцності економічної платформи держави. При цьому одним із можливих шляхів подолання труднощів, з якими стикається сучасний ризиковий банківський менеджмент, є застосування комп'ютеризованих систем підтримки прийняття управлінських рішень.

Зважаючи на вищевикладене, дана монографія присвячена розробці математичних моделей ПР, відповідних методик та алгоритмів формалізації СППР з різними оцінювальними параметрами на базі математичних апаратів

ПЕ та НМ і побудові на їх основі комп’ютеризованих засобів СППР. Основні результати є такими:

1. Розроблено загальну математичну модель ПР з розширеними функціональними можливостями, особливістю якої є те, що вона враховує множини первинних вхідних, оцінювальних параметрів, множину критеріїв, а також розбиття складної функції прийняття рішення на простіші функції так, що вони однозначно ідентифікують певні параметри у функції більш високого рівня й дозволяють її повністю визначити. Виходячи з цієї моделі, побудовано загальну структурну модель багаторівневої СППР, в якій здійснено стратифікацію процесу прийняття рішення, що дозволяє спростити формалізацію цієї СППР в різних галузях людської діяльності. Кожен рівень в такій СППР реалізує відповідні функції, що визначені у математичній моделі. Для реалізації цих функцій запропоновано використовувати принципи послідовної та паралельної декомпозиції, що дозволяє здійснювати вибір форми реалізації в залежності від складності та специфіки задачі.

На базі загальної структурної моделі багаторівневої СППР розроблено модель багаторівневої СППР щодо банківського кредитування з урахуванням ризику в рамках декомпозиційного принципу послідовної реалізації функції, а також модель багаторівневої СППР щодо складання оптимального інвестиційного портфеля з урахуванням ризику в рамках декомпозиційного принципу паралельної реалізації функції відображення множини вхідних даних у множину остаточних рішень. Особливістю цих моделей є те, що вони враховують множини первинних вхідних параметрів $\mathbf{X}^*$, оцінювальних параметрів $\mathbf{X}$, а також те, що здійснено стратифікацію процесу реалізації складної функції прийняття рішення $\mathbf{F}$, тобто вона розподілена на функції, що визначаються більш просто. Це суттєво спрощує процес формалізації таких СППР.

2. Запропоновано загальну методику формалізації багаторівневої СППР з розширеними функціональними можливостями, яка дозволяє будувати СППР для об’єктів з різними типами оцінювальних параметрів.

На базі цієї методики розроблені окремі методики та алгоритми формалізації СППР з підвищеною швидкістю обробки інформації та розширеними функціональними можливостями для об’єктів з кількісними та зі змішаними оцінювальними параметрами на основі математичного апарату ПЕ та НМ, які можуть бути використані для формалізації СППР при різних типах оцінювальних параметрів об’єктів у багатьох галузях людської діяльності. Особливістю складених методик і алгоритмів формалізації СППР є те, що вони забезпечують прийняття рішення за умов ризику та неповного перебору комбінацій оцінювальних параметрів.

3. Розроблено алгоритми формалізації СППР щодо кредитування з урахуванням ризику на базі математичного апарату НМ, який дозволяє враховувати об’єкти зі змішаними оцінювальними параметрами; алгоритми формалізації СППР щодо інвестування на базі математичних апаратів НМ та ПЕ, які дозволяють враховувати ризикові параметри досліджуваних об’єктів, існуючі інвестиційні стратегії.

4. Складено алгоритми прийняття рішення у СППР з кількісними та змішаними оцінювальними параметрами. Особливістю цих алгоритмів є те, що вони мають обчислювальний характер і доволі просто реалізуються за допомогою сучасної комп’ютерної техніки.

На базі алгоритму ПР складено алгоритм ПР в СППР щодо кредитування, який дозволяє визначити остаточне рішення банку щодо потенційного позичальника.

Побудовано алгоритми ПР в СППР щодо інвестування. Особливістю цих алгоритмів є те, що за їх допомогою визначається належність ЦП до певного портфеля банку, який керується однією з інвестиційних стратегій. Крім того, він дозволяє визначити для сформованого портфеля оптимальне співвідношення ЦП при мінімальному рівні ризику для бажаного рівня прибутку.

5. Доведено адекватність складених алгоритмів прийняття рішення в СППР щодо кредитування та інвестування, які побудовані на основі запропонованих методик формалізації, тим методикам прийняття рішення, що реально практикуються в банку та визначені у відповідних нормативних банківських документах.

