

UNIVERSITY - INDUSTRY COOPERATION

VOLUME 2

INTELLECTUAL
KNOWLEDGE-BASED
DECISION MAKING SYSTEM



УНІВЕРСИТЕТСЬКО - ІНДУСТРІАЛЬНА КООПЕРАЦІЯ. ТОМ 2
UNIVERSITY - INDUSTRY COOPERATION. VOLUME 2

УНІВЕРСИТЕТСЬКО - ІНДУСТРІАЛЬНА КООПЕРАЦІЯ

ТОМ 2

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА
ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА
ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

2017



Co-funded by the
Tempus Programme
of the European Union

Міністерство освіти та науки України
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»

Університетсько - індустріальна кооперація

Том 2

Інтелектуальна знання-орієнтована система прийняття рішень. Вимоги, алгоритми, верифікація і застосування

Під редакцією Ю.П. Кондратенка, В.С. Харченка

University-industry cooperation

Volume 2

Intellectual knowledge-based decision making system. Requirements, algorithms, verification and application

TEMPUS CABRIOLET “Model-oriented approach and Intelligent
Knowledge-Based System for Evolvable Academia-Industry
Cooperation in Electronics and Computer Engineering”
(544497-TEMPUS-1-2013-1-UK-TEMPUS-JPHES)

2017

УДК 378:004
У59

Рекомендовано до видання Вченими Радами Чорноморського національного університету (протокол №1 від 20 вересня 2017 р.) і Національного аерокосмічного університету ім. М. С. Жуковського «ХАІ» (протокол № 1 від 27.09.2017 р

Рецензенти: Палагін Олександр Васильович, заступник директора Інституту кібернетики Національної академії наук України, академік НАН України, доктор технічних наук, професор;

Сидоренко Микола Федорович, Головний конструктор ДНВП «Об'єднання Комунар» - начальник НТ СКБ «ПОЛІСВІТ» (Харків, Україна), заслужений винахідник України, кандидат технічних наук, доцент.

У59

Університетсько-індустріальна кооперація. Інтелектуальна знання-орієнтована система прийняття рішень. Вимоги, алгоритми, верифікація і застосування.. / Під ред. Кондратенко Ю. П., Харченка В.С.– Міністерство освіти та науки України, Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», 2017. - 297 с.

ISBN 978-617-7361-32-8

ISBN 978-617-7361-33-5

Викладено теоретичні основи, методи, алгоритми, програмні засоби та рекомендації з використання знання-орієнтованої системи прийняття рішень для вибору моделей кооперації університетів та ІТ-індустрії. Сформульовано рекомендації щодо використання існуючих інструментальних засобів для такого вибору. Матеріали книги підготовлено в рамках проекту TEMPUS CABRIOLET «Model-Oriented Approach And Intelligent Knowledge-Based System for Evolvable Academia-Industry Cooperation in Electronic and Computer Engineering» (544497-TEMPUS-1-2013-1-UK-TEMPUS-JPHES).

Для студентів університетів, які навчаються за напрямками інформаційних технологій та починають практичну діяльність, фахівців університетів та ІТ-індустрії, які займаються організацією та підвищенням ефективності університетсько-індустріальної кооперації, а також для викладачів, які проводять заняття з відповідних курсів.

Бібл. – 214 найменувань, рисунків – 178, таблиць – 49

УДК 378:004

Ця робота підлягає авторському праву. Всі права зарезервовані авторами, незалежно від того, чи стосується це всього матеріалу, або його частини, зокрема права на переклади, перевидання, повторне використання ілюстрацій, декламацію, трансляцію, відтворення на мікрофільмах або будь-яким іншим фізичним способом, а також передачу, зберігання та електронну адаптацію за допомогою комп'ютерного програмного забезпечення у будь-якому вигляді, або аналогічним чи несхожим методом, що наразі відомий, або буде розроблений надалі.

© Кондратенко Ю.П., Кондратенко Г.В., Сіденко Є.В., Ілляшенко О.О., Узун Д.Д., Узун Ю.О., Харченко В.С.
© Чорноморський національний університет ім. Петра Могили
© Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ»

ISBN 978-617-7361-33-5

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АПК – академічно-промисловий консорціум
БП – база правил
БПНМ – база правил нечіткої моделі
ВНЗ – вищий навчальний заклад
ЕСР – експерт, що схвалює рішення
ІСППР – інтелектуальна система підтримки прийняття рішень
ІТ – інформаційна технологія
ЛЗ – лінгвістична змінна
ЛПР – людина-оператор
ЛТ – лінгвістичний терм
МКАР (МСДА) – методи багатокритеріального аналізу рішень
МАІ – метод аналізу ієрархій
НБЗ – нечітка база знань
СНЛВ – система нечіткого логічного виведення
СППР – система підтримки прийняття рішень
ФН – функція належності

ВСТУП

Рівень розвитку та впровадження інформаційних технологій в Україні та світі суттєво залежить від результатів співпраці університетів та ІТ-компаній. При цьому впровадження нових моделей кооперації потребує врахування та обробки великої кількості вхідної інформації, зокрема, досвіду співпраці зацікавлених сторін, наукового і освітньо-кваліфікаційного рівнів учасників майбутнього академічно-промислового консорціуму, рівня зайнятості студентів і викладачів університетів та працівників ІТ-компаній та ін.

Некоректно вибрана модель співпраці, як і недотримання відповідних умов колаборації в рамках консорціумів типу «Університет – ІТ-компанія» можуть призвести до небажаних і неочікуваних наслідків, зокрема до втрати значної кількості інтелектуальних та/або матеріальних ресурсів, обмеженості у навчанні та розвитку здатності студентів до креативного мислення, часових витрат на формування стратегій розвитку і функціонування консорціуму.

Шляхом аналізу європейського досвіду, успішних прикладів інтегрованої взаємодії в рамках університетсько-індустріальної кооперації встановлено, що для вибору найбільш раціональної моделі співпраці університету та ІТ-компанії доцільним є застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР). При цьому актуальною є розробка нових та удосконалення існуючих нечітких моделей і методів багатокритеріального прийняття рішень при формуванні вхідної експертної інформації з високим рівнем апріорної невизначеності та при змінній структурі вектора вхідних координат.

Метою даної книги є представлення результатів розроблення інтелектуальної СППР та інструментальних засобів багатокритеріального вибору раціональних моделей університетсько-індустріальної кооперації, яке виконано за підтримки європейської програми TEMPUS, а саме в рамках проекту CABRIOLET «Model-Oriented ApproaCh And Intelligent Knowledge-Based System for

Evolvable Academia-IndusTry CooperatIOn in ELEctronic and CompuTer Engineering» (544497-TEMPUS-1-2013-1-UK-TEMPUS-JPHES).¹

Консорціум проекту об'єднує університети України – Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Одеський національний політехнічний університет, Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, Чернігівський національний технологічний університет, Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова Національної академії наук України, а також університети та ІТ-компанії з Великобританії (Університет Ньюкаслу, координатор та грантхолдер проекту), Іспанії (компанія Inercia Digital), Італії (компанія Critiware), Португалії (Університет Коїмбри) та Швеції (Університет КТН, Стокгольм). Консорціум створений для розробки і впровадження моделей співпраці між університетами та промисловістю (ІТ-компаніями) типу А1, А2, В і С, описаних у першому томі видання матеріалів проекту.

За результатами проекту підготовлено чотиритомне видання:

– **Том 1. Університетсько-індустріальна кооперація. Модельно-орієнтований підхід. Практичне керівництво та приклади** (University Industry Cooperation. Model-oriented approach. Practical guide and cases);

– **Том 2. Університетсько-індустріальна кооперація. Інтелектуальна знання-орієнтована система прийняття рішень. Вимоги, алгоритми, верифікація і застосування** (University Industry Cooperation. Intellectual Knowledge-Based Decision Making System: Requirements, Algorithms, Verification and Application);

– **Том 3. Університетсько-індустріальна кооперація. Веб-портал. Настанова з використання** (University Industry Cooperation. Web-Portal. Operational Roadmap);

¹ Цей проект фінансується за підтримки Європейської комісії. Ця публікація (повідомлення) відображає думки тільки авторів, і Комісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, що міститься в ньому.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication (communication) reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

- Том 4. Університетсько-індустріальна кооперація. Нарощування потенціалу. Тренінги (University Industry Cooperation. Capacity Building, Trainings).

В рамках другого тому авторами представлено теоретико-методологічний підхід до ієрархічної організації СППР для вибору моделі кооперації з реалізацією процесів обробки нечіткої експертної інформації при застосуванні лінгвістичних термів (ЛТ) з трикутними формами функції належності (ФН). При цьому запропоновано метод двокаскадної корекції нечітких баз знань (НБЗ) інтелектуальних СППР на основі автоматичної корекції антецедентів та консеквентів нечітких правил, що дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень при змінній структурі вектора вхідних координат. На основі результатів моделювання встановлено, що на реалізацію та ефективність запропонованого методу не впливають обмеження на кількість підсистем, вхідних змінних СППР, нечітких правил, складових в їх антецедентах, а також ЛТ для оцінювання вхідних та вихідних координат.

У книзі також наведено результати розробки ієрархічно-організованої СППР, синтезованої на основі застосування нечіткої логіки, для підвищення ефективності процесів прийняття рішень при виборі найбільш раціональної моделі партнерської співпраці в рамках консорціумів типу «Університет – ІТ-компанія». Проведено аналіз прикладів успішної інноваційної співпраці академічних інституцій та ІТ-компаній підтверджує, що створення різних груп, консорціумів, спілок та альянсів типу «Університет – ІТ-компанія» для вирішення поточних і майбутніх проблем у сфері вищої освіти на основі взаємного досвіду роботи в області комп'ютерних наук та інтернет-комунікацій є перспективним напрямком у галузі підвищення ефективності системи вищої освіти.

Сформульовано рекомендації щодо використання існуючих інструментальних засобів для такого вибору.

Описано результати апробації розробленої СППР, які доводять її високу ефективність, що підтверджено як при розв'язанні практичних задач вибору моделі співпраці в рамках консорціумів типу «Університет – ІТ-компанія», так і при вирішенні різнотипних задач транспортної логістики, зокрема, при виборі найкращої транспортної компанії з множини існуючих альтернативних варіантів та ін.

Книгу підготовлено науковцями кафедр Чорноморського національного університету ім. Петра Могили – докт. техн. наук, професором Кондратенком Юрієм Пантелійовичем, канд. техн. наук, доцентом Кондратенко Галиною Володимирівною, канд. техн. наук Сіденком Євгеном Вікторовичем (розділи 1-4) і Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського «ХАІ» – канд. техн. наук, доцентом Узуном Дмитром Дмитровичем, старшими викладачами Ілляшенком Олегом Олександровичем та Узун Юлією Олександрівною, докт. техн. наук, професором Харченком Вячеславом Сергійовичем (розділ 5). О.І. Ілляшенко виконав доопрацювання та верифікацію матеріалів. Ю. П. Кондратенком та В. С. Харченком виконано наукове редагування книги.

Ця книга призначена для:

- студентів університетів, які навчаються за напрямом інформаційних технологій та починають практичну діяльність у галузі ІТ;

- фахівців університетів та ІТ-індустрії, які займаються організацією та підвищенням ефективності університетсько-індустріальної кооперації, виконанням спільних проектів, стартапів, тощо;

- викладачів університетів і тренінг-шкіл, які проводять заняття з відповідних курсів;

- спеціалістів, які займаються створенням і розвитком регіональних інноваційних екосистем.

Автори вдячні рецензентам, колегам по проекту та кафедрам, студентам і аспірантам, фахівцям ІТ-компаній, які приймали безпосередню участь у обговоренні та втіленні результатів проекту.

РОЗДІЛ 1. НЕЧІТКА СИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО- ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ

1.1 Основні задачі і напрямки імплементації інтегрованих моделей академічно-промислових консорціумів

Ефективність процесів державотворення в незалежній Україні відкриває широкі можливості для демократичних змін в освітянській сфері з метою швидкого підвищення кваліфікації, загальної культури та ерудиції спеціалістів з вищою освітою.

Духовне, економічне та інтелектуальне відродження суспільства вимагає створення спеціальних умов для всебічного розвитку всіх потенціальних можливостей талановитої студентської молоді на основі інтелектуального об'єднання, координованої взаємодії і співпраці різнотипних академічно-промислових консорціумів.

Розвиток університетсько-промислової співпраці є перспективним способом гнучкого реагування вищої школи на запити суспільства, що дозволяє створити умови для повної реалізації здібностей кожної молодої людини (фахівця з комп'ютерних наук, комп'ютерної і програмної інженерії) при будівництві на демократичних засадах економічно розвинутої держави.

