

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра комп'ютерних наук

## **Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему:

### **Інформаційна технологія визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття**

Виконав: студент 2 курсу, групи 1КН-18м  
Спеціальності 122  
«Комп'ютерні науки»

Поліщук Б.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. Сілагін О. В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. каф. ПЗ Войтко В.В.  
(прізвище та ініціали)

Вінниця - 2019 року

## АНОТАЦІЯ

В магістерській кваліфікаційній роботі “Інформаційна технологія визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття” досліджується можливість застосування апарату нечіткої логіки до задачі визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття на основі експериментальних даних. Використання експертно-лінгвістичних закономірностей, що формалізуються засобами нечіткої логіки, дозволяє усунути суб’єктивну складову при визначенні коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття в умовах невеликих експериментальних виборок. Результати роботи можуть бути використані для широкого кола задач пов’язаних з визначенням коефіцієнта зчеплення автомобіля з дорогою.

Для розробки модуля використанні програмні середовища: Visual Studio та FUZZY EXPERIENCE.

## **ABSTRAKT**

The master's qualification work "Information technology of determining the coefficient of adhesion of the car and the road surface" explores the possibility of applying the apparatus of fuzzy logic to the task of determining the coefficient of adhesion of the car and the road surface on the basis of experimental data. The use of expert-linguistic regularities formalized by means of fuzzy logic allows to eliminate the subjective component in determining the coefficient of adhesion of the car and the road surface in the conditions of small experimental samples. The results of the work can be used for a wide range of tasks related to determining the coefficient of adhesion of the car to the road.

To develop the module use the following software environments: Visual Studio and FUZZY EXPERIENCE.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1. ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ	
ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА	
ЗЧЕПЛЕННЯ .....	
	12
1.1 Коефіцієнт зчеплення шин з дорогою і фактори, що впливають	
на нього .....	12
1.2 Аналіз та вибір методології визначення коефіцієнта зчеплення .....	13
1.3 Аналіз відомих рішень для задачі визначення коефіцієнта зчеплення... ..	16
1.4 Формулювання вимог до роботи удосконаленої технології .....	21
1.5 Висновок .....	23
2. РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ АВТОМОБІЛЯ ТА	
ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ .....	
	25
2.1 Обґрунтування вибору методології моделювання роботи	
інформаційної технології .....	25
2.1.1 Нечітка логіка.....	26
2.1.2 Нейронні мережі.....	32
2.1.3 Генетичні алгоритми.....	35
2.2 Розробка моделі роботи інформаційної технології визначення	
коефіцієнта зчеплення апаратом нечіткої логіки.....	41
2.2.1 Входи і виходи об'єкта .....	41
2.2.2 Лінгвістичні змінні.....	42
2.3 Розробка нечіткої бази знань .....	48
2.4 Функції належності .....	55
2.5 Налаштування моделі .....	57
2.6 Висновок .....	63
3. ПРОЕКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ .....	
	64

3.1 Обґрунтування застосування ООП та UML в інформаційній технології визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття .....	64
3.2 Декомпозиція інформаційної технології та розробка структури .....	67
3.3 Розробка діаграми класів .....	70
3.4 Розробка алгоритма логічного виведення результату .....	71
3.5 Реалізація програмного модуля .....	74
3.6 Тестування та аналіз результатів .....	77
3.7 Висновок .....	77
4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	79
4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	79
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи та конструкторсько–технологічної роботи .....	80
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	84
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності	86
4.5 Висновок .....	90
ВИСНОВКИ.....	91
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93
ДОДАТОК А.....	96
ДОДАТОК Б .....	102
ДОДАТОК В.....	114
ДОДАТОК Г .....	122

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Швидке зростання автомобільного парку нашої країни і недостатня кількість заходів, що вживаються щодо підвищення пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі міст, веде до збільшення дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Найбільш часто зустрічається параметр, який необхідно визначити експерту-автотехніку при встановленні причинно-наслідкового зв'язку ДТП, - початкова швидкість автомобіля до початку гальмування. Основним фактором, що впливає на визначення початкової швидкості автомобіля по слідах гальмування, є коефіцієнт зчеплення, що залежить від погодних умов, стану автомобільних шин, якості матеріалу покриття та умов експлуатації автомобільної дороги. Оскільки від результату визначення коефіцієнту зчеплення і відповідно початкової швидкості залежить міра вини та доля людини – учасника ДТП, дуже важливо, щоб процес визначення коефіцієнта зчеплення був об'єктивним та безпомилковим. Тому розробка інтелектуальної технології визначення коефіцієнта зчеплення є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська робота виконана відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету 22 К1 «Моделі, методи, технології та пристрої інтелектуальних інформаційних систем управління, економіки, навчання та комунікацій» та плану наукової та навчально-методичної роботи кафедри. Ця робота виконується також в рамках співробітництва між кафедрою КН ВНТУ та ТОВ «ІТІ», а результати плануються до впровадження на ТОВ «ІТІ»

**Мета та завдання дослідження.** Мета дослідження – збільшення достовірності визначення коефіцієнта зчеплення колеса та дорожнього покриття за рахунок підвищення адекватності математичної моделі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати доцільність створення інформаційної технології визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття;
- проаналізувати існуючі технології, методи і моделі визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля з дорогою та вибрати найбільш ефективні;
- сформулювати вимоги до роботи технології та розробити ТЗ;
- доопрацювати існуючу технологію визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття з врахуванням кута нахилу дорожнього полотна;
- провести математичне моделювання роботи етапів нової технології з використанням апарату нечіткої логіки;
- провести фазифікацію розроблених моделей;
- розробити та наповнити базу знань у вигляді матриць з правилами ЯКЦО-ТО;
- на основі розробленої технології виконати проектування модуля визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття;
- реалізувати та налаштувати роботу модуля визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття;
- протестувати роботу налаштованого модуля;
- виконати задачі економічного розділу.

**Об’єкт дослідження** – це процес визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття.

**Предмет дослідження** – інформаційні технології, математичні моделі, алгоритми та програмні засоби для визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття.

**Як методи дослідження** в роботі застосовано теорію нечітких множин (нечіткі рівняння, нечітка логіка), продукційна база знань, нечітке логічне виведення.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- удосконалено інформаційну технологію визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття, яка відрізняється від існуючої тим, що при створенні бази знань враховує кут нахилу дорожнього полотна та наявність системи ABS;
- розроблена та фазифікована спеціалізована математична модель визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття, що орієнтована на удосконалену технологію.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у наступному:

- розроблено алгоритм нечіткого логічного виведення результатів визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття;
- розроблено алгоритм нечіткої логічної апроксимації;
- реалізовано експериментальний програмний засіб.

**Достовірність теоретичних положень** магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів, з відомими, та збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, що отримані під час тестування розроблених програмних засобів.

**Особистий внесок магістранта.** Усі результати отримано автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, магістранту належать:

[1] – доопрацьована, з врахуванням кута нахилу дорожнього полотна, інформаційна технологія визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття; [2] - спеціалізована математична модель визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття, що використовує додатковий фактор кута нахилу дорожнього полотна.

**Апробація результатів роботи.** Результати досліджень апробовано в доповіді на Всеукраїнській науково-практичній Інтернет-конференції студентів аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ:



ДОСЛДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ – 2019» та щорічній регіональній науково-практичній конференції «ВНТУ-2018» та Міжнародній науково-практичній конференції ІОН-2018.

**Публікації.** За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано матеріали в збірнику праць «ІОН-2018» [1], тези доповіді конференцій [2,3].

Результати, одержані в процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи, плануються до впровадження в розробки науково-виробничого підприємства ТОВ «ІТІ».

# 1. ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ

## 1.1 Коефіцієнт зчеплення шин з дорогою і фактори, що впливають на нього

Однією з особливостей транспортних систем є високий ступінь залежності їх функціонування від природних факторів. Великий вплив на характер руху транспортних засобів створюють метеорологічні умови (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Значення коефіцієнта зчеплення в залежності від стану і вигляду дорожнього покриття

Вид дорожнього покриття	стан покриття	коефіцієнт зчеплення
Асфальт, бетон	сухий	0,7 ÷ 0,8
	мокрый	0,5 ÷ 0,6
	брудний	0,25 ÷ 0,45
Кругляк, бруківка	сухі	0,6 ÷ 0,7
	мокрі	0,4 ÷ 0,5
Грунтова дорога	суха	0,5 ÷ 0,6
	мокра	0,2 ÷ 0,4
Пісок	вологий	0,4 ÷ 0,5
	сухий	0,2 ÷ 0,3
Асфальт, бетон	обмерзлі	0,09 ÷ 0,10
Укочений сніг	зледенілий	0,12 ÷ 0,15
	без крижаної кірки	0,22 ÷ 0,25
	зледенілий, після розсипи піску	0,17 ÷ 0,26
	без крижаної кірки, після розсипи піску	0,30 ÷ 0,38

В процесі експлуатації автотранспортних засобів необхідно враховувати кліматичні умови, які відіграють важливу роль у безпеці дорожнього руху [4]. Найбільш небезпечним умовою, при якому найчастіше трапляються

дорожньо-транспортні пригоди, є наявність на дорожній поверхні різних опадів. Під впливом кліматичних умов дорожнє покриття може перебувати в різному стані, що впливає на значення коефіцієнта зчеплення дороги з транспортними засобами. З таблиці 1.1 випливає, що на вологій і мокрій поверхні сила зчеплення різко знижується, оскільки на дорожньому покритті утворюється шар мастила у вигляді плівки водної емульсії. До цього шару також домішуються пил, бруд, різні відходи і незгорілі продукти паливно-мастильних матеріалів, які накопичуються в нерівностях дороги.

## 1.2 Аналіз та вибір методології визначення коефіцієнта зчеплення

Тягове зусилля на колесах автомобіля, що забезпечується потужністю двигуна, може бути розвинене лише в тому випадку, якщо між провідними колесами і дорогою є достатня сила зчеплення. Відношення максимального тягового зусилля на колесо до вертикальної навантаження на покриття, при перевищенні якого починається пробуксовування ведучого колеса або прослизання загальмованого, називають коефіцієнтом зчеплення.

Коефіцієнт зчеплення  $\varphi$  - відношення сили тертя спокою до нормальної складової зовнішніх сил, що діють на поверхні тіла (ГОСТ 16429 - 70) або відношення максимальної реакції  $T_{max}$  в зоні контакту до нормальної реакції  $N$ , що діє на колесо:

$$\varphi = \frac{T_{max}}{N} = \frac{M_{\varphi}}{r_d N} \quad (1.1)$$

де  $M_{\varphi}$  - момент по зчепленню колеса з дорогою;  $r_d$  - динамічний радіус (відстань від осі колеса до горизонтальної площини, що проходить через рівнодіючу дотичних реакцій в зоні контакту).

Коефіцієнт зчеплення пневматичного колеса з опорною поверхнею залежить від матеріалу і стану поверхонь, що труться, а також від швидкості

руху екіпажу, швидкості ковзання колеса, характеру приводу осі і характеристики підвіски.

Для обчислення коефіцієнта зчеплення необхідно знати силу тертя спокою між шиною і дорогою, а також навантаження на шину. В даному випадку сила тертя спокою залежить від характеристик шорсткості і хвилястості поверхні дороги, її стану (тип покриття, забрудненість, вологість і т. п.), фізікомеханічних характеристик матеріалу протектора (модуль пружності, коефіцієнт гістерезисних втрат в гумі) і його малюнка, а також від конструкції шини.

При русі на колесо автомобіля діють наступні сили і моменти:

$G_k$  - радіальне навантаження;  $R_k$  - сила тяги, прикладена до осі колеса;  $X$  - горизонтальна реакція в площині дороги;  $Z$  - вертикальна реакція;  $M_k$  - момент кручення. Крім того, шина навантажена силами від внутрішнього тиску.

Під дією прикладених зовнішніх і внутрішніх сил і моментів відбувається деформація шини. Реальна навантаження призводить до прогину шини і виникненню площі контакту шини з дорогою - контурної площі контакту.

Величину прогину визначають за методикою [4]. Сила зчеплення залежить від виникаючих на контурній площі контакту нормальних напружень. Проведені дослідження показують, що ці напруги розподілені нерівномірно. Нерівномірність розподілу нормальних напружень по ширині протектора в зоні контакту викликана неоднаковою радіальною жорсткістю шини в різних поздовжніх перетинах і видом малюнка протектора.

Під дією крутного і гальмівного моментів, прикладених до колеса, епюра нормальних напружень на контакті змінюється. Однак ця зміна незначно. Тому для оцінки коефіцієнта зчеплення зазвичай користуються середніми напруженнями на контакті. Ці напруги залежать від конструкції шини і тиску повітря в ній. Вони можуть перевищувати тиск повітря в шині, бути рівним йому і нижче його.

Прослизання залежить від питомих сил зчеплення, які проявляються в зонах фактичного контакту. Взаємодія шини з поверхнею дороги буде залежати від розподілу матеріалу в поверхневому шарі дороги і характеризується числом нерівностей на одиниці площі, їх геометричним контуром і розподілом по висоті.

У загальному випадку сила зчеплення буде дорівнює сумі двох складових. Одна з них обумовлена міжмолекулярним взаємодією на межі поділу шіна-дорога в зонах фактичного контакту - молекулярна складова сили тертя  $T_m$ . Інша обумовлена гістерезисними втратами, що виникають при деформації поверхневого шару протектора в зоні контакту впровадженими в нього виступами поверхні дорожнього покриття  $T_d$ . Таким чином, на одиничному нерівності сила тертя може бути визначена за формулою [4].

$$T = T_m + T_d \quad (1.2)$$

Таким чином, коефіцієнт зчеплення значно залежить від стану поверхні дороги в зоні контакту (фрикційні параметри  $\tau$  і  $\beta$ ), гуми протектора (модуль пружності  $E$ , коефіцієнт гістерезисних втрат  $\alpha$ ), менш істотно залежить від геометричних параметрів шини, тиску повітря в ній, навантаження на колесо і шорсткості поверхні дороги.

В результаті проведених досліджень можна зробити висновок про те, що коефіцієнт зчеплення - багатофакторна величина. Для визначення зчпних якостей коліс конкретного автомобіля необхідно враховувати цілий ряд явищ і величин, що впливають на значення коефіцієнта зчеплення: тиск повітря в шині, навантаження на колесо, характеристики покриття, температура навколишнього середовища та ін. Інший вихід - використання спеціальних способів, методів і пристроїв, що визначають коефіцієнт зчеплення колеса безпосередньо на місці ДТП.

Дорожнє покриття однозначно впливає на поведінку автомобіля на дорозі. Грунтівка, плити, бруківка викликають тряску. Однак подібні покриття

зустрічаються значно рідше, ніж асфальт. Тому головними причинами, визначальними для коефіцієнт зчеплення, є погодні умови: бруд, лід, сльота, температура та інші.

### **1.3 Аналіз відомих рішень для задачі визначення коефіцієнта зчеплення**

Для формулювання вимог до створюваної інформаційної технології та програмного модулю, що її реалізує, розглянемо відомі реалізації рішень задачі визначення коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою. Як уже говорилося визначення коефіцієнта зчеплення є найважливішою складовою для визначення початкової швидкості по довжині гальмівного шляху автомобіля. Відповідно існує офіційна методика і відповідне програмне забезпечення для обрахування коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою [6]. Головним недоліком існуючої методики є те, що вона дозволяє визначити тільки діапазон можливих значень коефіцієнта зчеплення в залежності від ряду факторів, що впливають. Тому, остаточна його оцінка визначається автотехнічним експертом або слідчим суб'єктивно, з урахуванням додаткових факторів і умов, які не входять до методики. Крім того, суб'єктивність визначення коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою залишає місце для виникнення корупційної складової в процесі обробки даних про ДТП і відповідно слідчих дій.

Найбільш близьким до розроблюваної технології є експертна система ідентифікації коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою на основі програмної оболонки FUZZY EXPERT [5,7].

Програмна оболонка FUZZY EXPERT призначена для проектування і налаштування експертних систем на базі нечіткої логіки. Автори системи: Ротштейн О.П. (Постановки завдань і керівництво розробкою) і Кательніков Д.І. (Програмування).

Завдання оболонки полягає в накопиченні, зберіганні та використанні знань, отриманих від експертів, з метою вирішення прикладних завдань

ідентифікації і прийняття рішень. Оболонка складається з двох основних частин: програмного середовища, що дозволяє створювати експертні системи в обраній предметній області, і власне експертної системи, яка є кінцевим продуктом.

Система FUZZY EXPERT розроблено з використанням мови програмування C ++ (компілятор Microsoft Visual C ++ ) для операційних систем Windows версії 3.1 і вище і Windows 95.

Структура системи FUZZY EXPERT зображена на рис. 1.1. Вона містить 16 програмних блоків, 8 з яких складають власне експертну систему, а інші, - середовище розробки нечітких експертних систем. Пояснимо призначення найважливіших блоків системи.

Блок модифікації нечіткої бази знань і дерева виведення містить всі екранні форми, необхідні для внесення змін до блоку експертної системи: дерево логічного висновку, базу знань і функції приналежності. Це основний блок середовища розробки нечітких баз знань.

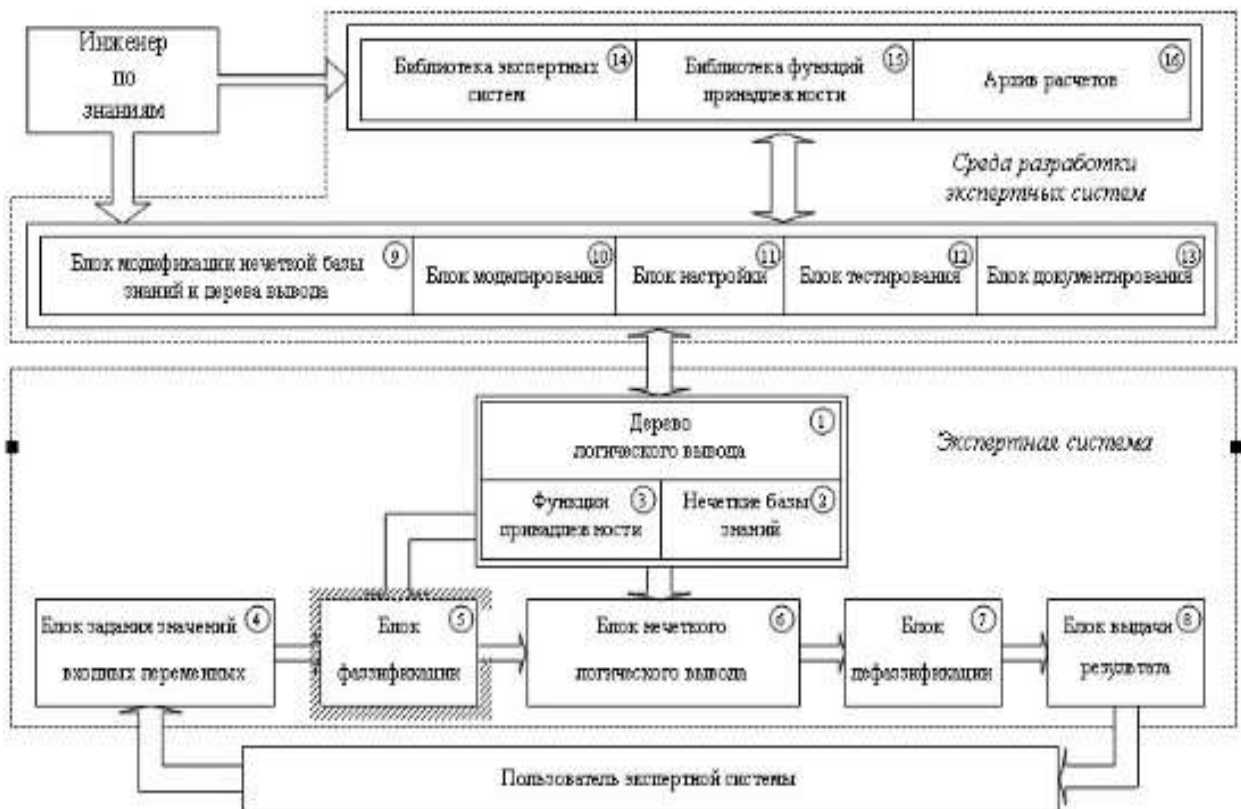


Рисунок 1.1 - Структура системы FUZZY EXPERT

Він виконує наступні функції:

- а) формування дерева логічного висновку;
- б) завдання функцій приналежності лінгвістичних термів:
  - модифікованим методом Сааті,
  - методом статистичної обробки експертної інформації,
- в) заповнення нечітких баз знань;
- г) збереження (витяг) варіантів експертних систем з бібліотеки.