6. Запропонована методика побудови матричної моделі оцінки інвестиційної привабливості промислових підприємств (на прикладі підприємств молочної промисловості) на основі узагальненого показника дає можливість врахувати кількісні та якісні критерії оцінки фінансового стану промислових підприємств молочної галузі, тобто дає змогу здійснити інтеграцію різноманітних економічних показників і прийняти відповідне інвестиційне рішення, яке відповідає поставленій меті, що суттєво знижує ризик інвестора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Компьютеризация информационных процессов на промышленных предприятиях/ В.Ф. Сытник, Х.Срока, Н.В. Еремина и др. -К.:Тэхника; Катовице: Экономическая академия им.К.Адамецкого,1991.-215 с.
2. Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений.-М.:Знание, 1965.-32 с.
3. Belenson S.M., Kapur K.C. An algorithm for Solving Multicriterion Linear Programming Problems with Examples // Operational research quarterly.-1975.-V.24.-1.-P.65-77.
4. Benson R.G. Interactive Multiple Criteria Optimization Using Satisfactory Goals.-Dissertation.-Universsity of Iowa, 1975 .
5. Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. Classificaton and Regression Trees.-Belmont.-CA: Wadsworth Int, 1984.-360 p.
6. Stabell C.B. Decision Support Systems: Alternative Perspectives and Schools.-In: Decision Support Systems: A Decade in Perspective / Ed. E.R.McLean, H.G. Sol .-Elsevier Science Publishers B.V. IFIP.-1986 .
7. Кини Р.Л., Х. Райфа. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения.-М.:Радио и связь, 1981.- с.18-20 .
8. Гордиенко І.В. Моделі і методи підтримки прийняття рішень з проблеми інвестицій у цінні папери корпорацій. Дис. канд. ек.н. ДС 43440. К.-1994. -167 с.
9. Сытник В.Ф. Информационная система в управлении.-К.: Вища школа, 1983.-243 с.
10. Сытник В.Ф. Математические модели в планировании и управлении предприятиями. -К. : Вища школа, 1985.-214 с.
11. Мертенс А.В. Адаптивные свойства экономических систем в стохастических моделях планирования и принятия решений: Дис. канд. екон. наук: К.,1992. -180 с.

12. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. - М.: Наука, 1970.-707 с.
13. Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы.- М.: Мир, 1973.-302.с.
14. Ермольев Ю.М., Ястремский А.И. Стохастические модели и методы в экономическом планировании.-М.: Наука, 1979.-256 с.
15. Волкович В.Л. Методы принятия решений по множеству критериев оптимальности // Тр. Семинара «Сложные системы».-К.-1968.- С.1-5 .
16. Ермольев Ю.М., Ляшко И.И., Михалевич В.С., Тюптя В.Н.-К.: Вища шк. Головное изд-во, 1979.- 312 с.
17. Михалевич В.С. Последовательные алгоритмы оптимизации и их применение. I, II // Кибернетика.-1965.-№1.-С.45-55; №2.-С.85-89.
18. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирование сложных систем.-М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат. лит., 1982.-286 с.
19. Михалевич В.С., Кукса А.И. Методы последовательной оптимизации в дискретных сетевых задачах оптимального распределения ресурсов.-М.: Наука, 1983.- 208 с.
20. Емеличев В.А., Комлик В.И. Метод построения последовательности планов для решения задач дискретной оптимизации.-М.: Наука, 1981.-208 с.
21. Ларичев О.И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям // Автоматика и телемеханика.- 1979.- №8.-С.34-37.
22. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений.-М.: Наука, 1979.-130 с.
23. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации.-М.: Сов. Радио,- 1974.-199 с.

24. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования.-М.: Сов. Радио, 1979.-392 с.
25. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи и методы линейного программирования.-М.: Сов. Радио, 1964.-736 с.
26. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем.-М.: Наука, 1978.-399 с.
27. Бусленко Н.П., Коваленко И.Н., Калашников В.В. Лекции по теории сложных систем.-М.: Сов. Радио, 1973.-439 с.
28. Вентцель Е.С. Исследование операций.-М.: Сов. Радио, 1972.-551 с.
29. Вентцель Е.С. Исследование операций: Задачи, принципы, методология.-М.: Наука, 1980.- 208 с.
30. Georg E. Pinches. Essentials of financial managment.-New York: Harper Collins Publishers, 1992.-907 p.
31. Connor, Gregory, and Robert A.Korajczyk. Risk and return in an Equilibrium APT: Application of a New Test Methodology //Journal of Financial Economics 21. - 1988 -№9.-P. 255-289.
32. E.Turban, Jack R. Meredith. Fundamentals of managment science. -Illinois: Business Publications, 1988.-915 p.
33. Brown, Rex V.; Andrew S. Kahr and C. Peterson. Decision Analysis for Manager. New York: Holt.- Rinehart@Winston, 1974.
34. Brown, R.V. et al. Decision Analysis: An Overview. New York: Holt.-Rinehart@Winston, 1974.-325 p.
35. Fishburn, P.C. Utility Theory and its Applications. New York: John Wiley@Sons, 1970. -644 p.
36. Harrison, E.F. The Managerial Decision-Making Process. Boston: Hoghton Mifflin, 1975. -167 p.
37. Holloway, C.A. Decision Making under Uncertainty. Englewood Cliffs, N.J.: Prentic-Hall, 1979.-238 p.
38. Hertz D. D. Risk Analysis and its Applications. New York: John Wiley@Sons, 1982.-456 p.

39. Hertz, D. D. Practical Risk Analysis. NewYork: John Wiley@ Sons, 1983. - 235 p.
40. Hwang, C.L. and K.Yoon. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications: A State of the Art Survey. New York: Springer-Verlag, 1981. - 536 p.
41. Luce, R.D.,and H.Raiffa. Games and Decisions. New York: John Wiley@Sons, 1957.
42. Magee, J.F. «Decision Trees for Decision Making». Harvard Business Review.- July-August, 1964.- pp.126-38.
43. How to use decision Trees in Capital Investment. Harvard Business Review.- September-October, 1964.- pp.79-96.
44. Oxenfeldt, A.R. A Basic Approch to Executive Decision Making. New York. AMACOM, 1978. -178 p.
45. Raiffa,H. Decision Analysis. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing, 1970. -657 p.
46. Starr, M.K., and M.Zeleny (ed.) Multiple Criteria Decision Making. New York: Elsevier North-Holland Publishing.- 1977. -389 p.
47. Turban, E. Decision Support Systems and Expert Systems. New York: Macmillan.-1988. -544 p.
48. Ulvilla, J., and R.V. Brown. Decision Analysis Comes of Age. Harvard Business Review.- Septembaer-October,1982.-pp.130-141.
49. White, D.J. Decision Methodology. London: John Wiley@Sons.-1975.
50. Zionits, S. Multiple Criteria Problem Solving: Proceeding in Buffalo.-1977.-New York: Springer-Verlag.-1978. -536 p.
51. Fama, Eugene F. Foundations of Finance. New York: Basic Books, 1976. - 132 p.
52. Haugen,Robert A. Modern Investment Theory, 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1990. -245 p.

53. Bey, Roger P., Goerge E. Pinches. Additional Evidence of Heteroscedasticity in the Market Model // Journal of Financial and Quantitative Analysis.-1980.-№15.-P.299-322.
54. Brown, Keith C., W.V. Harlow, Seha M. Tinic. Risk Aversion, Uncertain Information, and Market Efficiency // Journal of Financial Economics.-1988.-№22. -P.355-385.
55. Harvey, Campbell R. Time-Varying Conditional Covariances in Tests of Asset Pricing Models// Journal of Financial Economics.- 1989.- №24.- P. 289-317.
56. Huberman, Gur, Shmuel Kandel. Market Efficiency and the Value Line Record//Journal of Business.- 1990.- №63. -P. 187-216.
57. Levy, Haim, Zvy Lerman. The Benefits of International Diversification in Bonds // Financial Analists Journal.- 1988.- №44.- P. 56-64.
58. Coles, Jeffrey L., Ury Loewenstein. Equilibrium Pricing and Portfolio Composition in the Presence of Uncertain Parameters// Journal of Financial Economics.- 1988.- №22. - P. 279-303.
59. Anthony R.N. Planning and Control Systems.-Harvard University, Boston, 1965.- P.18-27.
60. Huysmans J. The Implementation of Operation Research, Wiley.- New York, 1970.- P.22-26.
61. Alter S. DSS, Addison-Wesley.-Massachusetts, 1980.-356 p.
62. Drucker P. The practice of Manadgment.-London, Westley, 1968.- pp. 140-150.
63. Goscinski J. Zarys teorii sterowania ekonomicznego.-Warszawa: PWN, 1977.-321 p.
64. Slovic P., Lichtenstein S. Comparison of Bayesian and regression approaches to study of information in judgement.-Organizational Behavior and Human Perfomance, 1971.-v.6.- pp.649-744.