До основних перспективних напрямків актуальних досліджень в області створення ефективних академічно-промислових консорціумів (АПК) слід віднести:

- синтез структурно-організаційної схеми АПК та їхніх статутів, що забезпечує гнучку переорієнтацію ВНЗ на реалізацію можливостей співпраці в напрямках Science-to-Business та Business-to-Science з урахуванням особливостей культурного, політичного і економічного розвитку регіонів, актуальних потреб на ринку праці тощо;

- розробку нормативно-правового забезпечення механізму створення та функціонування АПК;

- аналіз фінансових аспектів, що пов'язані з матеріально-технічними та фінансово-економічними умовами забезпечення навчального процесу в рамках АПК, та дослідження напрямків економічного розвитку і фінансової структури консорціумів,

механізмів фінансування спільних проєктів і програм, критеріїв оцінки ефективності, механізмів надходження благодійних внесків та узагальнення досвіду;

- розробку методології адміністративної координації для ефективного функціонування АПК;

- аналіз принципів і процедур обміну передовими технологіями між членами (партнерами) консорціуму, а також особливостей співпраці при спільному розв'язанні задач постачання обладнання і навчальних матеріалів;

- аналіз можливостей запрошення висококваліфікованих спеціалістів з ІТ-компаній для читання лекцій з багатодисциплінарних та спеціалізованих дисциплін в рамках АПК;

- розробку механізмів кадрового забезпечення АПК, що передбачають організацію періодичного підвищення кваліфікації викладачів шляхом їх стажування в провідних ІТ-компаніях та освітньо-наукових центрах за кордоном та в Україні;

- дослідження психолого-педагогічних аспектів створення та функціонування АПК, аналіз психологічної сумісності управлінського персоналу, науковців, програмістів-розробників, викладачів і студентів, стереотипів їх поведінки;

- формування методології науково-методичної взаємодії ІТ-компаній та ВНЗ в рамках АПК, що націлена на впровадження нових інформаційних технологій, нових педагогічних методів з залученням можливостей глобальної мережі Інтернет для підвищення мотивації та ефективності самостійної роботи студентів, приведення всіх атрибутів освітньої діяльності до рівня міжнародних освітніх стандартів, розробку гнучких навчальних планів модульного типу з узагальненими формами та методами навчання, принципів атестації та рейтингової системи, електронних підручників та посібників;

- створення спільних методик тестування, контролю знань [2,3], атестації та визначення рівня кваліфікації на основі сучасних педагогічних і комп'ютерних технологій, а також формулювання сучасних вимог до кваліфікаційних, дипломних проєктів та дисертаційних робіт при підготовці фахівців різного рівня: бакалаврів, магістрів, докторів наук;

- створення науково-методичного і організаційного забезпечення розробки студентських Start-up проєктів і Spin-off компаній (відокремлених дочірніх компаній), бізнес-орієнтованих

університетів у галузі високих технологій і регіональних екосистем на базі таких університетів [86,124,147,148].

1.2 Загальна характеристика модель-орієнтованого підходу до організації консорціумів та їх діяльності в області ІТ-інженерії

Завдяки багаторічній плідній співпраці університетів та підприємницьких компаній в області ІТ-інженерії розроблюються важливі проекти не лише для приватного використання, але й для підвищення наукового прогресу у цілому [64,125].

ІТ-компанії, які пропонують послуги розробки програмних забезпечень на різних мовах програмування для різних задач, сьогодні переживають період стрімкого розвитку та модернізації і починають все більше впливати на роботу усіх галузей життєдіяльності. Однією з проблем, яка стоїть на шляху розвитку консорціумів в сфері інформаційних технологій полягає в обмеженості матеріальних та людських ресурсів. Це виражається у недостатній кількості спеціалістів у конкретній області програмування та проектування, відсутності потужних лабораторій для проведення досліджень, незначній кількості організаторів, менторів та інших співробітників, які долучаються до управління процесом розробки і оптимізують роботу на різних рівнях взаємодії учасників консорціуму. Взаємовигідна кооперація з університетами може допомогти ІТ-компанії вирішити більшість проблем. При цьому для університету важливо залучитися підтримкою кваліфікованих спеціалістів, які можуть приймати участь в освітньому процесі, вести науково-дослідні проекти та підвищувати науковий потенціал конкретного навчального закладу. Крім того університет може розглядати ІТ-компанію, як джерело фінансування нових розробок для майбутнього впровадження [130,147].

Відповідні взаємовідносини можна умовно привести до чотирьох моделей (рис. 1.1) кооперації між університетом та ІТ-компанією в рамках АПК [31,85,86,113]:

- a) А1 – Освіта та навчання;
- b) А2 – Центр підтримки сертифікації;
- c) В – Спільний центр наукових досліджень;
- d) С – Бізнес інкубатор Start-up проектів.

Проблема вибору однієї із визначених моделей постає перед університетом та ІТ-компанією на початку співробітництва та при умовах зміни напрямку розвитку.

Модель А1 – Освіта та навчання.

Основним напрямом діяльності при виборі відповідної моделі співпраці є створення оптимальних умов для навчання і розвитку студентів (а як наслідок – майбутніх співробітників) у обраній сфері діяльності. Це може виражатися як у внутрішній зміні навчальних планів університету за обраними предметами і дисциплінами, що викладаються, так і у проведенні зовнішніх факультативних, семінарських занять, які присвячені поглибленню знань для розв’язання конкретних прикладних задач. У цілому, такий напрям співпраці призначений для розвитку та поглиблення знань студентів у сфері інформаційних технологій, що пропонують ІТ-компанії на світовому ринку [45].

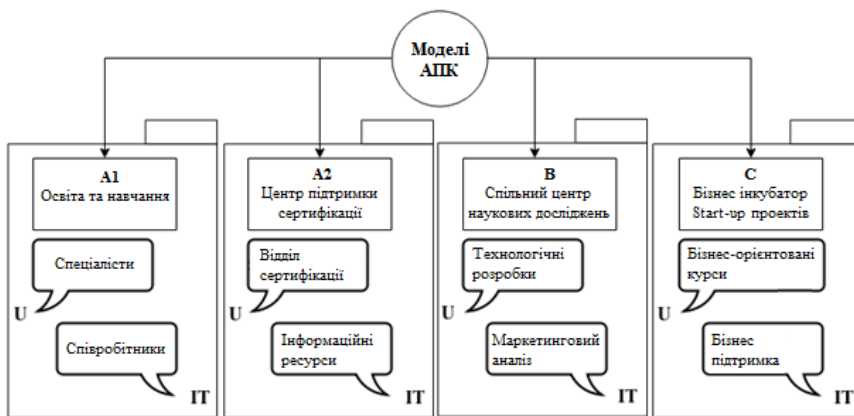


Рис. 1.1. Основні моделі співпраці в рамках консорціумів «Університет – ІТ-компанія» та їх головні риси

Зі сторони університету необхідно бути готовими створити оптимальні умови навчання, при яких студент отримує максимально корисну інформацію для його майбутньої діяльності. Це веде за собою ряд проблем: молоді спеціалісти, які навчаються за такою програмою схильні бути більш прагматичними, ніж творчими, і вирішувати задачі у руслі, яке за їхньою точкою зору є оптимальним для даного випадку.

При цьому пригнічується творча складова розвитку і здатність до прийняття рішень із застосуванням результатів нових «експериментальних» розробок [49,139].

Умовою для співробітництва ІТ-компанії з університетом за такою моделлю, є надання можливості і направлення своїх співробітників (як викладачів) для проведення спеціалізованих курсів та факультативних занять у відповідному університеті. В результаті успішної співпраці ІТ-компанія має преференцію на запрошення для роботи і отримує студентів-випускників університету, які підготовлені відповідно до власних вимог ІТ-компанії щодо специфіки роботи в сфері ІТ-інженерії.

Модель А2 – Центр підтримки сертифікації.

Головна мета кооперації університетів та ІТ-компаній за моделлю А2 полягає в створенні уніфікованого органу або відділу для проходження сертифікації обраних технологій та програмних засобів як студентами, так і співробітниками компанії. При цьому максимально використовуються інформаційні ресурси, які може надати ІТ-компанія для навчання та підготовки до сертифікації [50].

Для університету позитивними рисами є значна популяризація за рахунок міжнародного співробітництва та значного підвищення рівня навчання на базі новітніх технологій. При цьому для викладацького складу та студентів існує можливість оновлення і підвищення знань відповідно до міжнародних стандартів в сфері освіти та навчання [51,52,85,86].

Для ІТ-компанії відповідна модель кооперації надає можливість подальшого просування та впровадження власних технологічних розробок. Слід також зазначити, що даний вид співпраці може призвести до певних матеріальних витрат на оновлення і придбання технічного обладнання та програмного забезпечення.

Модель В – Спільний центр наукових досліджень.

В рамках відповідної моделі кооперації ІТ-компанія та університет надають свої послуги і ресурси для створення спільного науково-дослідного центру, метою якого є розробка та впровадження новітніх технологій [54,85].

На основі досліджень перспективних напрямків розвитку інформаційних технологій та програмних засобів університет формує додаткову систему навчання своїх студентів, яка спрямована на наукову діяльність в сфері ІТ-інженерії. В результаті успішної

розробки нових технологій університет матиме можливість запропонувати студентам і випускникам проходження відповідної за навчальним планом практику як у власному центрі наукових досліджень, так і в ІТ-компанії для впровадження власних розробок. Дослідження можуть перерости в розробку уніфікованої платформи, яку можна передавати в користування на вигідних умовах для третіх сторін, або в специфічні програмно-алгоритмічні інструменти для конкретних компаній та конструкторських бюро. В цей же час існує ризик втрати значних коштів у вкладені проекти, які не будуть в достатній мірі імплементовані у виробничу сферу, розповсюдження бізнесу на різні галузі та прикладні області та, як наслідок, втрата чіткого напрямку розвитку або його розпорошення [102].

Модель С – Бізнес інкубатор Start-up проектів.

Як відомо, не всі університети, які здійснюють підготовку випускників в галузі інформаційних технологій, можуть запропонувати своїм студентам якісну освіту з направленістю на ведення власного бізнесу. В такій ситуації існує можливість для кооперації університетів та ІТ-компаній з метою навчання майбутніх спеціалістів бізнес-курсам для розробки власних Start-up проектів в сфері інформаційних технологій [112].

Університет може стати як сприятливим теоретичним підґрунтям для навчання майбутніх ІТ-спеціалістів, так і органом підтримки та сприяння розвитку бізнесу у відповідній галузі для випускників. Для цього необхідно організувати навчальний процес таким чином, щоб приділити більшу увагу вивченню бізнес-орієнтованих курсів. Делегування бізнес-процесів, допомога в організації творчих студентських груп та Start-up ідей відноситься до задач ІТ-компанії. Такий напрям співпраці може призвести як до оптимізації бізнесу, так і до його несприятливого розвитку [85,119].

1.3 Перспективи розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в модель-орієнтованому функціонуванні АПК

Впровадження нових моделей співпраці університетів та ІТ-компаній в модель-орієнтованому функціонуванні АПК потребує врахування і обробки великої кількості вхідної інформації, зокрема, на основі аналізу попереднього досвіду співпраці зацікавлених сторін, переваг та напрямків розвитку, наукового і освітнього рівнів учасників майбутнього академічно-промислового консорціуму, рівня зайнятості студентів і викладачів університетів та працівників ІТ-компаній та ін. Некоректно вибрана модель співпраці, як і недотримання відповідних умов кооперації в рамках АПК можуть призвести до небажаних і неочікуваних наслідків, зокрема до втрати значної кількості інтелектуальних та/або матеріальних ресурсів, зниження освітньо-кваліфікаційного рівня спеціалістів, появи обмеженості у навчанні та розвитку здатності до креативного мислення [85,86,136].

Підвищенню ефективності співпраці можуть сприяти системи підтримки прийняття рішень (СППР), що розробляються на основі новітніх методів, технологій та підходів системного аналізу, прогнозування, нечіткої логіки, нейронних мереж, штучного інтелекту та ін. Застосування вищезгаданих методів при проектуванні сучасних СППР дозволяє здійснювати обробку значних масивів різнотипної інформації на новому рівні інтелектуальної взаємодії людини-оператора (ЛПР) і комп'ютерної системи [1,2,4-7].

Розробка відповідних інтелектуальних систем підтримки рішень (ІСППР), які забезпечують ЛПР сучасними засобами аналізу інформації, генерації варіантів рішень і вибору найкращої альтернативи є перспективним напрямком в сфері АПК. При цьому під поняттям ІСППР в модель-орієнтованому функціонуванні АПК слід розуміти людино-машинні інтерактивні системи, що дозволяють ЛПР підтримувати всі етапи процесу прийняття рішень, а також здатні до набуття нових знань, навчання та адаптації до змін зовнішніх умов [8-10]. Необхідність розробки ІСППР в сфері АПК пояснюється також підвищенням складності обробки неповної, неточної або суперечливої вхідної інформації. На етапі проектування та реалізації ІСППР виділяють ряд методологічних і технологічних проблем, з якими

безпосередньо стикаються їх розробники. Зокрема в Україні такі проблеми полягають у відсутності концептуальної цілісності й узгодженості між окремими прийомами та методами інженерії знань; нестачі кваліфікованих фахівців у даній сфері; жорсткості розроблених програмних засобів та їх низькій адаптивній здатності; відсутності техніко-економічних показників оцінювання ефективності таких систем; емпіричності процедури вибору програмного інструментарію і тестування (відсутність єдиних критеріїв) [3,12,13,16,17].

Невирішеним на даний час залишається питання вибору моделей партнерської взаємодії на основі розробки системи багатокритеріального оцінювання можливого рівня співпраці університетів та ІТ-компаній. Застосування ІСППР такого класу в конкретних практичних випадках дає змогу обирати найбільш раціональну модель розвитку консорціумів типу «Університет – ІТ-компанія» з точки зору досвіду успішно функціонуючих об'єднань і успішних прикладів співпраці університетів та ІТ-компаній [85].

1.4 Особливості та актуальність проблеми співпраці в рамках АПК

Незважаючи на швидкий розвиток інформаційної сфери, високий попит на ІТ-спеціалістів, створення ІТ-підприємств, високий рівень знань випускників комп'ютерних факультетів, у цій галузі залишається багато невирішених проблем. Однією з таких є невідповідність між програмами освіти у вузах та тими вимогами, які надають ІТ-компанії до своїх майбутніх працівників, а також можливий низький рівень технічної бази університету. В результаті студенти отримують багато теоретичних знань, які складно застосувати на практиці для отримання досвіду роботи. Через таку недосконалість вищої освіти з кожним роком дефіцит кадрів у галузі збільшується [12, 24].

Відсутність гідних практичних знань також суттєво обумовлена невеликою кількістю підприємств, що приймають студентів на практику. Ще менше таких, що на практиці не тільки розписуються у щоденнику, а й дають можливість попрацювати та повчитися у професіоналів, здобути перший реальний досвід роботи у своїй галузі.