Блок моделювання використовується для отримання графіків і поверхонь, що відбивають залежність вихідної змінної від однієї або двох вхідних змінних при фіксованих значеннях інших змінних. Мета подібного моделювання полягає в дослідженні поведінки об'єкта в різних областях факторного простору.

Блок налаштування призначений для вирішення завдань оптимізації нечіткої бази знань з метою підвищення якості ідентифікації нелінійних об'єктів. Цей блок виконує наступні функції:

- а) запит навчальної вибірки;
- б) вирішення завдань оптимізації нечітких баз знань градієнтним методом;
- в) вирішення завдань оптимізації нечітких баз знань з параметричними функціями належності за допомогою генетичного алгоритму;
- г) рішення задач оптимізації нечітких баз знань з  $\alpha$ -рівневими функціями належності за допомогою генетичного алгоритму.

Блок тестування експертної системи призначений для виконання наступних дій:

- а) запит тестуючої вибірки;
- б) оцінка якості ідентифікації в точках тестуючої вибірки.



Блок документування здійснює видачу інформації про побудовану експертну систему у вигляді, зручному для інженера по знаннях.

Бібліотека експертних систем використовується для зберігання створених експертних систем на різних етапах їх розробки (до настройки і після настройки).

Бібліотека функцій приналежності містить набір стандартних моделей функцій приналежності:

- а) трапецієподібні;
- б) трикутні;
- в) дзвоновидні (з параметрами і);
- г) експоненціальні.

Архів розрахунків дозволяє зберігати результати виконуваних розрахунків на різних етапах створення і функціонування системи.

### Інформаційна технологія

Процес побудови нечіткої експертної системи виконується у наступній послідовності етапів:

#### 1. Визначення характеристик системи.

На цьому кроці виводиться інформація про призначення системи, визначається вихідна змінна ідентифікованого об'єкта (з безперервним або дискретним виходом).

#### 2. Формування дерева логічного висновку.

Дерево логічного висновку формується шляхом послідовного виконання операцій додавання і / або видалення вузлів. При додаванні нового вузла запитується інформація про назву (наприклад, температура), позначенні (t),

кількості термів для оцінки та їх назвах («низька», «нормальна», «Високі»). При додаванні вузла, відповідного вхідної змінної, запитується інформація про діапазон її зміни. Сформований дерево логічного висновку демонструється у відповідному вікні.

### 3. Визначення функцій приналежності лінгвістичних термів.

На цьому кроці визначаються моделі функцій належності, які використовуються для формалізації термів - оцінок змінних. Для цього система повинна згенерувати відповідне діалогове вікно. Цей крок відповідає етапу фазифікації змінних.

### 4. Визначення експертних правил ЯКЩО-ТО, що описують поведінку об'єкта. Експертні правила ЯКЩО-ТО вносяться до відповідних матриці знань

### 5. Налаштування нечіткої експертної системи шляхом вирішення завдань оптимізації з використанням навчальної вибірки.

Введення значень вхідних змінних при виконанні розрахунків здійснюється в кількісній або якісній формі, а також по шкалі термометра (рис. 1.2).

В результаті нечіткого логічного висновку знаходять функції належності вихідної змінної кожному з класів рішень. Відповідне діалогове вікно містить так само інтерпретований результат.

В ході одно- і двухфакторного моделювання інженер по знаннях може спостерігати за поведінкою об'єкта в різних областях простору вхідних змінних. Налаштування за наявними експериментальними даними дозволяє підвищити адекватність нечіткої експертної системи.

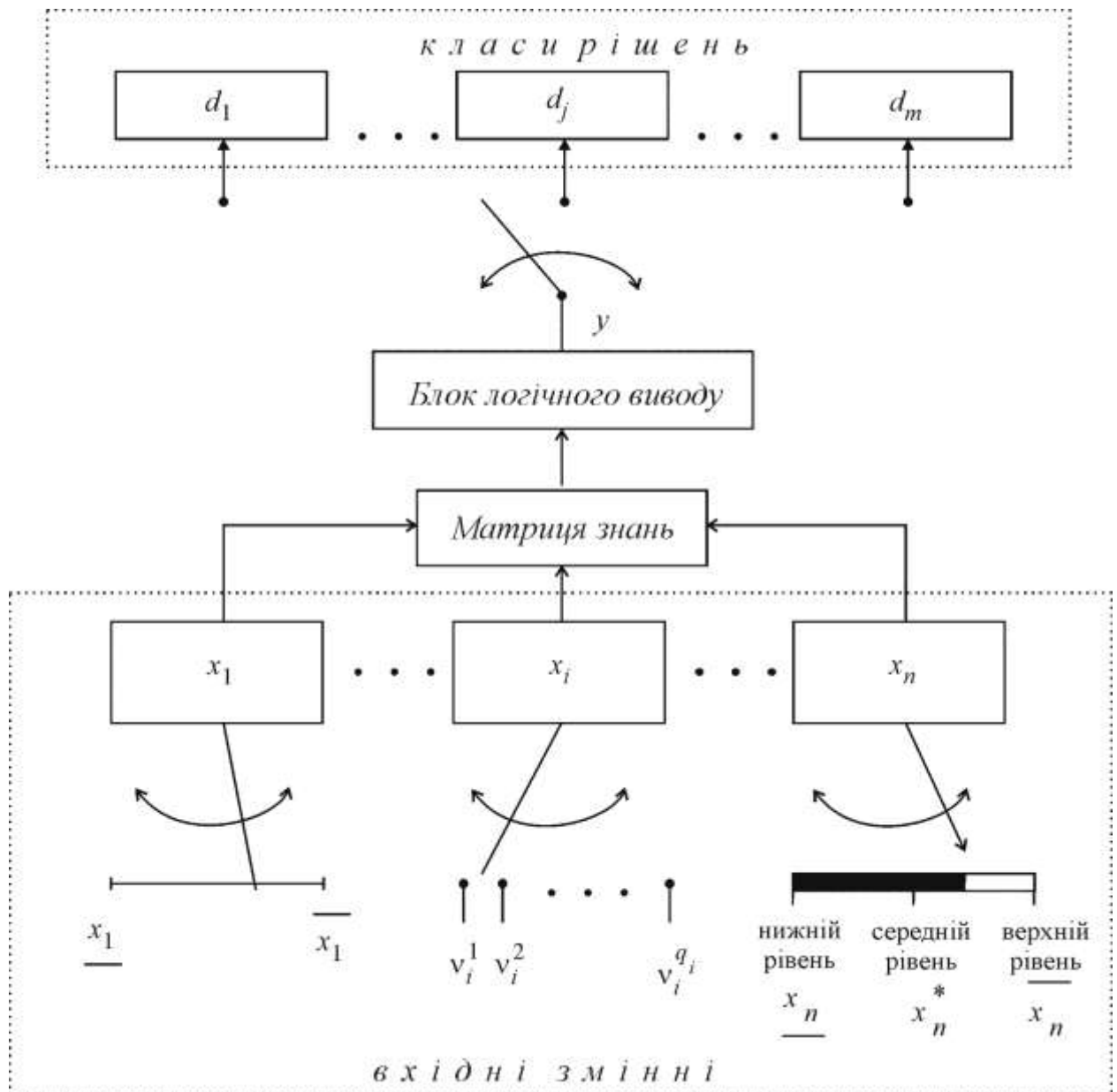


Рисунок 1.2 – Технологія побудови експертної системи

#### 1.4 Формулювання вимог до роботи удосконаленої технології

На основі проведених досліджень ми можемо сформулювати наступні вимоги до розроблюваної технології визначення коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою.

Для моделювання роботи технології визначення коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою варто застосовувати апарат нечіткої логіки.

Сама технологія складається із п'яти етапів – формалізація, дерево рішень, фазифікація, база знань, налаштування (див. рис.1.3);



Рисунок 1.3 – Етапи інформаційної технології визначення коефіцієнта зчеплення

На першому етапі описується предметна область експертної системи, визначається вихідна змінна ідентифікованого об'єкта (з безперервним виходом) та вектор вхідних змінних (з безперервним та дискретним виходом).

На другому етапі (структурної ідентифікації) формується перевернуте ієрархічне дерево виведення результату, коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою  $\varphi$  – нечіткої логічної змінної, значення якої відповідають нечітким лінгвістичним термам. Ці терми відповідають певним інтервалам безперервної шкали значень коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою  $\varphi$ .

На вході дерева (гілках) формується вектор нечітких логічних змінних (параметрів). Кожна з цих змінних може приймати одне із значень, що відповідають нечітким логічним термам, закріпленим за інтервалами деякої універсальної шкали значень параметра.

До вектору вхідних змінних базової технології треба додати змінну, що характеризує режим гальмування:

- гальмування юзом (відсутність системи ABS);
- гальмування з просковзуванням (наявність системи ABS),

а також змінну, що визначає кут нахилу дорожнього полотна

Прив'язка значень нечітких змінних до нечітких лінгвістичних термів називається формалізацією системи.

Наступним етапом структурної ідентифікації є фазифікація системи – постановка у відповідність кожному лінгвістичному терму функції належності. На цьому кроці визначаються моделі функцій належності, які використовуються для формалізації термів - оцінок змінних. Для цього система повинна згенерувати відповідне діалогове вікно.

Слідуючим етапом інтелектуальної технології є формування експертом бази знань у вигляді послідовності логічних висловлювань ЯКЩО–ТО. Ці висловлювання поєднують значення (лінгвістичні терми) вхідного вектора параметрів із певним лінгвістичним термом виходу. Ці послідовності називають продукційними правилами, а базу знань – продукційною базою знань. Експертні правила ЯКЩО-ТО вносяться до відповідних матриці знань

Для зручності роботи алгоритмів пошуку в базі знань, її спочатку представляють у вигляді нечітких логічних рівнянь, а потім у вигляді міні-максних рівнянь (дефазифікація бази знань).

В процесі налаштування (навчання) коректуються параметри функцій належності. Налаштування нечіткої експертної системи шляхом вирішення завдань оптимізації з використанням навчальної вибірки.

## **1.5 Висновок**

В першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи детально висвітлені проблеми, пов'язані з визначенням коефіцієнта зчеплення колеса та дорожнього покриття. Розглянуто технологічні та кліматичні фактори, що впливають на зміну коефіцієнта зчеплення шин та дорожнього покриття. Розглянуто, проаналізовано та вибрано методологію визначення коефіцієнта зчеплення. Зроблено аналіз відомих рішень для задачі визначення коефіцієнта зчеплення шини та дорожнього покриття. Розглянута можливість використання програмної оболонки FUZZY EXPERT, призначеної для проектування і налаштування експертних систем на базі нечіткої логіки.

Детально розглянуті та проаналізовані етапи існуючої інформаційної технології на основі програмної оболонки FUZZY EXPERT.

Прийнято рішення про удосконалення базової інформаційної технології за рахунок додавання двох додаткових факторів, що впливають на визначення коефіцієнта зчеплення. Це наявність або відсутність системи ABS та кут нахилу дорожнього полотна.

## **2. РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ АВТОМОБІЛЯ ТА ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ**

### **2.1 Обґрунтування вибору методології моделювання роботи інформаційної технології.**

В задачах прийняття рішень експертними системами одним із центральних складових є поняття ідентифікації об'єкта – це побудова його адекватної математичної моделі, що встановлює взаємозв'язок між вхідними і вихідними змінними. Задача ідентифікації, як правило, вирішується в два етапи. На першому етапі, що називається структурною ідентифікацією, формується приблизна модель об'єкта, що апроксимує зв'язки вхід-вихід і містить певні параметри для налаштування. Етап структурної ідентифікації є творчим процесом, швидше мистецтвом, чим наукою, оскільки вибір початкової моделі залежить від «інтелектуального потенціалу дослідника»: його освіти, досвіду, розуміння сутності об'єкта, міри уподобання до того, чи іншого математичного апарату, методології та інших суб'єктивних факторів. В якості моделей для налаштування в сучасній теорії ідентифікації використовуються кількісні співвідношення у вигляді рівнянь: алгебраїчних, диференціальних, інтегральних т. і. Цей апарат природньо застосовується до тих об'єктів, що описуються законами фізики: механіки, термодинаміки, кінетики. В той же час класична теорія породжує катастрофічно складні моделі при спробі ідентифікувати залежності в так званих інтелектуальних задачах, які традиційно вирішуються людьми. Людина ходить, плаває, виконує складні гімнастичні вправи, водить автомобіль, пізнає знайомі об'єкти, знаходить закономірності в експериментальних даних, вирішує інші, надзвичайно складні з математичної точки зору задачі управління та прийняття рішень, не використовуючи строгих математичних співвідношень.

Ключову роль у вирішенні людиною задач ідентифікації в процесі прийняття рішень грають дві унікальні властивості:

навчання, - як здатність послідовно мінімізувати відхилення фактично одержаного результату від деякого бажаного;

лінгвістичність – як здатність висловлювати природною мовою ті знання, що одержані в процесі еволюції та навчання.

Тому, моделюючи інтелектуальну діяльність людини, природно звертатись до такого математичного апарату, який на відміну від класичних підходів, пристосований до врахування здатності навчатись та застосування лінгвістичності.

Всі сучасні інформаційні інтелектуальні технології які застосовуються в експертних системах для вирішення задач ідентифікації та прийняття рішень являють собою комплексне застосування елементів трьох, відносно незалежних одна від одної теорій:

- нечітких множин – засіб формалізації природно-лінгвістичних висловлювань та нечіткого логічного виводу;
- нейронних мереж – що імітують нейронну діяльність людського мозку, що мають можливість навчатися;
- генетичних алгоритмів – методу поєднання оптимальних рішень із множини початкових варіантів, над якими виконуються специфічні операції схрещування, мутації та селекції.

### **2.1.1 Нечітка логіка**

Основи теорії нечітких множин і нечіткої логіки були закладені наприкінці 1960-х років у працях відомого американського математика Лотфі Заде. Його праця “Fuzzy Sets”, опублікована у 1965 р. в журналі “Information and Control”, стала поштовхом до розвитку нової математичної теорії. Він дав назву і новій галузі науки – “fuzzy sets” (fuzzy – нечіткий, розмитий, м'який). Основною причиною появи нової теорії стали нечіткі і наближені міркування,



що використовувались для опису людиною процесів, систем, об'єктів. Математична теорія нечітких множин (fuzzy sets) і нечітка логіка (fuzzy logic) є узагальненнями класичної теорії множин і класичної формальної логіки.

Перш ніж нечіткий підхід до моделювання складних систем отримав визнання в усьому світі, минуло не одне десятиліття. Що ж запропонував Л. Заде? По-перше, він розширив класичне канторовське поняття множини, припустивши, що характеристична функція (функція належності елемента множині) може набувати будь-яких значень в інтервалі  $[0, 1]$ , а не тільки значень 0 або 1. Такі множини він назвав нечіткими [21]. Л. Заде визначив також низку операцій із нечіткими множинами і запропонував узагальнення методів логічного висновку.

Ввівши згодом поняття лінгвістичної змінної і припустивши, що її значеннями (термами) є нечіткі множини, Л. Заде створив апарат для опису процесів інтелектуальної діяльності, включаючи нечіткість і невизначеність виразів (наприклад, високий, середній, незначний ризику).

Завданням нечітких множин є визначення належності деякого об'єкта чи елемента до заданої множини. Нехай  $E$  – деяка множина, а  $A$  – підмножина  $E$ , тобто  $A \subseteq E$ . Той факт, що елемент  $x$  множини  $E$  належить і множині  $A$  у теорії множин позначають так:  $x \in A$ . Щоб виразити цю належність, можна скористатися й іншим поняттям – характеристичною функцією  $\mu_A(x)$ , значення якої вказують, чи є (так або ні)  $x$  елементом  $A$ :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \in A, \\ 0, & \text{якщо } x \notin A. \end{cases} \quad (2.1)$$

Згідно з теорією нечітких множин, характеристична функція належності може набувати будь-якого значення в інтервалі  $[0, 1]$ , а не тільки два – 0 і 1. Відповідно до цього, елемент  $x$  множини  $E$  може не належати  $A$  ( $\mu_A(x) = 0$ ), бути елементом  $A$  невеликою мірою (значення  $\mu_A(x)$  близьке до нуля), бути елементом  $A$  значною мірою ( $\mu_A(x)$  близьке до 1) або бути елементом  $A$  ( $\mu_A(x)$

= 1). Отже, поняття належності узагальнюється. Нечітку під множину Ауніверсальної множини  $E$  позначають  $A_n$  і визначають упорядкованими парами [22]:

$$A_n = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in E\}. \quad (2.2)$$

Характеристична функція належності (або просто функція належності)  $\mu_A(x)$  набуває значень у деякій упорядкованій множині  $M$  (наприклад,  $M = [0, 1]$ ). Ця функція належності вказує ступінь (або рівень) належності елемента  $x$  до підмножини  $A$ . Множину  $M$  називають множиною надженностей. Якщо  $M = \{0, 1\}$ , то нечітку підмножину  $A$  можна розглядати як звичайну або чітку множину.

Для нечітких множин, як і для звичайних, визначено основні логічні операції.

Рівність. Дві нечіткі множини  $A$  і  $B$  називають рівними, якщо для всіх  $x \in E$  має місце рівність їх характеристичних функцій:  $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ . Позначення:  $A = B$ .

Домінування. Вважають, що нечітка множина  $A$  належить нечіткій множині  $B$ , якщо для всіх  $x \in E$  справедливе співвідношення:  $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ ; позначають:  $A \dot{\leq} B$ . Іноді використовують термін “домінування”, тобто коли  $A \dot{\leq} B$ , кажуть, що  $B$  домінує над  $A$ .

Доповнення. Нехай  $M = [0, 1]$ ,  $A$  і  $B$  – нечіткі множини, задані на  $E$ .  $A$  і  $B$  доповнюють один одного, якщо  $\forall x \in E \mu_A(x) + \mu_B(x) = 1$ . Позначення:  $A = \bar{B}$ .

Перетин двох нечітких множин (нечітке “І”), що позначають  $A \cap B$  – найбільша нечітка підмножина, яка знаходиться одночасно в  $A$  і  $B$ . Визначають так:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)). \quad (2.3)$$

Об'єднання двох нечітких множин (нечітке “АБО”), що позначають  $A \cup B$  – найменша нечітка підмножина, яка включає як  $A$ , так і  $B$ , з функцією належності

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)). \quad (2.4)$$

Різниця двох нечітких множин  $A - B = A \cap \bar{B}$  з функцією належності

$$\mu_{A-B}(x) = \mu_{A \cap \bar{B}}(x) = \min(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x)). \quad (2.5)$$

Нехай  $M = [0,1]$  і  $A$  – нечітка множина з елементами  $x$  з універсальної множини  $E$  і множиною значень функцій належності  $M$ . Величину  $\sup \mu_A(x)$  називають висотою нечіткої множини  $A$ . Нечітка множина  $A$  є нормальною, якщо її висота дорівнює 1, тобто верхня межа її функції належності дорівнює 1 ( $\sup \mu_A(x) = 1$ ). За  $\sup \mu_A(x) < 1$  нечітку множину називають субнормальною.

