Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____Центр післядипломної освіти_____
(повна назва)

Кафедра _____Програмної інженерії_____
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

_____другий (магістерський)_____
(рівень вищої освіти)

Дослідження алгоритмів багатокрітеріальної оптимізації з нечіткими компонентами
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи ІПЗмзд-18-1__
спеціальності _121- Інженерія програмного забезпечення_____
(код і повна назва спеціальності)
освітньо-наукової програми _Інженерія програмного_забезпечення_ _____
(повна назва освітньої програми)
_____Забіяка В.С._____
(прізвище, ініціали)
Керівник _____проф. Шостак І.В._____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри, проф. _____ З.В.Дудар

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Центр післядипломної освіти

Кафедра програмної інженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення
(код і повна назва)

Освітньо-наукова програма Інженерія програмного забезпечення
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
«_____»_____ 20 ___ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Забіяці Володимиру Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження алгоритмів багатокрітеріальної оптимізації з нечіткими компонентами

затверджена наказом по університету від «__»_____2020 р № ___

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «21» травня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи *Алгоритми нечіткої логіки, методи взаємодії інтелектуальних агентів, методи стримінгу великих даних та пояснювальна записка. Використовувати ОС Windows, середовище об'єктно-орієнтованого проектування.*

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі *мета роботи, аналіз проблемної галузі і постановка задачі, методи пошуку корисних даних, опис об'єктних моделей, використовувані. методи та алгоритми, архітектура програмної системи, опис розробленої програмної системи. , результати тестування програмної системи*

5. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Спецчастина	проф. Шостак І.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз предметної галузі	25 березня 2020 р.	
2.	Огляд існуючих методів	31 березня 2020 р.	
3.	Методи багатокритеріальних оцінок СППР	15 квітня 2020 р.	
4.	Підготовка пояснювальної записки	20 квітня 2020 р.	
5.	Спецчастина	28 квітня 2020 р.	
6.	Підготовка презентації та доповіді	03 травня 2020 р.	
7.	Попередній захист	15 травня 2020 р.	
8.	Нормоконтроль, рецензування	17 травня 2020 р.	
9.	Занесення диплома в електронний архів	18 травня 2020 р.	
10.	Допуск до захисту у зав. кафедри	20 травня 2020 р.	

Дата видачі завдання _ «____»_ _____2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ __проф. Шостак І.В._____
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка до атестаційної роботи: 93 с., 6 табл., 43 рис., 3 дод., 27 джерел.

БАГАТОКРІТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ, НЕЧІТКІ ВИМОГИ, АДАПТИВНІ НЕЧІТКИ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ.

Об'єкт дослідження – система підтримки прийняття рішень при виборі альтернативних типів устаткування для сукупності виробничих технічних систем.

Мета дослідження полягає в досягненні максимальної ефективності технічних систем шляхом розробки алгоритмів порівняльного аналізу альтернативних варіантів на основі обробки інформації.

В результаті розроблено алгоритм розрахунку агрегованої відповідності устаткування по сукупності локальних відповідностей характеристичних і цільових параметрів та програмна апробація й аналіз запропонованих моделей і алгоритмів на прикладах вибору устаткування для виробничих технічних систем.

MULTICRITERIAL OPTIMIZATION, FUZZY REQUIREMENTS, ADAPTIVE FUZZY NEURAL NETWORKS.

The object of study - a decision support system for the selection of alternative types of equipment for a set of production technical systems.

The purpose of the study is to achieve maximum efficiency of technical systems by developing algorithms for comparative analysis of alternatives based on information processing.

As a result the algorithm of calculation of the aggregate conformity of the equipment on set of local correspondences of characteristic and target parameters and program approbation and the analysis of the offered models and algorithms on examples of a choice of the equipment for industrial technical systems is developed.

ЗМІСТ

Вступ ……..……..6
1 Сучасні підходи до розробки систем підтримки прийняття рішень……..….9
1.1 Особливості обробки інформації в системах підтримки прийняття рішень ……9
1.2 Нечіткі множини та нечітка логіка як інструмент формалізації вимог ..14
1.3 Аналіз можливості застосування нечіткого логічного висновку ……22
1.4 Постановка завдань дослідження ……...27
2 Опис проведених теоретичних досліджень …….....29
2.1 Аналіз методів вибору в умовах нечіткості й багатокритеріальності …29
2.2 Схеми вибору параметрів ……30
2.3 Структурна модель процесів обробки інформації ……35
3 Опис проектування алгоритмів системи.....41
3.1 Розробка алгоритму опису в термінах нечіткої логіки ……....41
3.2 Розробка алгоритму обчислення відповідності ……45
4 Опис розробленої програмної системи 50
4.1 Приклад реалізації формалізації вимог ……50
4.2 Проектування програмної системи …….....53
4.3 Інтерфейс користувача інтелектуальної системи ……57
5 Опис можливості використання отриманих результатів……...62
Висновки ……...67
Перелік джерел посилання …….....69
Додаток А Програмний код …….....72
Додаток Б Слайди презентації …….....79
Додаток В Апробація результатів роботи……..……...92

ВСТУП

Актуальним завданням синтезу технічної системи є вибір такого складу системних елементів, який забезпечить можливість досягнення максимальної функціональної ефективності. Зокрема, це завдання виникає при синтезі виробничої системи, представленою сукупністю взаємодіючих елементів устаткування. Необхідно вибрати таке устаткування, яке буде найбільше адекватно виробничим умовам. При цьому вимоги до вибору формулюються у вигляді завдання сукупності в загальному випадку нечітких (інтервальних) значень цільових параметрів потенційного устаткування, що описують множина альтернативних варіантів. Підхід, заснований на нечіткості вимог, забезпечує взаємозамінність альтернатив і можливість їх оптимального вибору. Число характеристичних параметрів складного устаткування може перевищувати кілька десятків, а їх значення в альтернативних видах устаткування найчастіше суперечливі пропонованим вимогам. Тому вибір устаткування, здатного в процесі виконання виробничої технології забезпечити досягнення найкращих показників ефективності, часто виявляється складним завданням розробки, що вимагає, інформаційної автоматизованої системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Практично скрізь відзначається необхідність розвитку або адаптації відомих методів для нових завдань. Крім того, результати порівняння декількох пар характеристик «вимога – значення» з набору параметрів можуть виявитися суперечливими, суперечливими можуть бути й вимоги до вибору, що призводить до нетривіальних завдань вибору за багатьма критеріями. Завдання полягає в оптимальному задоволенні кількісної і якісної потреби виробництва в обраному типі устаткування, тобто виборі кількості одиниць устаткування, що тягне ще одну особливість завдання вибору – цілочисельність.

Таким чином, виникає нетривіальне завдання багатокритеріальної дискретної оптимізації, що включає нечіткі компоненти. Відомі різні підходи до рішення завдань дискретної оптимізації, зокрема, при виборі устаткування,

починаючи від постановок у формі завдань лінійного програмування із застосуванням наступних відсікань нецілочисельних рішень і до застосування в нелінійних випадках біонічних алгоритмів, таких, наприклад, як генетичний алгоритм. Усі відомі підходи засновані на прийнятті певних допущень, як до умов рішення завдання, так і до одержуваних рішень. Об'єктивні відступи від таких допущень, зокрема пов'язані з наявністю характеристик, заданих на нечітких шкалах, обумовлює необхідність розробки нових методів і алгоритмів рішення.

Наукова складова дослідження включає формалізацію процесів аналізу дискретної множини альтернатив на відповідність нечітким вимогам і побудову моделі вибору в умовах потенційної суперечливості результатів проведеного аналізу. Рішення такого завдання доцільно проводити на прикладі конкретної предметної області – нафтогазової промисловості, що дозволить врахувати й конкретизувати особливості реального виробництва.

Об'єкт дослідження – система підтримки прийняття рішень при виборі альтернативних типів устаткування для сукупності виробничих технічних систем.

Предмет дослідження – методи й алгоритми аналізу й оптимального вибору альтернативних типів устаткування для виробничих технічних систем.

Мета дослідження полягає в досягненні максимальної ефективності технічних систем шляхом розробки алгоритмів порівняльного аналізу альтернативних варіантів устаткування на основі обробки інформації його характеристичних параметрів і пропонованих нечітких вимогах, а також розробці й дослідженні методів оптимального вибору й розподілу устаткування по сукупності технічних систем.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання атестаційної роботи:

– аналіз можливих підходів до рішення завдання оптимального вибору устаткування, включаючи обґрунтування можливості використання нечітких висловлень для оцінки відповідності характеристичних параметрів альтернативних типів устаткування нечітким цільовим вимогам;

– розробка методики математичної формалізації нечітких вимог до вибору устаткування й оцінки агрегованого за параметрами відповідності типів альтернативного устаткування пропонованим вимогам на основі експертизи характеристичних параметрів устаткування в термінах нечітких висловлень;

– розробка алгоритму розрахунку агрегованої відповідності устаткування по сукупності локальних відповідностей характеристичних і цільових параметрів;

– розробка постановки завдання й методу оптимального вибору устаткування з максимальною відповідністю технічним вимогам виробничої системи й задовольняючим комерційним вимогам його придбання.

– програмна апробація й аналіз запропонованих моделей і алгоритмів на прикладах вибору устаткування для виробничих технічних систем.

Має бути обґрунтована можливість використання нечітких логічних висловлень для формалізації вимог до вибору альтернатив у формі параметричного завдання знань і даних про об'єкт технічної системи, джерелом яких служать конструкторська документація й експертні висновки. Запропоновані алгоритми агрегування кон'юнктивної форми нечіткого виразу, що дозволяють розраховувати відповідність альтернатив нечітким вимогам з урахуванням ступеня важливості кожного висловлення й розвиваючі відомі методи агрегування. Отримана модифікована постановка двоцільового транспортного завдання, у якому досягається «зшивка» класичних скалярних транспортних завдань із трансформацією двох двочасткові графів відносин кожного завдання в один тридольний граф. Такий підхід дозволяє формувати адитивні згортки скалярних критеріїв і вирішувати скалярне завдання лінійного програмування для визначення оптимальних ваг відносин тридольного графа.

1 СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

1.1 Особливості обробки інформації в системах підтримки прийняття рішень

Для аналізу особливостей обробки інформації в СППР розглянуто основні процедури прийняття рішень, які можна відобразити у вигляді схеми, показаної на рисунку 1.1.

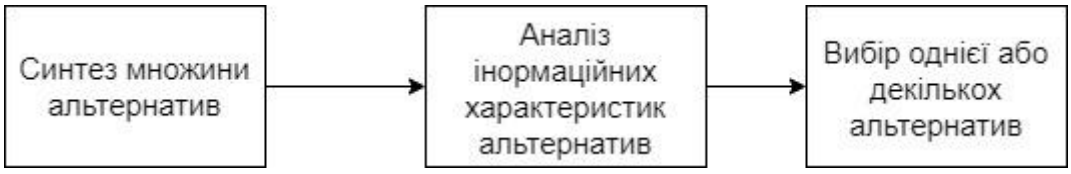


Рисунок 1.1 – Схема основних процедур прийняття рішень

Рисунок 1.1 показує, що система підтримки прийняття рішень вимагає великої кількості специфічної інформації й інформаційних технологій для її обробки. Дійсно, множина альтернатив являє собою інформаційний об'єкт, який може бути виділений як клас еквівалентності або толерантності з якогось більш широкої інформаційної множини. Альтернативи можуть бути представлені своїми інформаційними характеристиками, на основі яких можна формувати критерії вибору альтернатив з бажаними властивостями. Нарешті властиво вибір являє собою деяку інформаційну технологію, іноді досить складну.

При формалізації вибору типу устаткування, що реалізує конкретну стадію технології, множина альтернатив являє собою припустимі (взаємозамінні) типи устаткування, що випускаються промисловістю, з повним переліком своїх інформаційних характеристик. Множина альтернативних варіантів устаткування будемо називати однорідним устаткуванням однакового функціонального призначення, елементи якого різняться значеннями своїх інформаційних характеристик, наприклад, потужністю двигуна, геометричними розмірами,

виробником, ціною й т.п. Типи однорідного устаткування взаємозамінні з тієї або іншим ступенем відповідності пропонованим вимогам. Інформаційні характеристики устаткування можуть бути представлені або у вигляді числових значень його параметрів, або у вигляді найменувань (буквений або числовий код).

Сучасний підхід при проектуванні складних технічних об'єктів не припускає при формулюванні вимог до вибору однорідного устаткування вказівки його конкретних типів, що забезпечують функціонування об'єкта [4]. Замість цього в проекті вказується найбільш повний перелік необхідних характеристик знеособленого устаткування у вигляді набору цільових значень технічних параметрів. При цьому цільові значення задаються припустимою множиною значень припустимі інтервали потужності двигуна; припустимі інтервали розмірів, припустимі інтервали продуктивності й т.п. Такий підхід при виборі устаткування прийнято називати параметричним вибором [5]. Параметричний опис вимог, з однієї сторони розширює можливості вибору, з іншої сторони забезпечує високий ступінь деталізації вимог, що у свою чергу дозволяє вибирати, у рамках наявних можливостей, найбільш ефективне устаткування, підвищувати продуктивність виробничих об'єктів. Слід помітити, що параметричний опис висуває підвищені вимоги до рішення завдання вибору.

Аналіз інформаційних характеристик необхідно проводити по тем або іншим критеріям. У цьому випадку критерії повинні задаватися вимогами, пропонованими до устаткування не тільки виробничими умовами, але й комерційними умовами ринку. Технічні вимоги до інформаційних характеристик устаткування формуються в процесі проектної розробки для нового родовища або проектного коректування при зміні умов функціонування діючого родовища. Підготовку технічних вимог здійснюють проектувальники технологічних процесів [6].

Комерційні вимоги завдаються виходячи зі кон'юнктури ринку що склалася. Цільові значення параметричних характеристик також, як і для технічних вимог, задаються числовими інтервалами або якісним описом. Параметрами комерційних вимог виступають: припустимий діапазон цін; припустимі діапазони

строків поставки; надійність постачальника й т.п. Формування цих вимог практично ніяк не пов'язане з технічними вимогами й здійснюється підрозділами компанії, відповідальними за фінансові й організаційні характеристики придбання устаткування. Більше того, комерційні вимоги можуть входити в суперечність із технічними вимогами.

Таким чином, технічні й комерційні вимоги представлені сукупністю цільових значень параметрів, кожне з яких розглядається як вектор локальних вимог. Складність процедур аналізу вектора характеристичних параметрів альтернативних типів устаткування на відповідність вимогам обумовлюється великою розмірністю векторів і суперечливістю їх компонент щодо вимог. Для складного устаткування кількість цільових параметрів досягає декількох десятків, а іноді доходить до сотні [7].

Важливою особливістю параметричного завдання вимог є нерівнозначність припустимих значень для конкретної цільової характеристики. Практично завжди із припустимого діапазону можна вказати більш бажані значення. Крім того, параметричне завдання вимог до вибору устаткування суттєво ускладнюється неоднорідністю значимості самих цільових характеристик. Цільові характеристики звичайно ділять на «важливі» і «менш важливі» з погляду впливу на результат вибору. Зазначені особливості повинні враховуватися при розробці алгоритмів аналізу альтернатив.

Особливості інформаційних характеристик устаткування, такі як «розпливчастість» вимог, обґрунтовують припущення про можливість використання теорії нечітких множин і нечіткої логіки для рішення завдань аналізу в другому блоці рис. 1.1. Отже, у рамках проведеного дослідження, необхідно оцінити можливість використання методів нечіткої математики для визначення відповідності характеристик устаткування вимогам. Більше того, більша розмірність вектора вимог і суперечливість компонентів відповідного вектора характеристичних параметрів альтернативних типів устаткування викликає необхідність агрегування локальних відповідностей кожного вектора відповідностей. Схема реалізації блоку аналізу показано на рисунку 1.2.

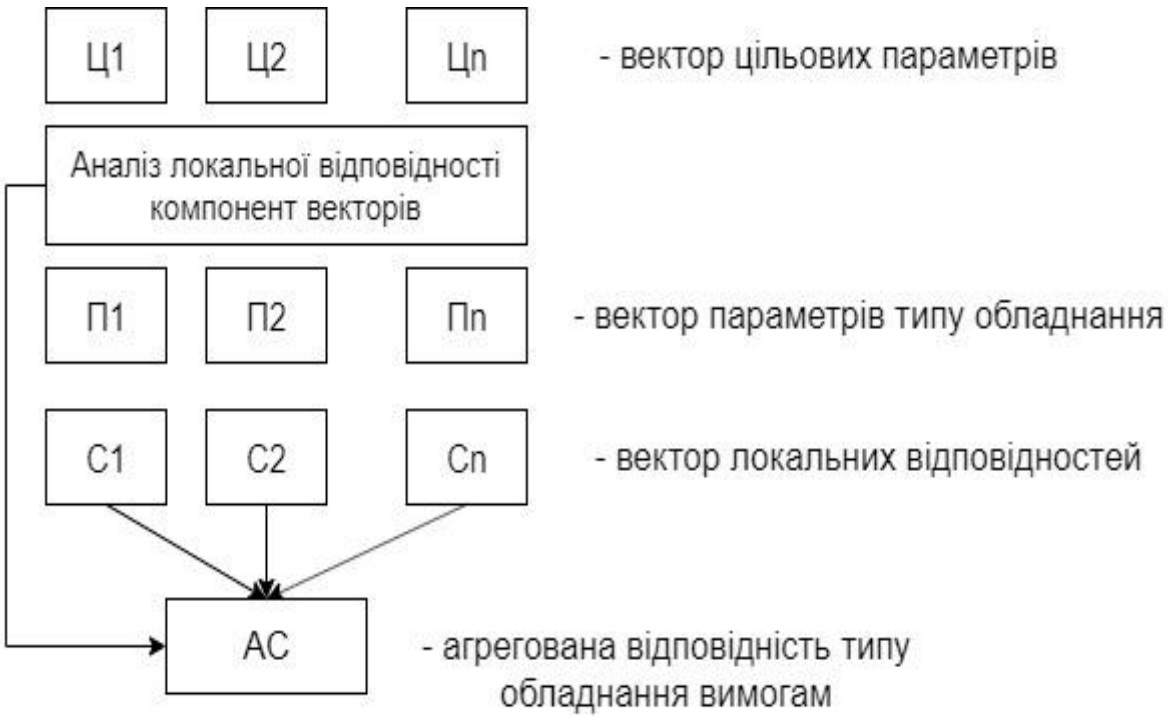


Рисунок 1.2 – Схема реалізації блоку параметричного аналізу устаткування вимогам

Необхідно відзначити, що агрегування здійснюється окремо по технічних і комерційних вимогах. Агрегування самих вимог не відбувається, тому що воно спричинить неминучу втрату інформації.

Остання процедура, показана на рисунку 1.1, властиво вибір, реалізується методами й алгоритмами вибору альтернатив з найкращими значеннями зазначених відповідностей, в умовах можливої суперечливості вимог технічного й комерційного характеру. Такі умови приводять до нетривіальних завдань багатоцільового вибору, що суттєво ускладнює алгоритми ухвалення рішення й вимагає проведення аналізу підходів до реалізації процедури вибору.

Особливості інформаційного забезпечення СППР не обмежуються своєрідністю моделей вистави інформації й методів її обробки. Важливою особливістю системи є залежність її інформаційних потоків від форм і інструментальних засобів її реалізації [8].

Інструментальна реалізація СППР не може бути автономної й незалежної. Вона проводиться в єдиному інформаційному просторі інтегрованої програмно-

апаратної системи керування підприємством. СППР для вибору виробничого устаткування (зокрема для родовищ нафтогазової промисловості) звичайно оформляється як компонент єдиної інформаційно-керуючої системи підприємства або її центральної складовій – інформаційної системи обліку, планування й моніторингу стану виробничих ресурсів [29, 30]. Звичайно ці функції поєднують терміном ERP-Система (Enterprise resource planning). ERP системи реалізуються різними виробниками. Більшість великих компаній в усьому світі вибирають продукцію компанії SAP, яка є світовим лідером по виробництві інформаційно-керуючих систем. У нафтогазовій промисловості ERP системи звичайно будуються на основі продукції компанії SAP і акумулюють значну частину інформації необхідної для СППР вибору виробничого устаткування [9].