За результатами досліджень, головними бар'єрами у прийомі на роботу випускників ВНЗ найчастіше стають: низький рівень практичної підготовки (59%), завищені вимоги до зарплати та перспектив кар'єрного зростання (40%) та відсутність досвіду роботи (37%). А за статистикою лише кожен 3-й випускник ІТ-спеціальності влаштовується працювати за фахом [24]. Розвиток галузі вимагає створення сприятливих умов для всебічного розвитку всіх потенціальних можливостей талановитої студентської молоді на основі інтелектуального об'єднання, координованої взаємодії і співпраці між університетами та ІТ-компаніями [34,35].

Актуальність створення різнотипних консорціумів, типу «університет – ІТ-компанія», забезпечує вирішення вказаних вище проблем, а також інших актуальних питань, наприклад: об'єднання ресурсів для розробки спільних наукових проєктів або створення Start-up проєктів, можливість отримання реального досвіду роботи на ІТ-підприємстві для студентів, а також створення програм обміну для викладачів і студентів, розробка навчальних планів, орієнтованих на потреби ІТ-компаній та вимоги до майбутніх спеціалістів у галузі інформаційних технологій, проведення курсів на базі ІТ-компаній для підвищення знань студентів та орієнтації у виборі майбутнього місця роботи.

Отже, актуальність створення академічно-промислових консорціумів типу «Університет – ІТ-компанія» залишається досить високою, але незважаючи на наявність успішних прикладів, рівень співпраці значно варіюється в різних країнах та університетах. Продовжувати практику розвитку ІТ-освіти без участі ІТ-підприємств надалі просто є неефективним, так як це істотно обмежує перспективи працевлаштування випускників за фахом, збільшує витрати на ІТ-ресурси та гальмує розвиток найбільш інноваційної галузі країни. [15, 18]

Виникає питання: чим обумовлене успішне проектування співпраці університетів та ІТ-компаній на багато років уперед та чому існує ризик втратити не тільки матеріальні вклади у кооперацію та час, витрачений на її розробку, але й нашкودити власному напрямку розвитку та цільовій орієнтації загалом.

Проблема знаходження стандартизованої та апробованої моделі розвитку – це актуальна проблема як для академії, так і для представників індустрії інформаційних технологій.

За останні роки в Україні поширеними формами співпраці компаній і ВНЗ є стажування та практика студентів; лекції для студентів; студентські проекти, конкурси, надання ВНЗ новітнього устаткування і технологій у форматі навчальних центрів, лабораторій тощо. Компанії практично не впливають на розробку навчальних програм і професійних стандартів [24].

Представники сфери бізнесу і ВНЗ по-різному визначають основні перепони в партнерстві. Так, на думку, представників ВНЗ, основними бар'єрами є недостатня поінформованість бізнесу про можливості співпраці з ВНЗ та орієнтованість бізнесу лише на швидке отримання прибутку. А на думку компаній – нерозуміння навчальними закладами реалій бізнес-світу та вимог до майбутніх працівників [25].

Найпоширеніша модель партнерства, яка склалася сьогодні в Україні, це підготовка спеціалістів для потреб компаній через програми стажувань (проходження практики). Проте ця модель не має впливу на якість підготовки випускників ВНЗ загалом. На погляд Центру «Розвиток КСВ», модель ефективного партнерства компанії і ВНЗ повинна обов'язково включати декілька видів співпраці та мати на меті вплив на процес підготовки майбутніх фахівців у цілому. Партнерство повинне поєднувати два аспекти: партнерство в навчальному процесі й у дослідницькій та інноваційній діяльності [15,24].

Країни південної Європи, такі як Україна, Польща, Чехія, Чорногорія та Сербія, являють собою приклади найбільш розвинених та привабливих місць для ведення аутсорсингового бізнесу. Кооперація між великими українськими філіалами ІТ-компаній та європейськими університетами – це сьогодні нова галузь розвитку та взаємної праці.

Зацікавленість ВУЗів обумовлена можливістю надати своїм випускникам стабільне місце роботи, а компаній – отримання кваліфікованих спеціалістів. Сьогодні із найбільшими ІТ-компаніями співпрацюють майже всі університети України, які мають у своєму складі факультети комп'ютерної або математичної направленості. За допомогою таких компаній, як EPAM Systems, Luxoft, Miratech, GlobalLogic, DataArt, JMC створена окрема організація «IT Ukraine».

За кордоном для сприяння кооперації університетів та ІТ-компаній, широко використовуються як однією так і іншою сторонами спеціалізовані каталоги вищих навчальних закладів (на прикладі

Великобританії). Такі бібліотеки містять впорядковані дані про напрями діяльності, дослідження і розробки університетів і можуть послужити стартовою точкою до майбутньої взаємодії із компанією, яка зацікавлена у таких же напрямках розвитку [16-18].

Одним із перших видів запровадження співпраці між університетами та ІТ-компаніями є вивчення студентів для подальшого працевлаштування у компанії. Так, студенти могли отримувати не тільки знання у рамках університетської освіти, а й поза її межами, спеціалізовано під потреби ринку праці (у частоті, компанії, яка виступає основним компаньйоном у кооперації з конкретним університетом).

Умовно можна виділити декілька основних напрямків навчання у кооперації [39] (за критерієм кількості учасників) (рис. 1.2):

1. Факультативні навчання. Учасники: 1 університет та 1 ІТ-компанія. При такій взаємодії студенти університету мають можливість ознайомитися з потребами конкретної компанії та пройти підготовку для роботи у команді. Як правило, спеціалісти можуть бути у результаті таких курсів вузькопрофільними, але їх важливість для ІТ-компанії буде максимальною. Важливу роль відіграє «людський фактор» та можливість мотивації до роботи саме у обраному компанією напрямку по завершенню основного навчання, або паралельно із ним.

2. Дистанційне навчання на базі власної веб-системи ІТ-компанії. Учасники: 1 компанія та довільна кількість університетів. При такому виді навчання спеціалістів у ІТ-компанії є можливість обирати та підготовлювати спеціалістів для співпраці із більшої кількості університетів свого регіону та навіть за його межами. Курси можуть бути більш структурованими та впорядкованими за вимогами відповідних відділів освіти у межах компанії.

3. Універсальна платформа (від третіх осіб), як база для передачі досвіду та навчання студентів різними ІТ-компаніями. Учасники: довільна кількість університетів та ІТ-компаній. Найбільш необмежений тип співпраці, при якому університети (як окремі зареєстровані клієнти) мають право надавати своїм студентам доступ до навчання у компаніях, які підходять для університетів та їх напрямку підготовки, а ІТ-компанії – заохочувати своїх співробітників до кураторської праці на базі таких платформ. Особливо важливою є

можливість обміну знаннями без обмежень у просторі та у режимі «реального часу».

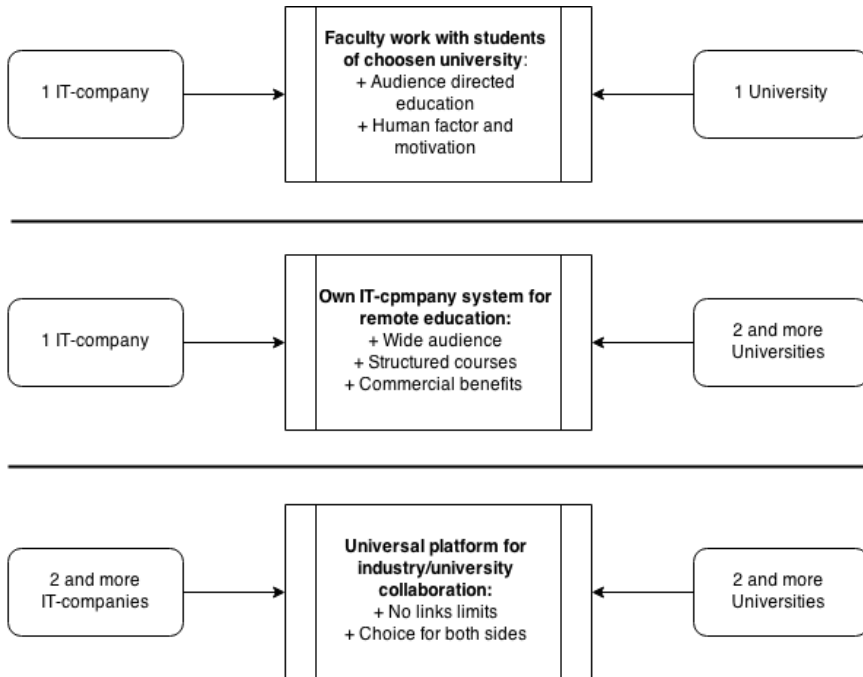


Рис. 1.2. Види кооперації для наукової діяльності та навчання майбутніх співробітників ІТ-компаніями

Одним із успішних прикладів навчання своїх співробітників у кооперації з університетами є взаємозв'язок компанії HP із різними вищими навчальними закладами Європи та США [51].

І це лише один із базових напрямів співпраці компаній та університетів, який не обов'язково є найкращим для кожного конкретного випадку кооперації.

На жаль, сучасна проблема визначення оптимальної моделі кооперації між новими учасниками та тими університетами та ІТ-компаніями, які уже зіткнулися із проблемами вигідної співпраці, залишається не вирішеною.

1.5 Аналіз існуючих методів та підходів до оцінки можливого рівня співпраці між університетом та ІТ-компанією

Оцінка і вибір оптимальної моделі співпраці між університетом та ІТ-компанією є достатньо складним процесом з багатьох причин, серед яких: багатофакторність оцінки можливого рівня співпраці; складність попереднього врахування всіх можливих етапів прийняття рішень; відсутність можливості кількісного оцінювання деяких вхідних факторів; недостатня обізнаність кожної або однієї із сторін з особливостями сучасного розвитку інформаційних технологій; недостатня технічно-матеріальна база тощо.

Для оцінки можливого рівня співпраці існує можливість використання наступних математичних методів прийняття рішень [69]:

1. Метод Дельфі;
2. Метод попарних порівнянь;
3. Метод аналізу ієрархій Сааті.

Метод Дельфі.

До перспективних методів експертного оцінювання оцінок відноситься метод Дельфі. Він заснований на ретельно розробленій процедурі послідовних індивідуальних опитувань експертів за допомогою анкет. Опитування супроводжуються постійним інформуванням експертів про результати обробки раніше отриманих відповідей. Експертиза проводиться в декілька турів до тих пір, поки не отримують прийнятну збіжність в судженні більшості експертів. В якості колективної експертної оцінки приймається медіана остаточних відповідей експертів [87,92].

Метод Дельфі безперервно удосконалюється завдяки його поєднанню з іншими методами. Нові модифікації методу Дельфі забезпечують підвищену універсальність, швидкість і точність отримання колективних експертних оцінок.

Метод попарних порівнянь.

Відповідний метод передбачає участь експерта, який проводить оцінку цілей

$$Z_1, Z_2, \dots, Z_n. \quad (1.1)$$

Згідно з даним методом здійснюються парні порівняння цілей у всіх можливих поєднаннях. У кожній парі виділяється найкраща ціль (на базі оцінок $a_{1,2}, a_{1,3}, \dots, a_{i,j}, \dots, a_{n,n-1}$, де i та j – індекси відповідної

оцінки, при $i \neq j$ та $a_{i,j} = |1 - a_{j,i}|$). Обробка матриці оцінок дозволяє знайти ваги цілей, що характеризують їх відносну важливість [14,72].

Одна з можливих модифікацій методу полягає в наступному:

1. Складається матриця бінарних уподобань, в якій перевага цілей виражається за допомогою булевих змінних;
2. Визначається ціна кожної цілі шляхом підсумовування булевих змінних за відповідним рядком матриці.

Метод аналізу ієрархій Саати.

Метод аналізу ієрархій (МАІ) - математичний інструмент системного підходу до складних проблем прийняття рішень. МАІ дозволяє ЛПР в інтерактивному режимі знайти такий варіант рішення (альтернативу), який найкращим чином узгоджується з його розумінням суті проблеми та вимогами до її вирішення [58,72].

Побудова ієрархічної структури задачі дозволяє проаналізувати всі можливі (необхідні та достатні) елементи ієрархії (рис. 2.2). При цьому в задачі вибору моделі співпраці в рамках АПК в якості альтернатив можуть виступати моделі А1, А2, В, С [85,86] та їх комбінації.

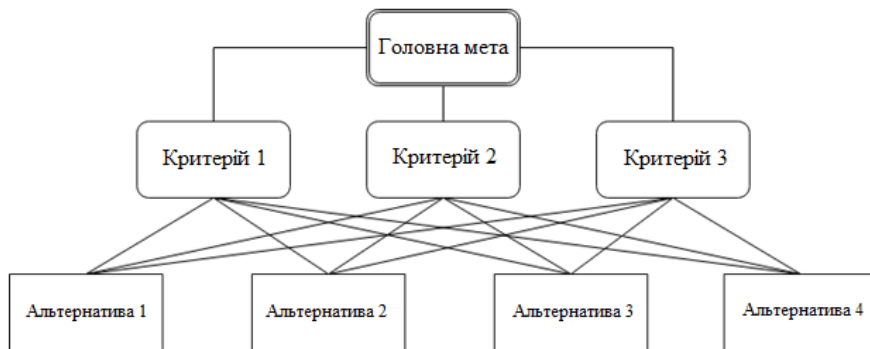


Рис. 1.3. Типова ієрархічна структура задачі при використанні МАІ

При вирішенні завдань багатокритеріальної оптимізації доводиться вирішувати специфічні питання, пов'язані з невизначеністю цілей і неспіврозмірністю критеріїв. Перелічимо основні проблеми, що виникають при розробці методів багатокритеріального прийняття рішень [30, 56].

1. Проблема нормалізації критеріїв, тобто приведення критеріїв до єдиного (безрозмірного) масштабу виміру.