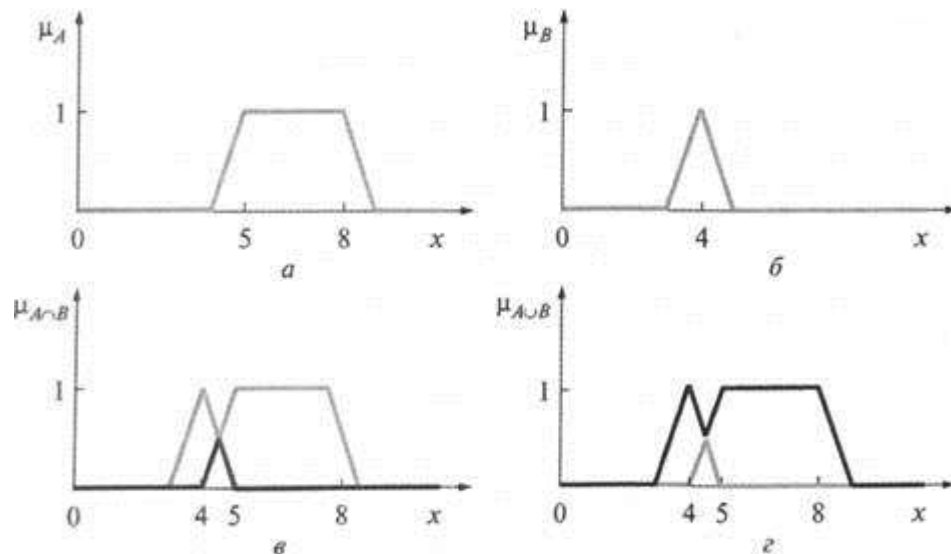
Нечітка множина є порожньою, якщо  $\sup \mu_A(x) = 0$ . Непорожню субнормальну множину можна нормалізувати за формулою

$$\mu_A(x) := \frac{\mu_A(x)}{\sup_{x \in E} \mu_A(x)}. \quad (2.6)$$

Наочне подання операцій над нечіткими множинами. Розглянемо прямокутну систему координат, на осі ординат якої відкладено значення  $\mu_A(x)$ , на осі абсцис – у довільному порядку розміщені елементи  $E$ . Якщо множина  $E$  за своєю природою впорядкована, то цей порядок бажано зберегти в розміщенні елементів на осі абсцис. Таке подання унаочнює прості операції над нечіткими множинами.

Нехай  $A$  – нечіткий інтервал між 5 і 8, а  $B$  – нечітке число, близьке до 4 (рис. 2.1, а, б) [13].

Нечітку множину між 5 і 8 І (AND) близько 4 (темна лінія) ілюструє рис. 2.1, в, нечітку множину між 5 і 8 АБО (OR) близько 4 – рис. 2.1, г (темна лінія).



Рисунку 2.1 - Приклади нечітких множин (а, б),  
їх перетину (в) та об'єднання (г)

Для опису нечітких множин вводять поняття нечіткої і лінгвістичної змінних. Нечітку змінну описує набір  $\langle \beta, X, A \rangle$ , де  $\beta$  – назва змінної,  $X$  – універсальна множина (область визначення  $\beta$ ),  $A$  – нечітка множина на  $X$ , що описує обмеження на значення нечіткої змінної  $\beta$ .

Значеннями лінгвістичної змінної можуть бути нечіткі змінні, тобто лінгвістична змінна знаходиться на вищому рівні, ніж нечітка змінна. Кожна лінгвістична змінна складається з: назви; множини своїх значень, що також називається базовою терм-множиною  $T$ . Елементи базової терм-множини є назвами нечітких змінних; універсальної множини  $X$  синтаксичного правила  $G$ , за яким генеруються нові терми із застосуванням слів природної або формальної мови; семантичного правила  $P$ , яке кожному значенню лінгвістичної змінної ставить у відповідність нечітка підмножина множини  $X$ .

Лінгвістичну змінну описує набір  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , де

–  $\beta$  – найменування лінгвістичної змінної;

- $T$  – множина її значень (терм-множина), що є назвами нечітких змінних, областю визначення кожної з яких є множина  $X$ ; множину  $T$  називають базовою терм-множиною лінгвістичної змінної;
- $G$  – синтаксична процедура, що дає змогу оперувати елементами терм-множини  $T$ , зокрема генерувати нові терми (значення);
- $M$  – семантична процедура, що дає змогу перетворити кожне нове значення лінгвістичної змінної, утвореної процедурою  $G$ , на нечітку змінну, тобто сформувати відповідну нечітку множину

Найважливішим застосуванням теорії нечітких множин є контролери нечіткої логіки. Їх функціонування дещо відрізняється від роботи звичайних контролерів: для опису системи замість диференціальних рівнянь використовують знання експертів. Ці знання можуть бути виражені за допомогою лінгвістичних змінних, які описані нечіткими множинами.

Нечітке управління особливо корисне, коли технологічні процеси занадто складні для аналізу за допомогою загальноприйнятих кількісних методів, або коли доступні джерела інформації інтерпретуються на якісному рівні неточно чи невизначено. Експериментально показано, що нечітке управління у певних випадках дає кращі результати порівняно з отримуваними в разі загальноприйнятих алгоритмів управління.

Загальну структуру системи, що використовує нечітку логіку, ілюструє рис. 2.2.



Рисунок 2.2 - Загальна структура системи з нечіткою логікою

Вона містить у своєму складі такі складові: блок фазифікації; базу знань; блок рішень; блок дефазифікації.

Блок фазифікації перетворює чіткі величини, виміряні на виході об'єкта керування, на нечіткі величини, що описані лінгвістичними змінними в базі знань.

Блок рішень використовує нечіткі умовні (if – then) правила, закладені в базі знань, для перетворення нечітких вхідних даних на необхідні керівні впливи, що також носять нечіткий характер.

Блок дефазифікації перетворює нечіткі дані з виходу блоку рішень на чітку величину, яку застосовують для керування об'єктом.

Нечітка логіка, на якій засноване нечітке управління, ближча за духом до людського мислення і вживаних мов, ніж традиційні логічні системи. Нечітка логіка в основному забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу. Наявність математичних засобів відображення нечіткості вихідної інформації дає змогу побудувати модель, адекватну реальності.

### **2.1.2 Нейроні мережі**

Основою нейромережі є прості, та у більшій мірі однотипні, елементи, які імітують роботу нейронів мозку (штучні нейрони).

Кожен нейрон має таку характеристику як поточний стан, по аналогії з нервовими клітинами головного мозку, які можуть бути збуджені або заторможені. Принцип роботи штучного нейрона ілюструється рис.2.3. Він володіє групою синапсів – однонаправлених вхідних зв'язків, сполучених з виходами інших нейронів, а також має аксон – вихідний зв'язок даного нейрона, з яким сигнал поступає на синапси наступних нейронів [9].

Кожен синапс характеризується величиною синаптичного зв'язку або його вагою, який за фізичним сенсом еквівалентний електричній провідності.

Загальна риса нейромереж: реалізується принцип паралельного оброблення сигналів (шляхом об'єднання великої кількості нейронів в шари и з'єднання). При чому оброблення взаємодій всіх нейронів ведеться пошарово. Теоретично кількість шарів і кількість нейронів в кожному шарі може бути довільним, однак фактично воно обмежено ресурсами комп'ютера [9].

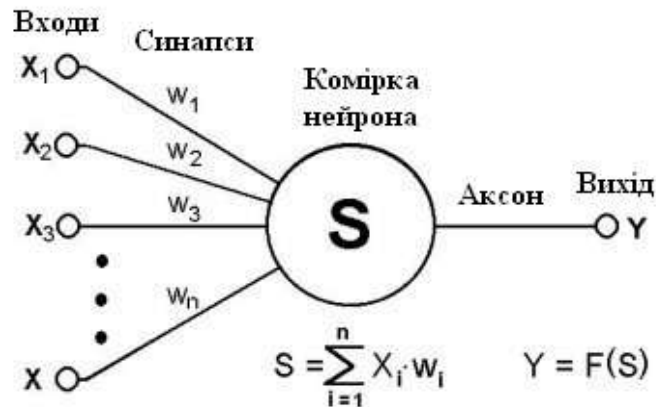


Рисунок 2.3 – Схема штучного нейрону

Архітектура багатшарової нейронної мережі складається з послідовно з'єднаних шарів, де нейрон кожного шару своїми входами пов'язаний з усіма нейронами попереднього шару, а виходами - наступного. НМ з двома вирішальними шарами може з будь-якою точністю апроксимувати будь-яку багатовимірну функцію. Навчаються багатшарові НМ за допомогою алгоритму зворотного поширення помилки, що є методом градієнтного спуску в просторі ваг з метою мінімізації сумарної помилки мережі. При цьому помилки (точніше, величини корекції ваг) поширюються в зворотному напрямку від входів до виходів, крізь ваги, що з'єднують нейрони.

Незважаючи на принцип роботи нейронної мережі, існує велика кількість підходів до її реалізації, варіантів архітектури та алгоритмів навчання. Одні нейронні мережі простіші для реалізації, інші є не тільки складними у реалізації, але й передбачають наявність значних ресурсів для навчання. Ці

твердження також можна застосувати і до алгоритмів навчання нейронних мереж.

Проаналізувавши літературу, можна зробити висновок про високу ефективність нейронної мережі прямого поширення, а також те, що складність її реалізації є задовільною, порівняно з іншими архітектурами нейронних мереж.

Нейронна мережа прямого поширення є однією з найпопулярніших архітектур нейронних мереж не тільки через складність своєї реалізації, але й продуктивність та ефективність своєї роботи.

Найбільшою відмінністю цього типу нейронних мереж є те, що її складники не формують циклу, на відміну від рекурентних нейронних мереж, для прикладу.

У нейронній мережі прямого поширення нейрон отримує дані від інших нейронів, які відносно нього знаходяться на рівні вище, і передає результат на рівень нижче. Отже, згідно з назвою нейронної мережі, інформація в ній має тільки один шлях поширення, а саме від входу до виходу, проходячи при цьому через всі приховані шари нейронної мережі.

Формування результату в цій нейронній мережі є стандартним підходом, коли інформація передається через синапси з певними вагами в нейрони, які сумують отримані результати і застосовують до отриманих даних функцію активації (передавальна функція)

Такий процес є незмінним та відбувається крізь усі приховані шари нейронної мережі.

Як зазначено вище, нейронна мережа містить приховані шари. Прихованими вважають шари нейронної мережі, які розміщені між вхідним та вихідним шарами.

Приховані шари, а саме їхня кількість, є одним з вирішальних факторів ефективності нейронної мережі, які мають безпосередній вплив на точність результату.



Чим більше прихованих шарів, тим вимогливіша до ресурсів нейронна мережа. Тому ефективною нейронною мережею можна назвати таку, в якій правильно підібрана низка факторів, враховуючи кількість прихованих шарів. Значний вплив на точність результату нейронної мережі має також і обраний алгоритм її тренування. Тренування є ключовим етапом у створенні нейронної мережі, який відбувається безпосередньо після її реалізації. Зважаючи на кількість типів нейронних мереж, алгоритмів їх навчання є також кілька. Базовий принцип навчання нейронної мережі є по суті корегування ваг на синапсах для мінімізації похибки, якою є різниця між результатом, отриманим на виході нейронної мережі, та еталонними даними.

### 2.1.3 Генетичні алгоритми

Генетичний алгоритм (ГА) можна розглядати як одну з різновидів випадкового пошуку [10], яка заснована на механізмах, що нагадують природний відбір і розмноження.

На відміну від існуючих методик, ГА починає роботу з деякого випадкового набору вихідних рішень, який називається популяцією. Кожен елемент з популяції називається хромосомою і представляє деякий вирішення проблеми в першому наближенні. Хромосома є рядком символів деякої природи, не обов'язково бінарних. Хромосоми еволюціонують протягом безлічі ітерацій, що носять назву поколінь (або генерацій). В ході кожної ітерації хромосома оцінюється з використанням деякої міри відповідності (англ. *fitness function*), яку ми будемо називати функцією відповідності. Для створення наступного покоління нові хромосоми, звані нащадками, формуються або шляхом схрещування (англ. *crossover*) двох хромосом-батьків з поточної популяції, або шляхом випадкової зміни (мутації) однієї хромосоми. Нова популяція формується шляхом (а) вибору згідно функції відповідності деяких батьків і нащадків і (б) видалення залишилися для того, щоб зберігати постійним розмір популяції.

Хромосоми з більшою функцією відповідності мають більше шансів бути обраними (вижити). Після декількох ітерацій алгоритм сходиться до кращої хромосомі, яка є або оптимальним, або близьким до оптимального рішенням. Нехай  $P(t)$  і  $C(t)$  є батьками і нащадками з поточної генерації  $t$ . Загальна структура генетичного алгоритму має вигляд:

### **Процедура: Генетичний алгоритм**

**begin**

$t:=0$ ;

Задати\_початкове\_значення  $P(t)$  ;

Оцінити  $P(t)$  за допомогою функції відповідності;

**while** (нема умови\_завершення) **do**

    Схрещувати  $P(t)$  для того, щоб отримати  $C(t)$  ;

    Оцінити  $C(t)$  за допомогою функції відповідності;

    Обрати  $P(t+1)$  з  $P(t)$  та  $C(t)$  ;

$t := t+1$  ;

**end**

**end.**

Таким чином, використовуються два види операцій:

1. Генетичні операції: схрещування і мутація;
2. Еволюційна операція: вибір.

Генетичні операції нагадують процес успадкування генів при створенні нового нащадка в кожній генерації. Еволюційна операція, що здійснює перехід від однієї популяції до наступної, нагадує процес Дарвінівської еволюції.

### **Основні операції генетичних алгоритмів**

Операція схрещування.

Схрещування є головною генетичною операцією. Ця операція виконується

над двома хромосомами- батьками і створює син шляхом комбінування особливостей обох батьків. Наведемо найпростіший приклад схрещування. На початку виберемо деяку випадкову точку (точка схрещування - . Англ скоротити крапкою), після цього створимо хромосому-нащадок шляхом комбінування сегмента першого батька, стоїть зліва від обраної точки схрещування, з сегментом другого батька стояв по праву сторону від точки схрещування, як це показано на рис. 2.4.

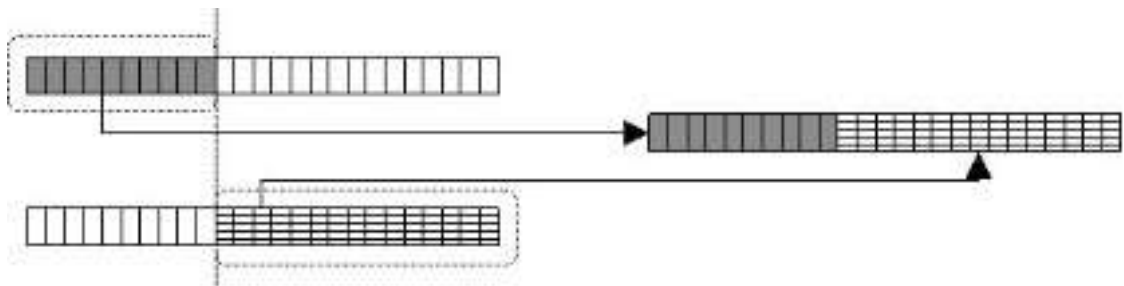


Рисунок 2.4 – Операція схрещування

Цей метод працює дуже добре, якщо хромосоми являють собою бітові рядки. Крім того продуктивність всього генетичного алгоритму в першу чергу залежить від продуктивності використовуваної операції схрещування.

Частка вироблених на кожній ітерації нащадків називається коефіцієнтом схрещування ( $p_c$ ). Добуток ( $p_c$ ) x (розмір популяції) – показує кількість нащадків

Велике значення цього коефіцієнта дозволяє досліджувати більше областей простору пошуку (або простору рішень) і зменшує шанс потрапляння в локальний мінімум. Але якщо значення  $p_c$  занадто велике, то це призведе до великих витрат часу обчислень на дослідження безперспективних областей.

Операція мутації.

Мутація - це фонові операція, яка виробляє випадкове зміна в різних хромосомах. Найпростіший варіант мутації полягає у випадковому зміні

одного або більше генів. У ГА мутація відіграє важливу роль для (а) відновлення генів, що випали з популяції в ході операції вибору, так що вони можуть бути випробувані в нових комбінаціях, (б) формування генів, які не були представлені в вихідній популяції. Інтенсивність мутацій визначається коефіцієнтом мутацій ( $P_m$ ). Він являє собою частку генів, що піддаються мутації на даній ітерації, в розрахунку на їх загальне число. Занадто мале значення цього коефіцієнта призводить до того, що багато генів, які могли б бути корисними, ніколи не будуть розглянуті. В той же час занадто велике значення коефіцієнта  $P_m$  призведе до великих випадковим збурень. Нащадки перестануть бути схожими на батьків і алгоритм втратить можливість навчатися, зберігаючи спадкові ознаки.

### **Стратегії пошуку**

Пошук є одним з найбільш універсальних методів знаходження рішення для випадків, коли апріорі не відома послідовність кроків, ведуча до оптимуму.

Існують дві пошукові стратегії: експлуатація найкращого рішення і дослідження простору рішень.

Гرادієнтний метод є прикладом стратегії, яка вибирає найкраще рішення для можливого поліпшення, ігноруючи водночас дослідження всього простору пошуку.

Випадковий пошук є прикладом стратегії, яка, навпаки, досліджує простір рішень, ігноруючи дослідження перспективних областей пошукового простору.

Генетичний алгоритм являє собою клас пошукових методів загального призначення, які комбінують елементи обох стратегій. Використання цих методів дозволяє утримувати прийнятний баланс між дослідженням та експлуатацією найкращого рішення.

На початку роботи генетичного алгоритму популяція випадкова і має різноманітні елементи. Тому оператор схрещування здійснює велике

дослідження простору рішень. З ростом значення функції відповідності одержуваних рішень оператор схрещування забезпечує дослідження околиць кожного з них. Іншими словами, тип пошукової стратегії (експлуатація найкращого рішення або дослідження області рішень) для оператора схрещування визначається різноманітністю популяції, а не самим цим оператором.

### **Відмінність від класичного пошуку**

Загалом, алгоритм розв'язання оптимізаційних проблем є послідовність обчислювальних кроків, які асимптотично сходяться до оптимального рішення. Більшість класичних методів оптимізації генерують детерміновану послідовність обчислень, засновану на градієнті або похідною цільової функції більш високого порядку. Ці методи застосовуються до однієї вихідної точки пошукового простору. Потім рішення поступово поліпшується в напрямі найшвидшого зростання або убуття цільової функції. При такому поточечній підході існує небезпека потрапляння в локальний оптимум.

Генетичний алгоритм здійснює одночасний пошук по багатьох напрямках шляхом використання популяції можливих рішень. Перехід від однієї популяції до іншої дозволяє уникнути попадання в локальний оптимум. Популяція зазнає щось на зразок еволюції: в кожному поколінні відносно гарні рішення репродукуються, в той час як відносно погані відмирають. ГА використовують імовірнісні правила для визначення репродуціруєміе або знищеної хромосоми, щоб направити пошук до областей ймовірного поліпшення цільової функції.

### **Переваги генетичних алгоритмів**

Існують дві головні переваги генетичних алгоритмів перед класичними оптимізаційними методиками:

1. ГА не має значних математичних вимог до видів цільових функцій і обмежень. Дослідник не повинен спрощувати модель об'єкта, втрачаючи її

адекватність, і штучно добиваючись можливості застосування доступних математичних методів. При цьому можуть використовуватися найрізноманітніші цільові функції і види обмежень (лінійні та нелінійні), визначені на дискретних, безперервних і змішаних універсальних множинах.

2. При використанні класичних покрокових методик глобальний оптимум може бути знайдений тільки в тому випадку коли проблема має властивість опуклості. У теж час еволюційні операції генетичних алгоритмів дозволяють ефективно відшукувати глобальний оптимум.

### Термінологія

Оскільки ГА відбуваються як з природних наук (генетика), так і з комп'ютерних наук, то використовувана термінологія являє собою сплав природного і штучного. Відповідність термінів, які стосуються ГА і тих, які відносяться до вирішення оптимізаційних проблем, наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні терміни теорії ГА

ГА	Пояснення
1.Хромосоми	Рішення (код)
2.Ген (декілька біт)	Частина рішення
3.Локус (місцезнаходження)	Позиція гена у хромосомі
4.Аллель	Значення гена
5.Фенотип	Розкодоване рішення
6.Генотип	Закодоване рішення

Оскільки лінгвістичні терми, якими оперують при створенні проектуємої системи, не мають чітко визначеного числового еквівалента, то найбільш зручною для моделювання роботи системи є теорія нечітких множин.

Моделі об'єктів в ній будуються за допомогою проектування та налаштування нечітких баз знань, які являють собою сукупності лінгвістичних висловлювань, типу ЯКЩО <вхід>, ТО <вихід>. Головна ідея полягає у тому, що налаштовуючи нечітку базу знань, можна ідентифікувати нелінійні залежності з необхідною точністю [15].