65. Ackoff R.L. Decyzje optimalne w badaniach stosowanych.-Warszawa: PWN, 1969.-170 p.
66. Czerminski A., Trzcieniecki J. Elementy teorii organizacji i zarzadzania.-Warszawa: PWE,-1974.-378 p.
67. Mynarski S. Elementy teorii systemow i cybernetyki.-Warszawa: PWE, 1974.- 217 p.
68. Wawrzyniak B.Decyzje kierowniczne w teorii i praktyce zarzadzania.-Warszawa: PWE, 1980.- 125 p.
69. H. Halama, U. Gros. M.Wojcik, K. Zurek. Podstawy teoretyczne organizacji i zarzadzania .-Katowice: AE, 1983.- 194 p.
70. ФрумкинаР.М. О некоторых особенностях экспертного понимания. В кн.: Экспертные оценки.М.:ВИНИТИ, 1979. -452 р.
71. Егоров Б.М., Ланцев В.С., Тоценко В.Г. Синтез схем на пороговых элементах. Под ред. Вавилова Е.Н. М.: Советское радио, 1970.- с. 368 .
72. Ларичев О.И. Мошкович Е.М. Задачи классификации в принятии решений. Доклады Академии наук. М.:ВНИИСИ.-1982.-№6
73. Зайченко Ю.П. Исследование операций.-3-е изд., перераб. И доп.- К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988.-552 с.
74. Сергиенко И.В. Об основных направлениях развития информатики// Кибернетика и системный анализ.-1997.-№6.-С.3-72.
75. Hinloopen E., Nijkamp P. Qualitative multiple criteria chice analysis: The dominant regime method// Quality @ Quantity.-1990.-№24.-P.37-56.
76. Kemeny J.G., Snell L.J. Preference ranking: An axiomatic approch // Mathematical Models in the Social Sciences / Ed. By J. Kemeny.- Mew York: Ginn, 1962.-P. 9-23 .
77. Cook W.D., Kress M. A multiple criteria decision model with ordinal preference data // Eur. J. Oper. Res.- 1991.- 54.- P.259-273 .

78. Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: the next ten years/ J.S. Dyer, P.C. Fishburn, R.E. Steur, J. Wallenius, S. Zionts // Management Sci.- 1992.-38, №5.-P. 645-654.
79. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. -М.: Наука, 1982.- 254 с.
80. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций: Пер. с англ.- М.: Мир, 1971.-534 с.
81. Спицын И. О., Спицын Я. О. Маркетинг в банке.- К.: ЦММС "Писпайт",1993.-656 с.
82. Клапків М.С. Математичні основи страхового підприємництва// Фінанси України. -1997.-№6- С.103-109 .
83. Морозов А.И. Основы банковского дела. - К.: Либра, 1994. - 312 с.
84. Грабовый П.Г.и др. Риски в банковском деле.-М.:Аланс,1994.-215 с.
85. О. Заруба. Банк. Менеджмент та аудіт.-К.: Лібра, 1996.-99-107 с.
86. Телегина Е.А. Об управлении банковскими рисками при реализации долгосрочных проектов// Деньги и кредит.-1995. - №1.- С. 57-60 .
87. Катан Л.І., Лях О.І. Оцінка чутливості інвестиційних проектів до факторів ризику// Фінанси України. - 1997. - №2. - С.83-86.
88. Лаврушина О.И. Банковское дело.-М.: Банковский и биржевой научно-консультационный центр, 1992 - 428 с.
89. Тетруєва Н. Деякі питання щодо аналізу теорії вибору раціонального портфеля інвестицій // Фінанси України.-1996.-№10.- С.78-81.
90. Суторміна В.М., Федосов В.М., Рязанова Н.С. Фінанси зарубіжних корпорацій.- К.: Либідь, 1993.- с.169-175.
91. Дж. О'Брайен, С. Шривастава. Финансовый анализ и торговля ценными бумагами. -1995.- 125 с.
92. Clarkson, Peter M., Rex Tompson. Empirical Estimates of Beta When Investors Face Estimation Risk//Journal of Finance.-1990.-№45 - P. 431-453.