Частина, що залишилася, інформації, необхідної СППР, генерується зовнішнім середовищем підприємства. Ця інформація розподілена між виробниками виробничого устаткування й компаніями, що здійснюють його просування й продаж, і зосереджена в рамках програмно-технічного модуля інформаційно-керуючої системи підприємства – SRM (Supplier Relationship Management) системи керування взаємодією з постачальниками [10].

Таким чином, інформація для підтримки прийняття рішень може розділятися на внутрішню, упорядковану усередині корпоративної системи ERP, і зовнішню, часто неупорядковану, розподілену в зовнішньому інформаційному просторі. За збір і впорядкування зовнішньої інформації відповідає SRM система підприємства.

Інформаційне забезпечення СППР підтримується інформаційними потоками, джерелами яких є ERP і SRM системи. Важливим завданням при розробці СППР є побудова структурних моделей процесів формування й передачі необхідної інформації від її джерел. При цьому одним з найважливіших вимог до інформаційного забезпечення СППР є вимога стандартизації використовуваної інформації [11]. Актуальність цієї вимоги при множинності й різнорідності джерел інформації для прийняття рішень, як у розглянутому випадку, тільки зростає. Інформація для прийняття рішень, що надходить із різних внутрішніх і

зовнішніх джерел з різними форматами вистави, повинна стандартизуватися як за формою вистави, так і за структурою: функціональної й тимчасовий. Для цього необхідно розробити єдині форми вистави інформації про устаткування, а також структурні моделі функціонування підсистем і моделі, що протікають у них інформаційних потоків, наприклад, у вигляді IDEF3 або DFD діаграм [11]-[12].

Побудова системних інформаційних зв'язків усередині єдиного інформаційного простору інформаційно-керуючої системи підприємства разом зі стандартизацією форм вистави інформації про устаткування розглядається як структурна основа рішення завдань справжнього дослідження.

Проведений аналіз особливостей інформаційного забезпечення СППР для вибору устаткування дозволяє сформулювати проведення додаткових аналітичних досліджень, які повинні забезпечити вибір найбільш раціональних підходів до синтезу математичних моделей і методів СППР. До цього дослідження відносяться:

– аналіз можливості використання методів нечіткої математики й нечіткої логіки для формалізованого вистави параметричних вимог до вибору устаткування;

– аналіз можливостей нечіткої логіки для аналізу локальної відповідності й методу одержання агрегованої відповідності альтернативних видів устаткування вимогам;

– аналіз підходів до рішення завдання вибору устаткування із максимальною відповідністю суперечливим технічним і комерційним вимогам.

1.2 Нечіткі множини та нечітка логіка як інструмент формалізації вимог

Однією з актуальних завдань дослідження є встановлення локальної відповідності параметрів альтернативних видів однорідного устаткування пропонованим вимогам, а також розрахунок агрегованої відповідності для

кожного типу альтернативного устаткування. Необхідно провести аналіз можливості використання для рішення цього завдання математичного апарату нечітких множин і нечіткого логічного висновку.

Нечіткі моделі можна розглядати як ефективний інструмент аналізу й прийняття рішень у наступних специфічних ситуаціях [13]:

– недостатність і невизначеність інформації про стан досліджуваної системи. Чіткі класичні моделі не можуть бути отримані або є занадто складними для практичного використання;

– значна частина інформації представлена експертними оцінками або вербальними описами процесів, що відбуваються; відсутні чіткі границі досліджуваних процесів і явищ;

– дані отримані в результаті вимірів характеризуються високою погрішністю й можливої зміщеності щодо дійсних значень;

– традиційні методи не тільки не дозволяють адекватно обробляти такі дані, але також не дозволяють урахувати властиву їм невизначеність.

Інформація, що описує характеристики устаткування й визначальна його вибір, багато в чому відповідає зазначеним особливостям. Отже, нечіткі множини й нечітка логіка є ефективним підходом до рішення даної проблеми.

Треба враховувати, що основні труднощі при використанні нечітких моделей для рішення практичних завдань пов'язані з апріорним визначенням компонентів цих моделей: нечітких висловлень, функцій приналежності, продукційних правил і т.п. Для рішення цих завдань доцільно розглянути основні положення теорії нечітких множин і нечіткого логічного висновку.

Запропонована в [14] теорія нечітких множин (fuzzy set theory) являє собою формалізм, призначений для одержання кількісних даних про виміри, отримані в якісних шкалах.

Як відомо, одним зі способів завдання множин є завдання за допомогою характеристичної функції [14]. Нехай U – універсальна множина, з елементів якого утворені інші множини. Характеристична функція множини A, що є

підмножиною U – це функція, значення якої вказують, є чи x U елементом множини A :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & если \quad x \in A, \\ 0, & если \quad x \notin A. \end{cases} \tag{1.1}$$

Особливістю цієї функції є бінарний характер її значень – 1 або 0.

З точки зору характеристичної функції нечіткі множини є природнім узагальненням звичайних множин, коли відмовляються від бінарного характеру цієї функції й припускають, що вона може ухвалювати будь-які значення з відрізка [0,1]. У теорії нечітких множин характеристична функція називається функцією приналежності, а її значення *P(x)* дає кількісну оцінку ступеня приналежності елемента x нечіткої множини *A*.

В теорії нечітких множин основну роль відіграють поняття нечітких та лінгвістичних змінних [15].

Нечітка змінна характеризується трійкою

$$(T, U, P_A(x)) \tag{1.2}$$

де T – якісне значення (ім’я) нечіткої змінної;

U{x_i} – універсальна множина, тобто кількісно задана область визначення T;

A – нечітка множина на U значення, що інтерпретує T за допомогою функції приналежності $P_A(x)$.

Лінгвістична змінна узагальнює поняття нечіткої змінної. Вона задається кортежем

$$(P, T(P), U, G, M) \tag{1.3}$$

де P – ім’я лінгвістичної змінної;

T(P) – терм-множина її значень {T_1; … ; T_n}, тобто множина значень нечіткої змінної;

U{xi} – універсальна множина або область визначення всіх термів;

G – синтаксичне правило формування T(P);

M – семантичне правило, інтерпретуюче значення P, яке кожному терму T ставить у однозначну відповідність його зміст M(T).

При цьому M(T) позначає нечітку підмножину A_i множини U. Іншими словами інтерпретація терма T визначається функцією приналежності:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) : U \rightarrow [0,1].$$

За допомогою лінгвістичних і нечітких змінних можна задавати локальні вимоги до устаткування, обумовлені на якісних або інтервальних шкалах. Наприклад, «висока тривалість строку експлуатації» або «потужність електродвигуна в інтервалі 100-200 кВт». Ім'я лінгвістичної змінної в першому прикладі – «тривалість строку експлуатації», у другому прикладі – «потужність електродвигуна». Значення *T*, тобто нечітка змінна, у першому прикладі «висока», у другому прикладі – це інтервал (100; 200).

Конкретний вид функції приналежності носить значною мірою суб'єктивний характер, його вибір здійснюється експертом у розглянутій предметній області. При описі вимог до характеристик устаткування як експерта виступає проектувальник.

Якщо, наприклад, універсальну множина розглядати в дискретному вигляді U {0, 1, 2, … , 100}, нечітка множина A записується як множина пар $\{x_i / P(x_i)\}$. У розглянутому прикладі: {0/0;1/0; 18/0,1; 24/0,8; 25/1; 26/0,8; 30/0,1; 100 / 0}.

На безперервній універсальній множині функція приналежності задається аналітично, $P(x)$. Для опису нечіткої приналежності можуть використовуватися різні класи функцій. Розглянемо найбільш уживані з них.

Широко використовуються функції $P \sim (x)$ гаусового типу [15].

Так узагальнена функція Гауса для змінної x із центром c і варіацією V має вигляд:

$$\mu(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^{2b}\right] \tag{1.4}$$

На рисунках 1.3 - 1.4 представлені форми типових гаусівських функцій при різних параметрах *c*, *V* і *b*, де на рис. 1.3 показаний вплив розміщення центру *c* при незмінних значенні *V* і *b*, а на рис. 1.4 – вплив значення варіації *V* при

фіксованих параметрах c і b . Параметр c визначає центр нечіткої множини, а його зміна відповідає зсуву графіка функції по горизонтальній осі.

Параметр V, який іноді називають коефіцієнтом широти, впливає на форму функції. Чим менше його значення, тим більше крутість функції.

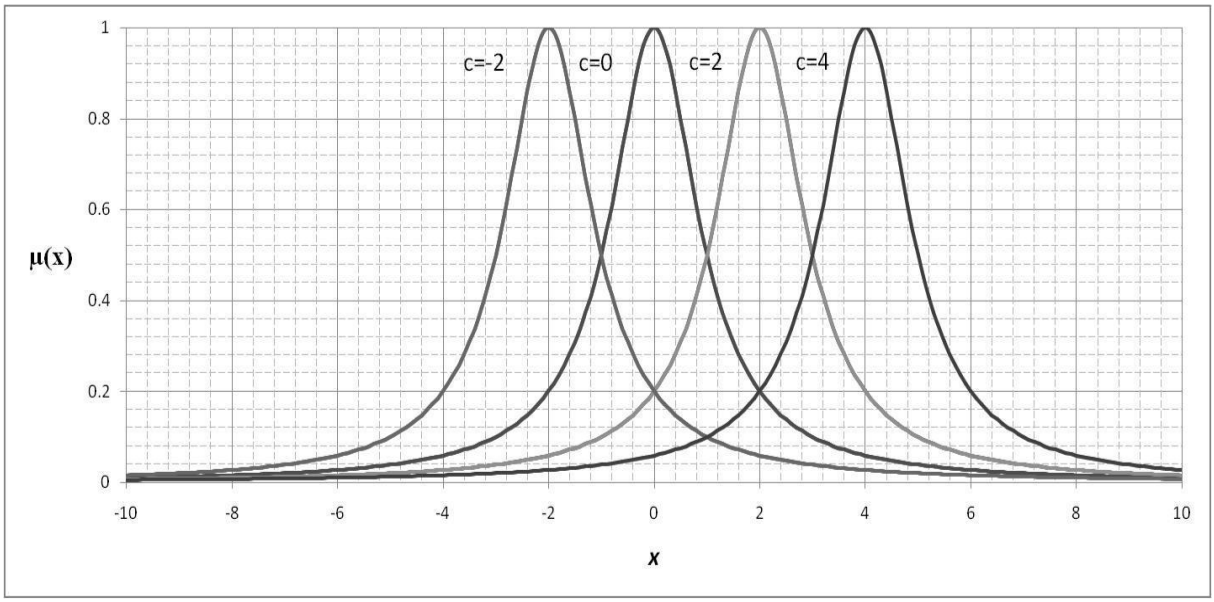


Рисунок 1.3 – Ілюстрація впливу параметрів узагальненої функції Гауса на її форму: вплив розміщення центру із при V 1 і b 1

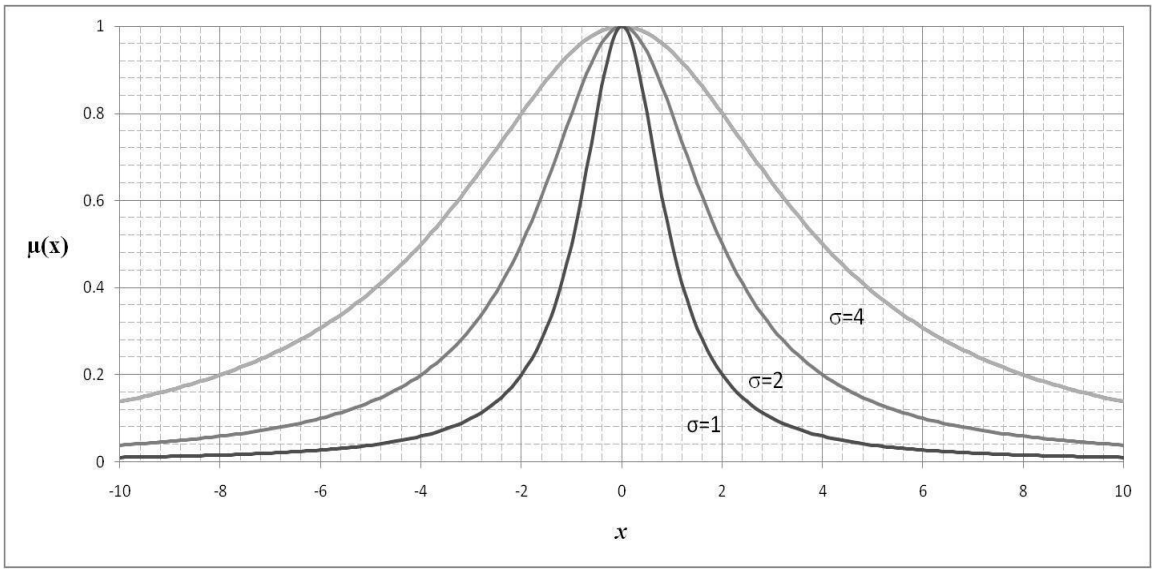


Рисунок 1.4 –Ілюстрація впливу параметрів узагальненої функції Гауса на її форму: вплив значення V

Зміна значення параметра b (рисунок 1.5) істотно впливає на форму кривої.

Сформувалося поняття так званих «стандартних» функцій приналежності, що мають кусочно-лінійний характер залежностей (рисунок 1.6).

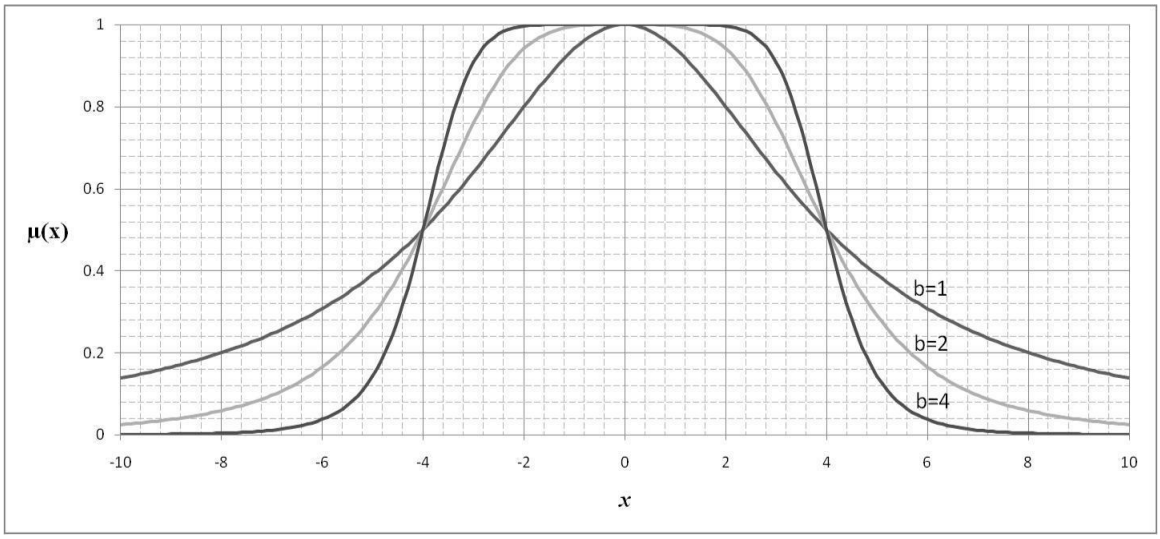


Рисунок 1.5 – Ілюстрація впливу параметрів узагальненої функції Гауса на її форму

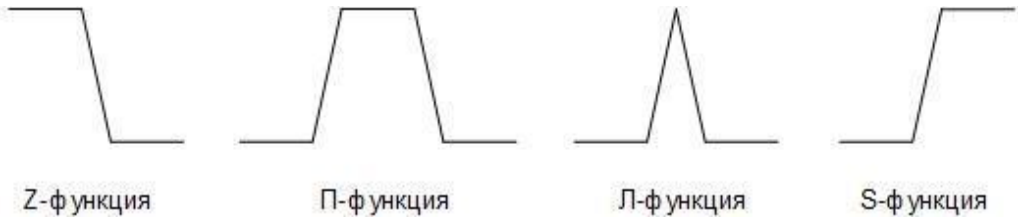


Рисунок 1.6 – Види «стандартних» функцій приналежності

Стандартні функції приналежності легко застосовні до рішення більшості завдань. Однак якщо має бути вирішувати специфічне завдання, можна вибрати й більш підходящу форму функції приналежності, при цьому можна добитися кращих результатів роботи системи, чому при використанні функцій стандартного виду.

Експертові, що описує якісне поняття або інтервальне значення параметра, зручно використовувати простий вид функції приналежності. Тому розповсюдженої є лінійна залежність, що описує трикутний вид функції (рисунок 1.7), що повністю укладається в клас «стандартних» функцій. У цьому випадку функція приналежності задається трьома значеннями (a; m; b), де a – ліва границя

підстави трикутника; m – мода трикутника; b – права границя підстави трикутника [16]. Зазвичай проміжок $[a; b]$ називають носієм нечіткої множини.

Аналітичний вигляд:

$$\mu(x) = \begin{cases} \dfrac{x-a}{m-a}, & \text{если} \quad a \le x \le m; \\ \dfrac{b-x}{b-m}, & \text{если} \quad m \le x \le b; \\ 0, & \text{иначе}. \end{cases}$$

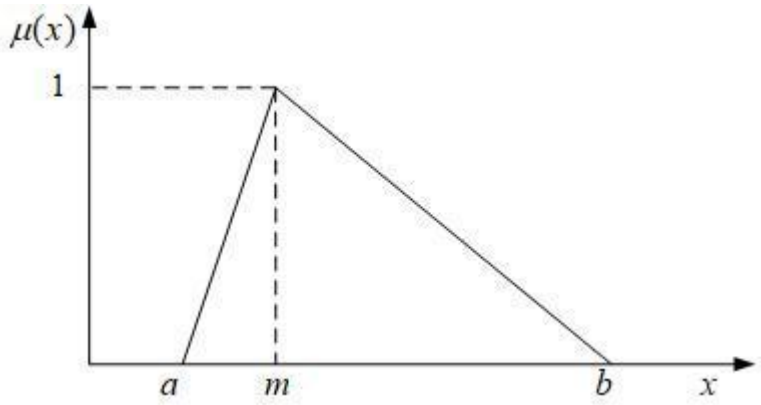


Рисунок 1.7 – Трикутна функція приналежності

За допомоги трикутних функцій приналежності можна кількісно інтерпретувати якісно задані локальні вимоги до устаткування, тобто задати у формалізованому виді нечіткі вимоги до устаткування. Так у розглянутих прикладах експерт дав інтерпретацію нечітким локальним вимогам «висока тривалість строку експлуатації» і «потужність електродвигуна в інтервалі 100-200 кВт» у вигляді функцій приналежності, показаних на рисунку 1.8 а) і б).

На рисунку 1.8. а) експерт – проектувальник показав, що вимога високої тривалості часу експлуатації припускає, що устаткування повинне працювати не менш 20 років, строк експлуатації в 30 років допустимо, але не дуже бажаний (0,3), експлуатація устаткування більш 50 років неприпустима, тому що таке устаткування може привести в аварійній ситуації. Інтерпретація рисунка 1.8. б) наступна: найбільш бажана потужність двигуна 160 кВт, припустимі невеликі відхилення від бажаного значення, але значення за межами інтервалу неприпустимі.