2. Проблема вибору принципу оптимальності, тобто встановлення, в якому сенсі оптимальне рішення краще за всіх інших рішень.

3. Проблема врахування пріоритетів критеріїв, що виникає в тих випадках, коли з фізичного змісту ясно, що деякі критерії мають пріоритет над іншими.

4. Проблема обчислення оптимуму завдання багатокритеріальної оптимізації. Йдеться про те, як використовувати методи лінійної, нелінійної, дискретної оптимізації для обчислення оптимуму завдань з певною специфікою.

При вирішенні багатокритеріальної задачі часто виникає необхідність нормалізації критеріїв $f_k(X)$, тобто приведення всіх критеріїв до єдиного масштабу і безрозмірного вигляду. Надалі будемо вважати, що всі критерії невід'ємні, тобто $f_k(X) \geq 0$ для всіх $X \in D$.

Найбільш часто використовується заміна критеріїв їх безрозмірними відносними величинами: $\lambda_k(X) = \frac{f_k(X)}{f_k^*}$, де

$f_k^* = \max_{X \in D} f_k(X)$. Нормалізовані критерії володіють двома важливими властивостями: по-перше, вони є безрозмірними величинами, і, по-друге, вони задовольняють нерівності $0 \leq \lambda_k(X) \leq 1$ для будь-якого $X \in D$. Ці властивості дозволяють порівнювати критерії між собою [67-70].

Метод лінійної (адитивної) згортки.

Найчастіше множину критеріїв зводять до одного глобального критерію, та розв'язують класичну однокритеріальну задачу [56-57].

Однак застосування даного підходу має деякі недоліки, що полягають в наступному: деякі оптимальні за Парето розв'язки отримати неможливо.

Методи згортання критеріїв зводять первісну багатокритеріальну задачу до однокритеріальної наступного виду:

$$Q(Q_1(E_1), Q_2(E_2), \dots, Q_n(E_n)) \Rightarrow \text{Max}. \quad (1.2)$$

За допомогою лінійної згортки глобальний критерій подається у вигляді лінійної комбінації компонентів векторного критерію якості з

ваговими коефіцієнтами λ_j , основне призначення яких – врахування відносної важливості критеріїв.

$$Q(E_i) = \sum_{j=1}^n \lambda_j Q_j(E_i) \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; \lambda_j > 0; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1. \quad (1.3)$$

Лінійне згортання нормованих критеріїв ґрунтується на ідеї зведення часткових критеріїв до безрозмірних величин з інтервалами [0..1]

$$Q(E_i) = \sum_{j=1}^n \left(\lambda_j \frac{Q_j(E_i) - Q_j^{\min}}{Q_j^{\max} - Q_j^{\min}} \right). \quad (1.4)$$

Оцінка відносної важливості критеріїв (формування ваги):

Побудова ваги критеріїв методом простого ранжування.

Припустимо, що 9 критеріїв розташовані в порядку їх пріоритетності для ЛПР (таблиця 1.1). Для оцінювання критеріїв використаємо 9-ти бальну шкалу оцінок.

Таблиця 1.1. Ранжування критеріїв

Критерій	Пріоритет	Загальна кількість балів	Кількість балів для і-го критерію	Вага
$Q_1(E_i)$	1-2	17	8,5	0,188
$Q_2(E_i)$	1-2	17	8,5	0,188
$Q_3(E_i)$	3-4	13	6,5	0,144
$Q_4(E_i)$	3-4	13	6,5	0,144
$Q_5(E_i)$	5	5	5	0,111
$Q_6(E_i)$	6	4	4	0,088
$Q_7(E_i)$	7-9	6	2	0,044
$Q_8(E_i)$	7-9	6	2	0,044
$Q_9(E_i)$	7-9	6	2	0,044
\sum			45	1

Побудова ваги критеріїв пропорційним методом.

Припустимо, що критерії розташовані в порядку їх пріоритетності і суб'єктивно встановлені їх ваги через найменше значення (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2. Ранжування критеріїв

Критерій	Пріоритет	Вага
$Q_1(E_i)$	$3,5\lambda$	$3,5\lambda/20\lambda = 0,175$
$Q_2(E_i)$	$3,5\lambda$	0,175
$Q_3(E_i)$	3λ	0,15
$Q_4(E_i)$	3λ	0,15
$Q_5(E_i)$	$2,5\lambda$	0,125
$Q_6(E_i)$	$1,5\lambda$	0,075
$Q_7(E_i)$	λ	0,05
$Q_8(E_i)$	λ	0,05
$Q_9(E_i)$	λ	0,05
\sum	20λ	1

Метод мультиплікативної згортки.

Адитивні (лінійні) згортання мають ще один мінус - значення одного зі складових критеріїв може бути дуже великим унаслідок того, що значення інших мінімальні. Така ситуація є вкрай небажаною. Наприклад, конструюючи літак зі складовими критеріями економічності та швидкості польоту, за певних значень вагових коефіцієнтів можна отримати максимальне значення економічності за рахунок того, що швидкість польоту становитиме 0, а такий літак не потрібен нікому [56-57].

Щоб уникнути таких ситуацій, запропоновано варіанти мультиплікативного згортання у звичайному (1.5) та нормованому (1.6) вигляді:

$$Q(E_i) = \prod_{j=1}^n (Q_j(E_i))^{\lambda_j} \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; \lambda_j > 0; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; (i = 1, 2, \dots, m); \quad (1.5)$$

$$Q(E_i) = \prod_{j=1}^n \left(\frac{Q_j(E_i) - Q_j^{\min}}{Q_j^{\max} - Q_j^{\min}} \right)^{\lambda_j} \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; \lambda_j > 0; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; (i = 1, 2, \dots, m). \quad (1.6)$$

Для таких згортань різке зменшення значення хоча б одного часткового критерію $Q_j(E_i)$ різко зменшує значення глобального критерію $Q(E_i)$. Критерії такого виду широко використовуються в економічних дослідженнях. Однак залишається нерозв'язаною головна проблема - обчислення значень вагових коефіцієнтів.

Слід відзначити, що мультиплікативний критерій утворюється шляхом простого множення часткових критеріїв у тому випадку, коли критерії мають однакову важливість:

$$Q(E_i) = \prod_{j=1}^n Q_j(E_i) \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; (i = 1, 2, \dots, m). \quad (1.7)$$

Метод максимінного згортання.

У методі максимінного згортання глобальний критерій $Q(E_i)$ визначається як

$$Q(E_i) = \text{Min}_{j \in \{1..n\}} (\lambda_j Q_j(E_i)) \Rightarrow \text{Max}_{i \in \{1..m\}}; E_i \in E; \lambda_j > 0; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad (1.8)$$

де $Q_j(E_i)$ – j -та компонента (один з критеріїв) векторного критерію якості $Q(E_i)$ для альтернативного рішення $E_i, (i = 1..m)$;

λ_j – ваговий коефіцієнт, що відображає відносну важливість j -го критерію $Q_j(E_i)$ [65, 67].

На значення глобального критерію впливає лише той частковий критерій, який має у відповідній точці найменше значення. І, якщо у випадку лінійного згортання, загалом, можливі "погані" значення деяких часткових критеріїв $Q_j(E_i), (j = 1, \dots, n)$ можуть бути компенсовані за рахунок достатньо "хороших" значень решти часткових критеріїв, то у разі максимінного критерію здійснюється розрахунок "на якнайгірший випадок" і за значенням можемо визначити гарантовану нижню оцінку для всіх часткових критеріїв. Цей факт розцінюється як перевага максимінного критерію перед методом лінійного згортання.

Зрозуміло, що цей критерій можна застосовувати й у нормованому вигляді:

$$Q(E_i) = \text{Min}_{j \in \{1..n\}} \left(\lambda_j \frac{Q_j(E_i) - Q_j^{\min}}{Q_j^{\max} - Q_j^{\min}} \right) \Rightarrow \text{Max}_{i \in \{1..m\}}; E_i \in E; \lambda_j > 0; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; (j = 1..n), \quad (1.9)$$

де $Q_j(E_i), (j = 1..n)$ – j -та компонента векторного критерію якості $Q(E_i)$ для альтернативного рішення $E_i, (i = 1..m)$;

λ_j – ваговий коефіцієнт, що відображає відносну важливість j -го критерію $Q_j(E_i)$;

Q_j^{\min} – межа мінімального значення j -го критерію;

Q_j^{\max} – межа максимального значення j -го критерію.

У проектуванні часто використовують різновид критерію максимінного згортання, у якому задано нормативні значення критеріїв Q_j^* , яких бажано дотримуватися:

$$Q(E_i) = \underset{j \in \{1..n\}}{\text{Min}} \left(\frac{Q_j(E_i)}{Q_j^*} \right) \Rightarrow \underset{i \in \{1..m\}}{\text{Max}}; E_i \in E, \quad (1.10)$$

де Q_j^* – нормативне значення j -го критерію.

Зміст цього критерію очевидний: для певної альтернативи E_i ми будемо мати найгірше значення відношення $Q_j(E_i)/Q_j^*$ і умова максимізації глобального критерію $Q(E_i)$ означатиме вибір такої системи конструктивних параметрів (в задачах проектування), яка максимізує відношення значення складового критерію $Q_j(E_i)$ до його контрольного значення Q_j^* [56,57].

Метод ідеальної точки.

Метод ідеальної точки реалізує принцип ідеального розв'язку. У ньому постулюється існування «ідеальної точки» для розв'язання задачі, у якій досягається екстремум всіх критеріїв (принцип Джофріона).

Оскільки ідеальна точка у більшості випадків не знаходиться серед допустимих, то постає проблема знаходження «найближчої» до ідеальної допустимої точки. Усе було б добре, якби існувало єдине об'єктивне поняття «відстані», однак це не так. Якщо на площині можна тим чи іншим обґрунтуванням застосовувати евклідову метрику, то, наприклад, на поверхні кулі найкоротший шлях – дуга, а не пряма.

Отже, розв'язуючи задачу методом ідеальної точки, необхідно насамперед:

- 1) визначити координати ідеальної точки;

2) обрати метрику, за допомогою якої можна вимірювати відстань до ідеальної точки.

Для визначення координат ідеальної точки потрібно:

1) розв'язати n однокритерійних задач за кожним із критеріїв оптимізації

$$Q_j(E_i) \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; (i = 1, 2, \dots, m);$$

2) знайти оптимальні значення критеріїв кожної з однокритерійних задач, які будуть координатами ідеальної точки $Q_D^* = (Q_1^*, Q_2^*, \dots, Q_n^*)$ у просторі критеріїв.

$$Q_j^* \Rightarrow \text{Max}_{i \in \{1..m\}} Q_j(E_i); E_i \in E; (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n).$$

Якщо ідеальна точка допустима (а це трапляється вкрай рідко), то вважається, що розв'язок отримано. В іншому випадку необхідно визначити «відстань» до ідеальної точки. Для цього треба вибрати метрику і розв'язати однокритерійну задачу знаходження точки з множини допустимих, яка найближча до ідеальної.

Отже, задача оптимізації приймає вигляд:

$$Q_\rho(E_i) = \rho(Q(E_i) - Q^*) \Rightarrow \text{Min}; E_i \in E; (i = 1, 2, \dots, m). \quad (1.11)$$

Якщо обрано метрику Евкліда, то критерій (1.11) приймає вигляд:

$$Q_\rho(E_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Q_j(E_i) - Q_j^*)^2} \Rightarrow \text{Min}; E_i \in E; (i = 1, 2, \dots, m), \quad (1.12)$$

де $Q_j(E_i), (j = 1..n)$ – координати i -ої альтернативи у просторі критеріїв;

$Q_j^*, (j = 1..n)$ – координати ідеальної точки.

Рішення E^* , вважається розв'язком задачі багатокритеріальної оптимізації за методом ідеальної точки.

Усі розглянуті вище математичні методи мають суттєві недоліки: необхідність обрахунку узгодженості експертних суджень; обмеженість в кількості рівнів ієрархії та розмірності матриці попарних порівнянь; постійний контакт з експертами для проведення анкетування; необхідність оновлення структури СППР при зміні вектора вхідних координат тощо.

Метод на основі нечіткого логічного виведення.

Даний метод дозволяє здійснювати багатофакторну оцінку можливого рівня співпраці між університетом та ІТ-компанією без

обмежень на структурну та параметричну ідентифікацію. Він є зручним у використанні з точки зору налаштування параметрів та прийняття рішень в умовах невизначеності. Розробка нечітких СППР для вибору раціональної моделі співпраці в умовах невизначеності, зокрема при формуванні вхідної експертної інформації з високим рівнем апріорної невизначеності та при змінній структурі вектора вхідних координат є одним з найбільш перспективних напрямків створення сучасних інформаційних технологій [1, 2, 11, 65].

1.6 Структурна побудова та аналіз особливостей проектування систем підтримки прийняття рішень на основі нечіткого логічного виведення

Останнім часом СППР перебувають у полі зору широкого кола фахівців, оскільки дозволяють істотно підвищити якість вибору ЛПР (людини, що приймає рішення) оптимального рішення з різнотипних альтернативних варіантів у складних або екстремальних ситуаціях [20, 21].

Сучасні СППР наділені наступними характеристиками та можливостями [19, 25, 87]:

- надання ЛПР допомоги в процесі прийняття рішень та забезпечення підтримки у всьому діапазоні контекстів задач;
- підвищення ефективності прийняття рішень, на відміну від адміністративних систем, в яких здійснюється акцент на аналітичному процесі;
- інтеграція різнотипних моделей та аналітичних методів із стандартним доступом до даних. В процесі прийнятті рішень активується одна або декілька моделей;
- розробка за принципом інтерактивного рішення задач. Користувач має можливість підтримувати діалог із СППР у безперервному режимі;
- орієнтованість на гнучкість і адаптивність до змін середовища або підходів до рішення задач, що обирає ЛПР.