93. Brown, Stephen J. The number of factors in Security Returns// Journal of Finance.-1989.-№44 - P. 1247-1262.
94. Lehmann, Bruce N., David M. Modest. The Empirical Foundations of the Arbitrage Pricing Theory// Journal of Financial Economics.-1988.-№21- P. 213-254.
95. Connor, Gregory Robert A. Korajczyk. Risk and Return in an Equilibrium APT: Application of a New Test Methodology// Journal of Financial Economics.-1988.- №21 - P. 255-289.
96. Управління портфелем ЦП // Школа банкіра, інформаційний випуск №230, К. Сектор науково-економічної інформації Промінвестбанку, 1996 р.
97. Румшинский Л.З. Элементы теории вероятностей.-М.: Наука,-1970.-21 с.
98. Севрук В.Т. Банковские риски. -М.: Дело ЛТД, 1994.-72 с.
99. Меджибовська Н.С. Дати кредит і не збанкрутувати// Вісник НБУ.-№5.-1996.-С.69-71.
100. Банковские операции: Учебное пособие.Ч.II. Инвестиционные операции банков.-М.:ИНФРА,1996.-144 с.
101. Положення №246 «Про кредитування». НБУ, емісійно-кредитний департамент, 1995 р.
102. Положення «Про порядок формування і використання резерву для відшкодування можливих витрат за кредитними операціями комерційних банків». Постанова НБУ №18-17/67 від 9.03.98.
103. Заде Л. Понятие о лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. -167 с.
104. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. - Винница: Континент-ПРИМ, 1996. - 132 с.
105. Жупанова М.А., Шевчук М.Г., Задачина В.И. Диалоговая система оценки алгоритмических процессов// Материалы симпозиума с межд. участием «Наука и предпринимательство».-Львов.-1994.-С.78-79 .

106. Алиев Р.А., Церковный А.З., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации.М.: Энергоатомиздат, 1991.-240 с.
107. Методы и системы принятия решений. Системы, основанные на знаниях. Под ред. А.Н. Борисова.- Рига. РПИ, 1989.-175 с.
108. Малышев Н.Г., Бернштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М.:Энергоиздат, 1991.-136 с.
109. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Жупанова М.А. Построение нечетких экспертных систем // Материалы научно-технической конференции с международным участием «Приладобудування-94».-Винница-Симферополь.-1994.-С.177-181.
110. Скофенко А.В. О построении функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих количественным экспертным оценкам// Науковедение и информатика.-К.: Наукова думка, 1981.-Вып.-22.-С.70-79.
111. Орлов А.И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные.-М.: Знание, 1980.-53 с.
112. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.:Радио и связь, 1982. - 432 с.
113. Белецкий В.М., Жуков И.А. Моделирование макроэкономических процессов на параллельном компьютере Power Challenge//УСиМ.-№3.-1996.-С.88-96.
114. Гречко В.О., Кулиш Е.Н., Тульчинский В.Г. Построение приложений для реляционно-сетевых баз данных на основе графовых прототипов // УСиМ.-1994.-№6.-с.83-88.
115. Кокорева Л.В., Перевозчикова О.Л., Ющенко В.Л. Диалоговые системы и представление знаний. Справоч. пособие. -К.: Наук. думка, 1993.-442 с.
116. Парасюк И.Н., Калита А.В., Провотар А.И. CASE-система структурно-модульного программирования: концептуальные основы// Кибернетика и систем. анализ.-1993.-№2.-С.140-146.