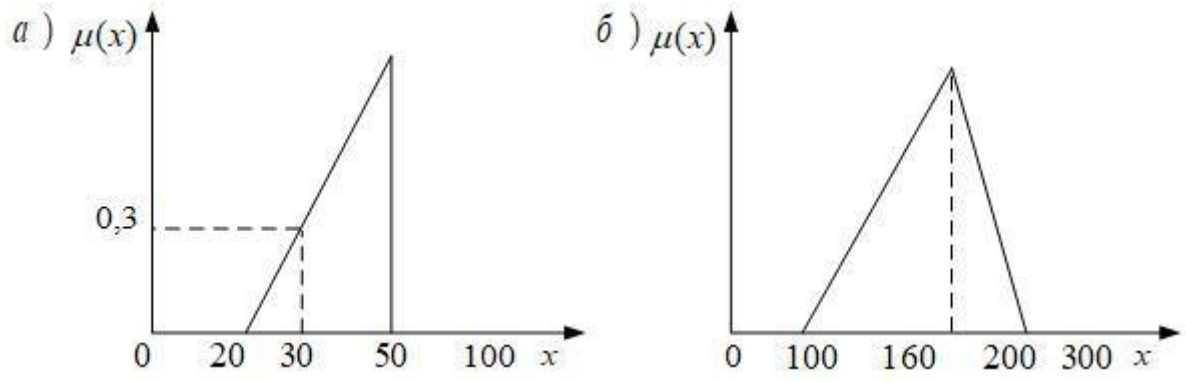


Рисунок 1.8 – Функції приналежності нечітких локальних вимог:
а) «висока тривалість строку експлуатації, років»;
б) «потужність електродвигуна в інтервалі 100-200 кВт»

При параметричнім завданні локальних вимог до устаткування лінгвістичні змінні із вказівкою конкретного значення нечіткої змінної слід розглядати як нечіткі висловлення, які являють собою розширення поняття висловлення у звичайній двозначній математичній логіці [17]. Відповідно з'являється поняття нечіткої логіки, у якій нечіткому висловленню ставиться у відповідність не два значення «правда» (1) або «неправда» (0), а безперервна множина значень від 0 до 1. Нечіткі висловлення надалі будемо позначати більшими буквами латинського алфавіту, наприклад, *A*.

Нечітке висловлення можна записувати в термінах лінгвістичних і нечітких змінних – ($P \in T$) A, яке читається в такий спосіб «лінгвістична змінна P прийняла нечітке значення T». Така інтерпретація повністю відповідає розглянутим вище прикладам.

Нечіткі вирази характеризуються відповідними нечіткими підмножинами A множини U і функціями приналежності $\mu_A(x)$.

Нечіткі висловлення можуть мати складну структуру, за рахунок використання логічних зв'язувань «і» (кон’юнкція), «або» (диз'юнкція) і «ні» (заперечення), що з'єднують кілька елементарних нечітких висловлень.

Складний вираз може бути сукупною вимогою, наприклад, з наступним змістовним змістом: устаткування повинне мати A – «тривалий строк експлуатації» і B – «малу вагу» і C – «не високу вартість». Така побудова зручна

при формулюванні сукупних вимог для вибору устаткування у вигляді перерахування нечітких значень, бажаних з погляду експерта параметрів.

Логічні зв'язування або логічні операції кон’юнкція, диз'юнкція й заперечення можуть мати множина реалізацій [17]. На практиці найчастіше застосовують наступні правила реалізації цих операцій.

Таким чином, складові нечіткі вирази можуть використовуватися для опису вектора нечітких вимог до устаткування, індивідуальних характеристик для різних умов виробничого процесу. Такий висновок підтверджується тим, що нечіткий логічний висновок давно й успішно використовується в системах прийняття рішень [18].

1.3 Аналіз можливості застосування нечіткого логічного висновку

Використання нечітких логічних виразів для формулювання локальних нечітких вимог до вибору устаткування може припускати продовження застосування нечіткої логіки як для агрегування локальних вимог, так і для вибору устаткування, що максимально відповідає агрегованим вимогам. Досліджуємо таку можливість, для чого розглянемо основні процедури нечіткого логічного висновку.

Агрегована відповідність конкретного виду устаткування з конкретними, чіткими значеннями параметрів вимогам, заданим лінгвістичними й нечіткими змінними, може встановлюватися за допомогою моделі нечіткого логічного висновку й нечітких продукційних правил [16].

Нечітке продукційне правило являє собою наступне вираження

$$\text{ЯКЩО } (P_{пос} \ \epsilon \ T_{пос}), \text{ ТО } (P_{зам} \ \epsilon \ T_{зам}). \qquad (1.5)$$

У виразі (1.5) висловлення в першій дужці називається передумовою або просто посилкою, висловлення в другій дужці – висновок. Формулу (1.5) можна замінити більш простим ЯКЩО *A*, ТЕ *B*, де А і *B* – нечіткі висловлення посилки й висновку відповідно. При цьому підмножини (формула) задані на універсальній множині {*xi* }, а підмножини на універсальній множині { y_i }.

Нечіткі продукційні правила формулюються експертами з використанням конструкцій природної мови або інтервальних значень параметрів.

Завданням нечіткого логічного висновку є побудова послідовності процедур (алгоритму) одержання висновку (у нечіткому, *У* с або чіткому, *у* виді) при підстановці в посилку нечіткого правила виду (1.5) конкретних чітких значень *x* . Це добре узгодиться із завданням нашого дослідження – визначити значення ступеня відповідності *B* с чітких значень *x* параметрів альтернативних видів однорідного устаткування, при нечітко заданих цільових характеристиках вимог.

Нечіткий логічний висновок реалізується в кілька етапів [14].

Етап 1. Записується нечітке продукційне правило, зазвичай на підставі експертних висновків:

$$\text{«ЯКЩО } A\text{, ТО } B \text{»= «ЯКЩО } P_{пос} \in T_{пос}\text{, ТО } P_{зам} \in T_{зам}\text{».}$$

Висловлення *A* зазвичай являє собою складене висловлення, наприклад, що полягає з переліку нечітких вимог до значень параметрів устаткування. Висловлення *B* може інтерпретуватися як експертна оцінка агрегованої відповідності устаткування заданим вимогам по всіх його характеристичних параметрах.

В термінах нечіткої логіки продукційне правило прийнято визначати наступним логічним виразом [14]

$$A \rightarrow B \qquad (1.6)$$

де символ “→” означає логічну операцію нечіткої імплікації.

Операція нечіткої імплікації займає центральне місце в нечітких продукційних моделях. Також як і для попередніх логічних нечітких операцій, для нечіткої імплікації існує множина варіантів її реалізації. У ряді робіт на підставі проведених досліджень, зроблений висновок про найбільш ефективне використання:

– операції нечіткої імплікації Мамдани [18]:

$$\mu_R(x, y) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x); \mu_{\tilde{B}}(y)), \tag{1.6}$$

– операції нечіткої імплікації Ларсена [19]:

$$\mu_R(x, y) = (\mu_{\tilde{A}}(x) \cdot \mu_{\tilde{B}}(y)). \tag{1.7}$$

Етап 2. Завдання факту x . Стосовно до розглянутої предметної області таким фактом буде фактичне значення параметра конкретного устаткування. Наприклад, фактом буде значення потужності електродвигуна – 130 кВт, якому відповідає значення функції приналежності – 0,3 (рисунок 1.7 б)).

Підстановка фактів у посилку дозволяє розрахувати відповідне значення D-функції приналежності складеної посилки. Ця процедура називається агрегуванням[1] [14]. Агрегування виконується з обліком логічних зв'язків (1.6-1.9) між складеними компонентами посилки. Наприклад, нехай у посилці із двома компонентами й підставленими значеннями фактів:

«ЯКЩО P_1 ϵ x_1с ТА P_2 ϵ x_2с » функцій приналежності ухвалюють значення 0,4 і 0,3. Тоді, наприклад, у відповідності із (1.6) агреговане значення приналежності D

Етап 3. Формування висновку – обчислення функції приналежності висновку, тобто оцінки функції приналежності відповідності введених фактів вимогам, позначеним у правилі. Цю процедуру часто називають активізацією висновку [14].

Ілюстрацію реалізації правил доцільно показати на прикладі першого правила. Наприклад, для правила «ЯКЩО строк експлуатації устаткування високий, ТО ступінь відповідності устаткування вимогам висока», обчислення проводиться як показано на рисунку 1.9.

Значення x_c підставляється у функцію приналежності $P_A(x)$, яка задовольняє значення D . Це значення відтинає на функції приналежності $B(y)$ її верхню частину. Відрізки прямих, що обмежують залишкову (заштриховану) частину, являють собою функцію приналежності $P_B(y)$.

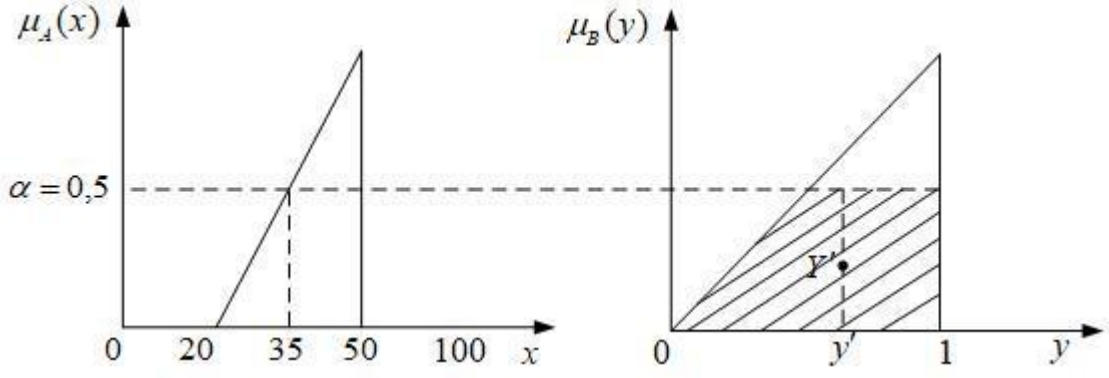


Рисунок 1.9 – Приклад побудови нечіткої функції висновку «ступінь відповідності»

Завершальною процедурою цього етапу є дефазіфікація активізованого висновку, тобто розрахунок числового значення ступені відповідності об'єкта, описаного введеними фактами, вимогам, що задані нечіткими правилами

Проведений аналіз дозволяє зробити проміжний висновок про принципову можливість використання нечіткого логічного висновку для вибору устаткування. Вибиратися повинне таке устаткування, у якого вище значення *в* с, тобто устаткування з максимальним ступенем відповідності. Однак такий висновок не можна вважати остаточним.

Застосування одного правила для вибору, як було розглянуто вище, не гарантує повного покриття простору значень характеристичних параметрів. Нечіткий логічний висновок припускає, що для оцінки активізованої функції приналежності повинна використовуватися сукупність правил. Така сукупність у

нечіткому логічному висновку називається базою правил або базою знань про деяку предметну область. Використання сукупності правил забезпечує більш повне покриття простору посилки й одночасно дозволяє підвищити вірогідність виведеного висновку [14].

На основі сукупності правил будується система нечіткого логічного висновку, показана на рисунку 1.10.

Стосовно до вибору устаткування, змінні на рисунку 1.10 можна інтерпретувати в такий спосіб: у якості вхідних сигналів *x* виступають значення параметрів конкретного устаткування, у якості нечітких висловлень *A* – нечіткі вимоги до вибору, вихідні сигнали *в* і нечіткі вирази *Y* – ступінь відповідності й нечіткий відповідність відповідно.

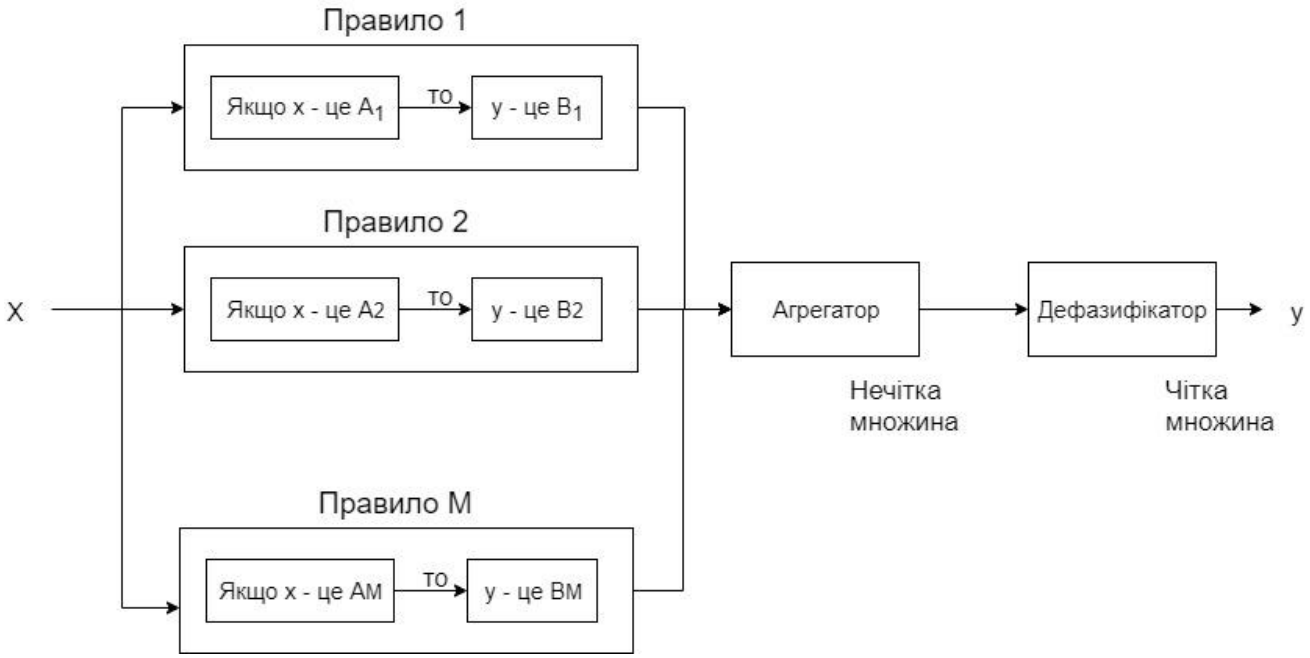


Рисунок 1.10 – Система нечіткого логічного виводу

У системі нечіткого логічного висновку для кожного *i*-го правила обчислюється своя функція приналежності *Pyic* (*yi*) відповідно до одним з правил нечіткої композиції.

1.4 Постановка завдань дослідження

Велика кількість правил породжує проблему їх комп'ютерної реалізації, що обумовлює актуальність скорочення числа правил. Існують шляху спрощення системи продукційних правил без скорочення кількості лінгвістичних термів. Таких шляхів може бути трохи [14], наприклад, побудова багатовимірних функцій приналежності на основі апроксимації системи правил [15]; декомпозиція правил з побудовою ієрархічних структур [15]; виключення із системи малозначних правил [16].

Докладний розгляд етапів нечіткого логічного висновку дозволяє оцінити можливість застосування нечіткого логічного висновку для рішення завдання вибору устаткування по сукупних технічних і сукупних комерційних вимогах.

Стосовно до розглянутої предметної області з більшим числом характеристичних параметрів (до 100 найменувань), в експертів з'являються проблеми формулювання правил, що забезпечують покриття. При великій кількості параметрів і їх суперечливих значеннях щодо локальних вимог експерт не зможе досить обґрунтовано здійснювати ранжирування ступеня відповідності. Крім того, нечіткий висновок не забезпечує кількісні характеристики вибору. Тобто, якщо навіть буде отримано задовільне ранжирування ступеня відповідності видів устаткування пропонованим вимогам, те незрозуміло як враховувати кількісні обмеження, обумовлені фактичною наявністю устаткування в тих або інших його постачальників.

Необхідність складання індивідуальних правил для кожного виробничого об'єкта й кожного джерела придбання устаткування тягне серйозне збільшення кількості правил, що у свою чергу робить громіздкої програмну реалізацію алгоритмів вибору.

Проведений аналіз нечіткого логічного висновку показує, що нечітку логіку доцільно використовувати для опису локальних вимог і оцінки ступені відповідності устаткування сукупності локальних вимог.

Для ухвалення рішення при багатокритеріальних вимогах потрібно єдине рішення, яке можна одержати шляхом перетворення векторного завдання в завдання скалярної оптимізації. Таке перетворення для опуклих функцій являє собою, наприклад, лінійну згортку критеріїв, тобто опуклу лінійну комбінацію критеріальних функцій.

Проведений аналіз особливостей представлення інформації про вибір складних об’єктів і вимог до їхнього вибору, а також умов вибору й релевантних математичних методів прийняття оптимальних рішень показав, що для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

– аналіз методик моделювання нечітких вимог до вибору об’єктів й оцінки сукупної по параметрах відповідності типів альтернативного набору об’єктів пропонованим вимогам на основі експертизи характеристичних параметрів в термінах нечітких виразів;

– розробка алгоритму обчислення агрегованої відповідності об’єктів по сукупності локальних відповідностей характеристичних і цільових параметрів з використанням багатомірних функцій приналежності;

– чисельна апробація запропонованих методів і алгоритмів на прикладах вибору устаткування для виробничих процесів.

2 ОПИС ПРОВЕДЕНИХ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Аналіз методів вибору в умовах нечіткості й багатокритеріальності

Термін «прийняття рішень» має на увазі обов'язкова участь людини, особи, що ухвалює рішення (ОУР) [20]. Мета системи підтримки прийняття рішень (СППР) – забезпечити вибір з вихідної множини альтернатив підмножини, бажано одиничної потужності, що повинно спростити процес прийняття рішень ОУР. Вибір може здійснюватися в рамках двох альтернативних підходів: шляхом порівняльного аналізу пар альтернатив, тобто вибір на основі бінарних відносин, або шляхом порівняння кожної альтернативи з формалізованими у вигляді критерію вимогами, тобто критеріальний вибір.

Наприклад, постановка завдання вибору на прикладі вибору однорідного устаткування:

– вибір устаткування при реінжинірингу виробничих процесів за критеріями технічної ефективності виробництва;

– вибір постачальників устаткування за економічними критеріями.

Побудова моделі оптимального вибору устаткування в інтересах підвищення ефективності виробництва при реінжинірингу бізнес-процесів виконувалося з урахуванням технічних характеристик устаткування. Вибір здійснювався на основі моделей математичного програмування.

При виборі постачальників до критерію ефективності виробництва додаються критерії комерційної ефективності, тобто в цьому випадку необхідно враховувати як комерційні, так і технічні вимоги. Для рішення завдання вибору постачальників звичайно пропонуються моделі математичного програмування, включаючи цілочисельне програмування й багатокритеріальну оптимізацію.

Процес вибору устаткування, як правило, включає суб'єктивний фактор. Формалізацію суб'єктивної невизначеності прийнято здійснювати з використанням теорії нечітких множин.

Узагальнюючи результати проведених досліджень, розглянемо підхід до побудови моделей математичного програмування для вибору устаткування. У рамках розглянутої постановки (розділ 1.1) вирішуються два завдання вибору: вибір устаткування що максимально задовольняє технічним вимогам і вибір устаткування від конкретних виробників (постачальників) що максимально задовольняє комерційним вимогам. У цьому випадку з'являються два суперечливі критерії, оптимальний вибір по яких ставиться до класу завдань багатокритеріальної оптимізації.

Аналіз завдання багатокритеріального вибору при наявності нечітких вимог на прикладі вибору устаткування. Нехай є n альтернативних варіантів типів однорідного устаткування, представлених множиною A $\{ai\}$. Кожний i-й варіант характеризується вектором значень параметрів xi (xi_1;...; xij ;...; xim), де j – номера імен параметрів P_j, j 1,..., m, наприклад, потужність, вага й т.п. Вибір кращої альтернативи повинен проводитися по кожній k-ій вимозі, представленій вектором цільових параметрів Tk (Tk1;...; Tkj ;...; Tkm), де Tkj – нечіткі змінні. Множина вимог $G\{gk\}$ задається виробничими процесами або параметрами кон'юнктури ринку таким чином, що кожному процесу або параметру ринку відповідає своя нечітка вимога.

2.2 Схеми вибору параметрів

Схема вибору наочно представляється двочастковим графом, показаному на рисунку 2.1, і може розглядатися як завдання призначення альтернативних типів однорідного устаткування виробничим процесам, що відповідають заданим технічним вимогам або завдання призначення однорідного устаткування постачальникам відповідним заданим комерційним вимогам.

Якщо тепер кожній вершині a_i поставити у відповідність кількість устаткування альтернативного типу – D_i , а кожній вершині G_k поставити у

відповідність виробничу потребу в устаткуванні – E_k то завдання призначення розширюється до « транспортного завдання» [5]. У цьому випадку потрібно визначити ваги ребер дводольного графа, що інтерпретується як кількість устаткування передане з вершини a_i у вершину $G_k - y_{ik}$.