## **2.2 Розробка моделі роботи інформаційної технології визначення коефіцієнта зчеплення апаратом нечіткої логіки**

Модель оцінки коефіцієнта зчеплення розроблялася на основі ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань. Побудова моделі виконувалась в два етапи: перший - структурна ідентифікація; другий - параметрична ідентифікацію. На першому етапі будувалася структура залежності коефіцієнта зчеплення від факторів, що впливають із застосуванням експертних правил <ЯКЩО - ТО>. На другому етапі проводилося налаштування моделі шляхом підбору таких параметрів форми функцій належності нечітких термів і ваг правил <ЯКЩО - ТО>, які забезпечують мінімальне розходження модельних і експериментальних результатів.

### **2.2.1 Входи і виходи об'єкта**

Нами розглядається об'єкт з одним виходом та  $n$  входами виду:

$$y = f_y(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.7)$$

де  $y$  – вхідна змінна;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – вихідні змінні.

Змінні  $x_1, x_2, \dots, x_n$  та  $y$  можуть бути кількісними і якісними.

Прикладами кількісних змінних є:

ШВИДКІСТЬ АВТОМОБІЛЯ = [0, 160] км/год, та інші змінні, які легко вимірюються в прийнятих для них кількісних шкалах.

Прикладом змінної, для якої не існує природної кількісної шкали, є РІВЕНЬ ЗНОСУ ШИНИ, який може бути оцінений якісними термами (низький, середній, високий) або вимірюватися в штучних шкалах, наприклад, по 5-бальній, 10-бальній, ..., 100-бальній системах.

Для кількісних змінних передбачаються відомими зміни:

$$U_i = [\underline{x}_i, \bar{x}_i], i = \overline{1, n}, \quad (2.8)$$

$$Y = [\underline{y}, \bar{y}], \quad (2.9)$$

де  $\underline{x}_i$  ( $\bar{x}_i$ ) - нижнє (верхнє) значення вхідної змінних  $\bar{x}_j, i = \overline{1, n}$ ,  
 $\underline{y}$  ( $\bar{y}$ ) – нижнє (верхнє) значення вихідної змінної  $y$ .

Для якісних змінних  $x_1 \div x_n$  та  $y$  передбачається, що змінюються множини всіх можливих значень:

$$U_i = [v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^{q_i}], i = \overline{1, n}, \quad (2.10)$$

$$Y = [y^1, y^2, \dots, y^{q_m}], \quad (2.11)$$

де  $v_i^l (v_i^{q_i})$  - бальна оцінка, що відповідає найменшому (найбільшому) значенню вхідної змінної  $x_j$ ;

$y^1 (y^{q_m})$  - бальна оцінка, що відповідає найменшому (найбільшому) значенню вихідної змінної  $y$ ;

$q_j, i = \overline{1, n}$  та  $q_m$  - потужності множин (2.10) та (2.11), при чому в загальному випадку  $q_1 \neq q_2 \neq \dots \neq q_n \neq q_m$ .

### 2.2.2 Лінгвістичні змінні

Нехай  $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$  - вектор фіксованих значень вхідних змінних розглянутого об'єкта, де  $x_1^* \in U_i, i = \overline{1, n}$ . Задача прийняття рішення полягає у тому, щоб на основі інформації про вектор входів  $X^*$  визначити вихід  $y^* \in Y$ .



Необхідною умовою формального рішення такої задачі є наявність залежності (2.1). Для встановлення цієї залежності будемо розглядати вхідні змінні  $x_j, i = \overline{1, n}$  та вхідну змінну  $y$  як лінгвістичні змінні [15], задані на універсальних множинах (2.8), (2.9) або (2.10), (2.11).

Для оцінки лінгвістичних змінних  $x_j, i = \overline{1, n}$  та  $y$  будемо використовувати якісні терми з наступних терм-множин:

$A_i = \{a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^{l_i}\}$  – терм-множина змінної  $x_j, i = \overline{1, n}$ ,

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$  – терм-множина  $y$ ,

де  $a_i^p$  –  $p$ -й лінгвістичний терм змінної  $x_j, p = \overline{1, l_j}, i = \overline{1, n}$ .

$d_j$  –  $j$ -й лінгвістичний терм змінної  $y$ ,

$m$  – число різноманітних рішень області, що розглядається.

Потужності терм-множин  $A_i, i = \overline{1, n}$  в загальному випадку можуть бути відмінними, тобто  $l_1 \neq l_2 \neq \dots \neq l_n$ .

Назви окремих термов  $a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^{l_i}$  можуть також відрізнятися один від одного для різноманітних лінгвістичних змінних  $x_j, i = \overline{1, n}$ . Наприклад, ШВИДКІСТЬ АВТОМОБІЛЯ {низька, середня, висока, дуже висока}, СТАН ДОРОЖНОГО ПОКРИТТЯ {поганий, задовільний, хороший, відмінний}.

Лінгвістичні терми  $a_i^p \in A_i$  та  $d_j \in D, p = \overline{1, l_j}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$  будемо розглядати як нечіткі множини, задані на універсальних множинах  $U_i$  та  $Y$ , визначених співвідношеннями (2.12)÷(2.13).

В випадку кількісних змінних  $x_j, i = \overline{1, n}$  та  $y$ , нечіткі множини  $a_i^p$  та  $d_j$ , визначені співвідношеннями:

$$a_i^p = \int_{x_i}^{\overline{x_i}} \mu^{a_i^p}(x_i)/x_i, \quad (2.12)$$

$$d_j = \int_{\underline{d}}^{\overline{d}} \mu^{d_j}(d)/d, \quad (2.13)$$

де,  $\mu^{a_i^p}(x_i)$  - функція приналежності значення вхідної змінної  $x_i \in [x_i, \bar{x}_i]$  терму  $a_i^p \in A_i$ ,  $p = \overline{1, l_j}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;

$\mu^{d_j}(d)$  – функція приналежності значення вихідної змінних  $y \in [\underline{y}, \bar{y}]$  терму-рішенню  $d_j \in D$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

В випадку якісних змінних  $x_j$ ,  $i = \overline{1, n}$  та у нечіткі множини  $a_i^p$  та  $d_j$  визначимо так:

$$a_i^p = \sum_{k=1}^{q_i} \mu^{a_i^p}(v_i^k)/v_i^k, \quad (2.14)$$

$$d_j = \sum_{r=1}^{q_m} \mu^{d_j}(y^r)/y^r, \quad (2.15)$$

де  $\mu^{a_i^p}(v_i^k)$  - ступінь приналежності елемента  $v_i^k \in U_i$ , терму  $a_i^p \in A_i$ ,  $p = \overline{1, l_j}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $k = \overline{1, q_j}$ ;

$\mu^{d_j}(y^r)$  – ступінь приналежності елемента  $y^r \in Y$  терму-рішенню  $d_j \in D$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

$U_i$  та  $Y$  визначається співвідношеннями (2.10) та (2.11).

Зауважимо, що в співвідношеннях (2.12)-(2.15) знаки інтегралу та суми позначають об'єднання пар  $\mu(u)/u$ .

Даний етап побудови нечіткої моделі, на якому визначаються лінгвістичні оцінки змінних та необхідних для їх формалізації функції приналежності, отримав в літературі по нечіткій логіці [14] назву *фаззифікації змінних* (від англ. fuzzification).

Структура запропонованої моделі представлена на рис. 2.5 у вигляді дерева, висячими вершинами якого є фактори, що впливають на коефіцієнт зчеплення.

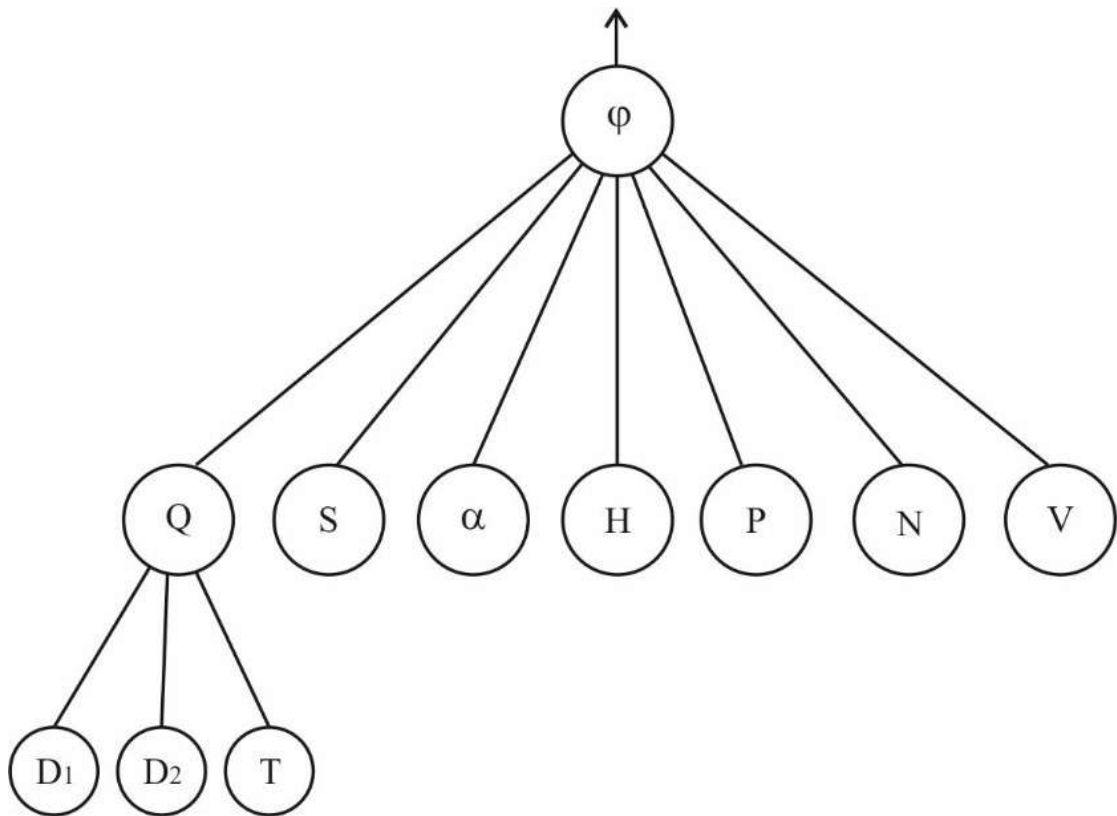


Рисунок 2.5 – Дерево виведення коефіцієнта зчеплення

Особливість моделі полягає в тому, що вона враховує як традиційні для відомої методики фактори, які узагальнені інтегральним показником  $Q$ , так і додатково введені фактори:  $S$ ,  $H$ ,  $P$ ,  $N$ ,  $V$ ,  $\alpha$ . Все на що впливають чинники, зведені в табл. 2.1, розглядаються як лінгвістичні змінні, задані на відповідних універсальних множинах і оцінюються нечіткими термами. Інтегральний показник  $Q$ , який входить в табл. 2.1, в свою чергу, залежить від чинників:  $D_1$  - тип дорожнього покриття;  $D_2$  - стан дорожнього покриття;  $T$  - тип шин. Це показано на структурі дерева моделі коефіцієнта зчеплення (рис. 2.5). Рекомендації для оцінки інтегрального показника  $Q$  наведено в табл. 2.2, яка відповідає загальноприйнятій методиці.

Експертна матриця знань для оцінки коефіцієнта зчеплення в залежності від факторів, що впливають представлена в табл. 2.3 (експерти В.Н. Ребедайло, А.А. Кашканов). Застосування цієї матриці знань і моделі нечіткого логічного висновку дозволяє прогнозувати коефіцієнт зчеплення в практичному

діапазоні його зміни. Однак точна оцінка цього коефіцієнта залежить від вибору параметрів настроювання моделі.

### Параметрична ідентифікація

Таблиця 2.2 - Фактори, що впливають на коефіцієнт зчеплення

фактор	універсальна множина	Терми для оцінок
Q - інтегральний показник "тип шин - дорога"	(0 - 9) у.о	низький (Q <sub>1</sub> ), нижче середнього (Q <sub>2</sub> ), середній (Q <sub>3</sub> ), вище середнього (Q <sub>4</sub> ), високий (Q <sub>5</sub> )
S - ступінь прослизання шини	(0 - 100)%	кочення <span style="float: right;">3</span> просковзуванням (S <sub>1</sub> ), юз (S <sub>2</sub> )
H - знос шини	(0 - 100)%	нова (H <sub>1</sub> ), в межах допустимого (H <sub>2</sub> ), лиса (H <sub>3</sub> )
P - тиск в шині	(0.1 - 0.325) МПа	знижений (P <sub>1</sub> ), нормальний (P <sub>2</sub> ), підвищений (P <sub>3</sub> )
N - навантаження на колесо	(0 - 100)%	без навантаження (N <sub>1</sub> ),

		середня ( $N_2$ ), повна ( $N_3$ )
$V$ – швидкість автомобіля	(0 - 130) км / год	низька ( $V_1$ ), нижче середньої ( $V_2$ ), середня ( $V_3$ ), вище середньої ( $V_4$ ), висока ( $V_5$ )
$\alpha$ – кут нахилу дорожнього полотна	(- $15^0 < \alpha < 15^0$ )	Кількісна величина (за шкалою терм.)

Таблиця 2.3. Рекомендації для оцінки інтегрального показника Q

Дорожнє покриття		Показник Q для типу шин (T)		
Тип ( $D_1$ )	Стан ( $D_2$ )	Високого тиску	низького тиску	високої прохідності
Асфальтобетонне, цементобетонне	сухе	5.63 - 7.88	7.88 - 9	7.88 - 9
	зволожено дощем	3.1 - 4.33	4.33 - 4.95	4.33 - 4.95
	мокре	3.94 - 5.06	5.06 - 6.19	5.63 - 6.75
	покрите брудом	2.81 - 5.06	2.81 - 4.5	2.81 - 5.06
	Мокрий сніг ( $t > 0^\circ C$ )	2.1 - 3.4	2.1 - 4.2	2.1 - 4.2
	Ожеледь ( $t < 0^\circ C$ )	0.9 - 1.69	1.13 - 2.25	0.56 - 1.13

Продовження таблиці 2.2

бруківка	суха	4.5 - 5.63	5.63 - 6.19	6.75 - 7.88
----------	------	------------	-------------	-------------

	мокра	2.7 - 3.75	3.75 - 4.43	4.5 - 6.19
щебінь	сухий	5.63 - 6.75	6.75 - 7.88	6.75 - 7.88
	мокрый	3.38 - 4.5	4.5 - 5.63	4.5 - 6.19
Грунтова дорога	Суха	4.5 - 5.63	5.63 - 6.75	5.63 - 6.75
	зволожена дощем	2.25 - 4.5	3.38 - 5.06	3.94 - 5.63
	У період бездоріжжя	1.68 - 2.81	1.68 - 2.81	2.25 - 3.38
Целина летом:	сухий	2.25 - 3.38	2.48 - 4.5	2.25 - 3.38
Песок	вологий	3.94 - 4.5	4.5 - 5.63	4.5 - 5.63
Суглинок:	сухий	4.5 - 5.63	5.06 - 6.19	4.5 - 5.63
	Зволожений до пластичного стану	1.69 - 2.25	1.69 - 2.81	1.69 - 2.81
Цілина взимку: сніг	пухкий	2.25 - 3.38	2.25 - 4.5	2.25 - 4.5
	укочений	1.69 - 2.25	2.25 - 2.81	3.38 - 5.6

### 2.3 Розробка нечіткої бази знань

Візьмемо  $N$  експериментальних даних, які зв'язують входи і виходи об'єкта ідентифікації, і розподілимо їх наступним чином:

$$N = k_1 + k_2 + \dots + k_m, \quad (2.16)$$

Де  $k_j$  – число експериментальних даних, які відповідають вихідному рішенню  $d_j, j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – число вихідних рішень, причому, в загальному випадку  $k_1 \neq k_2 \neq \dots \neq k_m$ .

Передбачається, що  $N < l_1 \cdot l_2 \cdot \dots \cdot l_n$ , тобто число відібраних експериментальних даних менше повного перебору різних поєднань рівнів  $(l_i, i = \overline{1, n})$  зміни вхідних змінних об'єкта.

Пронумеруємо  $N$  експериментальних даних наступним чином:

11, 12,  $1k_1$  – номери комбінацій вхідних змінних для вирішення  $d_1$ ;

21, 22,  $2k_2$  – номери комбінацій вхідних змінних для вирішення  $d_2$ ;

...

$j1, j2, jk_j$  – номери комбінацій вхідних змінних для вирішення  $d_j$ ;

...

$m1, m2, mk_m$  – номери комбінацій вхідних змінних для вирішення  $d_m$ .

*Матрицею знань* [34] назвемо таблицю, сформовану за такими правилами (див табл.31):

- 1) Розмірність матриці дорівнює  $(n + 1) \times N$ , де  $(n + 1)$  – число стовбців, а  $N = k_1 + k_2 + \dots + k_m$  – число рядків.
- 2) Перші  $n$  стовбців матриці відповідають вхідним змінним  $x_i, i = \overline{1, n}$ , а  $(n + 1)$  – й стовбець відповідає значенням  $d_j$  вихідної змінної  $y(j = \overline{1, m})$ .
- 3) Кожен рядок матриці являє собою деяку комбінацію значень вхідних змінних, віднесених експертом до одного з можливих значень вихідної змінної  $y$ . При цьому : перші  $k_1$  рядків відповідають значенню вихідної змінної  $y = d_1$ , другі  $k_2$  рядків  $y = d_2, \dots$ , останні  $k_m$  рядків – значенню  $y = d_m$
- 4) Елемент  $a_i^{jp}$ , який стоїть на перетині  $i$ -го стовбця і  $jp$ -го рядка відповідають лінгвістичній оцінці параметра  $x_i$  в рядку нечіткої бази даних з номером  $jp$ . При цьому лінгвістична оцінка  $a_i^{jp}$  вибирається із терм-множини, яка відповідає змінній  $x_i$ , тобто  $a_i^{jp} \in A_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}$

Таблиця 2.3 - Матриця знань

Номер вхідної комбінації значень	Вхідні змінні				Вихідна змінна
	$x_1$	$x_2$	$\dots x_i \dots$	$x_n$	
11	$a_1^{11}$	$a_2^{11}$	$\dots a_i^{11} \dots$	$a_n^{11}$	$d_1$
12	$a_1^{12}$	$a_2^{12}$	$\dots a_i^{12} \dots$	$a_n^{12}$	
...					
$1k_1$	$a_1^{1k_1}$	$a_2^{1k_1}$	$\dots a_i^{1k_1} \dots$	$a_n^{1k_1}$	
...					
$j1$	$a_1^{j1}$	$a_2^{j1}$	$\dots a_i^{j1} \dots$	$a_n^{j1}$	$d_j$
$j2$	$a_1^{j2}$	$a_2^{j2}$	$\dots a_i^{j2} \dots$	$a_n^{j2}$	
...					
$jk_j$	$a_1^{jk_j}$	$a_2^{jk_j}$	$\dots a_i^{jk_j} \dots$	$a_n^{jk_j}$	
...					
$m1$	$a_1^{m1}$	$a_2^{m1}$	$\dots a_i^{m1} \dots$	$a_n^{m1}$	$d_m$
$m2$	$a_1^{m2}$	$a_2^{m2}$	$\dots a_i^{m2} \dots$	$a_n^{m2}$	
...					
$mk_m$	$a_1^{mk_m}$	$a_2^{mk_m}$	$\dots a_i^{mk_m} \dots$	$a_n^{mk_m}$	

Введена матриця знань визначає систему логічних висловлювань типу «ЯКЩО-ТО, ІНАКШЕ», які пов'язують значення вхідних змінних  $x_1 \div x_n$  з одним з можливих типів вирішення  $d_j, j = \overline{1, m}$ :

$$\begin{aligned}
 &\text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{11}) \text{ I } (x_2 = a_2^{11}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{11}) \text{ АБО} \\
 &\quad (x_1 = a_1^{12}) \text{ I } (x_2 = a_2^{12}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{12}) \text{ АБО} \dots \\
 &\quad (x_1 = a_1^{1k_1}) \text{ I } (x_2 = a_2^{1k_1}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{1k_1}),
 \end{aligned}$$



ТО  $y = d_1$ , ІНАКШЕ

ЯКЩО  $(x_1 = a_1^{21}) \text{ I } (x_2 = a_2^{21}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{21})$  АБО  
 $(x_1 = a_1^{22}) \text{ I } (x_2 = a_2^{22}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{22})$  АБО...  
 $(x_1 = a_1^{2k_2}) \text{ I } (x_2 = a_2^{2k_2}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{2k_2})$ ,

ТО  $y = d_2$ , ІНАКШЕ

ЯКЩО  $(x_1 = a_1^{m1}) \text{ I } (x_2 = a_2^{m1}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{m1})$  АБО  
 $(x_1 = a_1^{m2}) \text{ I } (x_2 = a_2^{m2}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{m2})$  АБО...  
 $(x_1 = a_1^{mk_m}) \text{ I } (x_2 = a_2^{mk_m}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{mk_m})$ ,

ТО  $y = d_m$ , (2.17)

де  $d_j (j = \overline{1, m})$  – лінгвістична оцінка вихідної змінної  $y$ , яка визначається із терм множини  $D$ ;

$a_i^{jp}$  – лінгвістична оцінка змінної  $x_i$  в  $p$ -ому рядку  $j$ -ї диз'юнкції, яка вибирається з терм множини  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $p = \overline{1, k_j}$ ;

$k_j$  – кількість правил, які визначають значення вихідної змінної  $y = d_j$ .