СППР для розв'язання різнотипних задач допомагають операторам (ЛПР) формувати і використовувати відповідні масиви апріорних і поточних даних, моделі, алгоритми та критерії прийняття ефективних рішень [23, 24, 29] в автоматичних та інтерактивних режимах.

Для аналізу та формування альтернативних рішень в СППР використовуються різні теоретичні підходи, зокрема, інтелектуальний аналіз даних, імітаційне та нечітке моделювання, генетичні алгоритми, нейронні мережі, теорія прийняття рішень, теорія нечітких множин та нечітка логіка і т.д. [26-28].

Останнім часом використання нечіткої логіки в системах управління та СППР набуло значного поширення [30,32].

Дослідження нечіткої логіки пов'язане з необхідністю розробки інтелектуальних систем, здатних взаємодіяти з людиною, сприймаючи від неї вербальну (нечітку) інформацію [33,154]. Це сприяло появі нових можливостей [65]:

- можливість створення штучного інтелекту, схожого з інтелектом людини та його застосування в автоматах і роботах;
- створення комп'ютеризованих систем, які піддаються програмуванню за допомогою природної мови з використанням нечітких понять;
- використання інформації будь-якого ступеня гранулювання в задачах моделювання, управління, оптимізації та діагностики.

Застосування теорії нечітких множин та нечіткої логіки при проектуванні СППР дозволяє вирішувати задачі на інтелектуальному рівні, використовуючи при цьому бази знань експертів [34].

Загальна структура мікроконтролера для обробки вхідних даних якісного та кількісного типу [65], що використовує нечітку логіку, складається з наступних блоків:

- блок фазифікації;
- база знань;
- блок рішень (блок нечіткого логічного виведення);
- блок дефазифікації.

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

Блок рішень використовує нечіткі правила з бази знань для перетворення нечітких вхідних даних в необхідні керуючі впливи, що також мають нечіткий характер.

Блок дефазифікації перетворює дані з виходу блоку рішень в чітку величину, що використовується для керування об'єктом.

Процес нечіткого логічного виведення (висновку) являє собою деяку процедуру або алгоритм отримання нечітких висновків на

основі нечітких умов або передумов з використанням властивостей нечіткої логіки [35,36]. Цей процес поєднує в собі всі основні концептуальні компоненти теорії нечітких множин: функції належності (ФН), лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації і нечіткої композиції [42,65].

Системи нечіткого логічного виведення (СНЛВ) призначені для реалізації процесу нечіткого логічного виведення і виступають концептуальним базисом сучасної нечіткої логіки. Досягнуті успіхи в застосуванні відповідних систем для вирішення широкого класу задач управління і прийняття рішень надали можливість становлення та подальшого розвитку нечіткої логіки як прикладної науки. СНЛВ дозволяють вирішувати завдання автоматичного управління, класифікації даних, розпізнавання образів, прийняття рішень, машинного навчання та ін. [43,44]. СНЛВ здатні встановлювати складні нелінійні залежності між вхідними та вихідними змінними. Вони використовуються для процесів, які є багатовимірними, нелінійними або змінними протягом часу [53]. Також СНЛВ застосовують для роботи зі складноформалізованими та неповністю визначеними системами, оскільки для них не потрібна чітка математична модель або її неможливо синтезувати на основі традиційних математичних підходів [14,15,18,55].

Оскільки розробка і застосування СНЛВ має міждисциплінарний характер, то дана проблематика досліджень тісно взаємопов'язана з цілою низкою інших науково-прикладних напрямків, таких як: нечітке моделювання, нечіткі експертні системи, нечітка асоціативна пам'ять, нечіткі логічні контролери, нечіткі регулятори [56-59] тощо.

Основними етапами нечіткого логічного виведення є (рис. 1.4) [65]:

- формування і створення можливості застосування бази правил (БП);
- фазифікація вхідних змінних як кількісного, так і якісного типу з використанням відповідних лінгвістичних термів;
- активізація підумов (антецедентів) в нечітких продукційних правилах;
- агрегація антецедентів в нечітких продукційних правилах;

- акумуляція висновків (консеквентів) в нечітких продукційних правил;
- дефазифікація вихідних змінних.

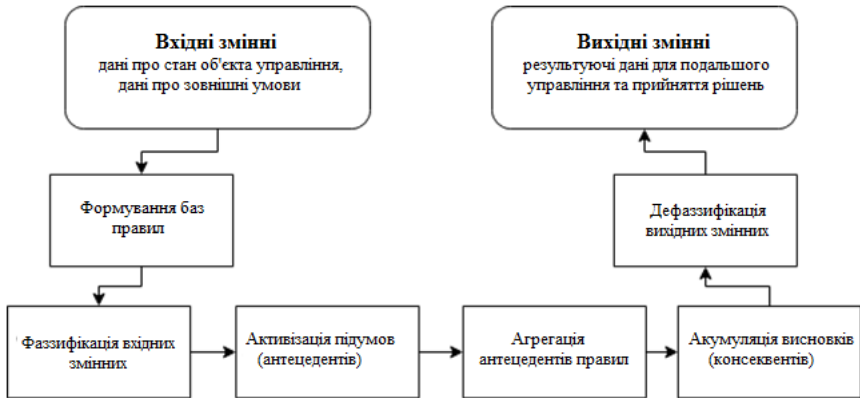


Рис. 1.4. Діаграма компонентів процесу нечіткого логічного виведення

Синтез СППР із застосуванням нечіткої логіки передбачає вибір алгоритму нечіткого логічного виведення. На даний час запропоновано декілька відповідних алгоритмів, які знайшли практичне застосування, зокрема, алгоритми Мамдані, Цукamoto, Ларсена, Сугено та ін. [60-63,65].

Алгоритм Мамдані є одним з перших, який знайшов застосування в СНЛВ. Він був запропонований у 1975 р. англійським математиком Е. Мамдані (Ebrahim Mamdani) в якості методу для управління паровим двигуном [65].

Формально алгоритм Мамдані [65,69-71] здійснюється за наступними етапами.

Етап 1. Формування БП систем нечіткого логічного виведення. На даному етапі експерт (розробник) визначає структуру нечіткої СППР, зокрема, кількість лінгвістичних змінних (ЛЗ) та зв'язки між ними, діапазон зміни ЛЗ, кількість та форму ФН лінгвістичних термів (ЛТ). На основі відповідних даних експерт формує правила продукційного типу *IF...THEN...* для всіх БП підсистем. Правила відповідного типу складаються з двох частин: підумов (антецедентів), які можуть поєднуватися логічними зв'язками *AND(OR)*

IF $x_1 \in A$ AND(OR) $x_2 \in B$ AND(OR) , ..., AND(OR) $x_n \in S$,

та висновків (консеквентів):

THEN $y_1 \in T$ AND(OR) $y_2 \in V$ AND(OR) , ..., AND(OR) $y_n \in Z$,

де x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні ЛЗ; A, B, \dots, S – ЛТ вхідних ЛЗ;

y_1, y_2, \dots, y_n – вихідні ЛЗ; T, V, \dots, Z – ЛТ вихідних ЛЗ.

Етап 2. Фазифікація вхідних змінних за допомогою ФН відповідних ЛТ. На даному етапі визначається відповідність (ступінь належності $\mu_A(x)$) вхідних даних (x), заданих користувачем (ЛПР), до ЛТ (A) конкретних ЛЗ, при цьому $\mu_A(x) \in [0,1]$.

Етап 3. Активізація антецедентів в нечітких правилах продукційного типу. Правила, в яких ступінь істинності (належності) антецедентів відмінний від нуля, вважаються активними і використовуються для подальших розрахунків.

Етап 4. Агрегація антецедентів правил. Для виконання відповідної процедури використовуються нечіткі логічні операції (min, max, prod) для всіх ступенів належності, наприклад, $\mu_Z(y_1) = \text{MIN}(\mu_A(x_1), \mu_B(x_2), \mu_C(x_3))$ по кожному правилу. При цьому для скорочення часу виведення враховуються тільки активні правила.

Етап 5. Акумуляція консеквентів нечітких правил продукційного типу. На даному етапі відбувається об'єднання всіх нечітких множин вихідної ЛЗ по всім активізованим правилам в результуючу нечітку множину.

Етап 6. Дефазифікація вихідних змінних. На даному заключному етапі відбувається переведення нечіткої результуючої множини в чітке число на основі різнотипних методів дефазифікації (методу центра ваги, методу центра площі, методу висот, методів лівого, правого максимумів та ін.).

Розглянемо більш детально алгоритм Мамдані на прикладі підсистеми $y_1 = (x_1, x_2, x_3)$ (рис. 1.5). Для даної підсистеми було визначено три вхідні ЛЗ (x_1, x_2, x_3) з ЛТ $x_1 \in \{small, average, high\}$, $x_2, x_3 \in \{low, medium, high\}$. При введенні користувачем даних $(x_1 = 2, 7; x_2 = 600, 0; x_3 = 95, 0)$ СНЛВ після реалізації етапу фазифікації визначила ступені належності відповідних вхідних даних до ЛТ, зокрема, $\mu_{small}(x_1) = 0,3$, $\mu_{average}(x_1) = 0,7$, $\mu_{high}(x_1) = 0$, $\mu_{low}(x_2) = 0$, $\mu_{medium}(x_2) = 0$, $\mu_{high}(x_2) = 1$, $\mu_{low}(x_3) = 0$, $\mu_{medium}(x_3) = 0$, $\mu_{high}(x_3) = 1$.

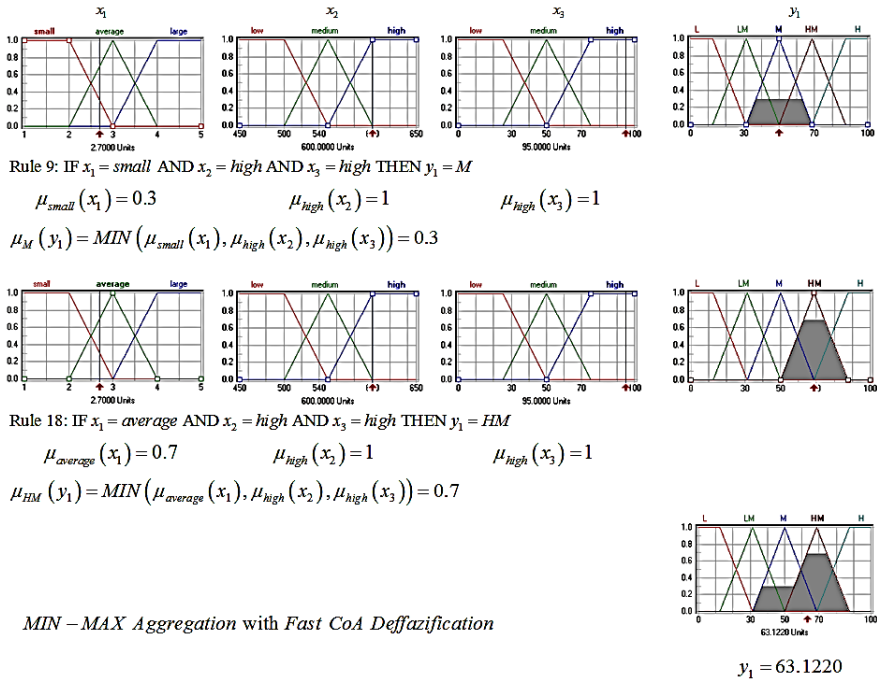


Рис. 1.5. Алгоритм нечіткого логічного виведення Mamdani-типу

Для активізації правил необхідною є умова ненульового значення ступені належності кожного компонента антецедентів. Для відповідної підсистеми $y_1 = (x_1, x_2, x_3)$ було сформовано 27 правил, з яких активізувалися 2 (правило №9 “Rule 9” та №18 “Rule 18”) при заданих вхідних даних (рис. 1.5). Для агрегації антецедентів використовувалась операція *MIN*. Додаткова (*MAX*) агрегація не виконується, оскільки ЛТ консеквентів активізованих правил різні (рис. 1.5).

Розглянемо агрегацію антецедента для правила №9, яке має наступну структуру:

$$\text{IF } x_1 = \text{small} \text{ AND } x_2 = \text{high} \text{ AND } x_3 = \text{high} \text{ THEN } y_1 = M .$$

Ступені належності окремих компонентів антецеденту даного правила відомі, отже після застосування операції *MIN* для агрегації,

тобто для визначення ступеня належності вихідної змінної (консеквента) $\mu_M(y_1)$ до відповідного ЛТ даного правила, отримаємо

$$\mu_M(y_1) = \text{MIN}(\mu_{\text{small}}(x_1), \mu_{\text{high}}(x_2), \mu_{\text{high}}(x_3)) = \text{MIN}(0, 3, 1, 1) = 0, 3.$$

В результаті агрегації всіх компонентів антецеденту правила №18 отримано

$$\mu_{\text{FM}}(y_1) = \text{MIN}(\mu_{\text{average}}(x_1), \mu_{\text{high}}(x_2), \mu_{\text{high}}(x_3)) = \text{MIN}(0, 7, 1, 1) = 0, 7.$$

Процедура акумуляції (MAX) об'єднує нечіткі множини консеквентів по двом активізованим правилам в результуючу нечітку множину.

На основі методу центра площі (Fast CoA) [58,65] здійснено дефазифікацію результуючої нечіткої множини в чітке число ($y_1 = 36,122$).

Більш детально алгоритм Мамдані наведено нижче.

У контексті нечіткої логіки під фазифікацією розуміється не тільки окремий етап виконання нечіткого висновку, а й власне процес або процедура знаходження значень функцій належності нечітких множин (термів) на основі звичайних (не нечітких) вхідних даних. Фазифікацію ще називають введенням нечіткості.