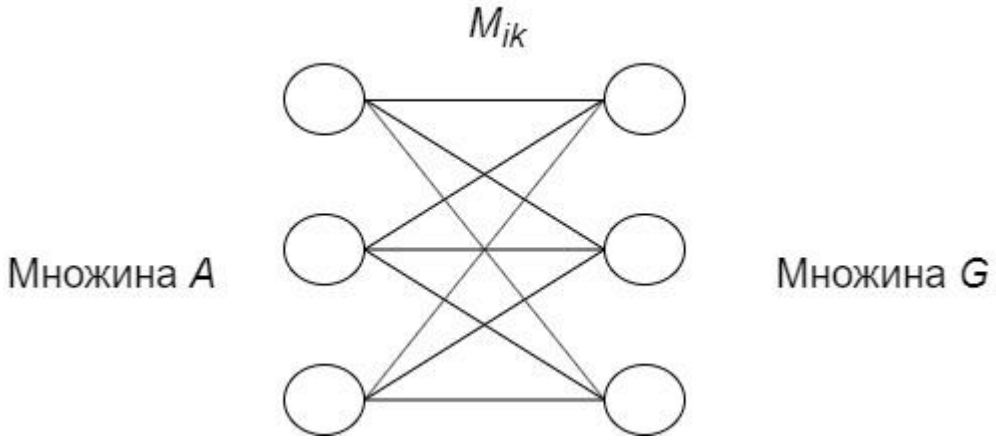


Рисунок 2.1 – Дводольний граф призначення альтернативних типів

Критерій транспортного завдання записують у вигляді (a_i ; G_k) елементів графа. У нашому випадку це може бути характеристикою відповідності дводольного графа. Ця характеристика є функцією нечіткої змінної T_{kj}, тобто c_{ik} (T_{kj}).

Єдине й коректне рішення завдання векторної оптимізації може бути отримане за умови опуклості функцій критеріїв і обмежень [21]. До методів рішення таких завдань ставляться адитивні й мультиплікативні згортки критеріїв, метод ідеальної крапки й т.п. [22].

Однак, у завданні присутні нечіткі змінні. У цьому випадку також можна одержати рішення завдання, але вже в нечіткому виді та можлива нестійкість таких рішень, обумовлена наявністю нечітких змінних. У такій ситуації одержання однозначного рішення стає складним, а може й неможливим.

Виходом з положення може бути підхід, при якому обробка нечіткої інформації виконується попередньо з перетворенням нечітких змінних у звичайні чіткі. Тоді сформульована транспортне завдання може формалізуватися в термінах завдання скалярної оптимізації із чіткими змінними.

В такому разі транспортне завдання називається незбалансованим (відкритим) [5]. При рішенні незбалансованого транспортного завдання застосовують прийом, що дозволяє зробити його збалансованим. Для цього вводять фіктивні елементи множини *A* або множини *G*. Ваги інцидентних дуг цих елементів прирівнюються до нуля.

В класичній постановці транспортного завдання будь-якому елементу множини *G* може бути призначений будь-який елемент множини *P* або іншими словами множина *P* однорідна стосовно множини *G*. Такі завдання прийнято називати завданнями з однорідними потоками [24]. Відмінність розглянутої постановки призначення устаткування виробничим процесом полягає в неоднорідності множини *P*, якісь елементи цієї множини доцільно призначати конкретному виробничому процесу, якісь не дуже доцільно, а якісь призначати не можна. Якби елементи були не взаємозамінні, то вихідне завдання просто декомпозувалося на підзадачі по числу типів однорідних елементів. Особливістю розглянутого завдання є нечітка взаємозамінність елементів множини *P*. Можливість і доцільність призначення визначається сукупністю функцією приналежності локальних вимог, які задають додаткові нечіткі обмеження завдання. Таким чином, перехід до моделі транспортного завдання не знімає проблему нечіткої невизначеності, яка проявляється в нечіткій взаємозамінності неоднорідних елементів множини *P*.

При наявності взаємозамінності перехід від неоднорідного транспортного завдання до однорідної здійснюється, наприклад, введенням коефіцієнтів взаємозамінності, за допомогою яких неоднорідні елементи приводяться до однорідних з погляду перевезених обсягів [26]. Використання аналогічного підходу на основі оцінки ступені відповідності устаткування сукупності нечітких локальних вимог – одна із завдань нашого дослідження, яка повинна забезпечити дефаззіфікацію ступені відповідності і перехід до однорідного транспортного завдання. В транспортному завданню можуть виникати додаткові умови. Стосовно розглянутого завдання, де дуги визначають відповідність *i*-го типу устаткування *k*-м вимогам, загалом кажучи, слід додавати по *j*-му параметру. У

таких ситуаціях з'являється ще один різновид транспортного завдання – багатоіндексне транспортне завдання [24].

Для того, щоб використовувати прості алгоритми вирішення класичного завдання необхідно привести багатоіндексне завдання до однорідного двоіндексного транспортного завдання.

Як ми вже відзначали, проблемою, характерної для розглянутого транспортного завдання вибору устаткування є її дискретний, цілочисельний характер. Дійсно, мова йде про оптимальне задоволення кількісної потреби деякого виробництва, у нашому випадку родовища, в обраному типі однорідного устаткування. Очевидно, що обрана кількість устаткування зобов'язано обчислюватися цілими числами. У цьому випадку область досліджень даного розділу формується в границях завдання дискретної або комбінаторної оптимізації [24].

Для завдань дискретної оптимізації існує сукупність відомих математичних постановок, що дозволяють одержати цілочисельне рішення в умовах ряду допущень і спрощень. Класичні підходи до рішення таких завдань описані в різних роботах, огляд яких представлений у фундаментальній монографії [24].

Класифікація методів одержання цілочислельних рішень показано на рисунку 2.2.

Рисунок 2.2 – Класифікація методів комбінаторної оптимізації

Більшість завдань комбінаторної оптимізації NP-повні. Таким чином, у цей час кращий відомий оптимальний підхід до рішення вимагає стільки обчислювальних кроків, скільки рішень в області пошуку. Дійсно, повне перерахування всіх можливостей є найпростішим алгоритмом рішення. Однак він стає нездійсненним у частині обчислень для програм з більш ніж приблизно 20 змінними. Важливий клас алгоритмів недетермінованого пошуку уникає теоретичного обчислювального обмеження. Алгоритми недетермінованого пошуку використовують структури завдання, щоб знаходити глобальні оптимальні рішення, і суттєво й вимагають суттєво менше число кроків обчислення в середньому. Із цієї групи методів доцільно виділити метод галузей і границь і метод Гомори, що володіють великий практичною ефективністю, але застосовні тільки до лінійних завдань цілочисельного програмування [19].

Метод гілок і меж – це поділ області пошуку на підгрупи, для яких твердження можуть бути зроблені без оцінки кожного рішення підпростору. Оптимально більші регіони області пошуку можуть бути відкинуті без їхнього вивчення. Метод Гомори додає додаткові обмеження до завдання, яке виключає безперервні, але не цілочисельне рішення.

Якщо розглянуте завдання буде зведено до завдання лінійної оптимізації, то доцільно використовувати або метод гілок і меж, або метод Гомори.

У зворотному випадку звичайно використовуються евристичні алгоритми. Найчастіше вони засновані на ітеративному локальному пошуку, який сам по собі є одним з перших евристичних алгоритмів.

Як ми вже відзначали, розглянуте завдання вибору по вимогах двох типом (технічні й комерційні), потенційно суперечливим, слід розглядати як завдання багатоцільової або векторної оптимізації. Наявність декількох цільових критеріїв вимагає розширення існуючих алгоритмів.

Рішення завдань векторної оптимізації засноване на одержанні так званого множини Парето (множина недомінуємих рішень) [25]. Вибірка по фронту Парето – метод одержання рішення для багатокритеріальної оптимізації.

Оптимум по Парето визначається шляхом реалізації алгоритму рішення целочисленного програмування в рамках так званого алгоритму вибірки по фронту Парето. Приклад вибірки по фронту Парето з п'ятьма ітеративними оптимізаціями, отриманими рішеннями й границями наведено на рисунку 2.3.

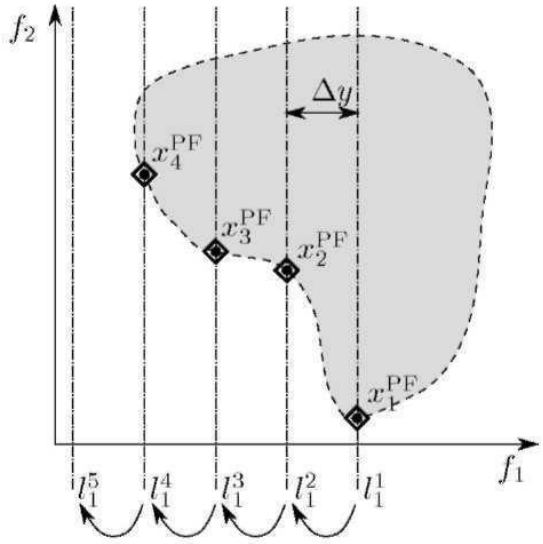


Рисунок 2.3 – Вибірка по фронту Парето для двох цільових критеріїв

2.3 Структурна модель процесів обробки інформації

Система підтримки прийняття рішень, для якої розробляються моделі й алгоритми оптимального вибору виробничого устаткування, входить до складу ERP-системи підприємства й використовує її інформаційну базу. У зв'язку з цим необхідно розробити структурні моделі одержання й обробки інформації з різних компонентів ERP-системи. Від того ким і як готується інформація для прийняття рішень, у значній мірі залежать алгоритми обробки інформації, структура й моделі її представлення моделі оптимального вибору варіантів.

Структура алгоритмів обробки інформації слід розглядати як похідну від моделі структури процесів вибору й розподілу однорідного устаткування в

розподіленій системі виробничої корпорації. Модель структури процесів показано на рисунку 2.4 [20].

Слід уточнити поняття однорідного устаткування. Це типи устаткування одного призначення, що відрізняються тільки значеннями деяких параметрів, які можуть застосовуватися в різних виробничих процесах, але при цьому одні типи краще відповідають конкретному процесу, ніж інші. Прикладом однорідного устаткування може служити група типів насосів для перекачування рідких середовищ. Більшість насосів із цієї групи, у принципі, можуть використовуватися на конкретному об'єкті, але якісь типи насосів більшою мірою відповідають умовам цього об'єкта.

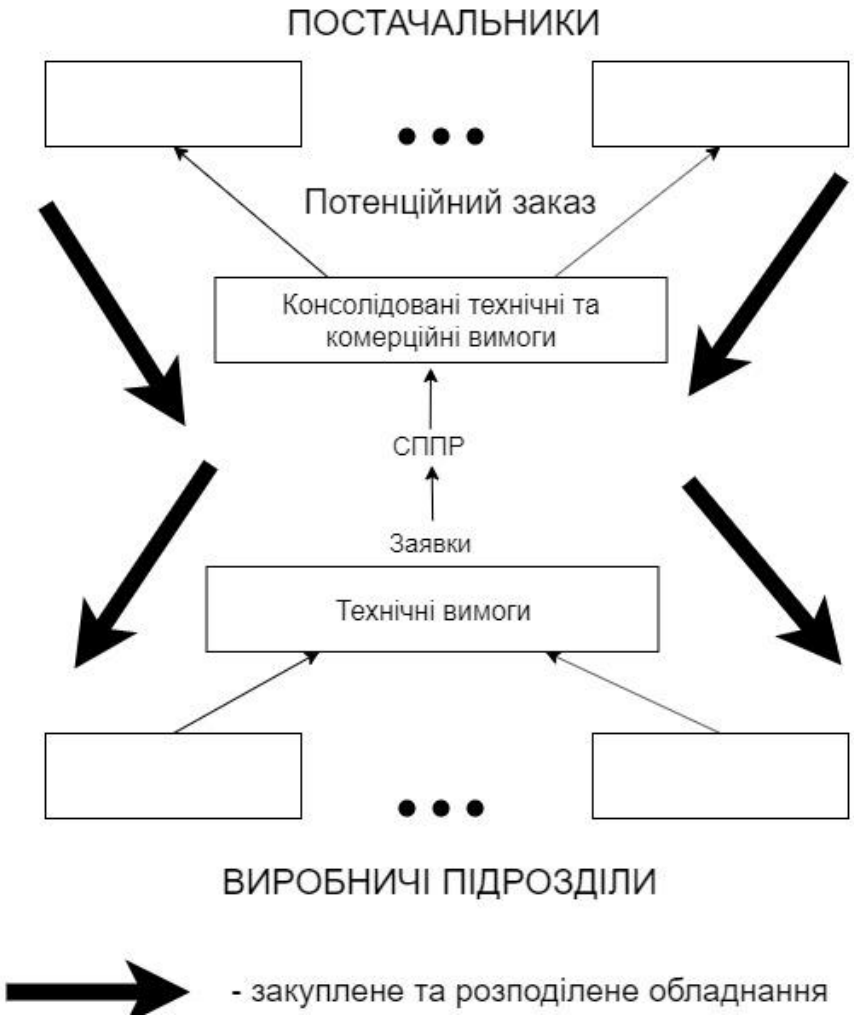


Рисунок 2.4 – Модель структури процесів вибору й розподілу устаткування

На рисунку 2.4 показаний вступ інформації від розподілених виробничих підрозділів корпорації (від родовищ у випадку нафтогазового виробництва).

Інформація надходить від кожного підрозділу у вигляді заявок на необхідне устаткування, у яких утримуватися індивідуальні технічні вимоги до устаткування і його потрібна кількість. Інформація формується експертами – проектувальниками відповідних виробничих процесів. Консолідовані технічні вимоги надходять у закупівельну організацію, для організації централізованих закупівель у рамках корпорації.

Закупівельна організація, в особі своїх фахівців – експертів, формує комерційні вимоги, які пред'являються індивідуально кожному потенційному постачальникові разом з технічними вимогами. Інформаційні потоки, пов'язані з формуванням вимог, показано на рисунку 2.4 «тонкими» стрілками.

На підставі сформованих вимог закупівельна організація здійснює вибір підходящого устаткування в конкретних постачальників у заявленій кількості. Тут же, у закупівельної організації виникає ще одне завдання – раціональний розподіл закупленого устаткування по підрозділах-замовникам. Інформація про закуплене й розподілене устаткування показано на рисунку 2.4 «товстими» стрілками.

Сучасні автоматизовані системи керування виробничим підприємством підтримують інформаційні бази даних конструкторської й технічної документації на використовуване устаткування, інформаційну базу виробників устаткування з його технічною документацією, базу даних про параметри кон'юнктури ринку устаткування. Саме ця інформація забезпечує раціональний вибір. У той же час ця інформація не має однорідної вистави, необхідного для формування правил вибору, тим більше, якщо коштує завдання автоматизації цих правил на основі розробки комплексу математичних моделей і алгоритмів вибору.

Представляється доцільним побудова структури процесів формування й обробки інформації, необхідної для вибору устаткування. Насамперед, необхідно структурувати наступні інформаційні процеси [25]:

– одержання інформації про технологічні особливості експлуатації устаткування на різних виробничих процесах, для яких планується вибір типів

однорідного устаткування, тобто типів устаткування одного призначення, що різниться тільки значеннями характеристичних параметрів;

– одержання інформації про конструктивні параметри устаткування, характеристичні значення яких відповідають зазначеним технологічним особливостям; при цьому відповідні значення задаються інтервальними або якісними характеристиками;

– формалізація інформації про вимоги до устаткування, планованого для експлуатації на конкретному виробничому процесі з його технологічними особливостями;

– інформація про типи однорідного устаткування, що випускаються різними виробниками, з конкретними значеннями характеристичних параметрів;

– інформація про ціни на різні типи однорідного устаткування;

– умови і строки поставки;

– формалізація всієї наведеної інформації в одному місці у вигляді зручному для прийняття рішень;

– реалізація оптимального вибору устаткування й формування рекомендацій для прийняття рішень.

Для структурного моделювання послідовності інформаційних потоків у системах різного призначення звичайно використовуються діаграми IDEF3 [22]. Діаграми IDEF3 (Workflow diagramming) використовують для аналізу процедур обробки інформації з метою опису послідовності виконання інформаційних процесів, а також об'єктів, що беруть участь у цих процесах.

Структурна модель у формі діаграми IDEF3, що відображає склад інформаційних об'єктів і інформаційна взаємодія процесів обробки інформації в системі підтримки прийняття рішень для вибору виробничого устаткування в складі промислової ERP системи, показано на рисунку 2.5.

Інформаційні процеси починаються з одержання заявок від виробничих об'єктів (родовищ) на придбання устаткування для знову спроектованих технологічних процесів або на заміну устаткування в існуючих технологічних процесах. На рисунку 2.5 ці процеси показані стрілками, що відображають

порядок взаємодії інформаційних об'єктів ERP системи й інформаційних компонентів СППР.

Структурна модель інформаційних процесів також дозволяє уточнити склад і структуру розв'язуваних у атестаційній роботі завдань логічна й інформаційна взаємодія цих завдань між собою.

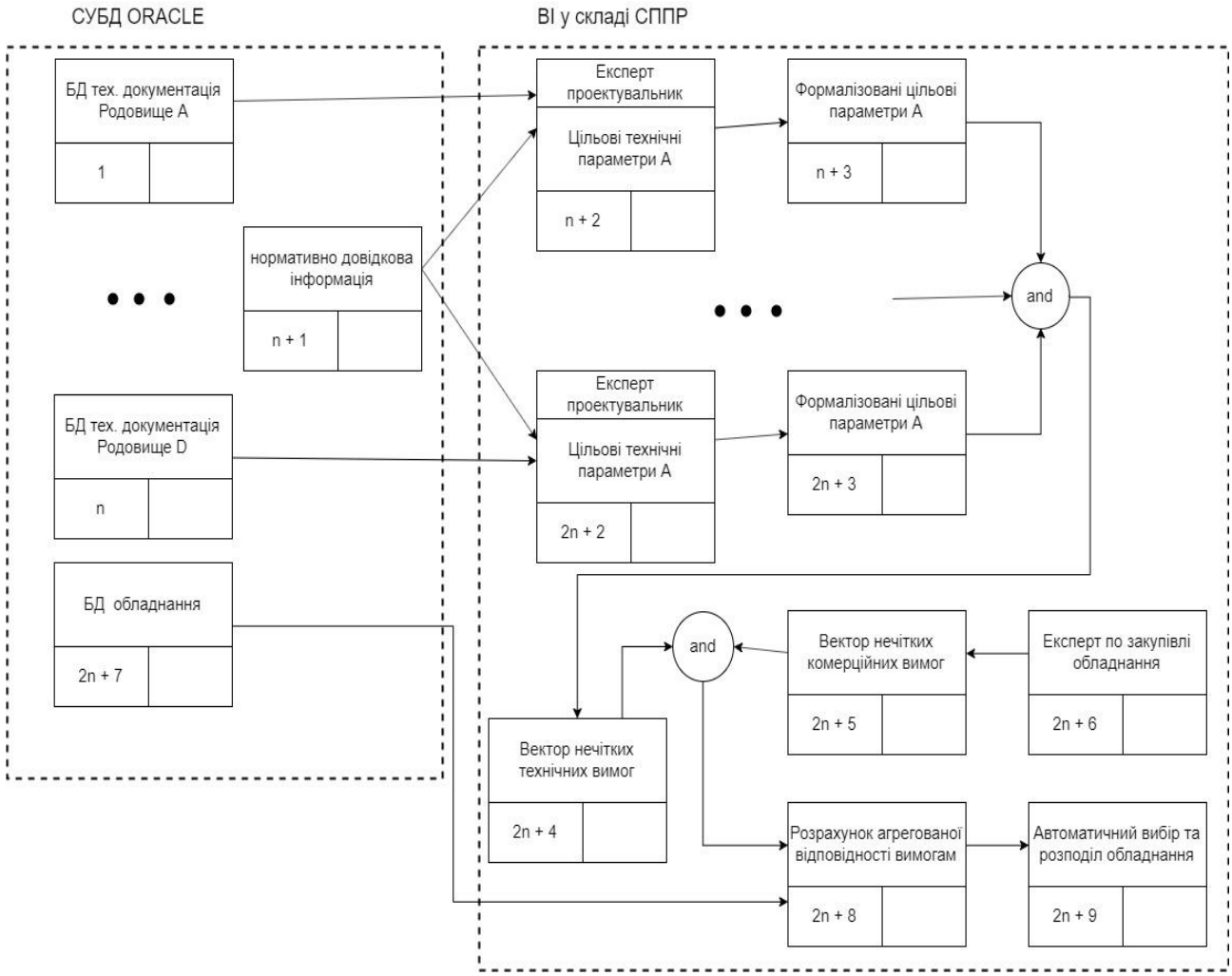


Рисунок 2.5 – Структурна модель інформаційних процесів у складі системи SAP ERP

Остаточно модель обробки інформації при формуванні й аналізі вимог до вибору устаткування може бути представлена у вигляді нотації графічного моделювання IDEF0 [26], показаної на рисунку 2.6.