Буд

емо називати подібну систему логічних висловлювань *нечіткою базою знань*.

З використанням операцій  $\cup$  (АБО) і  $\cap$  (І) система логічних висловлювань (2.17) може бути переписана у більш компактному вигляді:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} [\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp})] \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m}. \quad (2.18)$$

Таким чином шукане співвідношення (2.16), яке встановлює зв'язок між вхідними параметрами  $x_i$  і вихідною змінною  $y$ , формалізовано у вигляді

системи нечітких логічних висловлювань (2.17), яка базується на введеній нами матриці знань (табл. 2.4).

Користуючись деревом рішень, яке показано на рис 2.5, покажемо основні залежності, необхідні в процесі виведення рішення експертної нечіткої бази знань.

$$\varphi = f_Q(Q, S, H, P, N, V, \alpha), \quad (2.19)$$

$$Q = f_Q(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5), \quad (2.20)$$

$$S = f_S(S_1, S_2), \quad (2.21)$$

$$H = f_H(H_1, H_2, H_3), \quad (2.22)$$

$$P = f_P(P_1, P_2, P_3), \quad (2.23)$$

$$N = f_N(N_1, N_2, N_3), \quad (2.24)$$

$$V = f_V(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5), \quad (2.25)$$

де:

1.  $Q$  – інтегральний показник - "тип шин - дорога", виводиться із таблиці 2.2 і характеризується слідуєчими лінгвістичними термами:
  - низький ( $Q_1$ ),
  - нижче середнього ( $Q_2$ ),
  - середній ( $Q_3$ ),
  - вище середнього ( $Q_4$ ),
  - високий ( $Q_5$ )

2. S - ступінь прослизання шини, з відповідними термами:

- кочення з просковзуванням ( $S_1$ ),
- юз ( $S_2$ )

3. H - знос шини з термами:

- нова ( $H_1$ ),
- в межах допустимого ( $H_2$ ),
- лиса ( $H_3$ )

4. P - тиск в шині

- знижений ( $P_1$ ),
- нормальний ( $P_2$ ),
- підвищений ( $P_3$ )

5. N - навантаження на колесо

- без навантаження ( $N_1$ ),
- середня ( $N_2$ ),
- повна ( $N_3$ )

6. V - швидкість автомобіля

- низька ( $V_1$ ),
- нижче середньої ( $V_2$ ),
- середня ( $V_3$ ),
- вище середньої ( $V_4$ ),
- висока ( $V_5$ )

7.  $\alpha$  – кут нахилу дорожнього полотна, кількісна величина ( $-15^\circ < \alpha < 15^\circ$ )

Нечітка база знань, що інтерпретує залежність (2.1) показана в таблиці 2.5. Вона представляє собою матрицю, кожен рядок якої представляє продукційне правило виведення результату.

Наприклад:

ЯКЩО Q (інтегральний показник - "тип шин - дорога") = Q<sub>1</sub> (низький)

I S (ступінь прослизання шини) = S<sub>2</sub> (юз),

I H (знос шини) = H<sub>2</sub>(в межах допустимого),

I P (тиск в шині) = P<sub>2</sub> (нормальний),

I N (навантаження на колесо) = N<sub>1</sub>(без навантаження),

I V (швидкість автомобіля) = V<sub>1</sub>(низька),

АБО Q (інтегральний показник - "тип шин - дорога") = Q<sub>1</sub> (низький)

I S (ступінь прослизання шини) = S<sub>2</sub> (юз),

I H (знос шини) = H<sub>2</sub>(в межах допустимого),

I P (тиск в шині) = P<sub>2</sub> (нормальний),

I N (навантаження на колесо) = N<sub>1</sub>(без навантаження),

I V (швидкість автомобіля) = V<sub>1</sub>(низька),

АБО Q (інтегральний показник - "тип шин - дорога") = Q<sub>1</sub> (низький)

I S (ступінь прослизання шини) = S<sub>2</sub> (юз),

I H (знос шини) = H<sub>2</sub>(в межах допустимого),

I P (тиск в шині) = P<sub>2</sub> (нормальний),

I N (навантаження на колесо) = N<sub>1</sub>(без навантаження),

I V (швидкість автомобіля) = V<sub>1</sub>(низька),

ТО

φ (коефіцієнт зчеплення) = φ<sub>1</sub>

Таблиця 2.4 - Нечітка база знань

Q	S	H	P	N	V	φ	Вага
Q <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	φ <sub>1</sub>	1.000
Q <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	N <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>		0.700
Q <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>		0.999

## Продовження таблиці 2.4

Q <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>		0.700
Q <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>	φ <sub>2</sub>	0.700
Q <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	N <sub>3</sub>	V <sub>3</sub>		0.998
Q <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	V <sub>5</sub>		0.700
Q <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	φ <sub>3</sub>	0.400
Q <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>		0.300
Q <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>		0.400
Q <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	φ <sub>4</sub>	0.997
Q <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>5</sub>		0.400
Q <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	V <sub>2</sub>		0.999
Q <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	φ <sub>5</sub>	1.000
Q <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>3</sub>		0.400
Q <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>		0.999
Q <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	N <sub>3</sub>	V <sub>2</sub>	φ <sub>6</sub>	0.400
Q <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>3</sub>		0.400
Q <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>		0.699
Q <sub>5</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	V <sub>5</sub>	φ <sub>7</sub>	1.000
Q <sub>5</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>4</sub>		1.000
Q <sub>5</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	V <sub>2</sub>		1.000
Q <sub>5</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>3</sub>	φ <sub>8</sub>	1.000
Q <sub>5</sub>	S <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>4</sub>		0.600

## 2.4 Функції належності

За визначенням [5], функція приналежності характеризує суб'єктивну міру (в діапазоні [0,1]) впевненості експерта в тому, що чітке значення відповідає нечіткому терму. Найбільшого поширення в практичних застосуваннях [84] отримали трикутні, трапецієподібні і дзвоновидні (гаусові) функції приналежності, параметри яких дозволяють змінювати форму функцій.

Ми будемо використовувати просту і зручну для налаштування аналітичну модель функцій приналежності змінної нечіткому терму у вигляді:

$$\mu^T = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2}, \quad (2.26)$$

Де  $b$  і  $c$  - параметри налаштування:  $b$  - координата точки максимуму функції,  $\mu^T(b) = 1$ ;  $c$  - коефіцієнт концентрації - розтягування функції (рис. 2.2). Для нечіткого терма  $T$  число  $b$  представляє найбільш можливе значення змінної  $x$ .

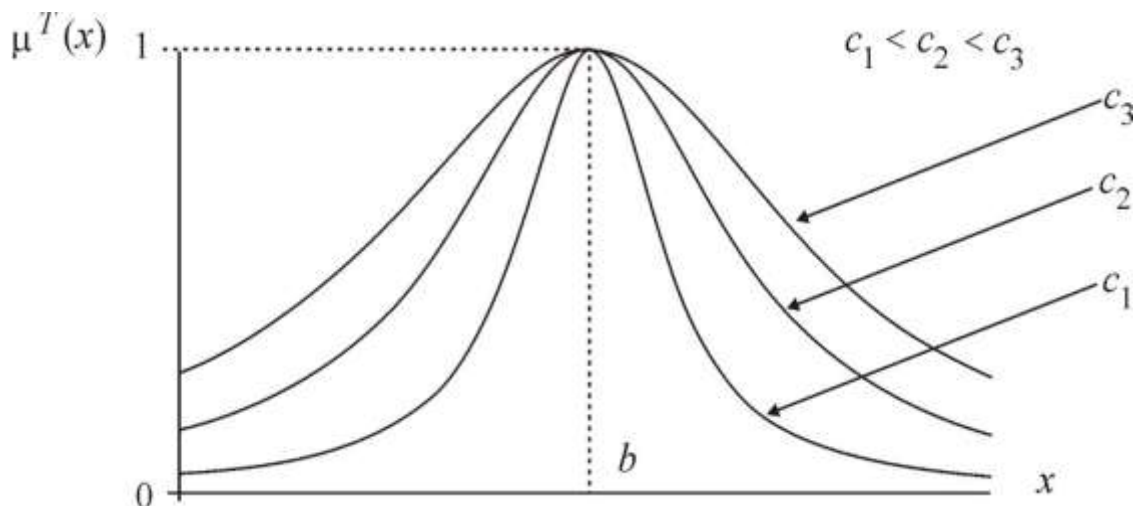


Рисунок 2.6 – Модель функції належності

Для моделювання використовувалися дзвоноподібні функції приналежності, задані на єдиній універсальній множині  $U = [0,100]$ , з параметрами центру ( $b$ ) і стиснення-розтягування ( $c$ ), представленими в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Параметри функцій належності

Терм	ДН	Н	НС	С	ВС	В	ДВ
$b$	0	16,7	33,3	50	66,7	83,3	100
$c$	15	15	15	15	15	15	15

## 2.5 Налаштування моделі

Налаштування моделі проводилось за допомогою навчальної вибірки, яка представляє собою сукупність пар <впливаючі фактори - коефіцієнт зчеплення>. Для отримання навчальної вибірки проводився спеціально спланований натурний експеримент з автомобілем. В цьому експерименті варіювалися фактори, що впливають на коефіцієнт зчеплення, і вимірювалася довжина шляху гальмування автомобіля. Загальний обсяг навчальної вибірки склав 60 пар даних <впливаючі фактори - коефіцієнт зчеплення>. Налаштування моделі проводилася за допомогою системи FUZZY EXPERIENS. В результаті отримані функції належності нечітких термів, показані на рис. 2.3-2.8. Параметри всіх центрів (b) і крутизни (c) налаштованих функцій приналежності зведені в табл. 2.5. Ваги нечітких правил, отримані після налаштування, наведені в правій частині табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Параметри функцій належності після налаштування

Терм	b	c	Терм	b	c	Терм	b	c
Q <sub>1</sub>	0.90	0.97	H <sub>1</sub>	21.36	24.33	N <sub>2</sub>	64.48	28.92
Q <sub>2</sub>	2.50	0.40	H <sub>2</sub>	57.15	38.68	N <sub>3</sub>	85.92	20.31
Q <sub>3</sub>	4.63	0.59	H <sub>3</sub>	90.21	26.55	V <sub>1</sub>	10.40	14.74
Q <sub>4</sub>	6.23	0.42	P <sub>1</sub>	0,14	0,04	V <sub>2</sub>	10.40	30,06
Q <sub>5</sub>	8.58	0,75	P <sub>2</sub>	0,20	0,04	V <sub>3</sub>	14,07	42,26
S <sub>1</sub>	24,88	41,86	P <sub>3</sub>	0,32	0,07	V <sub>4</sub>	64,65	5,82
S <sub>2</sub>	98,93	41,95	N <sub>1</sub>	0,10	38,98	V <sub>5</sub>	119,99	13,48

Продемонструємо функції належності параметрів вхідних величин після налаштування:

Так, функції належності значень Q – (інтегрального показника "тип шин - дорога") після налаштування виглядають так, як показано на рис.2.7.

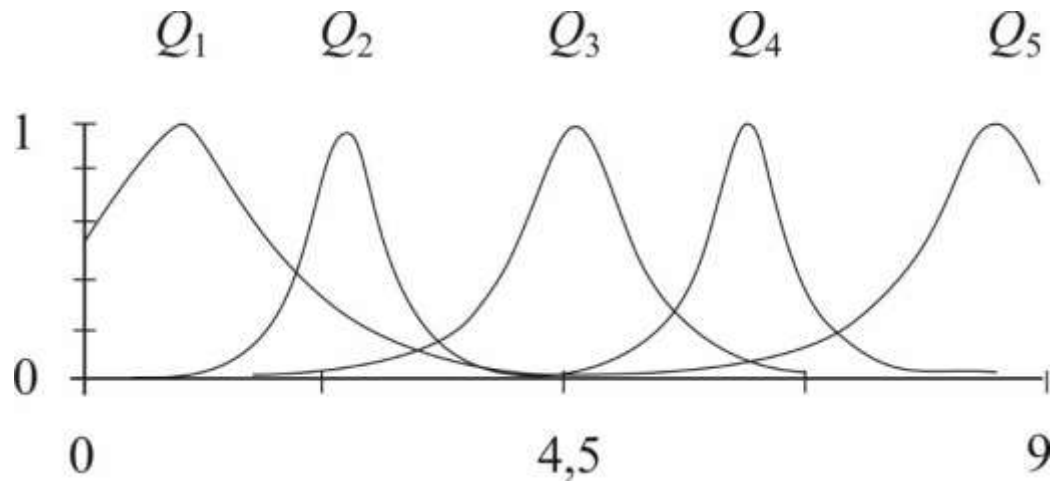


Рисунок 2.7 - Функції належності значень  $Q$  - інтегрального показника "тип шин - дорога" після налаштування

Функції належності значень  $S$  – (ступінь прослизання шини) - після налаштування виглядають так, як показано на рис.2.8.

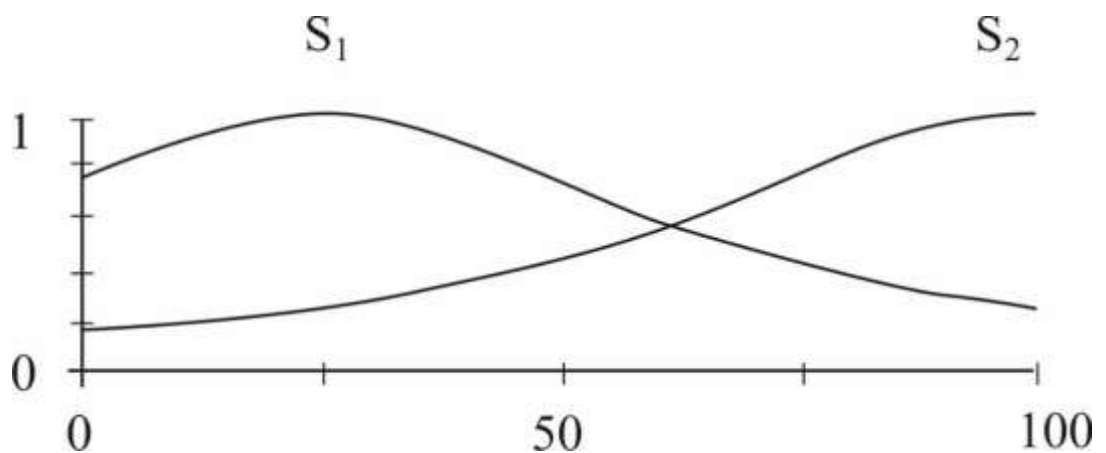


Рисунок 2.8 - Функції належності значень  $S$  – (ступінь прослизання шини) - після налаштування

Функції належності значень  $H$  – (знос шини) - після налаштування виглядають так, як показано на рис.2.9.



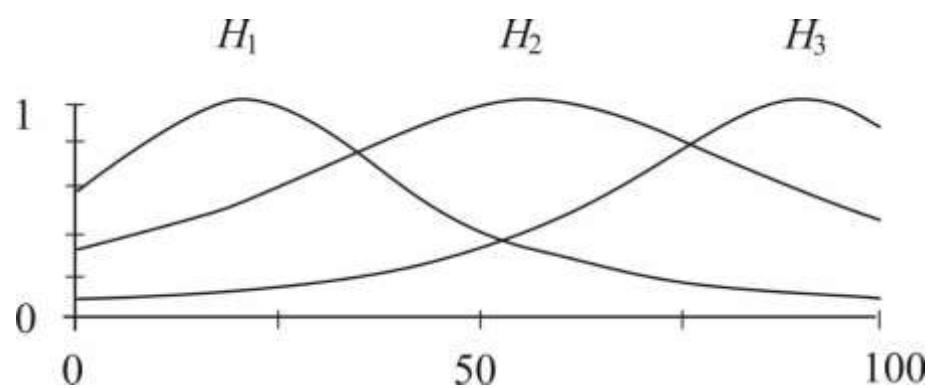


Рисунок 2.9 - Функції належності значень  $H$  – (знос шини) після налаштування

Функції належності значень  $P$  – (тиск в шині) - після налаштування виглядають так, як показано на рис.2.10.

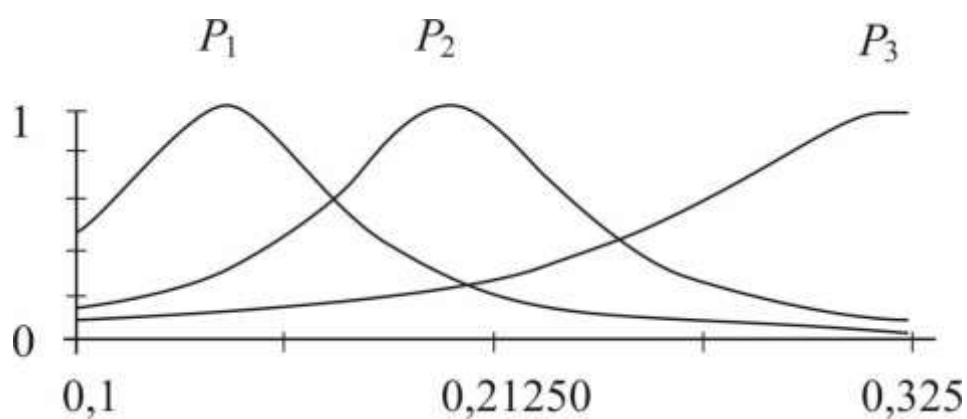


Рисунок 2.10 - Функції належності значень  $P$  – (тиск в шині) після налаштування

Функції належності значень  $N$  – (навантаження на колесо) - після налаштування виглядають так, як показано на рис.2.11.

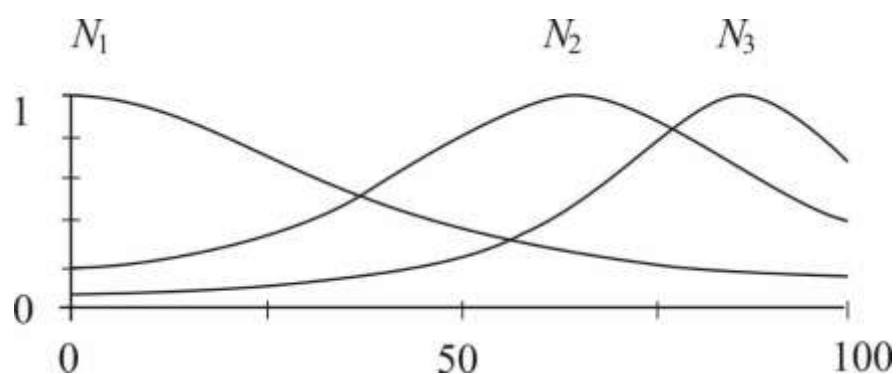


Рисунок 2.11 - Функції належності значень  $N$  – (навантаження на колесо) після налаштування

Функції належності значень  $V$  – (швидкість автомобіля) - після налаштування виглядають так, як показано на рис.2.12.