Метою етапу фазифікації є встановлення відповідності між конкретним (зазвичай - чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого висновку та значенням функції належності відповідного їй терму вхідної лінгвістичної змінної. Після завершення цього етапу для всіх вхідних змінних повинні бути визначені конкретні значення функцій належності по кожному з лінгвістичних термів, які використовуються в підумовах бази правил системи нечіткого висновку.

Формально процедура фазифікації виконується наступним чином. До початку цього етапу передбачаються відомими конкретні значення всіх вхідних змінних системи нечіткого виведення, тобто множина значень $V' = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. У загальному випадку кожне $a_i \in X_i$, де X_i – універсум лінгвістичної змінної β_i . Ці значення можуть бути отримані або від датчиків, або деяким іншим, зовнішнім по відношенню до системи нечіткого висновку способом.

Далі розглядається кожна із підумов типу « $\beta_i \in \alpha$ » правил системи нечіткого висновку, де α – деякий терм з відомою функцією

належності $\mu(x)$. При цьому значення a_i використовується у якості аргументу $\mu(x)$, завдяки чому вираховується кількісне значення $b'_i = \mu(a_i)$. Це значення i є результатом фазифікації підумов « $\beta_i \in \alpha$ ».

Етап фазифікації вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення $b'_i = \mu(a_i)$ для кожного з підумов всіх правил, що входять у розглянутій базі правил системи нечіткого висновку. Це множина значень позначають через $B = \{b'_i\}$. При цьому якщо деякий терм α лінгвістичної змінної β_i не присутній ні в одному з нечітких висловлювань, то відповідне йому значення функції належності не перебуває в процесі фазифікації.

Етап агрегування підумов (антецедентів).

Агрегування являє собою процедуру визначення ступеня істинності умов по кожному з правил системи нечіткого висновку.

Формально процедура агрегування виконується наступним чином. До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх підумов системи нечіткого висновку, тобто множина значень $B = \{b'_i\}$. Далі розглядається кожне з умов правил системи нечіткого висновку. Якщо умова правила являє собою нечітке висловлювання виду « $\beta_i \in \alpha$ », то ступінь його істинності дорівнює відповідному значенню b'_i .

Якщо ж умова складається з декількох підумов, причому лінгвістичні змінні в підумові попарно не рівні один одному, то визначається ступінь істинності складного висловлювання на основі відомих значень істинності підумови. При цьому для визначення результату нечіткої кон'юнкції або зв'язки "І" може бути використана одна з формул:

- кон'юнкція висловлень – $T(\tilde{A} \cap \tilde{B}) = \min\{T(\tilde{A}), T(\tilde{B})\}$,
- алгебраїчний добуток – $T(\tilde{A} \cap \tilde{B}) = T(\tilde{A}) \cdot T(\tilde{B})$,
- граничний добуток – $T(\tilde{A} \cap \tilde{B}) = \max\{T(\tilde{A}) + T(\tilde{B}) - 1, 0\}$.

Для визначення результату нечіткої диз'юнкції або зв'язки "АБО" може бути використана одна з формул:

- диз'юнкція висловлювань – $T(\tilde{A} \cup \tilde{B}) = \max\{T(\tilde{A}), T(\tilde{B})\}$,
- алгебраїчна сума – $T(\tilde{A} \cup \tilde{B}) = T(\tilde{A}) + T(\tilde{B}) - T(\tilde{A}) \cdot T(\tilde{B})$,

– гранична сума – $T(\tilde{A} \cup \tilde{B}) = \min \{T(\tilde{A}) + T(\tilde{B}), 1\}$.

При цьому значення b'_i використовуються як аргументи відповідних логічних операцій. Тим самим знаходять кількісні значення істинності всіх умов правил системи нечіткого висновку.

Етап агрегування вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення b''_i для кожного з правил R_k , що входять у розглянуту базу правил системи нечіткого висновку. Множину значень позначають через $V'' = \{b''_1, b''_2, \dots, b''_n\}$.

Етап активізації висновків (консеквентів).

Активізація в системах нечіткого виведення являє собою процедуру або процес знаходження ступеня істинності кожного з висновків нечітких продукційних правил.

Активізація в загальному випадку багато в чому аналогічна композиції нечітких відносин, але не тотожна їй. Оскільки в системах нечіткого висновку використовуються лінгвістичні змінні, то формули для нечіткої композиції втрачають своє значення. В дійсності при формуванні бази правил системи нечіткого висновку задаються вагові коефіцієнти F_i для кожного правила (за замовчуванням передбачається, якщо ваговий коефіцієнт не заданий явно, то його значення дорівнює 1)

Формально процедура активізації виконується наступним чином. До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх умов системи нечіткого виведення, тобто множина значень $V'' = \{b''_1, b''_2, \dots, b''_n\}$ і значення вагових коефіцієнтів F_i для кожного правила. Далі розглядається кожне з висновків правил системи нечіткого висновку. Якщо висновок правила являє собою нечітке висловлювання виду « $\beta_1 \in \alpha$ », то ступінь його істинності дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення b''_i на ваговий коефіцієнт F_i .

Якщо ж висновок складається з декількох підвисновків, причому лінгвістичні змінні в підвисновках попарно не рівні один одному, то ступінь істинності кожного з підвисновків дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення b''_i на ваговий коефіцієнт F_i . Таким чином, знаходяться всі значення c_k ступенів істинності підвисновків для кожного з правил R_k , що входять у розглянуту базу правил

системи нечіткого висновку. Множина значень позначається через $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, де q – загальна кількість підвисновків в базі правил.

Етап акумулювання висновків.

Акумуляція або акумулювання в системах нечіткого виведення являє собою процедуру або процес знаходження функції приналежності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини $W = \{w_1, w_2, \dots, w_s\}$.

Мета акумуляції полягає в тому, щоб об'єднати або акумулювати всі ступені істинності висновків (підвисновків) для отримання функції належності кожної з вихідних змінних. Причина необхідності виконання цього етапу полягає в тому, що підвисновки, що відносяться до однієї і тієї ж вихідної лінгвістичної змінної, належать різним правилам системи нечіткого висновку.

Формально процедура акумуляції виконується наступним чином. До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх підвисновків для кожного з правил R_k , що входять у розглянуту базу правил системи нечіткого виведення, у формі сукупності нечітких множин: c_1, c_2, \dots, c_q , де q – загальна кількість підвисновків в базі правил. Далі послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних $w_j \in W$ і нечіткі множини, що відносяться до них: $c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jq}$. Результат акумуляції для вихідної лінгвістичної змінної w_j визначається як об'єднання нечітких множин: $c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jq}$.

Етап акумуляції вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові функції приналежності нечітких множин їх значень, тобто сукупність нечітких множин: c_1, c_2, \dots, c_s , де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого висновку.

Етап дефазифікації вихідних змінних.

Дефазифікації в системах нечіткого виведення являє собою процедуру або процес знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини $W = \{w_1, w_2, \dots, w_s\}$.

Мета дефазифікації полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, отримати

звичайне кількісне значення (crisp value) кожної з вихідних змінних, яке може бути використане спеціальними пристроями, зовнішніми по відношенню до системи нечіткого висновку.

Застосовувані в сучасних системах управління пристрої та механізми здатні сприймати традиційні команди у формі кількісних значень відповідних керуючих змінних. Саме з цієї причини необхідно перетворити нечіткі множини в деякі конкретні значення змінних. Тому дефазіфікації називають також приведенням до чіткості. Формально процедура дефазіфікації виконується наступним чином. До початку цього етапу передбачаються відомі функції приналежності всіх вихідних лінгвістичних змінних у формі нечітких множин: C'_1, C'_2, \dots, C'_s , де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого висновку. Далі послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних $w_j \in W$ відноситься до неї нечітка множина C'_j . Результат дефазіфікації для вихідної лінгвістичної змінної w_j визначається y вигляді кількісного значення $y_j \in R$.

Етап дефазіфікації вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові кількісні значення у формі деякого дійсного числа, тобто у вигляді y_1, y_2, \dots, y_s , де s - загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого висновку. Для виконання чисельних розрахунків на етапі дефазіфікації можуть бути використані наступні формули, що отримали назву методів дефазіфікації.

Алгоритм Мамдані [65] є найбільш поширеною моделлю нечіткого логічного виведення і в подальшому буде використовуватись авторами при синтезі СППР для підвищення ефективності процесів прийняття рішень при організації та супроводженні процесів функціонування АПК.

1.7 Аналіз факторів та параметрів, що впливають на ефективність процесів прийняття рішень в нечітких СППР

В загальному випадку процес прийняття рішень полягає [75,76]: в генерації множини можливих альтернативних рішень $\{E\}$, їх оцінювання та виборі найкращої альтернативи $E^*, E^* \in E$. При цьому в результаті оцінювання множини альтернатив $\{E\}$ виділяють підмножину ефективних або Парето-оптимальних альтернативних рішень $P(E), P(E) \subset E$, з якої за визначеними критеріями (рис. 1.6) обирається найкращий альтернативний варіант $E^*, E^* \in P(E)$.

Вибір найкращої (оптимальної) альтернативи $E^*, E^* \in P(E)$ передбачає врахування можливих різнотипних факторів та параметрів, що впливають на ефективність процесу прийняття рішень.

Аналіз літературних джерел показує, що для формування альтернативних рішень в СППР використовуються різні теоретичні підходи, зокрема, методи теорії прийняття рішень та дослідження операцій, теорія нечітких множин та нечітка логіка, інтелектуальний аналіз даних, імітаційне та нечітке моделювання, еволюційні генетичні алгоритми, нейронні мережі, мережі Петрі, мережі Байєса та ін. [72-74,80].

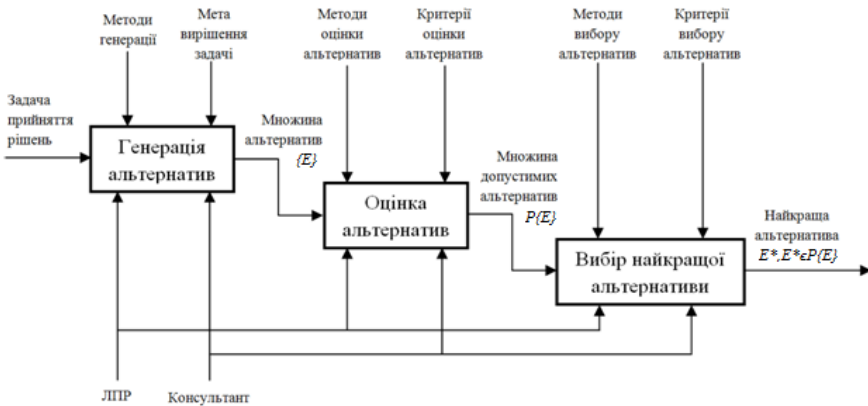


Рис. 1.6. Структурне представлення процесу прийняття рішень

Одним із шляхів підвищення ефективності та якості прийнятих рішень є автоматизація процесу генерації та прийняття рішень на

основі методів і засобів штучного інтелекту для синтезу відповідних експертних систем та СППР. Розробка моделей автоматизації процесу прийняття рішень в задачах управління на основі нечіткої експертної інформації дозволяє за критерієм швидкості отримання результатів суттєво перевищувати час реакції людини, зокрема, в непередбачуваних та критичних ситуаціях [81-83].

Для використання в моделях прийняття рішень інформації, формалізованої на основі теорії нечітких множин необхідні процедури побудови відповідних ФН. При цьому якість прийняття рішень залежить від адекватності обраної ФН. Для обробки та представлення експертної інформації у вигляді ФН використовують спеціальні методи теорії нечітких множин і нечіткої логіки, зокрема, прямі та непрямі методи побудови ФН нечітких множин. До прямих методів відносять: груповий, табличний, графічний та формульний методи. До непрямих: метод попарних порівнянь, метод статистичних даних, метод експертних оцінок, метод рангових оцінок [88-92].

На основі проведеного аналізу визначено ряд критеріїв, яким повинні відповідати ФН нечітких множин [65,93]:

Критерій 1. Область допустимих значень в діапазоні $[0, 1]$.

Критерій 2. Наявність змінних коефіцієнтів, що дозволяють в широких межах регулювати такі параметри ФН як ентропія, перекриття, положення пікового значення тощо.

Критерій 3. Нормальність та опуклість ФН.

На практиці застосовуються різнотипні форми ФН, найбільш простою і широкоживаною серед яких є трикутна форма ФН [65,98].

Перевагою трикутних ФН є висока швидкість та порівняна простота реалізації алгоритмів обчислення відповідної функціональної залежності. Однак вони не повною мірою відповідають *Критерію 2*, а отже їх застосування в нечітких експертних системах та системах штучного інтелекту є обмеженим. В таких випадках для синтезу СППР застосовують форми ФН, що забезпечують можливість налаштування їх параметрів [104,108].

Відомо, що складні об'єкти регулювання характеризуються нелінійністю, перехресними зв'язками, наявністю запізнювань, параметричними збуреннями і т.д. [96,97]. Все це ускладнює математичний опис таких систем і, як наслідок, розроблені системи автоматичного регулювання та системи штучного інтелекту потребують повторного налаштування. Відповідні об'єкти управління

характеризується неповною та нечіткою інформацією, тому для таких систем управління доцільно використовувати нечіткий підхід [84,93].

Аналіз відомих методів і операцій з реалізації нечітких моделей СППР показує, що ключовими параметрами, які впливають на ефективність їх роботи та процесів прийняття рішень, є процедури фазифікації, дефазифікації та інші операції СНЛВ [65].

1.7.1. Методи агрегації правил

Точність нечіткої моделі залежить як від способу завдання нечітких множин (кількості, форми та параметрів функцій належності), так і від типу логічних операцій, до яких належать: t-норми та s-норми. Згадані логічні операції мають декілька форм представлення, у наслідок чого, виникає необхідність вибору оптимальної форми [12,19].