Структурна модель обробки інформації інваріантна до типу вимог (технічні або комерційні). У відповідності зі структурною моделлю вихідною інформацією

є або проектна документація виробничих процесів, або документована інформація про стан ринку устаткування. Вербальний опис проводиться відповідним експертом. Потім обробка інформації виконується в рамках системи підтримки прийняття рішень (СППР). У структурну модель доданий блок вибору й розподілу устаткування по виробничих підрозділах, який завершує процеси рішення поставленого завдання.

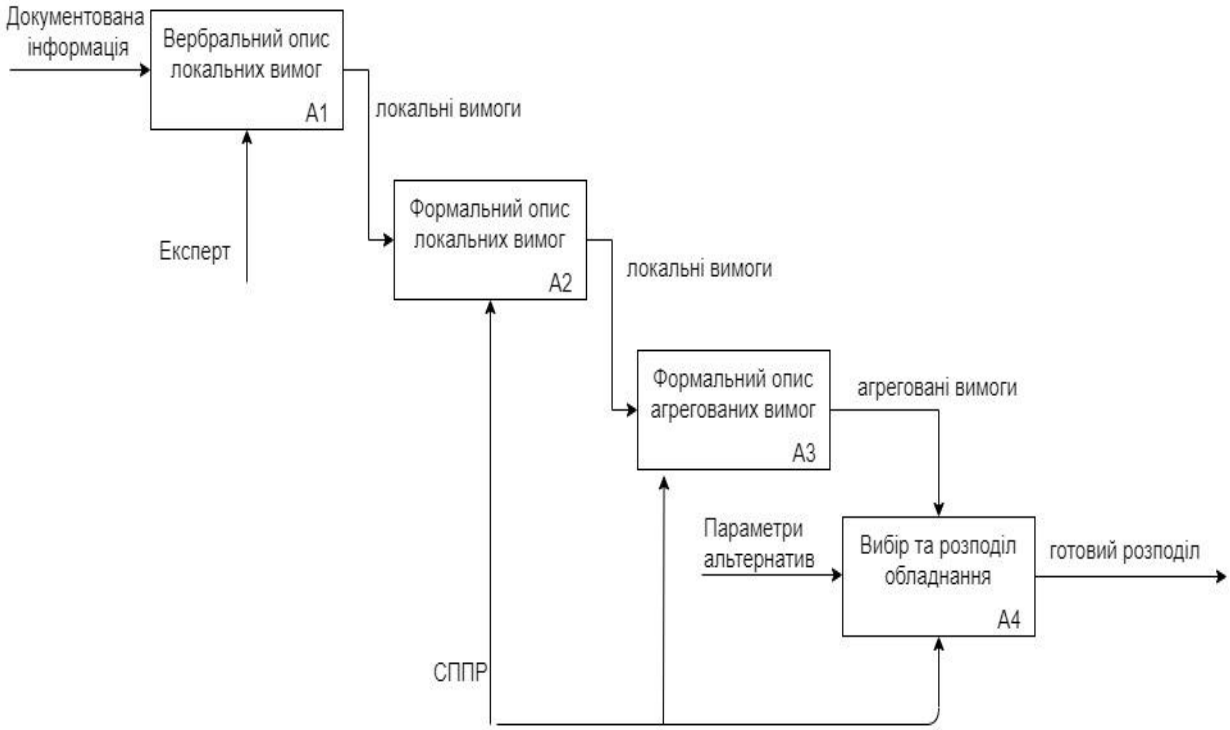


Рисунок 2.6 – Структурна модель обробки інформації при формуванні та аналізі вимог до вибору об’єктів

Структурна модель (рисунок 2.6) завдає зміст і послідовність рішення подальших етапів дослідження й розробки.

3 ОПИС ПРОЕКТУВАННЯ АЛГОРИТМІВ СИСТЕМИ

3.1 Розробка алгоритму опису в термінах нечіткої логіки

Вимоги до вибору виробничого устаткування з деякої однорідної сукупності його альтернативних видів задаються у вигляді сукупності інтервальних або якісних значень параметрів гіпотетичного, «ідеального» виду. Вибиратися буде такий альтернативний вид устаткування, який найкраще відповідає заданому «ідеалу» по всій сукупності параметрів. Як було показано в розділі 1.2, завдання формалізованого опису «ідеалу» і визначення ступені відповідності чітких значень параметрів альтернативних видів однорідного устаткування пропонованим нечітким вимогам доцільно вирішувати з використанням теорії нечітких множин і нечітких логіки. Згідно із цією теорією, експертним шляхом визначається перелік усіх характеристичних параметрів устаткування, цільові значення яких задаються в нечіткому виді. Ці параметри надалі розглядаються як лінгвістичні змінні. Експерт задає необхідні компоненти лінгвістичних змінних, певні кортежем (1.3, розділ 1).

Для рішення завдань СППР актуальними компонентами є: ім'я лінгвістичної змінної; перелік термів, тобто імен прийнятих лінгвістичної змінної (тобто нечітких змінних); числова шкала, на якій задаються значення й функції приналежності кожного нечіткого значення:

$$(P; \{T_i\}; U; \{Pi\}); \quad i \ 1,..., n \tag{3.1}$$

де P – ім'я лінгвістичної змінної;

T_i – значення i -ої нечіткої змінної;

U – універсальна числова шкала;

Pi – функція приналежності i – ой нечіткої змінної.

Терми T_i задаються якісними (багато, високо, не більше й т.п.) або інтервальними (x_{min} d x d x_{max}) значеннями. В окремому випадку терм може мати цілком визначене, чітке значення. У теорії нечітких множин важливим є питання про кількість термів кожної лінгвістичної змінної посилки або висновку.

Кількість якісних градацій деякої величини, яке й визначає число термів, бажане обмежувати числом 9, що переконливо показане в роботі [20]. На практиці звичайно використовується не більш 5-6 термів. Однак при завданні нечітких вимог до устаткування експерт – проектувальник завжди задає єдине нечітке значення, виходячи з інженерної теорії й досвіду, а не шляхом вибору з певного набору нечітких значень.

Числова шкала може являти собою проміжок числової осі значень деякої змінної з певною розмірністю. Числова шкала може бути задана в безперервному або дискретному виді.

Для розглянутої предметної області необхідно розробити методику формальної вистави нечітких вимог до вибору, індивідуальних для кожного конкретного виробництва его особливості, що враховують, і характеристики. В основі такої методики повинні лежати положення побудови й агрегування нечітких логічних виразів.

Насамперед, необхідно уточнити які вимоги пред'являються при виборі устаткування з деякої однорідної сукупності альтернатив. Це вимоги відповідності умовам конкретного виробничого процесу, які будемо називати технічними вимогами. Вибір значень конструктивних параметрів устаткування, відповідних до технічних вимог, відповідальне завдання, особливо для потенційно небезпечних виробничих процесів, до яких ставляться процеси нафтогазового виробництва. Відповідальними за рішення такого завдання є проектувальники, які виступають у ролі експертів.

Крім технічних вимог, необхідно враховувати комерційні вимоги, обумовлені характеристиками ринку устаткування. Таким чином, треба розглядати два класи вимог: технічні вимоги й комерційні вимоги.

Технічні вимоги являють собою сукупність цільових значень технічних характеристичних параметрів, відповідних до виробничих умов що склалися на тому або іншому родовищі. Цільові значення задаються експертами – проектувальниками технологічного процесу. Цільові значення задаються у формі лінгвістичних змінних з іменами P_i^{mex}, i 1,, n; n – кількість технічних

характеристичних параметрів устаткування. Терми лінгвістичних змінних розглядаються як нечіткі цільові значення з відповідними функціями приналежності.

Наприклад, вимоги до відцентрового насоса можуть включати лінгвістичні змінні з наступними іменами: $P_1^{тип}$ – тип насоса; $P_2^{тип}$ -

У більших виробничих компаніях закупівля устаткування здійснюється централізованим образом на основі заявочного лота, об'єднуючого однорідне устаткування відразу для декількох виробничих процесів з різними значеннями технічних цільових характеристик. До устаткування в рамках заявочного лота в додачу до технічних цільових характеристик, формуються комерційні характеристики, такі як вартість, умови поставки, час поставки й т.п. Комерційні характеристики формуються за аналогією з технічними з тим відмінністю, що експертами тут виступають інші фахівці компанії. Комерційні характеристики $P_i^{ком}$, i 1,..., n також необхідно враховувати при виборі устаткування.

Технічні й комерційні вимоги можуть вступати в протиріччя. Наприклад, більш підходяще з технічної точки зору устаткування може виявитися дорожче інших припустимих альтернатив. Така ситуація змушує розглядати технічні й комерційні вимоги на етапі вибору окремо. Однак на етапі опису локальних вимог, тобто цільових характеристик, у термінах нечіткої логіки їх розгляд можна об'єднати.

Схема інформаційних компонентів i-го цільового параметра (як технічного, так і комерційного) показано на рисунку 3.1.

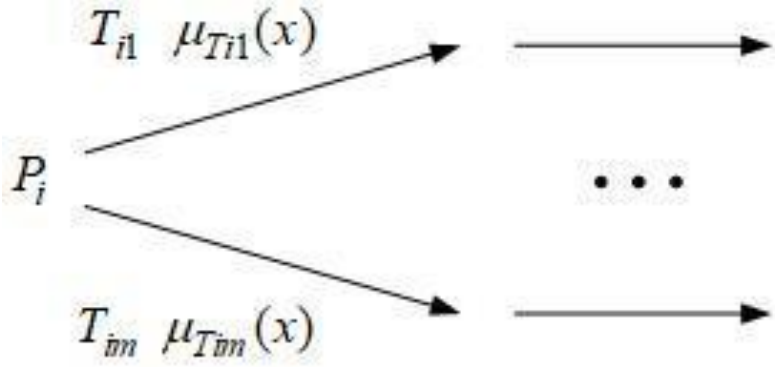


Рисунок 3.1 – Схема завдання нечітких вимог для i-го цільового параметра

При формулюванні вимоги експерт призначає з можливих значень T_{ij} – одне бажане значення $T_{iжел}$ для кожного параметра i .

Кон'юнктивна форма складеного нечіткого висловлення A інтегрує бажані значення всіх цільових параметрів:

$$A = «P_1 \in T_{1жел} \quad P_2 \in T_{2жел} \quad ... \quad P_n \in T_{nжел}». \qquad (3.2)$$

У виразі (3.2) кожний цільовий терм, $T_i^{жел}$ інтерпретується своєю функцією приналежності – P_{Ti} (x), що задається експертом. Функція приналежності будується над універсальною множиною, яка визначається всіма припустимими значеннями відповідного параметра, що характеризує устаткування.

Нехай, наприклад, бажане значення деякого характеристичного параметра визначене експертом на проміжку довжини x [100; 150] U як «велике».

Тоді функцію приналежності логічно представити, наприклад, у вигляді, показаному на рисунку 3.2.

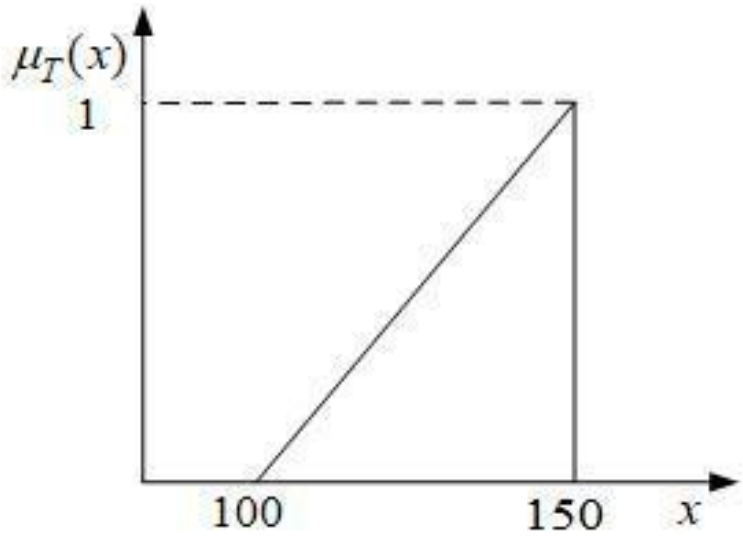


Рисунок 3.2 – Функція приналежності терма «більша» довжина

Дійсно, як показує рисунок 3.2, більшим значенням довжини відповідає більші значення функції приналежності. Значення довжини рівне 150 має найкраща відповідність (P_T (150) 1) поняттю «більша». Функція приналежності має вигляд лінійної залежності: P_T (x) 0,02 x 2, де x – значення шкали універсальної множини, у розглянутому випадку – шкали довжини.

Нехай тепер кілька видів однорідного устаткування мають чіткі значення характеристичного параметра із припустимого діапазону[100;150]. Наприклад, значення характеристичного параметра виду 1 становить 120 див., а виду 2 – 140 див. Тоді відповідність цільовому (бажаному) вимозі «більша довжина» обчислюється в такий спосіб:

– першого виду устаткування $P_T(120)$ 0,02 1202 0.4;

– другого виду устаткування $P_T(140)$ 0,02 1402 0.8;

Вочевидь, що другий вид устаткування по зазначеному характеристичному параметру більше відповідає зазначеним нечітким вимогам.

Відповідність вимогам по одному характеристичному параметру устаткування будемо називати локальною відповідністю.

3.2 Розробка алгоритму обчислення відповідності

Визначення сукупного ступеня відповідності конкретного виду устаткування нечітким вимогам по сукупності (3.2) локальних цільових характеристичних параметрів може здійснюватися різним образом.

Насамперед, можна спробувати скористатися відомими методами нечіткого логічного висновку. У цьому випадку експерт повинен побудувати систему нечітких продукційних правил, що встановлюють залежність між вектором нечітких відповідностей локальним вимогам і відповідністю устаткування в цілому по всій сукупності локальних вимог. Наприклад, у випадку двох параметрів ці правила можуть виглядати в такий спосіб:

ЯКЩО P_1 *є* «*велике*» ТА P_2 *є* «*велике*», ТО Y *є* «*висока*» ,

ЯКЩО P_1 *є* «*велике*» ТА P_2 *є* «*мале*», ТО Y *є* «*середня*» ,

ЯКЩО P_1 *є* «*мале*» ТА P_2 *є* «*велике*», ТО Y *є* «*середня*»,

ЯКЩО P_1 *є* «*мале*» ТА P_2 *є* «*мале*», ТО Y *є* «*низька*»,

де *Y* – лінгвістична змінна «ступінь відповідності устаткування сукупності вимог».

Наведені в прикладі правила експерт у стані сформулювати, система правил може забезпечити повне покриття простору посилки й адекватний висновок про відповідність. Однак, нечіткий логічний висновок стає практично неможливим при великому числі (до декількох десятків) характеристичних параметрів. Більше того, експерт зіштовхнеться ще з одних труднощами – проблемою обліку суперечливості локальних відповідностей, тобто відповідностей за значеннями окремих характеристичних параметрів. Наприклад, по ряду параметрів досягається гарна відповідність, зате по інших відповідність вимогам невисоке; сформулювати ступінь узагальненого відповідності важко вже при десятку параметрів.

Є ще одна важлива причина, що перешкоджає використанню апарата нечіткого висновку для агрегування локальних відповідностей. У завданні вибору важливо вибрати таку групу однорідного устаткування, параметри якої забезпечують досягнення максимальної сукупної відповідності як по технічним, так і по комерційних вимогах. Інакше кажучи, вибір повинен бути оптимальним за критерієм відповідності. Такі завдання в рамках нечіткої логіки поки не мають рішення.

У цьому зв'язку пропонується інший шлях, який дозволить обчислювати агреговану відповідність на основі обчислених локальних відповідностей. Обчислення агрегованої відповідності можна звести до побудови багатозначної функції приналежності й обчисленню її значень. Багатозначна функція повинна відповідати ряду обов'язкових умов, які визначаються природними властивостями вибору устаткування:

– повна локальна невідповідність ($P_{лок}$ 0) хоча б по одному параметру тягне повну агреговану невідповідність;

– повна агрегована відповідність ($P_{сов}$ 1) може досягатися тільки при повній локальній відповідності ($P_{лок}$ 1) по всім характеристичним параметрам;

– ступінь агрегованої відповідності не може бути більше мінімуму ступенів локальних відповідностей, $P_{сов}$ d min{ $P_{лок}^{j}$ }.

Наведеним умовам відповідають бінарні операції реалізації кон'юнкції нечітких змінних

Цільові характеристичні параметри «ідеального» устаткування неоднорідні в тому розумінні, що вони можуть мати різний вплив на вибір. Параметри, що виявляють істотний вплив на ефективність роботи устаткування (або ринкову ефективність) мають щодо невеликий діапазон припустимого зміни своїх значень; при цьому наближення значення до границі припустимого діапазону різко скорочує ступінь відповідності вимогам. Параметри, що не виявляють істотного впливу на ефективність роботи устаткування, мають широкий діапазон припустимих змін, і навіть значне відхилення значення від «ідеалу» не сильно змінює ступінь відповідності вимогам. Графічна ілюстрація функцій відповідності «важливих» і «не важливих» параметрів показано на рисунку 3.3.

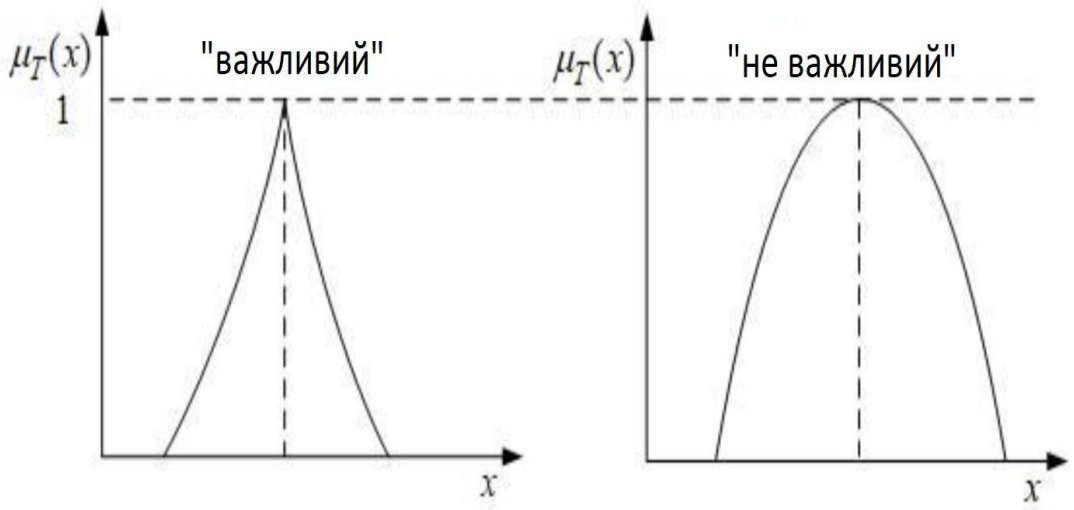


Рисунок 3.3 – Функції приналежності адекватні поняттям «важливий» параметр і «не важливий» параметр

Такі нелінійні функції можуть викликати утруднення при експертній побудові, з ними складніше виконувати різні обчислення. Тому пропонується

апроксимувати ці функції більш простими – лінійними, зберігши при цьому відмінності в інтерпретації.

Пропонується для «важливих» параметрів зберегти звичайну, стандартну трикутну форму функції приналежності, як показано на рисунку 3.4 а). Для «не важливих» параметрів функція приналежності ухвалює форму, представлену на рис. 3.4 б).