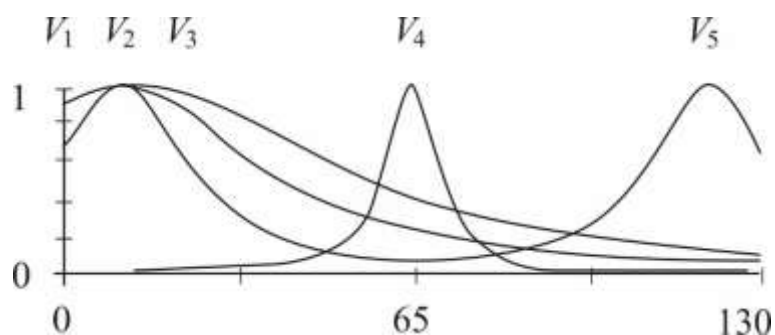


Рисунок 2.12 - Функції належності значень  $V$  – (швидкість автомобіля) після налаштування

Порівняння модельних та експериментальних результатів оцінки коефіцієнтів зчеплення в таблиці 2.8 демонструє досить непогану для практики адекватність побудованої моделі.

Таблиця 2.8 - Порівняння рішень з експериментальною вибіркою

Фактори						Коефіцієнт зчеплення			
Q	S	H	P	N	V	Табличний	1)	2)	3)
6.15	100	62	0.2	15	20	0.45 – 0.55	0.55	0.54	0.55
4.45	100	65	0.2	15	60	0.25 – 0.4	0.33	0.35	0,34
4.7	100	65	0.18	20	40	0.30 – 0.45	0.39	0.39	0,39
3.4	90	45	0.17	95	120	0.22 – 0.40	0.26	0.26	0.26
3.7	64	95	0.25	45	72	0.20 – 0.40	0.28	0.29	0.28
3.9	84	81	0.27	67	65	0.25 – 0.45	0.32	0.31	0,31
8.1	67	72	0.25	20	58	0.60 – 0.70	0.68	0.68	0,68
3.4	65	80	0.14	15	15	0.25 – 0.40	0.27	0.28	0,28
3.6	40	75	0.18	20	45	0.30 – 0.45	0.34	0.31	0,33
3.9	100	35	0.29.	45	110	0.20 – 0.40	0.29	0.29	0,29
7.4	35	70	0.19	60	90	0.60 – 0.70	0.62	0.62	0,62
5.3	30	5	0.26	90	35	0.40 – 0.50	0.45	0.45	0,45
8.6	100	60	0.2	15	20	0.70 – 0.80	0.76	0.75	0,76
6.15	100	62	0.2	15	40	0.45 – 0.55	0.52	0.52	0,52
6.3	100	65	0.18	20	20	0.50 – 0.60	0.56	0.54	0,55
4.7	100	65	0.18	20	60	0.30 – 0.45	0.36	0.38	0,37
4.8	15	55	0.21	62	32	0.40 – 0.50	0.42	0.41	0,42
5	37	15	0.18	17	25	0.40 – 0.50	0.44	0.42	0,43
6.8	70	28	0.16	90	52	0.50 – 0.70	0.55	0.54	0,55
7.3	41	37	0.2	50	65	0.60 – 0.70	0.62	0.62	0,62
6.7	80	55	0.12	56	62	0.50 – 0.60	0.52	0.54	0,53
4.8	100	20	0.23	10	80	0.35 – 0.50	0.39	0.38	0,39
3.3	50	90	0.3	50	85	0.25 – 0.40	0.24	0.24	0,24
2.1	20	55	0.23	70	40	0.15 – 0.20	0.16	0.15	0,16
8.6	100	60	0.2	15	40	0.70 – 0.80	0.74	0.74	0,74

Продовження таблиці 2.8

6.15	100	62	0.2	15	60	0.45 – 0.55	0.48	0.51	0,50
6.3	100	65	0.18	20	40	0.50 – 0.60	0.53	0.52	0,52
7.2	70	70	0.19	15	60	0.60 – 0.70	0.63	0.62	0,62
1.7	35	30	0.16	74	34	0.10 – 0.20	0.16	0.15	0,15
1.3	72	35	0.15	70	33	0.08 – 0.15	0.12	0.13	0,12
2.25	62	21	0.31	85	64	0.20 – 0.25	0.17	0.18	0,17
4.5	32	75	0.19	90	80	0.35 – 0.50	0.35	0.36	0,36
7.5	75	25	0.18	71	67	0.60 – 0.70	0.64	0.63	0,63
2.6	65	50	0.16	60	55	0.20 – 0.30	0.22	0.20	0,21
5	70	20	0.17	100	25	0.40 – 0.50	0.39	0.40	0,40
0.7	100	75	0.18	20	10	0.05 – 0.10	0.06	0.06	0,06
8.6	100	60	0.2	15	60	0.70 – 0.80	0.70	0.70	0,70
4.45	100	65	0.2	15	20	0.25 – 0.40	0.40	0.38	0,39
6.3	100	65	0.18	20	60	0.50 – 0.60	0.51	0.52	0,51
5.6	100	75	0.2	25	100	0.45 – 0.55	0.46	0.44	0,45
2.9	48	25	0.24	51	68	0.20 – 0.40	0.22	0.21	0,22
2.85	56	75	0.29	40	40	0.20 – 0.30	0.20	0.22	0,21
5.5	53	98	0.18	100	35	0.40 – 0.50	0.42	0.43	0,43
5.2	78	20	0.17	38	129	0.40 – 0.55	0.41	0.41	0,41
8.2	15	10	0.2	100	115	0.70 – 0.80	0.67	0.66	0,67
8.3	100	30	0.17	80	40	0.70 – 0.80	0.71	0.71	0,71
4.3	90	10	0.13	10	120	0.35 – 0.40	0.33	0.33	0,33
8.6	100	62	0.2	15	80	0.70 – 0.80	0.67	0.68	0,67
4.45	100	65	0.2	15	40	0.25 – 0.40	0.36	0.38	0,37

1. Експериментальна вибірка
2. Дані , одержані на моделі аналога
3. Дані, одержані на доопрацьованій моделі

## 2.6 Висновок

В другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи виконані розробка та моделювання етапів удосконаленої технології. При цьому проведені слідуючі дослідження:

- Проведено обґрунтування вибору методології моделювання роботи інформаційної технології, де проаналізована можливість застосування, в якості методології моделювання, нечітка логіка, нейронні мережі та генетичні алгоритми. У якості базової методології вибрана нечітка логіка.
- З використанням апарату нечіткої логіки розроблена модель роботи інформаційної технології визначення коефіцієнта зчеплення;
- Виконана формалізація моделі (визначено входи і виходи об'єкта моделювання).
- Виконана фазифікація моделі (визначено лінгвістичні змінні та їх функції належності).
- Розроблена нечітка база знань.
- Виконано налаштування моделі з використанням експериментальної тестової вибірки.

Використовуючи удосконалену модель нової технології, ми можемо приступити до проектування експериментального модуля, що її реалізує.

### **3.ПРОЕКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ**

#### **3.1 Обґрунтування застосування ООП та UML в інформаційній технології визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття**

Об'єктний підхід містить набір сутностей, пов'язаних з поняттям класу і об'єкта, що об'єднує поведінку об'єкта та його стан, що, в свою чергу, дозволяє конструювати структуру узагальнюючих понять над об'єктно - орієнтованою моделлю. Найважливішим поняттям об'єктної парадигми є об'єкт, який визначається як прихована сутність, що володіє атрибутами і методами. Об'єкти - це базові елементи, що моделюють реальний світ. На відміну від структурного підходу, де первинною є функціональна декомпозиція, в об'єктному підході модель розбивається на деяку множину відносно-незалежних сутностей - об'єктів [10]. Об'єктна декомпозиція, відображена в інструментальних засобах програм, є головна особливість об'єктного підходу та об'єктно-орієнтованого підходу.

Об'єкт - це абстракція множини предметів реального світу, що володіють схожими характеристиками і законами поведінки. Об'єкт являє собою типовий й елемент такої множини. Екземпляр об'єкта - це конкретний елемент множини об'єктів. Наприклад, в обчислювальних мережах об'єктом є сервер, а екземпляром цього об'єкта - сервер, що встановлений в конкретній корпоративній мережі.

Клас - це сукупність предметів реального світу, пов'язаних спільною структурою і поведінкою. Елемент класу - це конкретний елемент даної множини. Наприклад, у сфері організаційного управління існує клас організаційно-розпорядчих документів. Таким чином, об'єкт - це типовий представник класу, а терміни "екземпляр об'єкта" і "елемент класу" є синоніми.

Головними поняттями об'єктного підходу є інкапсуляція, успадкування і поліморфізм [10].

Об'єктний підхід передбачає, що ресурси, якими можуть маніпулювати методи самого об'єкта, приховані від впливу зовнішніх компонентів. Приховування даних і методів в якості індивідуальних ресурсів об'єкту одержало назву інкапсуляції.

Поняття поліморфізму може бути інтерпретовано як здатність об'єкта або метода змінювати свою приналежність. Існують і інші види поліморфізму, такі як перезавантаження і параметричний поліморфізм. За допомогою перезавантаження ідентифікатори, що використовують для іменування методів, можуть бути також використані в різних реалізаціях. Для вирішення колізій застосовується контекстна ідентифікація. Найбільш поширеною формою параметричного поліморфізму в основних об'єктно-орієнтованих мовах програмування є можливість використання типів в якості параметрів програмних операторів.

Об'єктна модель активно використовує принцип успадкування, що дозволяє ієрархічно структурувати складні конструкції компонентів і їх атрибутів. Успадкування означає створення нових класів на основі існуючих з додаванням або перевизначенням даних і методів [10].

Наприклад, об'єкт "Сервер" представлений структурою даних, що зберігає детальну інформацію про сервер: його назву, адресу і склад апаратного і програмного забезпечення. Клас об'єктів, крім структур даних, визначає функції (методи), які застосовуються до цих структур. У прикладі з об'єктом "Сервер" клас може містити такі функції (методи), як «встановити», «запустити в роботу» і т. Д. Клас - це ключовий елемент, що забезпечує модульність в проектних специфікаціях ІС і програмних рішеннях.

Об'єктно-орієнтована система з самого початку будується з урахуванням її еволюції. Ключові елементи об'єктного підходу - успадкування і поліморфізм - забезпечують можливість визначення нової функціональності класів об'єктів за допомогою створення похідних класів - нащадків базових

класів. Нащадки успадковують характеристики батьківських класів без зміни їх первісного опису і додають при необхідності власні структури даних і методи. Визначення похідних класів, при якому задаються тільки відмінності або уточнення, у величезній мірі економить час і зусилля при виробництві та використанні специфікацій і програмного коду.

Третім важливим моментом об'єктного підходу є узгодженість моделей системи від стадії аналізу до програмних модулів. Вимога узгодженості моделей виконується завдяки можливості застосування абстрагування, модульності, поліморфізму на всіх стадіях розробки. Моделі аналізу можуть бути безпосередньо піддані порівнянню з моделями реалізації. За об'єктними моделями може бути простежено відображення реальних сутностей модельованої предметної області в об'єкти і класи інформаційної системи.

Об'єктно-орієнтовані методології розробки програмного забезпечення стали інтенсивно розвиватися з кінця 80-х років. Об'єктно - орієнтований аналіз найкращим чином підходить для проектування інформаційних систем, заснованих на ситуаційному підході до управління складними об'єктами. Парадигма об'єктного моделювання полегшила процес взаєморозуміння між розробником, експертом і замовником системи.

Важливою перевагою інструментальних засобів, що реалізують об'єктний підхід (наприклад, розробки фірми Rational Rose), є можливість генерації на основі моделей програмних кодів для розроблюваної інформаційної керуючої системи підприємства. В даний час найбільш поширеним є застосування набору моделей, що входять в UML (Unified Modeling Language - універсальна мова моделювання), так як ця мова стандартизована, широко використовується і постійно розвивається. При візуальному моделюванні на UML використовуються вісім видів діаграм, кожна з яких може містити елементи певного типу. Типи допустимих елементів і відносин між ними залежать від виду діаграми [11].

Об'є

ктно-орієнтована модель предметної області являє собою сукупність діаграм,



що описують, з використанням універсальної мови об'єктного проектування мови UML різні аспекти структури і поведінки інформаційної системи.

Діаграма в UML - це графічне представлення набору елементів, зображуване найчастіше у вигляді пов'язаного графа з вершинами (сутностями) і ребрами (відносинами). У певному сенсі діаграма - це одна з проєкцій предметної області. Базисні конструкції уніфікованого мови моделювання UML (суті, відносини, діаграми) наведені в керівництві розробників UML [11]

Основними розробниками моделей об'єктів є експерти з управління складними динамічними системами в проблемних ситуаціях. Саме вони відбирають типові рішення, формують словник понять, описують дії в типових проблемних ситуаціях. Експерти можуть надати істотну допомогу в постановці завдання, в розробці можливих ситуацій, вони можуть сформулювати цілі та встановити обмеження, розробити варіанти рішень і дати оцінку їх наслідків і т.д. За свої рекомендації експерти несуть відповідальність. Зниження ризику проектування досягається за рахунок реалізації ряду ітерацій розробки (так звана спіральна модель життєвого циклу розробки), які в подальшому призводять до створення ІСППР. Кожна ітерація може призводити до створення фрагмента або нової версії моделі і включає етапи вироблення вимог, аналізу, проектування, реалізації та тестування. Оскільки тестування проводиться на кожній ітерації, ризик знижується вже на початкових етапах життєвого циклу розробки.

### **3.2 Декомпозиція інформаційної технології та розробка структури**

На основі аналізу, проведеного в попередніх розділах, одержимо діаграму компонентів так, як це показано на рис.3.1



Рисунок 3.1 – Діаграма компонентів модуля

Структура модуля зображена на рис. 3.2. Вона містить 9 програмних блоків, 2 з яких складають власне експертну систему оцінювання кредитоспроможності інноваційного проекту, а решта, - середовище розробки нечітких експертних систем. Пояснимо їх призначення.

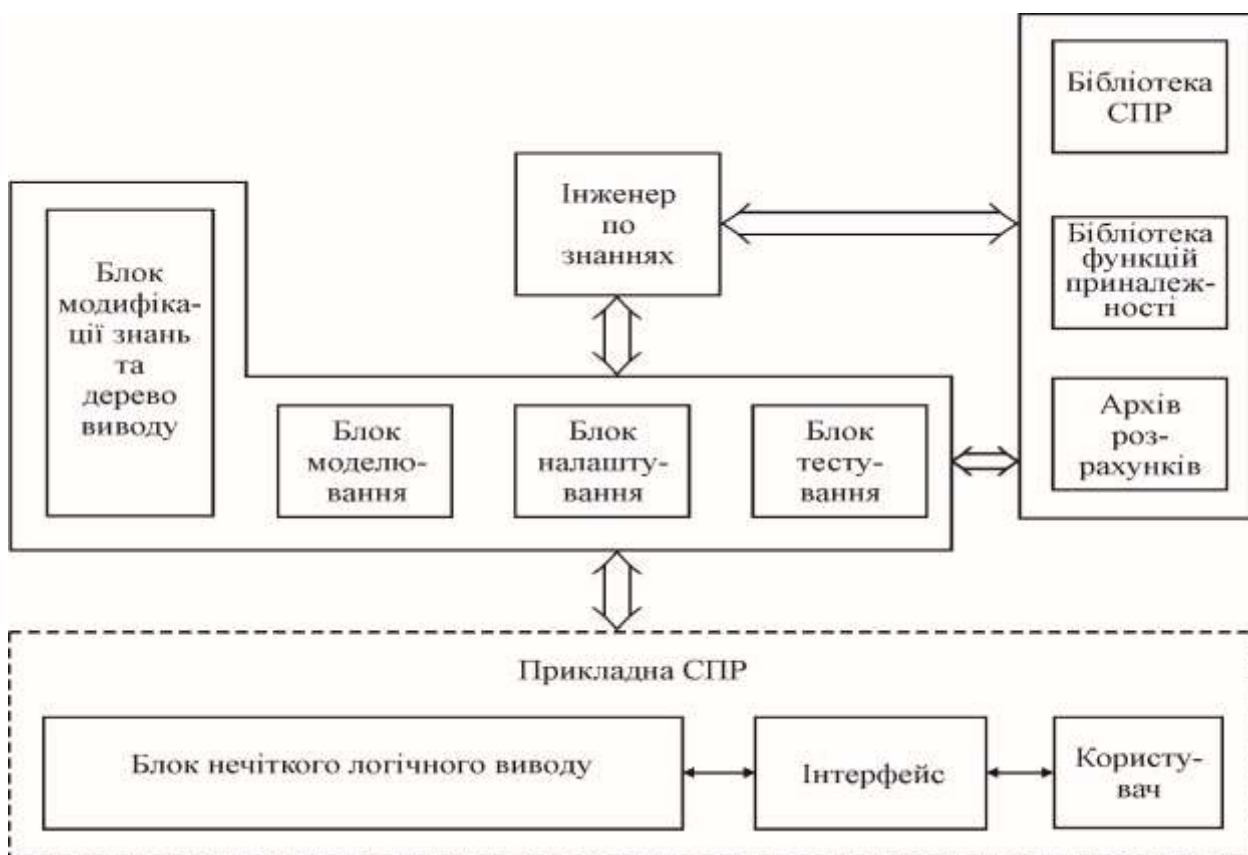


Рисунок 3.2 – Структурна схема середовища прийняття рішень

Блок модифікації нечіткої бази знань і дерева виводу містить всі екранні форми, необхідні для внесення змін в блоки експертної системи: дерево логічного висновку, базу знань і функції належності. Це основний блок середовища розробки нечітких баз знань. Він виконує наступні функції:

- а) формування дерева логічного виводу;
- б) задання функцій належності лінгвістичних термів:
  - Модифікованим методом Сааті,
  - Методом статистичної обробки експертної інформації,
- в) заповнення нечітких баз знань;
- г) збереження (витяг) варіантів експертних систем з бібліотеки.

Блок моделювання використовується для отримання графіків і поверхонь, що відбивають залежність вихідної змінної від однієї або двох вхідних змінних при фіксованих значеннях інших змінних. Мета подібного моделювання полягає в дослідженні поведінки об'єкта в різних областях факторного простору.

Блок налаштування призначений для вирішення завдань оптимізації нечіткої бази знань з метою підвищення якості ідентифікації нелінійних об'єктів. Цей блок виконує наступні функції:

- а) запит навчальної вибірки;
- б) вирішення задач оптимізації нечітких баз знань градієнтним методом;
- в) вирішення завдань оптимізації нечітких баз знань з параметричними функціями належності за допомогою генетичного алгоритму;
- г) рішення задач оптимізації нечітких баз знань з  $\alpha$ -рівневими функціями належності за допомогою генетичного алгоритму.

Блок тестування експертної системи призначений для виконання наступних дій:

- а) запит тестируючої вибірки;
- б) оцінка якості ідентифікації в точках тестируючої вибірки.

Блок документування здійснює видачу інформації про побудовану експертну систему у вигляді, зручному для інженера по знаннях.

Бібліотека експертних систем використовується для зберігання створених експертних систем на різних етапах їх розробки (до налаштування і після налаштування).

Бібліотека функцій належності містить набір стандартних моделей функцій належності:

- а) трапецієподібні;
- б) трикутні;
- в) дзвоноподібні (з параметрами  $b$  і  $c$ );
- г) експоненціальні.

Архів розрахунків дозволяє зберігати результати виконуваних розрахунків на різних етапах створення і функціонування системи.

### **3.3 Розробка діаграми класів**

Для розробки використаємо шаблон «FUZZY SOLUTION» [10], графічна UML модель якого приведена на рис.3.3.