117. Парасюк И.Н., Провотар А.И., Заложенкова И.А. Методология структурно-модульного программирования: концептуальные основы// Кибернетика и систем. анализ.-1995.-№1.- С.146-154.
118. Парасюк И.Н., Сергиенко И.В. Пакеты программ анализа данных. Технология разработки.-М.: Финансы и статистика, 1988.-159 с.
119. Тульчинский В.Г. Алгебро-грамматический подход к проектированию интерфейса// Кибернетика и систем. анализ.-1996.-№5.- С.169-179.
120. Цейтлін Г.О. Алгебра логіки та конструювання програм. Елементи дискретної математики.-К.:Наук. думка,1971.-294 с.
121. Пухов Г.Е. Методы анализа и синтеза квазианалоговых электронных цепей.-К.: Наук. думка, 1967.-568 с.
122. Сергиенко И.В., Яненко В.М., Атоев К.Л. Общая концепция управления риском экологических, техногенных и социогенных катастроф // Кибернетика и систем. анализ.-1997.-№2.- С.65-87.
123. Пасечников С.П., Мытченко Н.В., Буряк В.И. Автоматизированная система поддержки решения при лечении острого пиелонефрита // Кибернетика и систем. анализ.-1997.-№2.- С.185-186.
124. Глушков В.М. Дисплан – новая технология планирования // УСиМ.-1980.- №6. - С.5-11.
125. Глушков В.М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС.-М.: Статистика, 1975.- 159 с.
126. Kuhn H.W. A note on Fermats problem // Math. Programming .- 1973.- 4, №1.-P.98-107 .
127. Гуляницкий Л.Ф., Волкович О.В., Малышко С.А. Один подход к формализации и исследованию задач группового выбора // Кибернетика и систем. анализ.-1994.-№3.- С.120-127.
128. Gulyanitsky L.F. Sergienko I.V. Refinement of the rules of choice in multiobjective decision-making problems using expert judgments // Systems Anal., Modeling, Simulation.-1994.-15.-P.39-46.

129. Великий А.П., Горбулін В.П., Сергієнко І.В. Про підходи та принципи дослідження економічної безпеки та деякі результати їх практичного застосування // УСиМ.-1997.-№4/5.-С. 5-16.

130. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов.-М.:Наука, 1986. - с.466-477.

131. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.-М.:Наука, 1968.- с.322-327.

132. Вентцель Е.С. Исследование операций.-М.Сов.радио, 1973.-345 с.

133. Бейко И.В., Бублик Б.Н., Зинько П.Н. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации.-К.: Выща школа, 1983.-512 с.

134. Васильев Ф.П. Методы решения экстремальных задач.-М.: Наука, 1976.- 312 с.

135. Пшеничный Б.Н., Данилин Ю.М. Численные методы в экстремальных задачах.-М.: Наука,1975.-340 с.

136. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики.-М.: Энергия, 1980.- 234 с.

137. Азарова А.О. Розробка системи прийняття рішення на порогових елементах // Вісник ВПІ.- 1999 р.-№4.- С. 44-47.

138. Алексеенко А.Г. Основы микросхемотехники. Элементы морфологии микроэлектронной аппаратуры.М: Советское радио, 1971.-с. 84, 89.

139. Майоров С.А. Проектирование цифровых вычислительных машин. М.:Высшая школа, 1972. - с.84-95 .

140. Савельев А.Я. Арифметические и логические основы цифровых автоматов.М.: Высшая школа, 1980. - с.187-201.

141. Азарова А.О. Математична формалізація якісних критеріїв оцінювання кредитоспроможності позичальника комерційного банку// Зб. матеріалів міжнародного симпозіуму «Наука і підприємництво» - Вінниця-Львів.- 1997.-С.35-39.

142. Азарова А.А. Многоуровневая многовариантная система анализа кредитоспособности заемщика коммерческого банка. Тезисы докладов 1-го Международного молодежного форума «Электроника и молодежь в XXI веке». Харьков.- 1997.- С. 88.

143. Азарова А.О. Розробка математичної моделі визначення ризику кредитування позичальника комерційного банку// Приложение к журналу «Вибрации в технике и технологиях», сб. трудов Международной научно-технической конф. «Приборостроение-97».-Винница-Симеиз, 1997.- Ч.1. - С.90-94.

144. Angelika A. Azarova. Bank system of making decision on the basis of multilevel multi-purpose systems of making decision// 20TH International Scientific Symposium of Students and Young Research Workers.- Zielona Gora (Poland).- 1998.- Vol.V, Part II: Management.-P.170-175.

145. Азарова А.О., Юхимчук С.В. Розробка критерію та методики оцінювання іміджу позичальника комерційного банку // Вісник ВПІ.- 1998 р.- №1.- С. 37-46 .

146. Азарова А.О., Юхимчук С.В. Багаторівнева система оцінювання фінансового ризику комерційних банків на базі нечіткої логіки// Фінанси України.-1998.-№11.-С. 55-63.