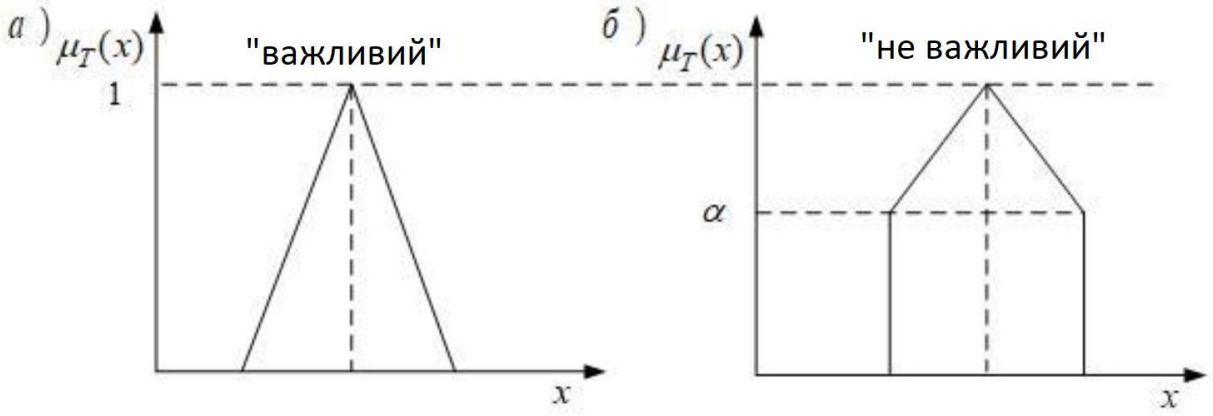


Рисунок 3.4 – Апроксимовані функції приналежності адекватні поняттям «важливий» параметр і «не важливий» параметр

Коефіцієнт налаштування D [0;1] визначає ступінь важливості цільового характеристичного параметра устаткування. При D 0 параметр попадає в клас «важливих». Відмітимо, що при D1 значення «не важливого» характеристичного параметра для повної локальної відповідності повинні тільки попадати в заданий інтервал. Не влучення означає повну локальну невідповідність і повна сукупна невідповідність. Такий підхід дозволяє меншою мірою враховувати вплив відхилень «не важливих» параметрів. Слід зазначити, що при заданому значенні D для визначення виразу функції приналежності досить трьох крапок, так само як і для звичайної трикутної функції приналежності.

Введений коефіцієнт D буде успішно працювати при правилах, що засноване на виборі мінімального значення приналежності. У цьому випадку сукупний ступінь відповідності може знижуватися менше $\min\{Di\}$, де D_i –

коефіцієнт при *i*-ому «не важливому параметрі» у складеному нечіткому висловленні, тільки за рахунок «важливих» параметрів.

Схема алгоритму обчислення локальних і агрегованих відповідностей типів альтернативного устаткування пропонованим нечітким вимогам показано на рисунку 3.5.

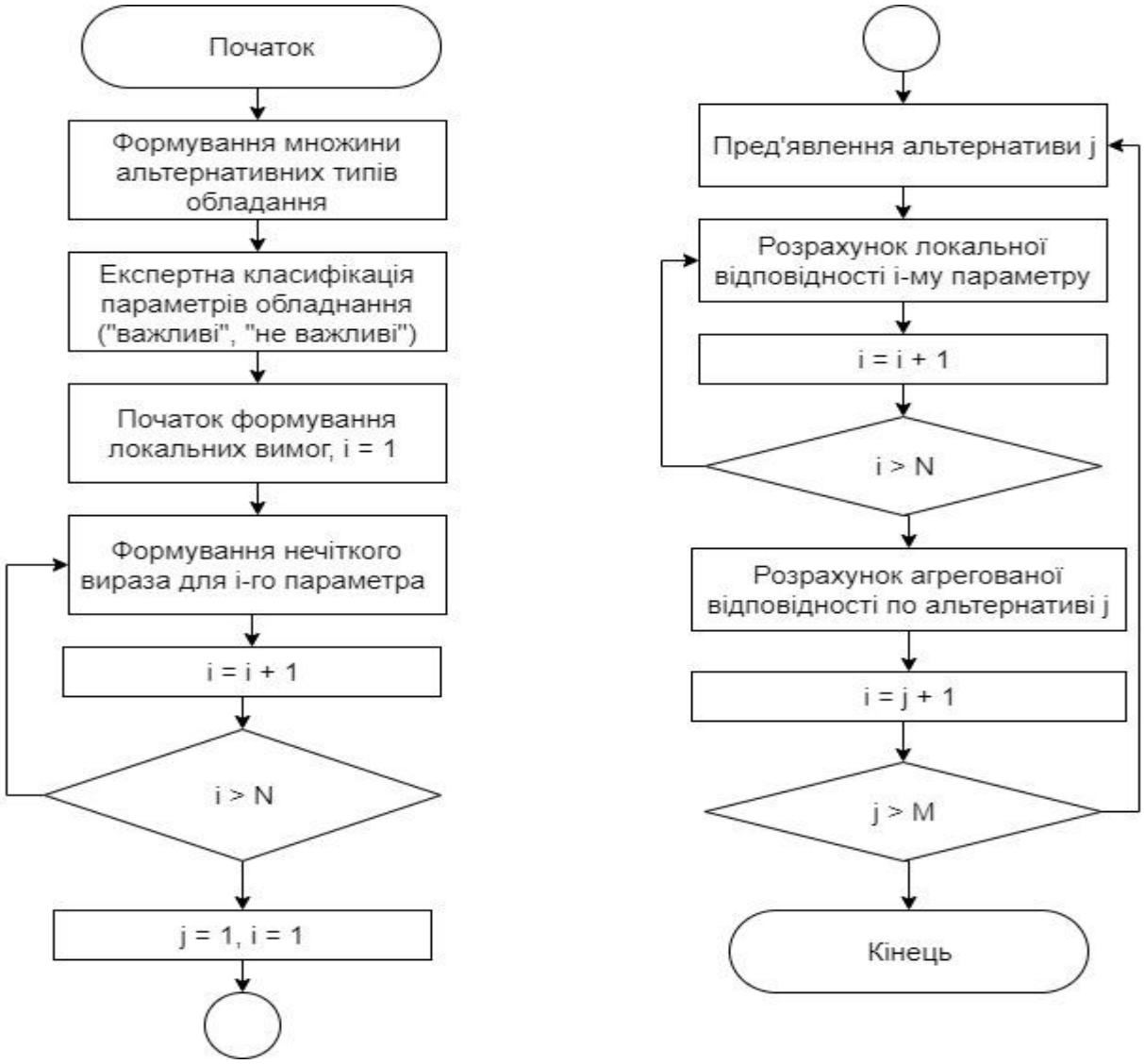


Рисунок 3.5 –Схема алгоритму обчислення локальних і агрегованих відповідностей альтернативних типів пропонованим вимогам

Розрахунок агрегованої відповідності буде проводиться за правилом, структурно ідентичному моделі Сугено [11]-[12], але з нелінійною функцією приналежності висновку.

4 ОПИС РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Приклад реалізації формалізації вимог

У рамках розробки моделі оцінювання проектів запропоновано, що об'єкти представляються у вигляді множини властивостей об'єктів *S*. Відзначено, що множина S є об'єднанням множин, що не перетинаються, *N* і *E* – відповідно множини чисельних і властивостей таких, що можна перелічити. Кожна властивість *Ei* , яку можна перелічити, може визначати значення з певної кінцевої множини значень. Кожна чисельна властивість *Ni* може ухвалювати значення, що лежать в області дійсних чисел, обмеженої мінімальним і максимальним межами Nimin Nimax, відповідно. Уведення такого розподілу дає можливість системі врахувати як кількісні (чисельні), так і якісні (такі, що можна перелічити) характеристики об'єкта [21].

Завдання, що розв'язуються інтелектуальною системою, діляться на два види: завдання кваліметрії (оцінки якості) і класифікації (розпізнавання образів). У процесі розв'язку завдання кваліметрії кожному оцінюваному об'єкту ставиться у відповідність число *I*, що є оцінкою даного об'єкта. У процесі розв'язку завдання класифікації кожному об'єкту ставиться у відповідність найменування класу, до якого ставиться даний об'єкт.

У рамках конкретного завдання оцінювання, до оцінюваних об'єктів пред'являються вимоги з множини T, а також встановлюються відповідності F між властивостями й вимогами. При цьому одна вимога може посилатися на кілька властивостей. Взагалі, зміст введення вимог, як інструмента, використовуваного для адекватної оцінки об'єкта, полягає в наступному: вимоги виражають мету суб'єкта оцінки при розв'язку конкретного оцінного завдання; властивості ж, будучи описом, представленням об'єкта оцінки, існують незалежно від розв'язуваного завдання. Конкретне значення властивості одержують лише з погляду системи вимог, пред'явленої суб'єктом оцінки.

Крім того, у завданні класифікації формується множина класів *C*. У завданні кваліметрії кожній вимозі з множини T ставиться у відповідність вага (значимість) цієї вимоги. У завданні класифікації кожній вимозі ставляться у відповідність n ваг, де *n* – кількість класів. У цьому випадку *Pij* – це вага (значимість) *i*-ї вимоги з множини *T* в j-му класі з множини C. А вся множина P називається множиною ваг (вагових коефіцієнтів). Крім того, у завданні кваліметрії для кожного елемента з множини *F* – відповідностей вимоги й залежних від нього властивостей завдається так званий дуговий ваговий коефіцієнт, значення якого визначає значимість конкретної властивості в рамках конкретної вимоги.

Наприклад, при оцінці комп'ютерів вимозі «швидкодія» відповідають властивості: «тип процесора», «тактова частота» і «тип системної шини». При цьому тип процесора, наприклад, вносить у швидкодію комп'ютера більший внесок, ніж тип системної шини. Відповідно дуговий коефіцієнт властивості «тип процесора» у рамках вимоги «швидкодія» буде більше, ніж коефіцієнт властивості «тип системної шини» у рамках тієї ж вимоги, через те, що тип процесора вносить більший вклад у швидкодію системи, ніж тип системної шини. При розв'язку завдання класифікації кожному елементу множини F ставляться у відповідність n коефіцієнтів, де n – кількість класів, що визначають значимість властивості в межах даної вимоги для даного класу з множини C. Отримана в такий спосіб множина D називається множиною дугових вагових коефіцієнтів [22].

Після формулювання множини вимог можна говорити про формування множини еталонів E. Еталон як ідеал може в дійсності не існувати, але для ухвалення рішення він повинен бути завданий. Причому, у рамках описуваної моделі еталон не ідентичний поняттю «еталон» у загальноприйнятому сенсі цього слова. Еталон з погляду моделі не тільки несе інформацію про ідеальне значення тієї або іншої властивості, але й про те, на скільки всі інші значення даної властивості «гарні» з погляду пред'явлених вимог до об'єкта оцінки. Елементом E_i множини *E* є функція *V=fi(Si)*. Ця функція виражає те, наскільки конкретне

значення властивості S_i задовольняє завданню (підвищує оцінку) [23]. Значення цієї функції лежать у межах нуля й одиниці. Якщо значення функції дорівнює одиниці, то значення властивості повністю задовольняє завданню й підвищує загальну оцінку об'єкта у відповідністю із вагою цієї властивості в рамках пов'язаних з ним вимог і вимог рівня моделі (тобто з урахуванням дугових коефіцієнтів і вагових коефіцієнтів). Навпаки, якщо значення функції дорівнює нулю, то дане значення не задовольняє даному завданню й властивість не вносить внеску в загальну оцінку об'єкта. Вочевидь, що дана функція безперервна, якщо властивість S_i чисельна й має n значень, якщо властивість S_i така, що можна перелічити (де n – кількість результатів i-ї властивості). Для підвищення ефективності оцінювання, в модель уводиться бінарний вектор критичності K. Якщо значення елемента вектора критичності K_{ij} дорівнює 1, то j-а властивість критична в i-ї вимозі. Це означає, що якщо значення j-ї властивості конкретного об'єкта має в рамках завдання міру виразності рівну 0, то об'єкт свідомо одержує найнижчу оцінку. Вектор критичності вносить у модель елемент логіки предикатів, оскільки дозволяє відітнути об'єкти, що свідомо не задовольняють умовам завдання.

Таким чином, у завданні кваліметрії оцінна модель являє собою кортеж:

$$M<S, T, P, D, E, F, K>, \quad (4.1)$$

а в завданні класифікації:

$$M<S, T, P, D, E, C, F, K>. \quad (4.2)$$

Вищеописаних даних достатньо для ухвалення рішення поставленого оцінного завдання (класифікації або кваліметрії). Причому в такій моделі існують можливості для досить точного аналізу ухваленого рішення й гнучкого настроювання системи. Безсумнівною перевагою моделі є її універсальність.

Дійсно, модель, сформульована таким чином, інваріантна до предметної галузі, переліку властивостей і іншим обмежуючим умовам.

Виходячи з вищевикладеного, завдання проектування інтелектуальної системи оцінки складних об'єктів може бути сформульована в такий спосіб. Необхідно сформувати структури даних, що зберігають інформацію про складові частини моделі (множини S, *T, P, D, E, C* і їх складові). Структури даних повинні бути як внутрішніми (придатними для використання іншими програмними модулями інтелектуальної системи) так і зовнішніми (придатними для зберігання на зовнішніх носіях). Крім того, необхідно розробити механізми формування й модифікації зазначених структур даних для настроювання системи на розв'язок конкретного оцінного завдання, а також механізми, що забезпечують одержання інформації іншими програмними модулями (наприклад, модулями оцінки й ухвалення рішення). Механізми керування даними повинні бути представлені у вигляді програмних модулів (підпрограм, класів, ресурсів), що реалізують структури даних і алгоритми їх обробки, а також інтерфейс цих структур (як програмний, так і користувацький). Програмна реалізація повинна бути виконана мовою програмування C++ і орієнтована на операційну систему Microsoft Windows [24].

4.2 Проектування програмної системи

Приступаючи до проектування, слід враховувати особливості організації програм для операційного середовища Windows. Насамперед, це організація керування програмою, багатовіконний і, як продовження, багатодокументний користувацький і програмний інтерфейс. Крім того, доводиться орієнтуватися на існуючі засоби розробки прикладних програм для цієї операційної системи.

Обраний інструментарій для роботи з базами даних також має значення для проектування.

Проектування інтелектуальної системи підтримки менеджерів компанії починається зі складання її структурної моделі. У цій моделі програмна система представляється у вигляді сукупності окремі блоків із вказівкою взаємозв'язків між ними. При виділенні структурних компонентів програми, керуються наступними вимогами до елементів: відносна самостійність, істотність для процесу в цілому, стійке розрізнення [25]. Структурна модель інтелектуальної системи оцінки складних об'єктів представлена на рисунку 4.1.

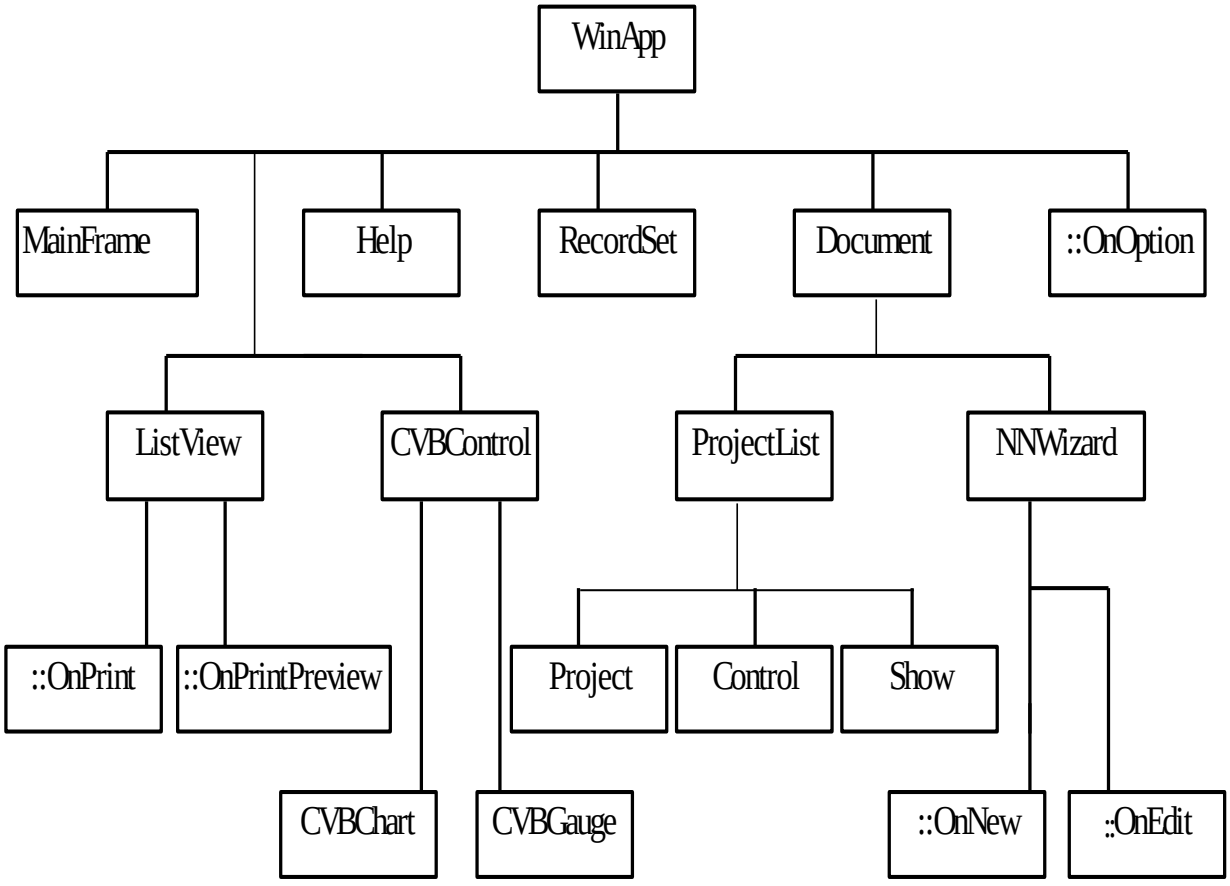


Рисунок 4.1 – Структурна модель програми

Оскільки програмна реалізація інтелектуальної системи призначена для функціонування під керуванням операційної системи Microsoft Windows, до складу структурної моделі ввійшли деякі її модулі. На верхньому рівні представлений об'єкт програми для керуванням операційної системи Microsoft

Windows (Winapp) у цілому, а на наступних – його структурні складові відповідно до обраної ознаки структуризації. Зв'язки між структурними складовими сусідніх рівнів зображують у вигляді дуг графа .

Представляється доцільним об'єднати множини T, D, P, K і множину відповідностей F в одну структуру даних, оскільки ці множини логічно зв'язані між собою (існування множин P і D випливає зі змісту й формулювання множини T). Крім того, об'єднання цих множин надасть можливість сполучити параметри P і F (якщо відсутня відповідність між i-ю вимогою й j-ю властивістю, то вага P_{ij} = 0).

Для того щоб зв'язати всі ці файли разом, необхідна структура даних, що зберігає інформацію про самий проект у цілому (про тип розв'язуваного завдання, про імена файлів і т.д.) [25].

Тому логічні структури повинні сполучати переваги структур з послідовним доступом і структур з випадковим доступом. Причому, дані структури повинні зберігати інформацію, що записана у файлах-компонентах системи й надавати її на вимогу інших програмних модулів. Для структуризації опису доцільно поділити реалізовані функції на рівні. При цьому функції першого рівня викликаються безпосередньо при обробці того або іншого повідомлення головного вікна програмного додатка. Функції другого рівня викликаються функціями першого рівня і т.д. [25].

Опис основних алгоритмів керування даними. Після формулювання уявлення інформації у вигляді структур фізичних даних можна перейти до проектування алгоритмів керування цими структурами. Спочатку сформулюємо: які дії повинна дозволяти робити система з погляду користувача по настроюванню на розв'язок конкретного оцінного завдання. Система повинна дозволяти:

- створювати опис конкретного оцінного завдання і усіх її компонентів;
- настроюватися на розв'язок раніше сформульованого завдання;
- видаляти інформацію про завдання, якщо в ній відпала необхідність;

– модифікувати усі складові частини проекту, що несуть інформацію про компоненти оцінної моделі, тобто модифікувати уявлення множин S, T, P, E, D, C, K і відповідностей F;

– здійснювати збереження зроблених змін з наданням можливості користувачеві продублювати інформацію.