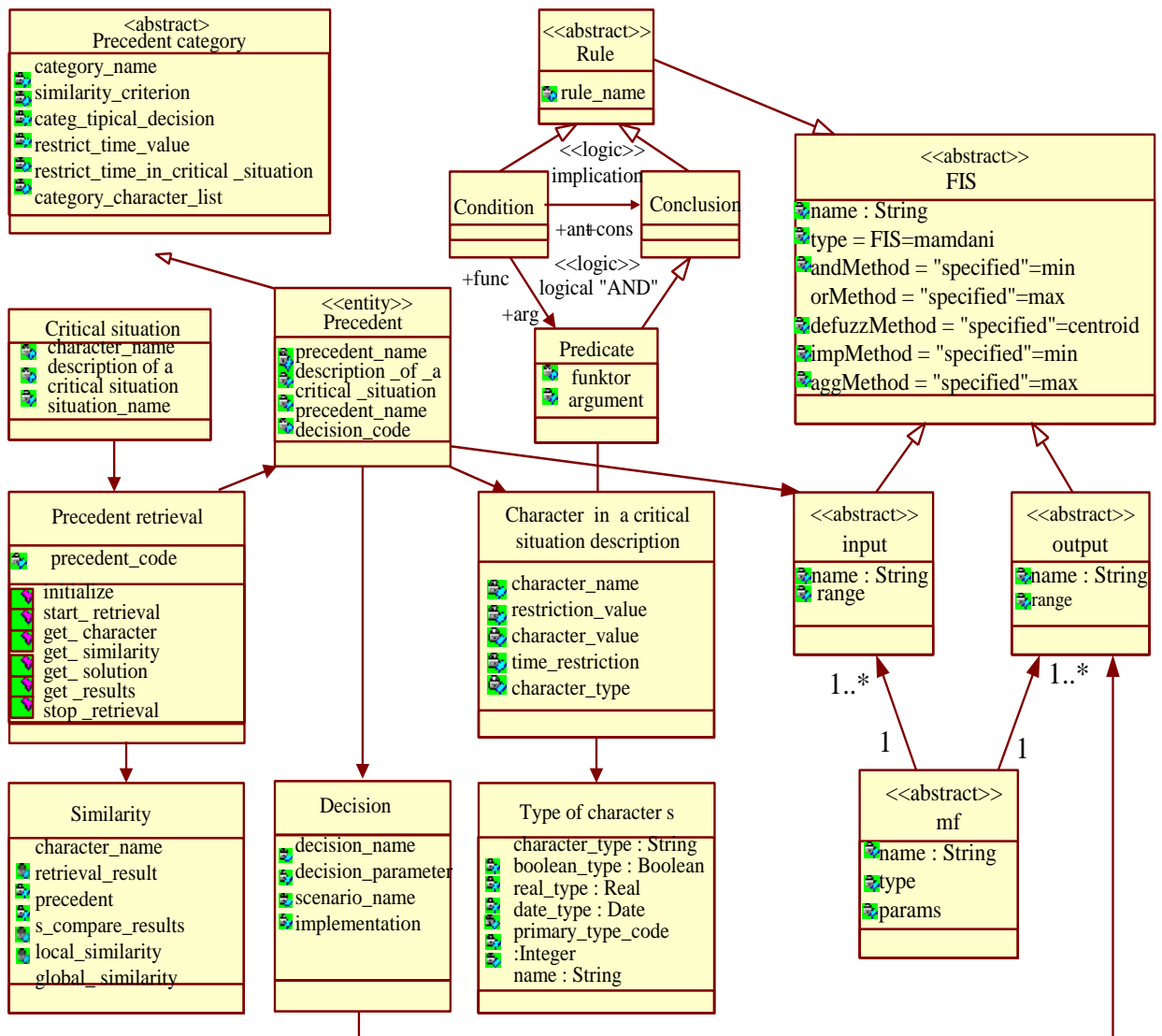


Рисунок 3.3 – Шаблон «FUZZY CONCLUSION»

### 3.4 Розробка алгоритма логічного виведення результату

Використовуючи апарат перетворень, який пропонується в [6], із співвідношень представлених в таб. 2.1 - 2.5 одержуємо нечіткі логічні рівняння, які після дефазифікації будуть мати вигляд (3.1) – (2.11)

$$\mu^{\Phi_j}(Q, S, H, P, N, V, \alpha) = \max_{p=1, h_j} \left\{ \min \left[ \mu^{Q^{jp}}(Q), \mu^{S^{jp}}(S), \mu^{H^{jp}}(H), \mu^{P^{jp}}(P), \mu^{N^{jp}}(N), \mu^{V^{jp}}(V) \right] \right\} \quad (3.1)$$

$$\mu^{Q_j}(Q_1, Q_2, \dots, Q_5) = \max_{p=1, e_j} \left\{ \min_{i=1,5} \left[ \mu^{Q_i^{jp}}(Q_i) \right] \right\} \quad (3.2)$$

$$\mu^{S_j}(S_1, S_2) = \max_{p=1, g_j} \left\{ \min_{i=1,2} \left[ \mu^{S_i^{jp}}(S_i) \right] \right\} \quad (3.3)$$

$$\mu^{H_j}(H_1, H_2, H_3) = \max_{p=1, g_j} \left\{ \min_{i=1,3} \left[ \mu^{H_i^{jp}}(H_i) \right] \right\} \quad (3.4)$$

$$\mu^{P_j}(P_1, P_2, P_3) = \max_{p=1, g_j} \left\{ \min_{i=1,3} \left[ \mu^{P_i^{jp}}(P_i) \right] \right\} \quad (3.5)$$

$$\mu^{N_j}(N_1, N_2, N_3) = \max_{p=1, g_j} \left\{ \min_{i=1,3} \left[ \mu^{N_i^{jp}}(N_i) \right] \right\} \quad (3.6)$$

$$\mu^{V_{ij}}(V_1, V_2, \dots, V_5) = \max_{p=1, t_j} \left\{ \min_{i=1,5} \left[ \mu^{V_i^{jp}}(V_i) \right] \right\} \quad (3.7)$$

Таким чином нами отримана система співвідношень, яка повністю відповідає узагальненому дереву логічного висновку (рис. 2.5) і дозволяє обчислити ступені приналежності вектора значень вхідних змінних нечітким термам-оцінками вихідної змінної. Алгоритм нечіткого логічного висновку, що використовує узагальнене дерево виведення має вигляд:

1. Зафіксуємо вектор значень вхідних змінних

$$(Q_1, Q_2, \dots, Q_5, S_1, S_2, H_1, H_2, H_3, P_1, P_2, P_3, N_1, N_2, N_3, V_1, V_2, \dots, V_5)$$

2. Визначимо значення функцій приналежності термів-оцінок вхідних змінних.

3. Використовуючи співвідношення (2.7) - (2.11) обчислимо функції приналежності  $\mu^{\Phi_j}(Q, S, H, P, N, V, \alpha)$  термів-оцінок вихідної величини  $\Phi$ , яка відповідає вектору значень вхідних змінних.

4. Визначимо оцінку  $\Phi_j$ , функція приналежності якої максимальна:

$$\mu^{\Phi^* j}(Q, S, H, P, N, V) = \max_{j=1,6} [\mu^{D_j}(Q, S, H, P, N, V)]$$

Відповідна схема алгоритму приведена на рис. 3.4.

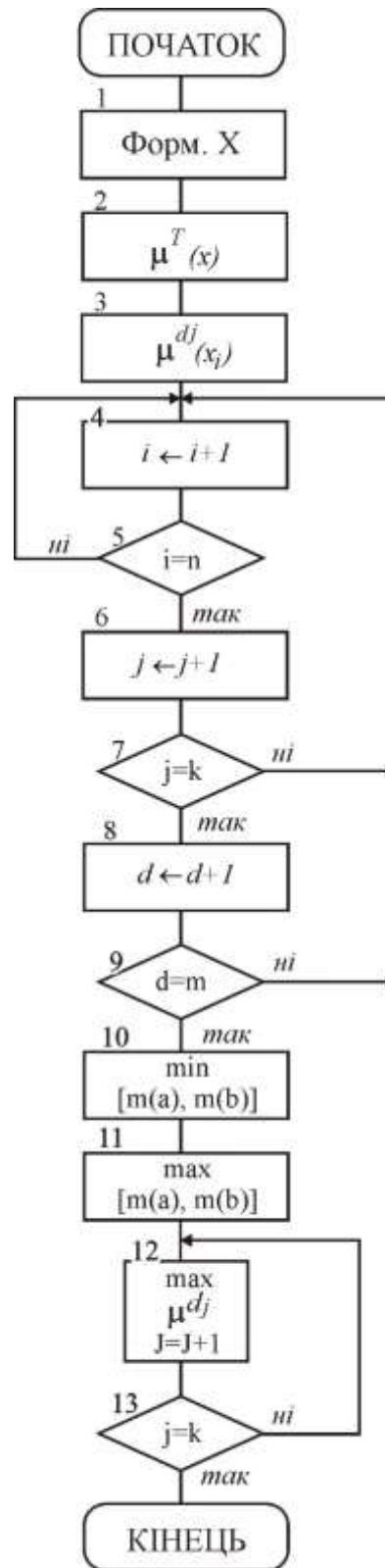


Рисунок 3.4 – Схема алгоритму логічного виведення рішення

### 3.5 Реалізація програмного модуля

Скористаємось екранною формою «Дерево виводу» середовища і створимо програмну реалізацію цієї моделі.

Першим кроком буде визначення характеристик системи. Вводиться інформація про назву та призначення системи, визначається вихідна змінна.

Дерево логічного виводу формується шляхом послідовного виконання операцій додавання і / або видалення вузлів. При додаванні нового вузла запитується інформація про назву (наприклад, тиск у шині), позначення (P), кількість термів для оцінки та їх назвах (<низький>, <нормальний>, <високий>). При додаванні вузла, відповідного вхідній змінній, запитується інформація про діапазон її зміни. Сформоване дерево логічного висновку зображено на рис. 3.5.

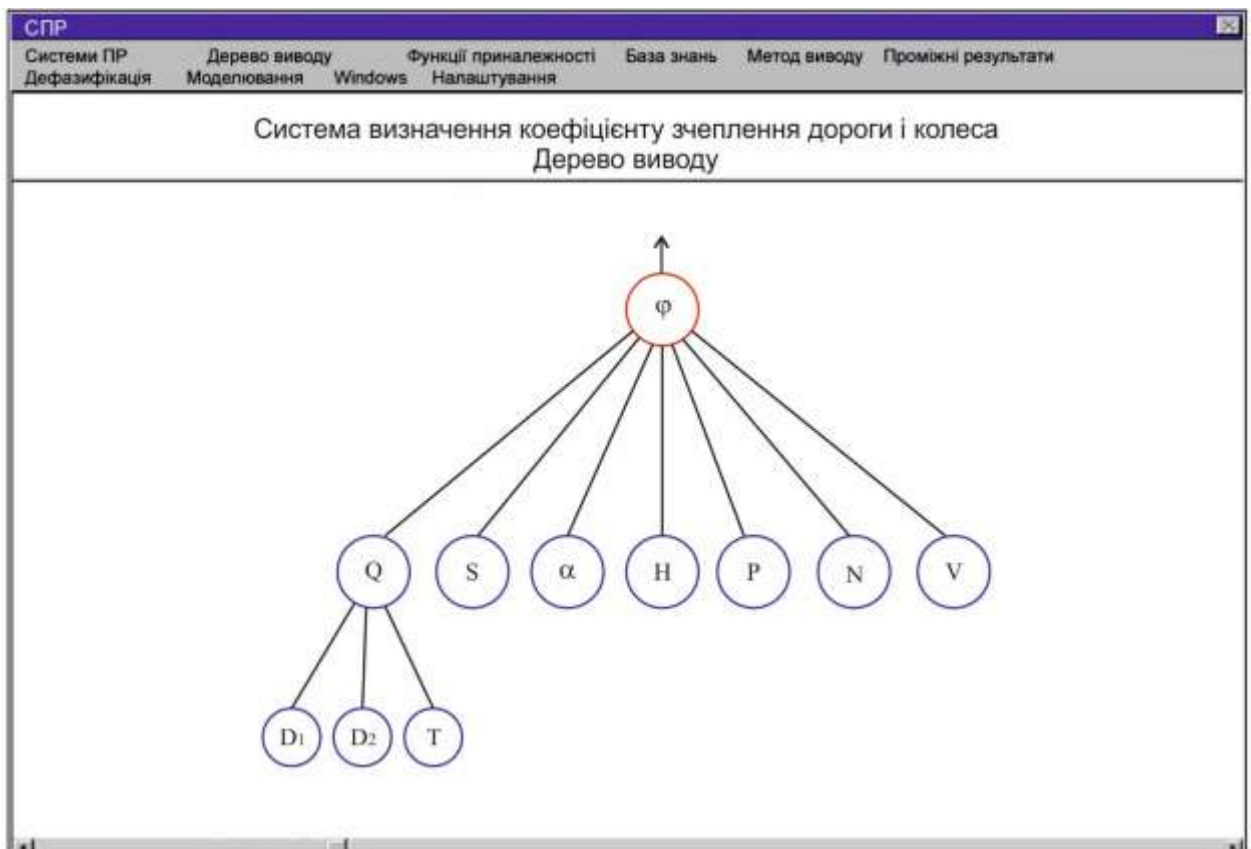


Рисунок 3.5 - Сформоване дерево логічного висновку



Визначимо функції приналежності лінгвістичних термів.

На цьому кроці визначаються моделі функцій належності, які використовуються для формалізації термів - оцінок змінних. Цей крок відповідає етапу фазифікації змінних.

Визначимо експертні правила ЯКЦО-ТО, що описують поведінку об'єкта. Експертні правила ЯКЦО-ТО вносяться у відповідні матриці знань (Рис. 3.6).

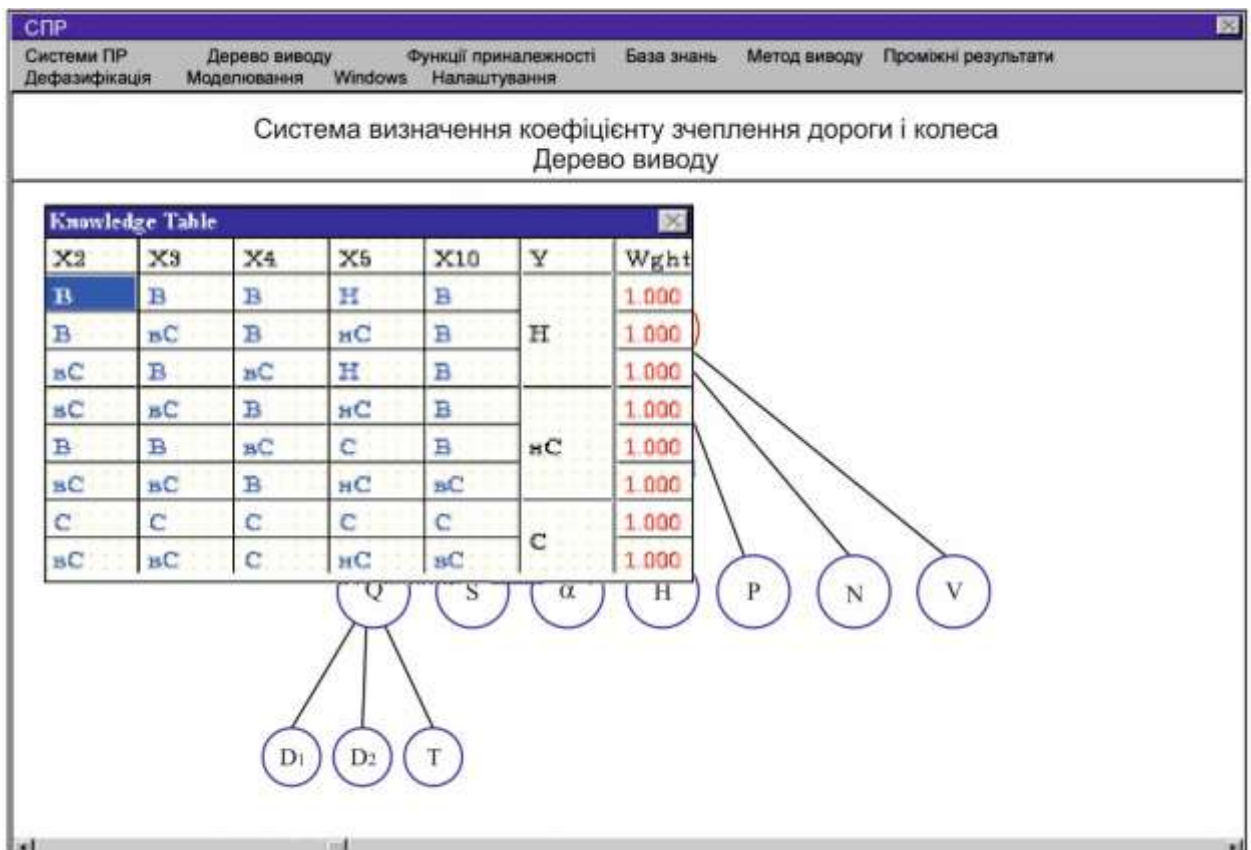


Рисунок 3.6 – Формування матриці знань

Введення значень вхідних змінних при виконанні розрахунків здійснюється у кількісній або якісній формі, а також по шкалі термометра

В результаті нечіткого логічного висновку виходять функції належності вихідної змінної кожному з класів рішень. Відповідне діалогове вікно містить також інтерпретований результат (Рис.3.7).

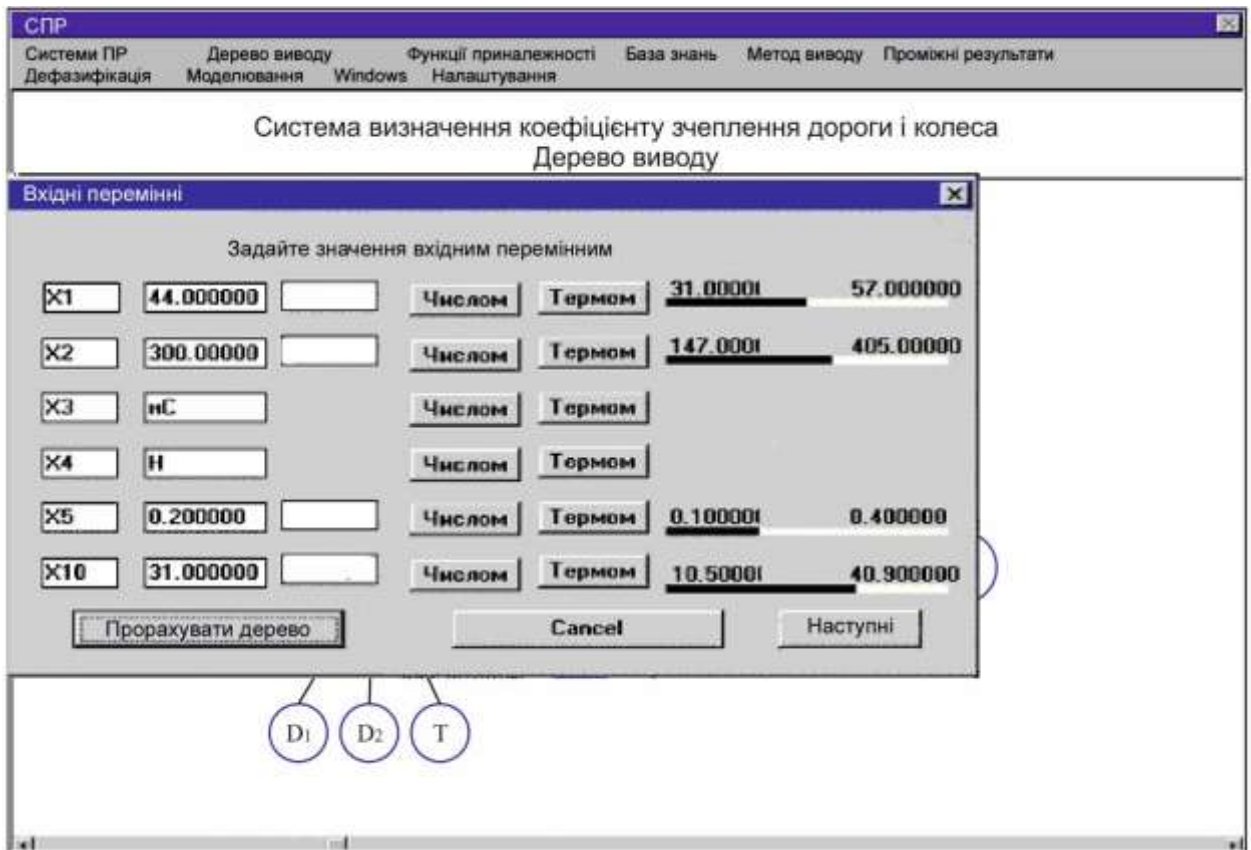


Рисунок 3.7 - Введення значень вхідних змінних

Налаштування нечіткої експертної системи шляхом вирішення задач оптимізації з використанням навчальної вибірки.