147. Азарова А.О., Юхимчук С.В. Математична модель фінансового ризику на базі нечіткої логіки// УСиМ.-1998.-№6.- С.9-15.

148. Азарова А.О. Прийняття рішення про належність цінного паперу до відповідної банківської інвестиційної стратегії// Зб. наук. праць Міжнародної науково-технічної конф. «Проблема та практика керування в економічних системах», Придніпровський науковий вісник «Наука і освіта».- Краматорськ, 1998.-№109.-С.53-56.

149. Азарова А.О. Розробка критерію та методики оцінювання ризику при інвестуванні в цінні папери// Вісник ЧТІ.- 1998 р.-№7.- С.169-182.

150. Азарова А.О. Розробка математичної моделі формування інвестиційного портфеля// Збірник матеріалів конф. «Контроль та управління в складних системах» (КУСС-99).-Т.1.-Вінниця: Універсум-Вінниця, 1999 р.- С. 275-281.

151. Азарова А.О., Козловський В.О. Економіко-математична модель оціню-вання ризику банківських операцій // Вісник ВПІ.- 1996 р.-№3.-С.50-54.

152. Оцінювання кредитних ризиків та методи їх розрахунку / Азарова А.О., Вінниц.держ.техн.ун-т.-Вінниця,1996.-5с.-Укр. Деп. в ДНТБ України 22.04.96, №1017 - Ук 96.

153. Банковские риски и методы их снижения / Азарова А.А.; Винниц. гос. техн. ун-т. - Винница, 1996. - 9 с.- Рус. Деп. в ГНТБ Украины 22.04.96, №1018 - Ук 96.

154. Азарова А.О., Юхимчук С.В. Методики оцінювання ризику в рамках концепції багатофакторної імовірнісної величини// Вісник ЖІТІ.- 1999 р.-№9.- С.265-271 .

155. Азарова А.О., Азаров О.Д. Математичне моделювання оцінювання інвестиційних ризиків // Збірник праць IV-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Контроль та управління в технічних системах» (КУТС-97).-Т.1.- Вінниця: Універсум-Вінниця, 1997. - С.188-192.

156. Розробка математичних моделей для комп’ютерного прогнозування кредитного ризику банку: Звіт з НДР (остаточний)/ Вінницький державний технічний університет.-№47/02; Інв. № 0199U000014.-В.,1999.- 28 с.

157. Розробка математичних моделей для складання оптимального інвести-ційного портфеля банку: Звіт з НДР (остаточний)/ Вінницький державний технічний університет.-№47/03; Інв. № 0199U000015.-В.,1999.- 41 с.

158. Азарова А.О., Лужецький В.А. Розробка структурних моделей та алгоритмів формалізації багатоешелонної СППР // Вісник Чернігівського технологічного інституту. - № 1. – 2000.

159. Юхимчук С.В., Супрун С.Д. Матрична модель оцінки інвестиційної привабливості промислових підприємств. - Фінанси України, 2003.-№1.-С.3-12.
160. Фінанси підприємств / За ред. А.М. Поддєрьогіна. - К. - КНЕУ. - 1999. Юхимчук С.В., Супрун С.Д., 2003.
161. Бланк И.А. Инвестиционный менеджмент. - К: ИТЕМ ЛТД. - 1995.
162. Бланк И.А. Финансовый менеджмент. - К: Ника-Центр. - 1999.
163. Бланк И.А. Основы финансового менеджмента. - К: Ника-Центр. - 1999.
164. Боратинець В.Т., Радомськіш В.А., Мізрах А.А. Оцінка інвестиційної привабливості підприємства (фірми) // Сборник трудов международной научно-технической конференции "Приборостроение-2000". - С.161-164.
165. Басюк Т.П. Методичні підходи до оцінки інвестиційної привабливості торговельних підприємств – об'єктів купівлі-продажу // Збірник наукових праць: Економіка і підприємництво: стан і перспективи. - К.- 1999. - С. 221-224.
166. Щукін Б.М. Інвестиційна діяльність. - К: МАУП. - 1998.
167. Покропивний С.В., Колот В.М. Підприємництво: стратегія, організація, ефективність. - К.: КНТЕУ. - 1998.
168. Федоренко В.Г., Гопко А.Ф Інвестознавство. - К: МАУП. - 2000.
169. Економіка виробничого підприємства / За ред. Й.М. Петровича. – К.: Знання. - 2001.