З погляду програмного інтерфейсу, проектовані алгоритми повинні:

– надавати інформацію про всі компоненти моделі іншим програмним модулям системи;

– зберігати в пам'яті інформацію про імена файлів-компонентів проекту для можливості їх запису на диск або читання з диска;

– зберігати й дозволяти динамічно (з інших підсистем) змінювати інформацію про стан проекту.

Таким чином, система повинна постійно контролювати коректність сформованих компонентів моделі й залежно від цього дозволяти або не дозволяти робити ті або інші дії. Наприклад, не можна дозволяти робити оцінювання, доки не сформовані еталони й не можна дозволяти формувати еталони, доки не сформовані множини вимог і вагових коефіцієнтів.

Підсистеми фактично є автоматизованими робочими місцями різних категорій користувачів. Так адміністратор системи повинен користуватися підсистемою настроювання й адаптації, підсистемою керування мережею проектів і підсистемою керування БД. Експерти-фахівці в предметній галузі повинні користуватися підсистемами навчання й, можливо, підсистемами настроювання й адаптації, а також підсистемами керування БД. Особа, що ухвалює рішення (керівник), як правило, користується тільки підсистемою прийняття й аналізу розв'язків. Рядові оператори забезпечують внесення вихідних даних у базу і є основними користувачами підсистеми керування базою даних. На даній підставі пропонується реалізувати проектовану інтелектуальну систему у вигляді п'яти автоматизованих робочих місць:

4.3 Інтерфейс користувача інтелектуальної системи

Для створення проекту користувач повинен вибрати пункт меню "Проект | Створити..." ("Project | Create..."). Після чого майстер створення проекту проведе його по всіх етапах створення нового проекту. Створення проекту може бути перерване на кожному із цих етапів. Однак проект створюється тільки в тому випадку, якщо користувач коректно виконав усі етапи. Після створення проекту користувачеві буде запропоновано сформувати вимоги й провести навчання системи. Визначення параметрів проекту відбувається в діалоговому вікні, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 4.2.

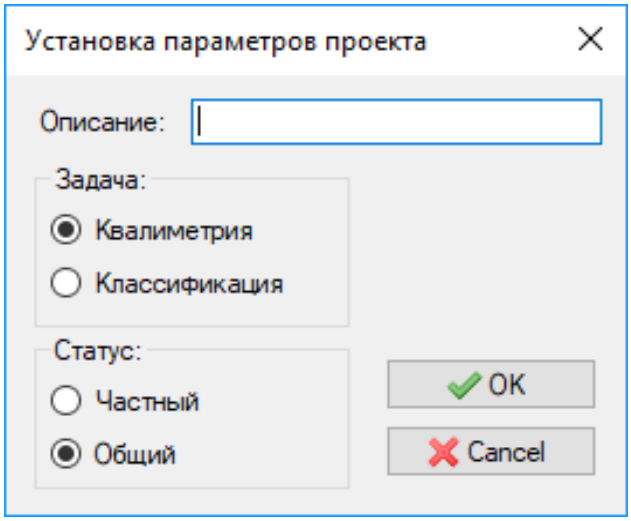


Рисунок 4.2 – Вікно вибору параметрів проекту

Для вибору параметрів створюваного проекту користувач повинен виконати таку послідовність дій:

– у рядку введення опису проекту ввести коротке найменування проекту;
– вибрати тип завдання, яке буде вирішувати створюваний проект;
– вибрати спосіб доступу до використовуваної бази даних;
– натиснути кнопку "OK".

Уведення пароля здійснюється у вікні, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 4.3.

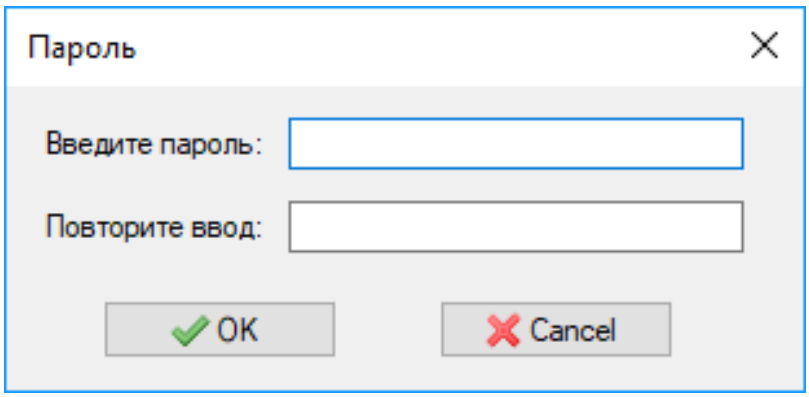


Рисунок 4.3 – Вікно введення пароля

Після вибору параметрів створюваного проекту користувачеві буде запропоновано у стандартному діалозі відкриття файлу, система запитає ім'я файлу з описом переліку властивостей. У ньому користувач повинен вибрати наявний файл із описом переліку властивостей об'єктів або ввести ім'я нового файлу.

Визначення множини властивостей об'єктів проводиться в діалоговому вікні, зовнішній вигляд якого показаний на рисунку 4.4.

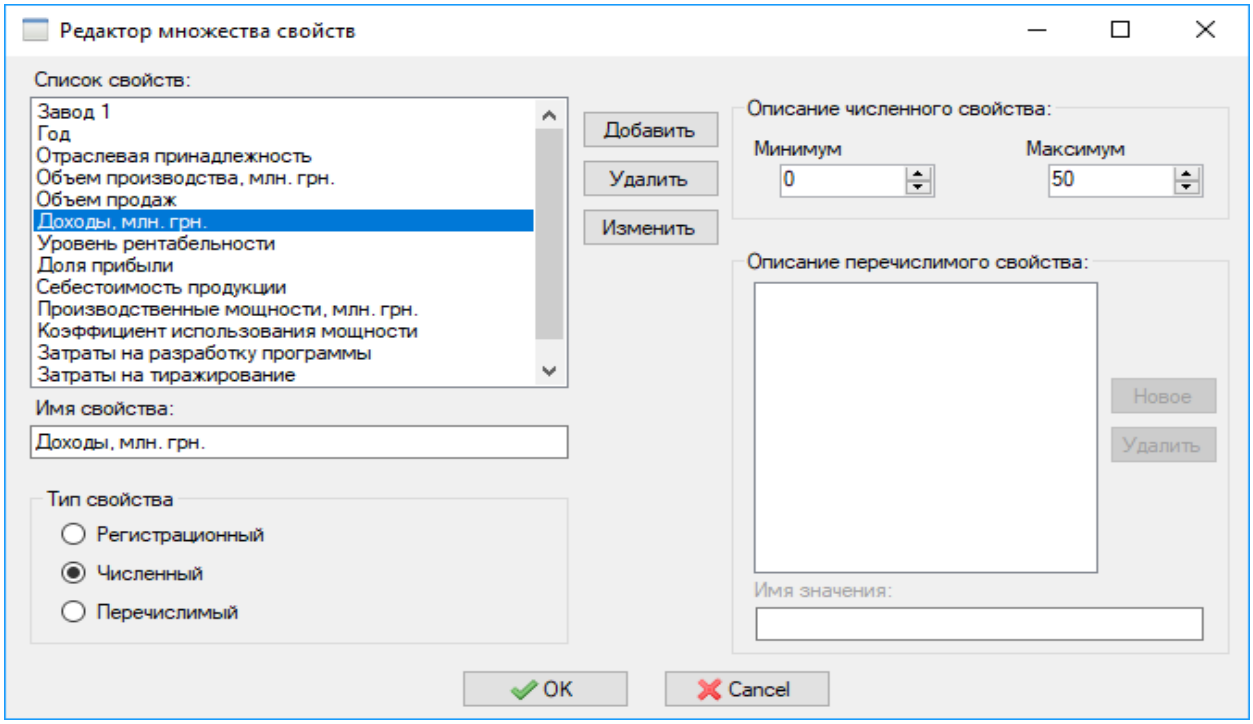


Рисунок 4.4 – Вікно редактора властивостей

Редактор властивостей призначений для опису й модифікації множини властивостей, що описують об'єкт у даному оцінному завданні. Вікно редактора складається із трьох панелей:

– панель опису переліку властивостей. На цій панелі відображається інформація про перелік властивостей: список властивостей, ім'я й тип виділеної властивості;

– панель опису властивостей чисельного типу. У цій панелі відображається інформація про виділену властивість чисельного типу;

– панель опису властивостей перелічуваного типу. У ній відображається інформація про виділену властивість перелічуваного типу.

Залежно від стану властивості її ім'я може бути відображене в полі "Список властивостей" ("Characteristic list") одним з таких кольорів:

– синім – якщо властивість була модифікована в поточному сеансі редагування;

– чорним – якщо властивість не модифікувалася в поточному сеансі редагування;

– червоним – якщо властивість була вилучена в поточному сеансі редагування.

Панель опису властивостей чисельного типу містить два рядки введення "Мінімум" ("Min") і "Максимум" ("Max") для завдання мінімального й максимального значення чисельної властивості, відповідно. Панель доступна, якщо поточна властивість має чисельний тип.

Панель опису властивостей перелічуваного типу, яка доступна тільки в момент редагування відповідних властивостей, містить такі елементи керування:

– список імен значень виділеної властивості;

– ім'я значення, що вводиться, "Ім'я значення" ("Value name");

– кнопка додавання значення "Нове" ("New");

– кнопка видалення значення "Видалити" ("Delete").

Для додавання реєстраційної властивості необхідно:

– у списку імен властивостей вибрати властивість, перед якою необхідно вставити реєстраційну властивість, що додається;

– ввести ім'я властивості в рядку введення імені властивості;

– вибрати тип властивості "Реєстраційна" ("Registrational");

– натиснути кнопку "Додати" ("Add").

Формування переліку класів можливе тільки при розв'язані завдання класифікації. Для цієї мети призначений редактор класів, зовнішній вигляд якого наведений на рисунку 4.5.

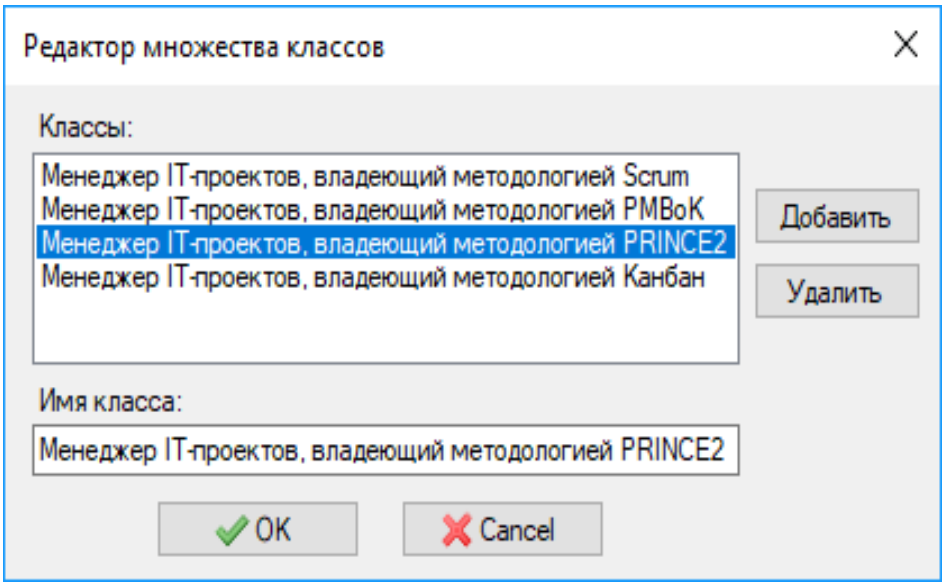


Рисунок 4.5 – Вікно редактора класів

Опис шаблону вимог до об'єктів здійснюється за допомогою діалогового вікна, зовнішній вигляд якого показаний на рисунку 4.6.

Вікно редактора вимог складається із трьох панелей:

– панель переліку вимог;

– панель опису характеристик вимоги по класах;

– панель опису відповідностей.

Для додавання нової вимоги необхідно:

– вибрати вимогу, перед якою треба додати нову;

– ввести ім'я вимоги в поле введення імені;

– якщо ім'я вимоги унікальне, то при переході з поля введення імені або при натисканні кнопки "Додати" ("Add"), вимога автоматично додасться в список. Інакше здійсниться перехід до редагування вимоги, ім'я якої було введено.

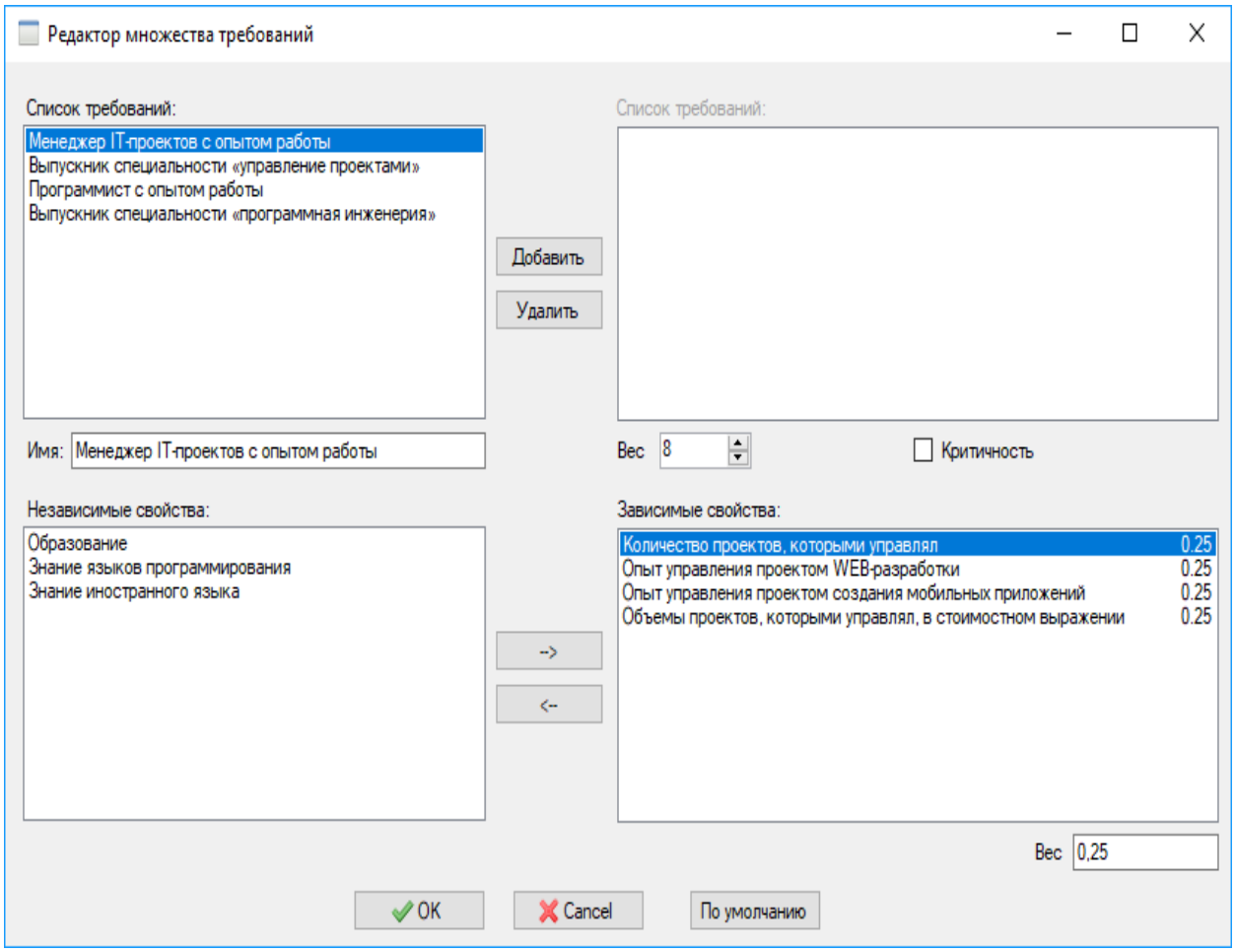


Рисунок 4.6 – Вікно редактора вимог

Після додавання вимоги слід установити відповідності нової вимоги й властивостей, її вагу й критичність відповідно до наведених нижче інструкцій.

Слід зазначити, що всі зміни в описі вимог зберігаються автоматично при завершенні редагування вимоги. Завершення редагування відбувається при виборі для редагування іншої вимоги зі списку.

Для збереження шаблону вимог необхідно у вікні редактора натиснути кнопку "OK". Для виходу без збереження змін, зроблених в останньому сеансі роботи, необхідно натиснути кнопку "Скасувати" ("`Cancel`").

5 ОПИС МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

На першому етапі необхідно всі вхідні параметри задати у вигляді нечітких множин другого порядку, які представлено на рисунках 5.1 і 5.2.

1		1 альтернатива	2 алтернатива	3 алтернатива
2	Начальные инвестиции	142500	142500	184030
3	Затраты на внедрение	194375	272500	232500
4	Время на внедрение	0,3	0,5	0,6
5	Планируемый срок окупаемости	0,5	0,7	0,9
6	Ставка дисконтирования	0,17	0,17	0,17
7	Ставка инфляции	0,06	0,06	0,06
8	Объем чистой прибыли	2000000	2000000	2000000

Рисунок 5.1 –. Чисельне подання вхідних параметрів

На другому етапі був проведений розрахунок нечітких значень показників економічної ефективності за допомогою формул з Таблиці 2 (дисертаційна робота) і відповідних операцій на НМ2.

На третьому етапі здійснимо оцінку ризику, для цього задаємо оцінку можливого прояву кожного ризику, а також питома вага в групі (1 – підготовка, 2 - реалізація) і питома вага по всій сукупності ризиків у вигляді інтервальних нечітких множин другого порядку (рисунок 5.3).