У ході одно- і двухфакторного моделювання інженер по знаннях може спостерігати за поведінкою об'єкта в різних областях простору вхідних змінних. Налаштування за наявними експериментальними даними дозволить підвищити адекватність нечіткої експертної системи.

### 3.6 Тестування та аналіз результатів

Тестування виконується на прикладі, який взятий з [6]. Розглядається конкретний випадок із протоколу ДТП про наїзд на пішохода автомобіля ГАЗ-24:

- тип дорожнього покриття ( $D_1$ ) – асфальтобетон;
- стан дорожнього покриття ( $D_2$ ) – покрите брудом;
- тип шин ( $T$ ) – низького тиску;
- ступінь просковзування шини ( $S$ ) – кочення із просковзуванням;
- знос шин ( $H$ ) – в рамках допустимого;
- тиск у шинах ( $P$ ) – нормальне;
- навантаження на колесо ( $N$ ) – низьке
- швидкість автомобіля – 55км/год
- нахил дороги - -10%

Результати розрахунків для прийняття рішень:

- 1) по діючій методиці:  $\varphi = 0,25 - 0,4$ ;
- 2) по моделі аналога :  $\varphi = 0,35$ ;
- 3) по доопрацьованій моделі  $\varphi = 0,33$

При співставленні з даними експериментальної вибірки (див колонки 1,2,3 таблиці 2.6), були одержані результати середньоквадратичного відхилення від експериментальних даних:

- 1) по моделі аналога :  $\varphi = 0,04$ ;
- 2) по доопрацьованій моделі  $\varphi = 0,033$

### 3.7 Висновок

В третьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи спроектовано та реалізовано експериментальний програмний модуль прийняття рішення за інформаційною технологією визначення коефіцієнта зчеплення колеса та

дорожнього покриття. Проведена декомпозиція та розроблена структурна схема системи. Розроблена діаграма компонентів та UML-діаграма класів програмного модуля. Розроблено мінімаксний алгоритм прийняття рішення. Реалізовано модуль прийняття рішення за інформаційною технологією визначення коефіцієнта зчеплення колеса та дорожнього покриття шляхом використання екранних форм середовища нечіткого моделювання FUZZY EXPERIENS. Відповідно робота інформаційної технології складається із наступних етапів:

- формується дерево виводу логічного висновку;
- визначаються функції належності вхідних та вихідних величин;
- формування матриці (бази) знань;
- тонке налаштування з використанням навчальних виборок;

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки. Для проведення технологічного аудиту було залучено 2-х незалежних експертів. Такими експертами будуть доц. каф. КН Сілагін Олексій Віталійович та доц. каф. КН Арсенюк Ігор Ростиславович.

Здійснюємо оцінювання комерційного потенціалу розробки за 12-ма критеріями за 5-ти бальною шкалою.

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта	
	1. Експерт 1	2. Експерт 2
	Бали, виставлені експертами:	
1	4	4
2	4	3
3	3	4
4	4	3
5	3	4
6	4	4
7	3	3
8	4	4
9	4	4
10	4	3
11	3	4
12	3	4
Сума балів	СБ <sub>1</sub> = 44	СБ <sub>2</sub> = 44

### Продовження таблиці 4.1

Отже, з отриманих даних таблиці 4.1 видно, що нова розробка має високий рівень комерційного потенціалу.

### 4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи та конструкторсько–технологічної роботи

Для розробки нового програмного продукту необхідні такі витрати.

Основна заробітна плата для розробників визначається за формулою (5.1):

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (4.1)$$

де M- місячний посадовий оклад конкретного розробника;

$T_p$  - кількість робочих днів у місяці,  $T_p = 22$  дні;

t - число днів роботи розробника, t = 45 днів.

Розрахунки заробітних плат для керівника і програміста наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунки основної заробітної плати

Працівник	Оклад M, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи, t	Витрати на оплату праці, грн.
Науковий керівник	5500	250	6	1500
Інженер-програміст	4000	181,81	45	8181,45
Всього:				9681,45

Розрахуємо додаткову заробітну плату:

$$З_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 9681,45 = 968,14 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату операторів НЗП розраховується як 37,5...40% від суми їхньої основної та додаткової заробітної плати:

$$H_{\text{зп}} = (З_0 + З_p) \cdot \frac{\beta}{100}, \quad (4.2)$$

$$H_{\text{зп}} = (9681,45 + 968,14) \cdot \frac{36,3}{100} = 3865,80 \text{ (грн.)}.$$

Розрахунок амортизаційних витрат для програмного забезпечення виконується за такою формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12}, \quad (4.3)$$

де Ц – балансова вартість обладнання, грн;

$H_a$  – річна норма амортизаційних відрахувань % (для програмного забезпечення 25%);

T – Термін використання (T=3 міс.).

Таблиця 4.3 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування програмного забезпечення	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Персональний комп'ютер	10000	25	3	625
Всього:				625

Розрахуємо витрати на комплектуючі. Витрати на комплектуючі розрахуємо за формулою:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i, \quad (4.4)$$

де  $n$  – кількість комплектуючих;

$N_i$  - кількість комплектуючих  $i$ -го виду;

$C_i$  – покупна ціна комплектуючих  $i$ -го виду, грн;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат (прийmemo  $K_i = 1,1$ ).

Таблиця 4.4 - Витрати на комплектуючі, що були використані для розробки ПЗ.

Найменування матеріалу	Одиниці виміру	Ціна, грн.	Витрачено	Вартість витрачених матеріалів, грн.
Флешка	шт.	180	1	180
Пачка паперу	уп.	115	1	115
Ручка	шт.	5	1	5
Всього з урахуванням транспортних витрат				330

Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi} ; \quad (4.5)$$

де  $V$  – вартість 1кВт-години електроенергії ( $V=1,7$  грн/кВт);

$P$  – установлена потужність комп'ютера ( $P=0,6$ кВт);

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи комп'ютера ( $\Phi=200$  год.);

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання потужності ( $K_{\Pi} < 1$ ,  $K_{\Pi} = 0,7$ ).

$$V_e = 1,7 \cdot 0,6 \cdot 200 \cdot 0,7 = 142,8 \text{ (грн.)}$$

Розрахуємо інші витрати  $V_{ін}$ .



Інші витрати  $I_b$  можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були виконували дану роботу, тобто:

$$V_{ін} = (1..3) \cdot (Z_o + Z_p). \quad (4.6)$$

Отже, розрахуємо інші витрати:

$$V_{ін} = 1 * (9681,45 + 968,14) = 10649,59 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини роботи:

$$V = Z_o + Z_d + H_{зп} + A + K + V_e + I_b$$

$$V = 9681,45 + 968,14 + 3865,80 + 625 + 330 + 142,8 + 10649,59 = 26262,78 \text{ (грн.)}$$

Розрахуємо загальну вартість наукової роботи  $B_{заг}$  за формулою:

$$B_{заг} = \frac{V_{ін}}{\alpha} \quad (4.7)$$

де  $\alpha$  – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях = 1.

$$B_{заг} = \frac{26262,78}{1} = 26262,78$$

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\beta} \quad (4.8)$$

де

$\beta$  – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Отже, розрахуємо загальні витрати:

$$ЗВ = \frac{26262,78}{0,9} = 29180,86 \text{ (грн.)}$$

### **4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки**

Спрогнозуємо отримання прибутку від реалізації результатів нашої розробки. Зростання чистого прибутку можна оцінити у теперішній вартості грошей. Це забезпечить підприємству (організації) надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності .

Оцінка зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. У цьому випадку збільшення чистого прибутку підприємства  $\Delta \Pi_i$  для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta \Pi_i = \sum_1^n (\Delta \Pi_{\text{я}} \cdot N + \Pi_{\text{я}} \Delta N)_i \quad (4.9)$$

де

$\Delta \Pi_{\text{я}}$  – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у даному році;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$\Pi_{я}$  – основний якісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

$n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки.

В результаті впровадження результатів наукової розробки витрати на виготовлення інформаційної технології зменшаться на 20 грн (що автоматично спричинить збільшення чистого прибутку підприємства на 20 грн), а кількість користувачів, які будуть користуватись збільшиться: протягом першого року – на 200 користувачів, протягом другого року – на 175 користувачів, протягом третього року – 125 користувачів. Реалізація інформаційної технології до впровадження результатів наукової розробки складала 600 користувачів, а прибуток, що отримував розробник до впровадження результатів наукової розробки – 300 грн.

Спрогнозуємо збільшення чистого прибутку від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Отже, збільшення чистого продукту  $\Delta L_1$  протягом першого року складатиме:

$$\Delta P_1 = 20 \cdot 600 + (300 + 20) \cdot 200 = 76000 \text{ грн.}$$

Протягом другого року:

$$\Delta P_2 = 20 \cdot 600 + (300 + 20) \cdot (200 + 175) = 132000 \text{ грн.}$$

Протягом третього року:

$$\Delta P_3 = 20 \cdot 600 + (300 + 20) \cdot (200 + 175 + 125) = 172000 \text{ грн.}$$

#### 4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

Визначимо абсолютну і відносну ефективність вкладених інвестором інвестицій та розрахуємо термін окупності.

Абсолютна ефективність  $E_{abc}$  вкладених інвестицій розраховується за формулою:

$$E_{abc} = (ПП - PV), \quad (4.10)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

$t$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, 3 роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

$t$  – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки 2, 3,4.

Рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, рисунок 4.1.

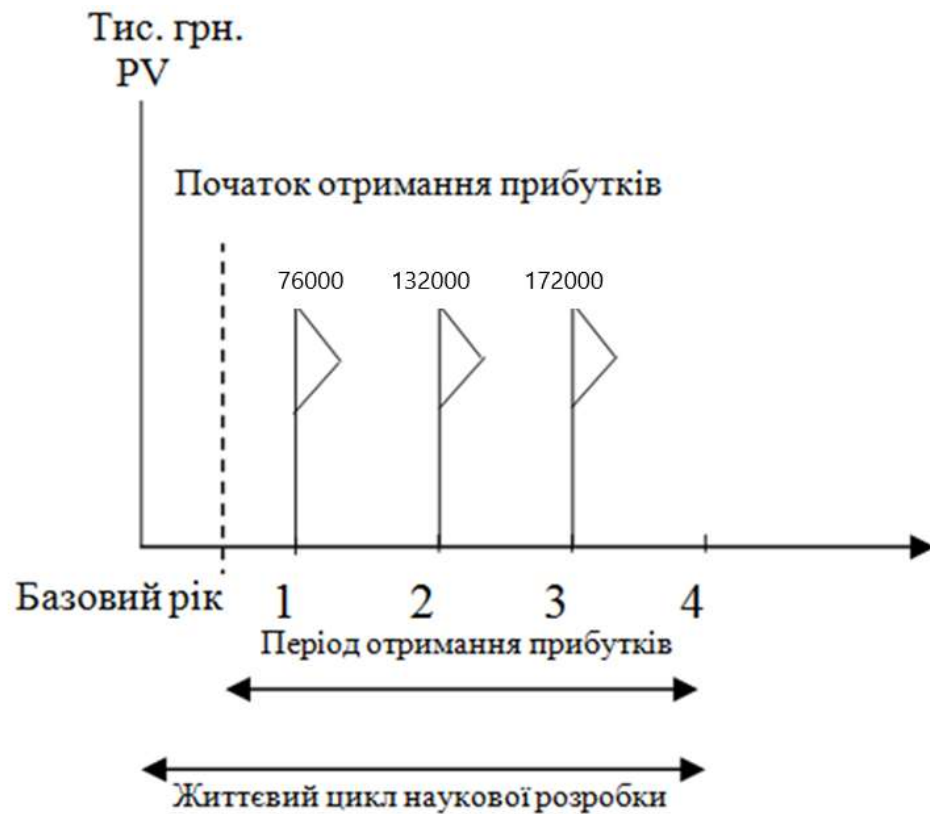


Рисунок 4.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

Розрахуємо вартість чистих прибутків за формулою:

$$\text{ПП} = \sum_1^m \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t} \quad (4.11)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

$t$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

$t$  – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки.

Отже, розрахуємо вартість чистого прибутку:

$$\text{ПП} = \frac{76000}{(1+0,1)^2} + \frac{132000}{(1+0,1)^3} + \frac{172000}{(1+0,1)^4} = 308642,63 \text{ (грн.)}$$

Тоді розрахуємо  $E_{\text{абс}}$ :

$$E_{\text{абс}} = 308642,63 - 29180,86 = 279461,77 \text{ грн.}$$

Оскільки  $E_{\text{абс}} > 0$ , то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР буде доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_{\text{в}}$  за формулою:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{\text{PV}}} - 1 \quad (4.12)$$

де

$E_{\text{абс}}$  – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

$\text{PV}$  – теперішня вартість інвестицій  $\text{PV} = \text{ЗВ}$ , грн;

$T_{\text{ж}}$  – життєвий цикл наукової розробки, роки.

Тоді будемо мати:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[3]{1 + \frac{279466,71}{29180,86}} - 1 = 1,19 \text{ або } 119 \%$$

Далі, розраховану величина  $E_B$  порівнюємо з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування  $\tau_{\text{мін}}$ , яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування  $\tau_{\text{мін}}$  визначається за формулою:

$$\tau = d + f,$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні  $d = 0,2$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень, величина  $f = 0,1$ .

$$\tau = 0,2 + 0,1 = 0,3$$

Оскільки  $E_B = 119\% > \tau_{\text{мін}} = 0,3 = 30\%$ , то у інвестор буде зацікавлений вкладати гроші в дану наукову розробку.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{\text{ок}}$  розраховується за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_B}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{1,19} = 0,84 \text{ року}$$

Обрахувавши термін окупності даної наукової розробки, можна зробити висновок, що фінансування даної наукової розробки буде доцільним.

## 4.5 Висновок

В четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи були виконані слідуєчі дослідження економічного характеру:

- оцінювання комерційного потенціалу розробки;
- прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи та конструкторсько-технологічної роботи;
- прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки;
- розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності.

В результаті проведення цих досліджень були одержані наступні показники економічної ефективності цієї розробки.

Щорічна ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій складає 119%, що набагато вище за мінімальну бар'єрну ставку дисконтування, яка складає 25%. Це означає потенційну зацікавленість інвесторів у фінансуванні розробки.

Термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій становить 0,84 року, що також свідчить про доцільність фінансування нової розробки.



## ВИСНОВКИ

Всі задачі, поставлені перед магістерською кваліфікаційною роботою виконані в повному об'ємі, а саме:

- обґрунтована доцільність створення інформаційної технології визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття;
- проаналізовані існуючі технології, методи і моделі визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля з дорогою та вибрано найбільш ефективні;
- сформульовано вимоги до роботи технології;
- доопрацьовано існуючу технологію визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття з врахуванням кута нахилу дорожнього полотна та використання ABS;
- проведено математичне моделювання роботи етапів нової технології з використанням апарату нечіткої логіки;
- проведена фазифікація розроблених моделей;
- розроблено та наповнено базу знань у вигляді матриць з правилами ЯКЩО-ТО;
- на основі розробленої технології виконано проектування модуля визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття;
- реалізувано та налаштовано роботу модуля визначення коефіцієнта зчеплення автомобіля та дорожнього покриття;
- протестовано роботу налаштованого модуля;
- виконано задачі економічного розділу.

Щорічна ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій складає 119%, що набагато вище за мінімальну бар'єрну ставку дисконтування, яка складає 25%. Це означає потенційну зацікавленість інвесторів у фінансуванні розробки.

Термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій становить 0,84 року, що також свідчить про доцільність фінансування нової розробки.

Мета дослідження – збільшення достовірності визначення коефіцієнта зчеплення колеса та дорожнього покриття, досягається за рахунок використання доопрацьованої технології та математичної моделі в яких використовуються такі додаткові впливаючі фактори, як нахил дорожнього покриття та використання ABS, що підвищує адекватність моделі.

При співставленні з даними експериментальної вибірки (див колонки 1,2,3 таблиці 2.6), були одержані результати середньоквадратичного відхилення від експериментальних даних:

- 1) по моделі аналога :  $\varphi = 0,04$ ;
- 2) по доопрацьованій моделі  $\varphi = 0,033$

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Б.В. Поліщук, О.В. Сілагін. Інжинірингова технологія створення експертних систем нечіткої логіки в Матеріалах конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020)», Вінниця, 2020. [Електронний ресурс].  
Режимдоступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-mn/index/pages/view/zbirn2020> Дата звернення: Черв. 2020
2. М.А. Лученко, Б.В. Поліщук, О.В. Сілагін. Навчальний додаток для дослідження горбкового алгоритму. Матеріали XI Міжнародної Науково-технічної конференція (ІОН-2018)», Універсум, Вінниця, 2018
3. М.А. Лученко, Б.В. Поліщук, О.В. Сілагін. Застосування горбкового алгоритму в учбовому додатку "Фрактальні ландшафти" в матеріалах XLVII Науково-технічної конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2018)», Вінниця, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/index/pages/view/zbirn2018> Дата звернення: Черв. 2018
4. Ворович, И. И. Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие : монография / И. И. Ворович ; науч. ред.: Э. Н. Потетюнко, В. И. Юдович. – М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. – 680 с. : ил.
5. Ротштейн О.П., Ребедайло В.М., Кашканов А.А. \_Ідентифікація коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з дорожнім покриттям на нечіткій логіці. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.-1998.-№2.-С. 23-29.
6. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений.-М.:Мир.- 1976.-167 с.

7. Ротштейн О.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетичні алгоритми, нейронні мережі. – Вінниця: Універсам – Вінниця, 1999. – 320с., іл..
8. Г. Джойс. Языки систем искусственного интеллекта.—М.: Мир, 1994.
9. Искусственный интеллект. Справочник в 3-х томах. - М.: Радио и связь, 1990.
10. Буч Г., Якобсон А., Рамбо Дж. UML. Классика CS. 2-е изд./ Пер. с англ.: Под общей редакцией проф. С. Орлова- СПб.: Питер, 2006.-736 с.:ил.
11. Общая алгебра. Т. 2/ В. Артамонов, В.Н.Салий, Л.А.Скорняков и др. Под общ. Ред. Л.А.Скорнякова.-М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1991. –480 с.
12. Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1988, - 384 с.
13. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон А. Язык UML. Руководство пользователя: Пер. с англ. – М.: ДМК, 2000. 432 с.: ил.
14. Кватрани Т. Rational Rose 2000 и UML. Визуальное моделирование: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 176 с.: ил.
15. Ларман К. Применение UML и шаблонов проектирования.: Пер. с англ. : Уч. Пос. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 496 с.: ил.
16. Трофимов С.А. Case- технологии: практическая работа в Rational Rose – М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 2001 г. – 272 с.: ил.
17. А. Новичков. Эффективная разработка программного обеспечения с использованием технологий и инструментов компании RATIONAL. [www.interface.com](http://www.interface.com)
18. Case Studies in Object Oriented Analysis and Design. E. Yourdon, C. Argila. Copyright 1996 by Prentice-Hall PTR. Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company. Upper Saddle River, New Jersey 07458, p.2642. Ломоносов, М. В. Полн. собр. соч. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР. 1950. – Т. 1. – 620 с.

19. Euler, L. Sur la frottement des corps Solides // Histoire de l'Academie des Sciences et Academie Royal des Sciences et belles art a Berlin, 1748.
20. А. с. 1404903 СССР, МПК G 01 N 19/02 ; G 01 M 17/02. Способ определения коэффициента сцепления / Д. А. Павлюк, С. С. Кизьма (СССР). – Оpubл. 23.06.88, Бюл. № 23.
21. ГОСТ 30413–96 «Дороги автомобильные. Метод определения коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием».
22. Иларионов, В. А. Коэффициент сцепления шин с дорогой и безопасность движения :
23. учеб. пособие / МАДИ. – М., 1989. – С. 21–27.
24. Инструкция по эксплуатации автомобильной установки ПКРС-2 для контроля ровности и коэффициента сцепления дорожных покрытий / СоюздорНИИ. – М., 1971.
25. Кузнецов, Н. П. Новые подходы при реконструкции механизма дорожно-транспортного происшествия / Н. П. Кузнецов, П. Н. Кузнецов, В. В. Пенкин, С. А. Рассохин // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2009. – № 4(44). – С. 13–15.