В нечітких логічних висловленнях найчастіше в якості операторів перетину $A \cap B$ (логічний оператор AND, \wedge) застосовуються різнотипні t-норми, які визначають форму реалізації відповідної операції. Оператор t-норми представляє собою функцію T , яка моделює операцію AND перетину двох нечітких множин A і B , що задовольняє наступним властивостям:

- простір відображення: $T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$;
- один з елементів $\mu(x) = 1$: $T(\mu_A(x), 1) = \mu_A(x)$, $T(\mu_B(x), 1) = \mu_B(x)$;
- комутативність: $T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = T(\mu_B(x), \mu_A(x))$;
- асоціативність: $T(\mu_A(x), T(\mu_B(x), \mu_C(x))) = T(T(\mu_A(x), \mu_B(x)), \mu_C(x))$.

Властивість асоціативності дає можливість виконувати операцію перетину більше ніж двох нечітких множин, але за умови збереження послідовності, при цьому порядок формування пар множин не впливає на кінцевий результат. В таблиці 1.3 представлено деякі непараметризовані оператори t-норми.

Для визначення операції перетину також використовують оператори, які не є t-нормами (тобто, які не володіють властивостями t-норм) [1].

Прикладом такого оператора є параметризований оператор перетину на основі *середнього арифметичного* (MEAN) [1]:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \gamma \cdot \text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(x)) + 0,5(1-\gamma)(\mu_A(x) + \mu_B(x)), \forall x \in X, \quad (1.13)$$

де $\gamma \in [0, 1]$.

При $\gamma = 1$ даний оператор зводиться до оператора MIN.

При $\gamma = 0$ отримуємо оператор середнього арифметичного:

$$\mu_{A \cap B}(x) = 0,5(\mu_A(x) + \mu_B(x)), \forall x \in X. \quad (1.14)$$

Оскільки нерівність:

$$0,5(\mu_A(x) + \mu_B(x)) \geq \text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(x)), \forall x \in X, \quad (1.14)$$

завжди правильна, оператор середнього арифметичного також називають *supreg-MIN-оператором*. За ступенем оптимізму він перевершує найбільш оптимістичну t-норму – оператор MIN.

Таблиця 1.3. Непараметричні оператори t-норми

Назва оператора	Математична формалізація
Мінімум (MIN)	$\mu_{A \cap B}(x) = \text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(x));$ $\mu_{A_1 \cap \dots \cap A_n}(x) = \text{MIN}(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots, \mu_{A_n}(x))$
Добуток (PROD)	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x);$ $\mu_{A_1 \cap \dots \cap A_n}(x) = \mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{A_2}(x) \cdot \dots \cdot \mu_{A_n}(x)$
Добуток Гамахера	$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$
Добуток Ейнштейна	$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{2 - (\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x))}$
Обмежена різниця	$\mu_{A \cap B}(x) = \text{MAX}(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$

Для випадку n нечітких множин A_1, \dots, A_n використовується формула:

$$\mu_{A_1 \cap \dots \cap A_n}(x) = \frac{\mu_{A_1}(x) + \dots + \mu_{A_n}(x)}{n}, \forall x \in X. \quad (1.15)$$

Крім, оператора середнього арифметичного використовують оператор *середнього геометричного*.

Для випадку n нечітких множин A_1, \dots, A_n результуюча ступінь належності знаходиться за формулою [1]:

$$\mu_{A_1 \cap \dots \cap A_n}(x) = (\mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{A_2}(x) \cdot \dots \cdot \mu_{A_n}(x))^{1/n}, \forall x \in X. \quad (1.16)$$

Оператор *s*-норми являє собою функцію *S*, яка реалізує операцію АБО об'єднання двох нечітких множин *A* і *B*, і яка задовольняє властивості всіх $x \in X$:

- властивість простору відображення: $S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$;
- властивість обнулення: $S(0,0) = 0$;
- випадок, коли пара має один елемент, для якого $\mu_A(x) = 0$:

$$S(\mu_A(x), 0) \approx S(0, \mu_A(x)) = \mu_A(x);$$

- властивість комутативності:

$$S(\mu_A(x), \mu_B(x)) = S(\mu_B(x), \mu_A(x));$$

- властивість асоціативності:

$$S(\mu_A(x), S(\mu_B(x), \mu_C(x))) = S(S(\mu_A(x), \mu_B(x)), \mu_C(x));$$

- умова монотонності:

$$\mu_A(x) \leq \mu_C(x), \mu_B(x) \leq \mu_D(x) \Rightarrow S(\mu_A(x), \mu_B(x)) \leq S(\mu_C(x), \mu_D(x)).$$

Таблиця 1.4. Непараметризовані оператори *s*-норми

Назва оператора	Математична формалізація
Максимум (MAX)	$\mu_{A \cup B}(x) = \text{MAX}(\mu_A(x), \mu_B(x))$
Алгебраїчна сума	$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$
Сума Гамахера	$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2 \cdot \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{1 - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$
Сума Ейнштейна	$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x)}{1 - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$

1.7.2 Методи дефазифікації

Для виконання чисельних розрахунків на етапі дефазифікації можуть бути використані різні методи, що дозволяють коригувати результуюче значення та більш гнучко налаштовувати систему [1,12,23].

У теорії нечітких множин процедура дефазифікації аналогічна знаходженню характеристик становища (математичного очікування,

медіани) випадкових величин в теорії ймовірності. Найпростішим способом виконання процедури дефазифікації є вибір чіткого числа, відповідного максимуму функції належності.

Існують наступні методи дефазифікації [12]:

- MM (Middle of Maxima) – метод середнього максимуму;
- FM (First of Maxima) – метод першого максимуму;
- LM (Last of Maxima) – метод останнього максимуму;
- CG (Center of Gravity) – метод центра вагів;
- CS (Center of Sums) – метод центра суми;
- H (Height) – метод висот.

Метод середнього максимуму (Middle of Maxima, MoM).

Метод середнього максимуму полягає в знаходженні чіткого значення y^* нечіткої результуючої множини $d_{res}(y)$ на основі вибору максимального значення ступеня належності $\max(\mu^{d_{res}(y)})$ серед можливих варіантів рішень.

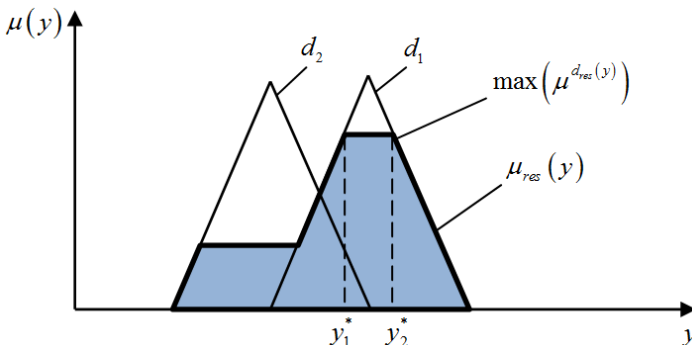


Рис. 1.7. Ілюстрація методу середнього максимуму з нескінченною кількістю елементів y , які мають максимальну ступінь належності

Слід зазначити, що множина відповідних значень може містити більше одного елемента (рис. 1.7). Рішенням в даній ситуації буде представлення нечіткої результуючої множини середнім значенням: $y^* = 0,5(y_1^* + y_2^*)$. Саме тому даний метод називають методом середнього максимуму.

Перевагою даного методу є простота розрахунків, що допускає використання в система управління більш дешевих мікропроцесорів.

Недоліками є те що на результат дефазифікації впливає тільки нечітка множина, що має найбільшу ступінь активації, інші активні множини ігноруються (рис. 1.8). З цього випливає, що на результуючу множину y^* впливає тільки те правило, котре містить цю множину в консеквенті правила (часто це може бути одне правило).

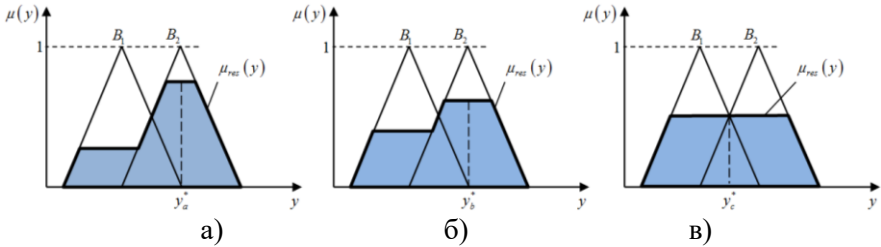


Рис. 1.8. Недоліки методу середнього максимуму

Наприклад, в результаті зміни вхідних значень моделі x_i ступінь активації множини B_1 на рис. 1.8,б збільшилась в порівнянні з рисунком 1.8,а. В той час як ступінь активації множини B_2 зменшилась. Але результат дефазифікації при цьому не змінився, $y_a^* = y_b^*$. Даний факт означає те, що виходи моделі нечутливі до зміни її вхідних значень.

Метод першого максимуму (First of Maxima, FoM).

В методі першого максимуму в якості чіткого значення y^* , що представляє результуючу множину-висновок, обирається найменше значення y_1 , максимізуюче його функцію належності $\mu_{res}(y)$. Зі збільшенням ступені належності (рис. 1.9) найбільш активізованої множини значення y^* зміщується в напрямку модального значення y_{m2} даної множини. Якщо ступінь активації зменшується, то точка y^* переміщується в протилежну від модального значення сторону, в напрямку y_{m1} [24].

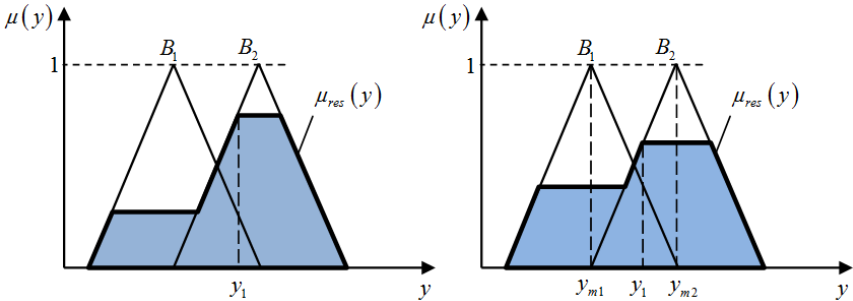


Рис. 1.9. Дефазифікація методом першого максимуму

Перевагою є низька вартість розрахунків та більша чутливість до зміни ступені активації консеквентів баз правил.

Недоліками є неоднорідність та врахування в процесі дефазифікації тільки множини з найбільшою активацією.

Метод останнього максимуму (Last of Maxima, LoM).

В методі останнього максимуму в якості чіткого значення y^* , що представляє результуючу множину, обирається найбільше значення y_2 , що відповідає максимуму функції належності $\mu_{res}(y)$ (рис. 1.10).

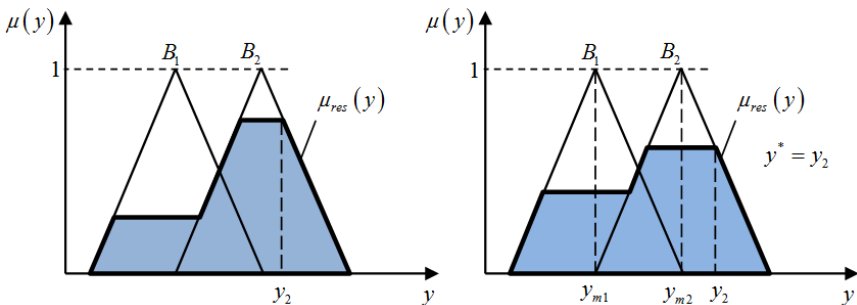


Рис. 1.10. Дефазифікація методом останнього максимуму

Метод останнього максимуму має ті ж переваги та недоліки що й метод першого максимуму.

Метод центра ваги (Centre of Gravity, CoG).

Метод центра ваги полягає в тому, що в якості чіткого значення y^* для представлення результуючої нечіткої множини B^* , яка задається функцією належності $\mu_{res}(y) = \mu_{B^*}(y)$, повинна обиратися

координата y_c центра ваги фігури, яка обмежена графіком відповідної функції (рис. 1.11).

Значення координати центра ваги C може бути знайдено за формулою (1.17), як відношення моменту фігури під кривою $\mu_{res}(y)$ відносно вертикальної осі $\mu(y)$ до площі відповідної фігури:

$$y^* = y_c = \frac{\int y \mu_{res}(y) dy}{\int \mu_{res}(y) dy}. \quad (1.17)$$

Межі інтегрування задаються областю визначення Y результуючої нечіткої множини B^* .

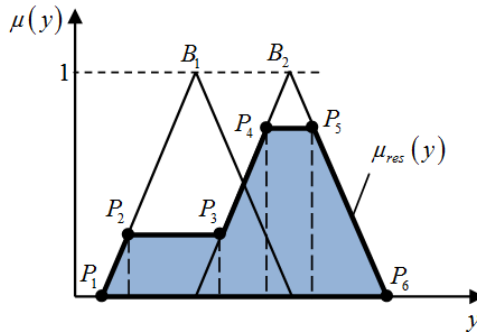


Рис. 1.11. Дефазифікація методом центра ваги

Фізичним аналогом формули є пошук центра ваги плоскої фігури, обмеженої осями координат та графіком функції належності нечіткої множини відповідної вихідної змінної [25].

Переваги: в дефазифікації беруть участь всі активовані функції належності (тобто всі активні правила), що забезпечує високу чутливість системи до зміни вхідних сигналів.

Недоліками є висока вартість розрахунків, пов'язана з інтегруванням поверхні нерегулярної форми, особливо при використанні функції належності, що складаються з непрямолінійних відрізків (напр., гаусові функції). Для інтегрування необхідно визначити точки перетину окремих складових функції належності $\mu_{B_j}(y)$, розбити поверхню на сектори и виконувати інтегрування в межах кожного сектору.