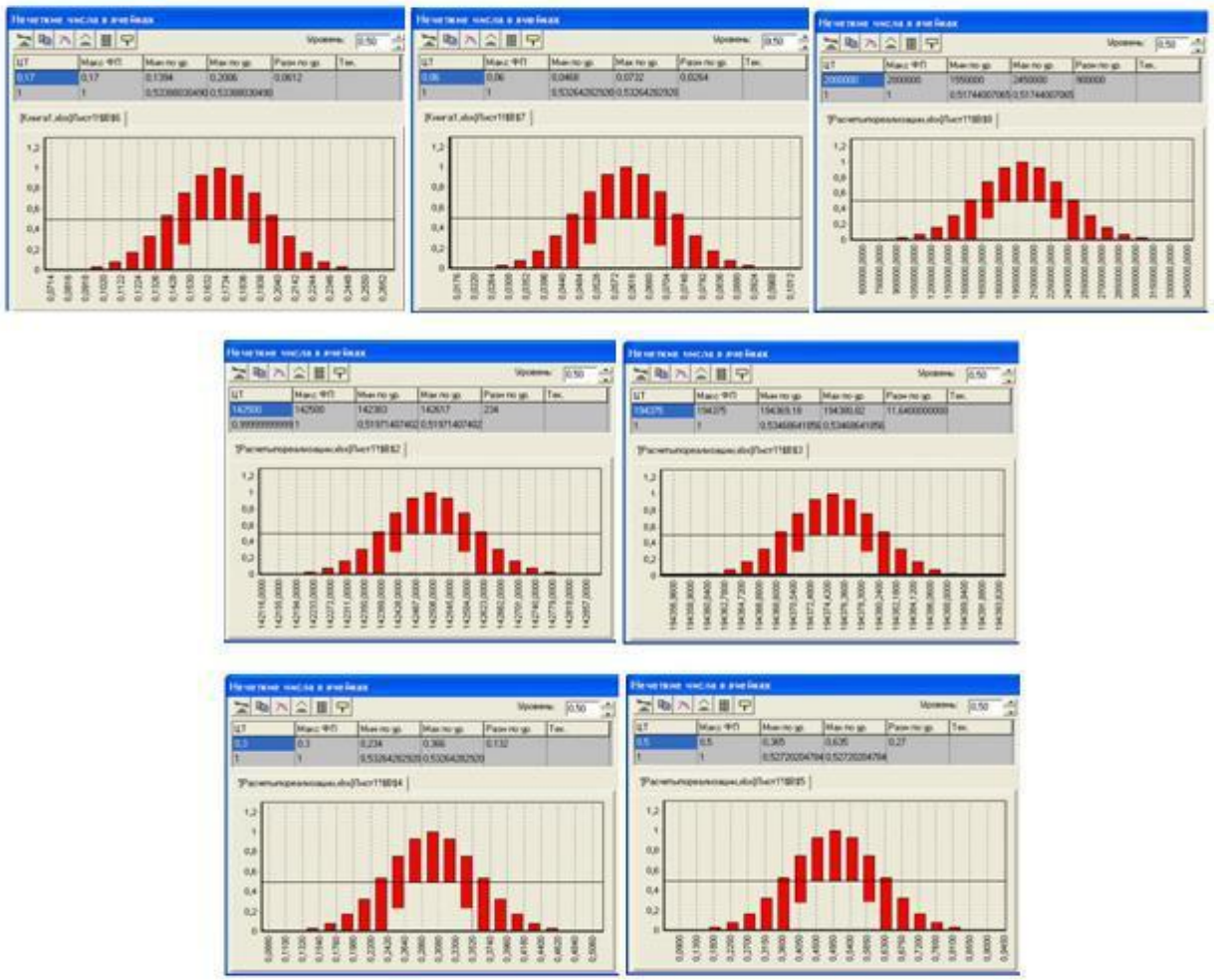
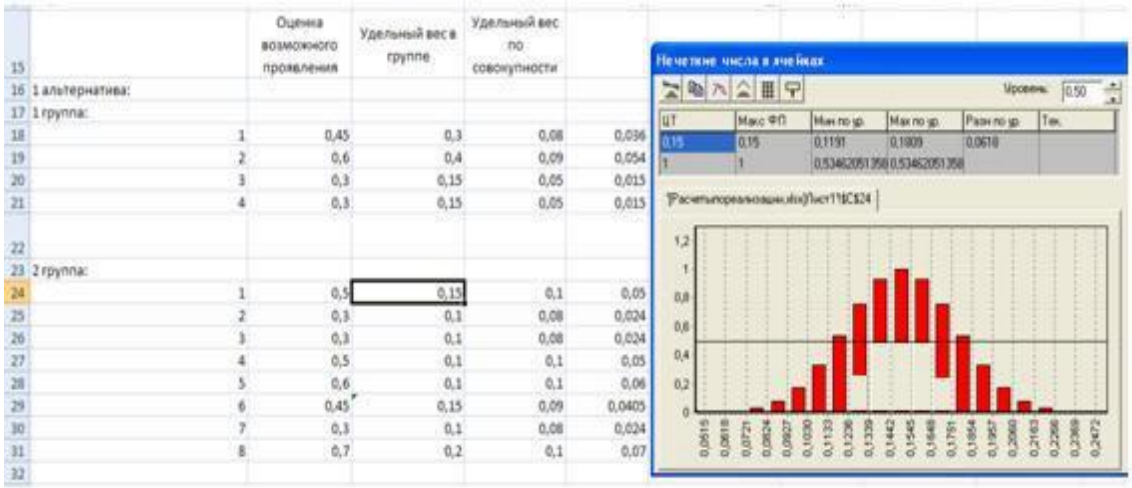


Рисунок 5.2 – Подання вхідних параметрів, що завдане у вигляді функцій приналежності НМ2



		Оценка возможного проявления	Удельный вес в группе	Удельный вес по совокупности	
1 альтернатива:					
1 группа:					
	1	0,45	0,3	0,08	0,036
	2	0,6	0,4	0,09	0,054
	3	0,3	0,15	0,05	0,015
	4	0,3	0,15	0,05	0,015
2 группа:					
	1	0,5	0,15	0,1	0,05
	2	0,3	0,1	0,08	0,024
	3	0,3	0,1	0,08	0,024
	4	0,5	0,1	0,1	0,05
	5	0,6	0,1	0,1	0,06
	6	0,45	0,15	0,09	0,0405
	7	0,3	0,1	0,08	0,024
	8	0,7	0,2	0,1	0,07

Рисунок 5.3 – Експертні оцінки ризику по проекту у вигляді НМ2

Далі проводиться згортка оцінок ризику по групах і розраховано агрегіровану оцінку ризику по проекту в цілому на основі λ-суми, результати якої представлено на рисунку 5.4.

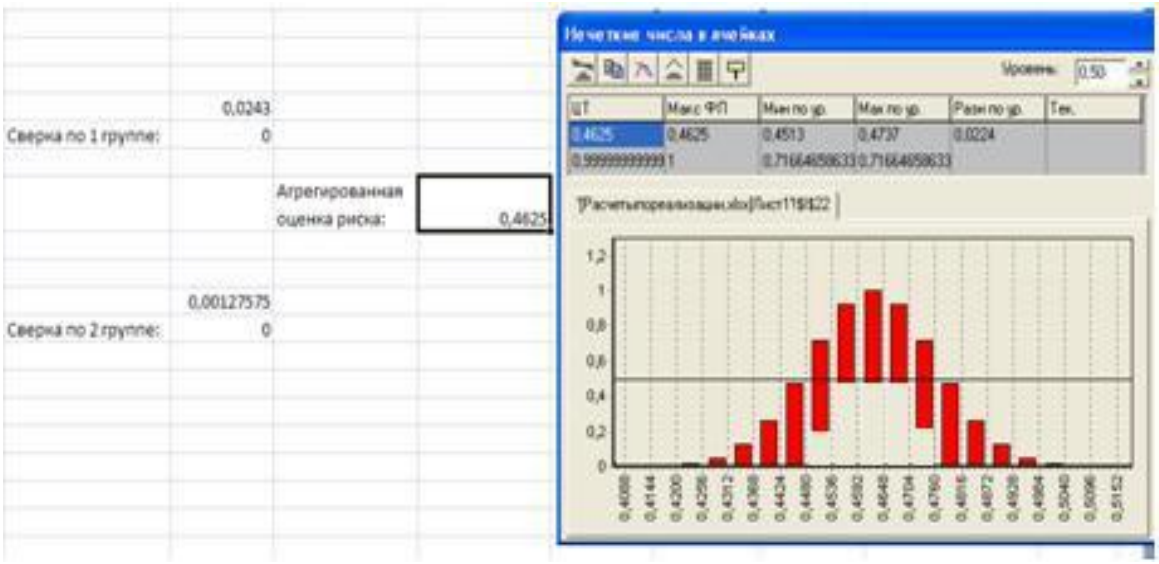


Рисунок 5.4 – Агрегірована оцінка ризику по першій альтернативі

На першому етапі необхідно всі вхідні параметри задати у вигляді нечітких множин другого порядку, які представлено на рисунку 5.5.

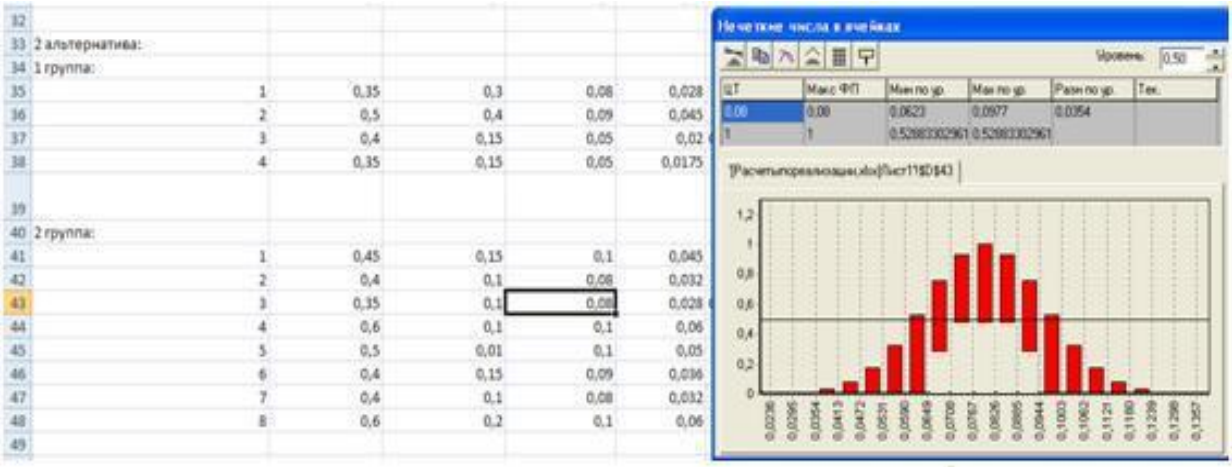


Рисунок 5.5 – Експертні оцінки ризику по проекту у вигляді ІНМ2

Далі проводиться згортка оцінок ризику по групах і розраховуємо агрегіровану оцінку ризику по проекту в цілому на основі λ-суми, результати якої представлено на рисунку 5.6.

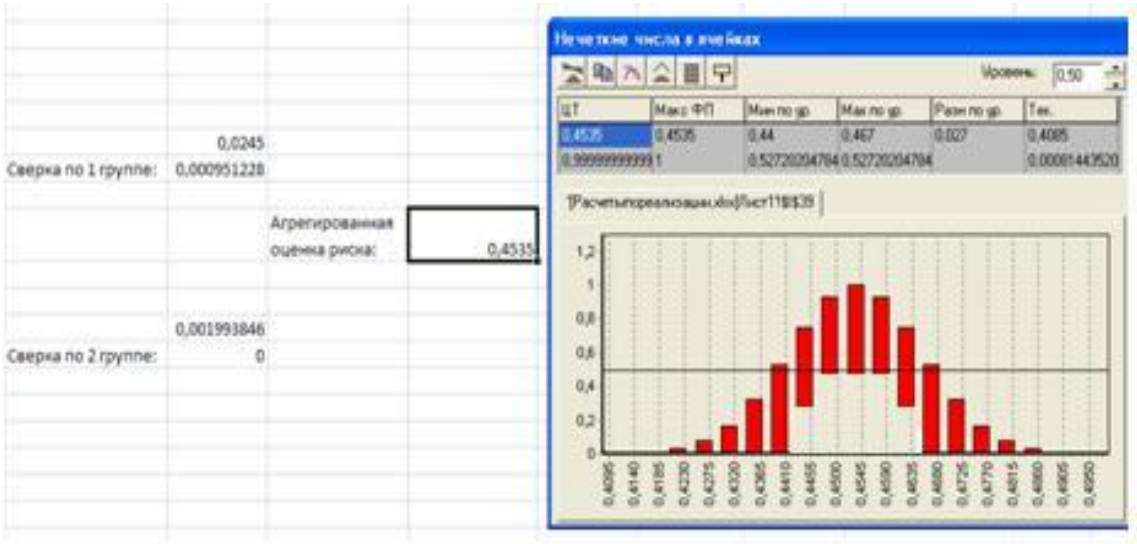


Рисунок 5.6 – Агрегірована оцінка ризику по другій альтернативі

На другому етапі був проведений розрахунок нечітких значень показників ефективності за допомогою відповідних операцій на НМ2, результати якого наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. – Нечіткі значення показників ефективності

1.	Індекс рентабельності	5,33		0,2
2.	Строк окупності	0,23		0,3
3.	Повернення інвестицій	10,11		0,1

На третьому етапі здійснено оцінку ризику, для цього задаємо оцінку можливого прояву кожного ризику, а також питома вага в групі (1 – підготовка, 2 – реалізація) і питома вага по всій сукупності ризиків, у вигляді інтервальних нечітких множин другого порядку (рисунок 5.7).

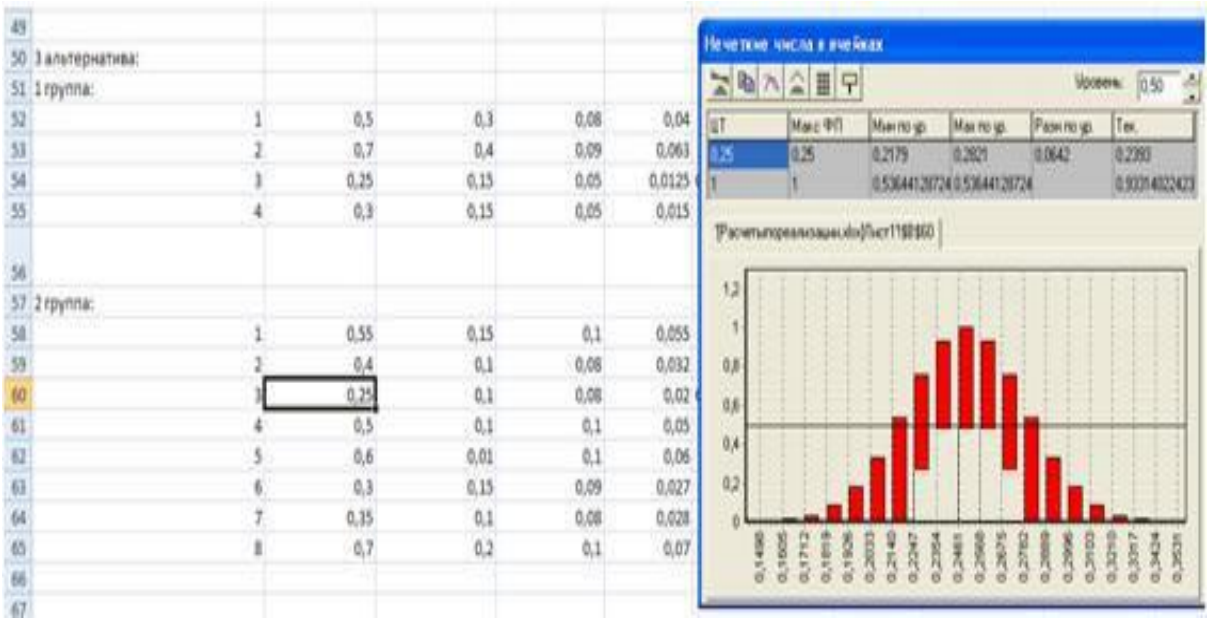


Рисунок 5.7 – Експертні оцінки ризику по проекту у вигляді ІНМ2

Створена модель узгодження експертних оцінок альтернатив проекту впровадження за критеріями з урахуванням можливостей, які дає теорія нечітких множин .

На основі множин першого порядку розроблена модель оцінки за критеріями, що безпосередньо задаються експертами.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження показали, що ефективність виробничої технічної системи може бути підвищена за рахунок більш обґрунтованого вибору устаткування по технічних і комерційних вимогах. Такий вибір забезпечується СППР на основі побудови математичних моделей і алгоритмів порівняльного аналізу альтернативних типів устаткування й оптимізації процедур вибору.

Обґрунтована можливість використання нечітких логічних виразів і операцій нечіткої логіки для формалізованого опису експертних вимог до вибору устаткування виробничих технічних систем, що забезпечило одержання чисельних оцінок локальних відповідностей параметрів альтернативних типів устаткування заданим вимогам.

Розроблена методика математичної формалізації нечітких вимог до вибору устаткування у формі сукупності нечітких логічних виразів про цільові параметри устаткування з наступною агрегацією локальних відповідностей у кон’юнктивний складений вираз, що дозволяє проводити аналіз альтернативних типів устаткування на відповідність вимогам.

Запропонований алгоритм розрахунку агрегованої по параметрах відповідності типів альтернативного устаткування, заснований на обчисленні значень модифікованих трикутних функцій приналежності, що запобігає невиправдане заниження оцінок відповідності устаткування вимогам.

Розроблена модель модифікованого багатоцільового транспортного завдання для вибору устаткування з максимальною відповідністю технічним і комерційним вимогам, яка на відміну від класичної моделі забезпечує одночасно оптимальний розподіл закупівель устаткування по постачальниках і розподіл устаткування по виробничих структурах.

Проведена чисельна апробація розроблених моделей і алгоритмів, яка показала їхня працездатність і можливість значного підвищення ефективності функціонування виробничих технічних систем. Застосування методів і алгоритмів

вибору устаткування технічних систем з використанням нечітких технічних і комерційних цільових характеристик в інформаційно-керуючій системі.

Розроблена модель оцінки за критеріями, що характеризують ризики альтернатив проекту впровадження устаткування з урахуванням питомих ваг кожного ризику по проекту, як у групі (ризики на стадії планування й ризики на стадії реалізації), так і по всій сукупності проектних ризиків, де проявляється синергетичний ефект як додатковий фактор невизначеності із застосуванням нечітких множин, що дає більш адекватну агреговану оцінку ризиків проекту.

Запропонована процедура структурування альтернатив, заснована на адаптованому під нечіткі множини моделі, що суттєво розширює його можливості й дозволяє одержати підсумкову оцінку кожної альтернативи з обліком як показників економічної ефективності, так і ризику по проекту, завдяки чому керівництво може прийняти обґрунтоване рішення про впровадженні конкретного проекту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Абламская Л.В., Бабешко Л.О. Основы финансового анализа рынка ценных бумаг. - М.: ФА. Центр дистанционного обучения, 1998. -234 с.

2. Алексахин СВ., Балдин А.В., Криницин В.В. и др. Прикладной статистический анализ данных. Теория, Компьютерная обработка. Области применения / Под ред. Криницина В.В. -М.: «Изд-во ПРИОР», 2008. - 352 с.

3. Аллен Р. Математическая статистика. - М.: ИЛ, 2008.

4. Бабешко Л.О. Коллокационные модели прогнозирования в финансовой сфере. - М.: Экзамен, 2001. - 129с.

5. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Книга 2. - М.: Финансы и статистика, 1987.-296с

6. Бабешко Л.О. Краткий обзор стохастических моделей прогноза характеристик фондового рынка. - Сборник: Актуальные проблемы математического моделирования в финансово-экономической области, 2015. -278 с.

7. Бабешко Л.О. Параметрическая модель среднеквадратичной коллокации и равновесные модели формирования доходности финансовых активов. Сборник наз^ных трудов: Информационный бизнес в России. Вьш.2. Часть 1. -Изд. ТГТУ, Тамбов, 1999.-123с.

8. Бабешко Л.О. Применение коллокации при прогнозировании количественных характеристик основных финансовых инструментов фондового рынка. - М.: ФА, Вестник Финансовой Академии, 2000, №2, стр.77-86.

9. Бендат Дж. Основы теории случайных шумов и ее применения. - М.: Наука, 2005.-364С.

10. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных. - М.: Наука, 2009.-234с.

12. Бендат Дж., Пирсон А. Измерение и анализ случайных процессов, - М.: Наука, 1974.-5 87с.

13. Бокс Дж,, Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Выпуск 1.-М.: Мир, 1974.-369с.

14. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. - М.: Наука, 1983-416с.

15. Боровиков В.П. Популярное введение в программу STATISTICA. - М.: КомпьютерПресс, 1998.-289с.

16. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М.: Информационно-издательский домФилинъ, 1998.-456С.

17. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. - М.: Финансы и статистика, 1999.-302с.

18. Браун Дж., Крицмен М.П. Количественные методы финансового анализа.-М.: Инфра-М, 1996.-201с.

19. Бусленко Н.П,, Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. - М.: Сов. радио, 1975.-531с.

20. Бывшев В.А., Бабешко Л.О, Алгоритм прогнозирования финансовых индексов в рамках стационарной модели Колмогорова-Винера. - М.: Статистика, 2002.-406с.

21. Бывшев В.А., Бабешко Л.О., Арсеньева Л.В. Алгоритм оценивания основных инвестиционных характеристик финансовых активов при помощи оптимальной статистической процедуры Эйткена. Управление риском. -М. : Экзамен, 2011.-89с

21. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) [Text]. - 5th ed. - Project Management Institute, 2013. - 616 p.

22. Ивашко В.Г., Фін В.К. Експертні системи й деякі проблеми їх інтелектуалізації //Семіотика й інформатика. - 1986. - Вып.27. - С.25-61.

23. Кук М.Н., Макдональд Дж. Формальна методологія набуття й представлення експертних знань. ТИИЭР. - Т.74, N 10. - 1986. С.145-155.

24. Представление и использование знаний / Під ред. Х. Уэно, М.Исидзука.- М.: Мир,1989. 220 с.

25. Cohen M.A., Grossberg S. Absolute stability of global pattern formation and parallel memory storage by competitive neural networks//IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. 2017. V. 13. N 5. P. 815 – 826.

26. Shostak I., Kapitan R,. Volobuyeva L., and Danova M., Ontological Approach to the Construction of Multi-Agent Systems for the Maintenance Supporting Processes of Production Equipment. In Proc. : IEEE International Scientific and Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICS&T-2018). Ukraine, Kharkiv, October 9-12, 2018. P. 209 – 214

27. Хоггер К. Введення в логічне програмування. - М. Мир, 1988. - 348с.