Розрахунки можна спростити, якщо використовувати прямокутні функції належності (рис. 1.12) з математичною формалізацією $y^* = y_c = \frac{\sum_{i=1}^3 \mu_i l_i y_i}{\sum_{i=1}^3 \mu_i l_i}$, але мінусом такого методу є те необхідно обмежуватись однією функцією належності, в той час як інші функції можуть бути більш підходящими.

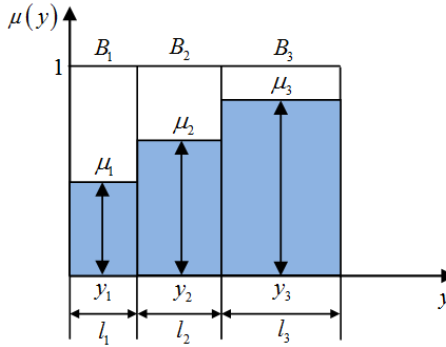


Рис. 1.12. Метод центра ваги з використанням прямокутних функцій належності

Метод центра сум (Center of Sums, CoS).

В базі правил нечіткої моделі часто зустрічаються правила, в висновках яких містяться однакові нечіткі множини B_j . Отже одна і та ж нечітка множина B_j на виході моделі може активуватись одночасно кількома правилами.

Приклад такої бази має вигляд:

Rule 1: IF $(x_1 \in A_{11})$ AND $(x_2 \in A_{21})$ THEN $(y \in B_1)$;

Rule 2: IF $(x_1 \in A_{11})$ AND $(x_2 \in A_{22})$ THEN $(y \in B_2)$;

Rule 3: IF $(x_1 \in A_{12})$ AND $(x_2 \in A_{21})$ THEN $(y \in B_2)$;

Rule 1: IF $(x_1 \in A_{12})$ AND $(x_2 \in A_{22})$ THEN $(y \in B_3)$.

В висновках другого и третього правила міститься одна й та ж нечітка множина B_2 . Припустимо, що вхідні значення x_1^* та x_2^* співпадають, а ступінь активації вихідних нечітких множин B_j зображено на рисунку 1.13.

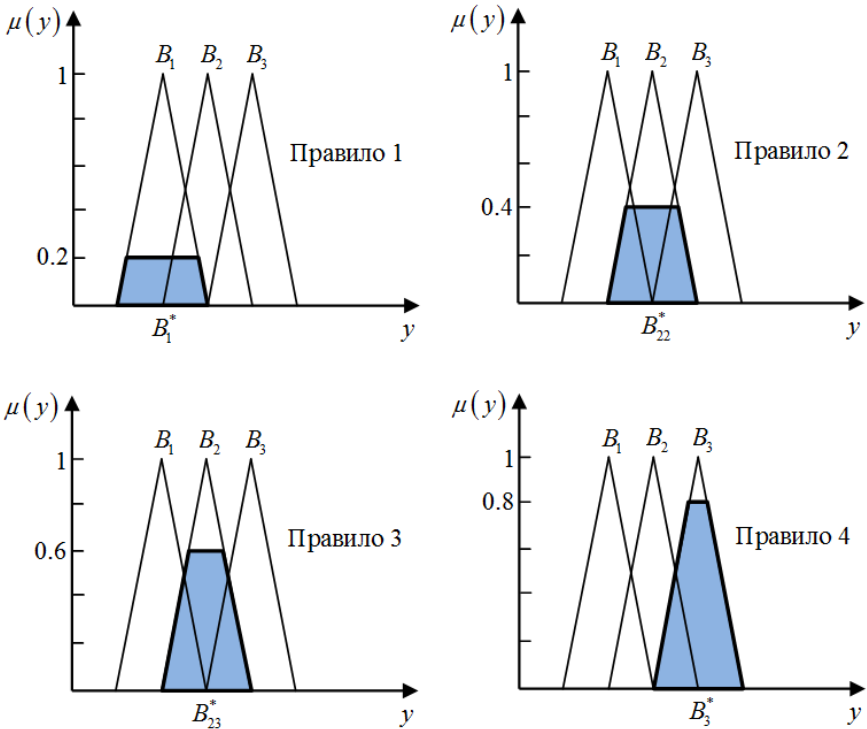


Рис. 1.13. Приклад активації множин B_j кожним правилом R_j

Нечітка множина B_2 активується двома правилами *Rule 2* і *Rule 3*. Якщо для розрахунків функції належності $\mu_{res}(y) = \mu_{B^*}(y)$ використовувати оператор MAX, то в результаті буде отримана множина (рис. 1.14):

$$B^* = B_1^* \cup B_{22}^* \cup B_{23}^* \cup B_3^*. \quad (1.18)$$

З рисунку 1.14 видно, що найбільший вплив на розташування центра ваги C , і відповідно на результат дефазифікації створює множина B_3 (правило *Rule 4*), ступінь активації якого найбільша (0,8). Разом з цим множина B_2 активується двома правилами (*Rule 2* та *Rule 3*) і загальна ступінь її активації ($0,4 + 0,6 = 1$), вище ніж для B_3 .

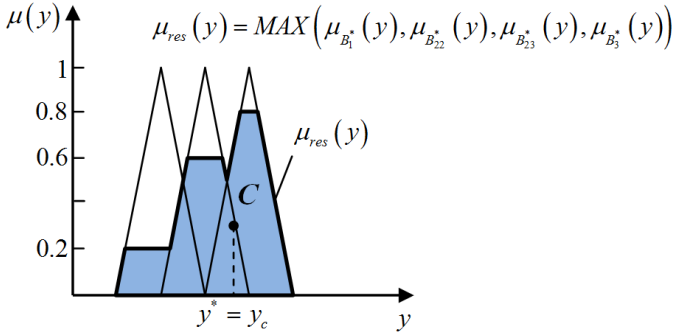


Рис. 1.14. Результуюча нечітка множина B^*

Метод центра сум дозволяє враховувати вплив кожного правила на активацію результуючої нечіткої множини. Акумуляція нечітких множин B_j^* за методом CS проходить за наступною формулою:

$$\mu_{res}(y) = \text{SUM}(\mu_{B_1^*}(y), \dots, \mu_{B_m^*}(y)) = \sum_{j=1}^m \mu_{B_j^*}(y). \quad (1.19)$$

В результаті використання оператора SUM отримується функція належності зображена на рисунку 1.15. Використання оператора SUM значно збільшує значимість активованої двома правилами множини B_2 . В свою чергу це зміщує центр ваги C_2 ближче до модального значення цієї множини.

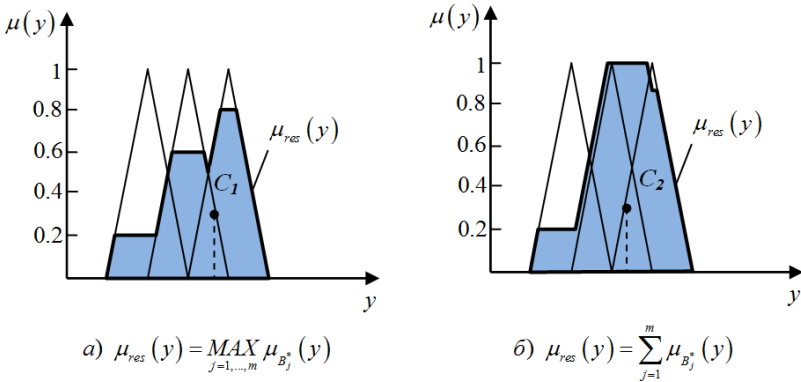


Рис. 1.15. Порівняння результатів акумуляції множин B_j^* з використанням операторів MAX та SUM

Для розрахунку результату дефазифікації за методом центра сум можна використовувати одну з формул:

$$y^* = y_c = \frac{\int y \mu_{res}(y) dy}{\int \mu_{res}(y) dy}; \quad (1.20)$$

$$y^* = y_c = \frac{\int y \sum_{j=1}^m \mu_{B_j^*}(y) dy}{\int \sum_{j=1}^m \mu_{B_j^*}(y) dy}; \quad (1.21)$$

$$y^* = y_c = \frac{\sum_{j=1}^m \int y \mu_{B_j^*}(y) dy}{\sum_{j=1}^m \int \mu_{B_j^*}(y) dy}. \quad (1.22)$$

У випадку дискретних функції належності результат дефазифікації розраховується за формулою:

$$y^* = y_c = \frac{\sum_{i=1}^l y_i \sum_{j=1}^m \mu_{B_j^*}(y_i)}{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \mu_{B_j^*}(y_i)}, \quad (1.23)$$

де l – число елементів дискретної області визначення Y ;

m – число правил нечіткої моделі.

Переваги метода центра сум: зменшення затрат в порявнні з методом центра ваги та участь всіх правил що активуються результуючу нечітку множину.

Інші переваги та недоліки такі ж як у методі центра ваги.

Метод висот (Height).

Метод висот є спрощеним дискретним варіантом метода центра сум. Кожна нечітка множина $B_j(y)$ на виході моделі у даному методі замінюється одноелементною множиною, що співпадає з модальним значенням $y_i = m_i$ цієї множини (рис. 1.16). Тому цей метод також називають *методом одноелементних множин*.

В результаті виводу одноелементні множини в кожному правилі активуються аналогічно іншим типам множин. Для розрахунку значення y^* на виході моделі використовується метод центра сум.

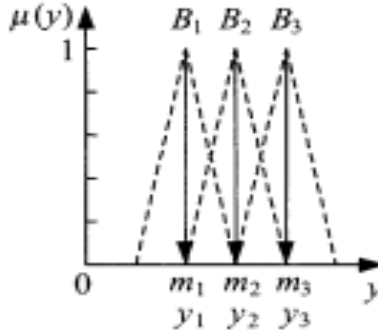


Рис. 1.16. Заміна нечітких множин B_j одноелементними множинами

Результат дефазифікації з використанням методу висот може бути розрахований за формулою:

$$y^* = y_c = \frac{\sum_{j=1}^m y_j \mu_{B_j}(y)}{\sum_{j=1}^m \mu_{B_j}(y)}. \quad (1.24)$$

На рисунку 1.17 наведено приклад використання дефазифікації за методом висот.

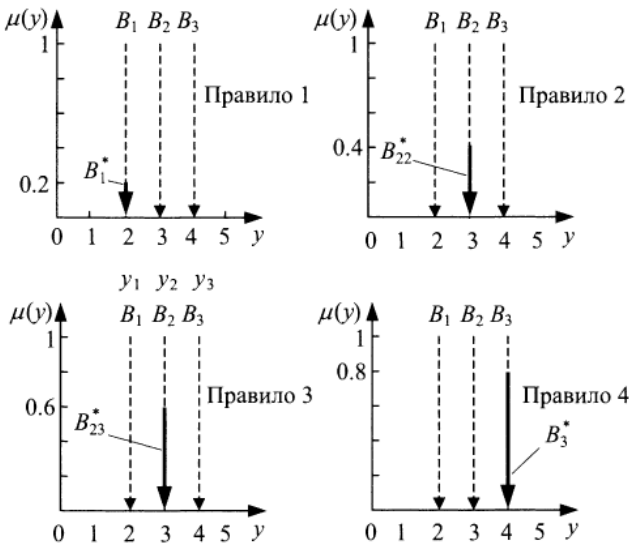


Рис. 1.17. Приклад дефазифікації методом висот

До переваг даного методу можна віднести:

- значне зменшення вартості в порівнянні з методами CG і CS;
- діапазон зміни результуючих множин B_j не впливає на результат дефазифікації;
- вид функції належності також не впливає на результат дефазифікації;
- неперервність;
- чутливість до зміни значень вхідних параметрів.

В нечіткому моделюванні і управлінні метод висот використовується доволі часто, що обумовлено, в першу чергу простотою розрахунків, а також іншими його перевагами.

1.8 Особливості синтезу та структурна організація баз правил нечітких моделей прийняття рішень

Нечітка модель реальної системи складається з логічних правил, що описують її функціональний стан [137,138,156]. При цьому, наприклад, для системи з трьома вхідними координатами (x_1, x_2, x_3) та однією вихідною y логічне правило має наступну структуру (1.25):

$$IF (x_1 \in A_i) AND (x_2 \in B_j) AND (x_3 \in C_k) THEN (y \in D_n), \quad (1.25)$$

де x_1, x_2, x_3 – вхідні координати системи;

y – вихідна координата системи;

A_i, B_j, C_k, D_n – нечіткі множини (лінгвістичні терми (ЛТ)), що використовуються експертом для лінгвістичної оцінки значень вхідних та вихідних сигналів системи [65,92,121].

Для обробки інформації у відповідних нечітких моделях необхідно використовувати ряд операцій логічного характеру. Якщо нечіткі множини A_i, B_j, C_k, D_n застосовують для обчислення ступенів істинності вхідних та вихідних параметрів (координат) системи, то логічні операції (наприклад AND, OR) задають якісні відношення між відповідними координатами системи за рахунок об'єднання фрагментів правила в єдину структуру [65].

Важливим елементом нечіткої моделі виступає БП, оскільки в ній міститься інформація про структуру моделі. До основних властивостей БП відносять [1,2,122]:

– залежність числа правил від кількості нечітких множин (ЛТ) моделі;

- повнота БП;
- несуперечливість БП;
- надмірність БП.

З підвищенням рівня складності моделі (збільшення числа правил або нечітких множин) покращується її точність та здатність опису реальної системи. При цьому значно зростає об'єм інформації про систему, тому актуальною виступає задача з визначення оптимального рівня складності нечіткої моделі. Якщо, наприклад, визначити число вхідних координат x_i моделі через n , та припустити, що кожна з них задається однаковою кількістю k нечітких множин (ЛТ) [65, 110], то число правил r визначається за наступною формулою (1.26):

$$r = k^n. \quad (1.26)$$

Кількість правил (1.26) експоненціально залежить від числа n вхідних сигналів моделі та кількості k нечітких множин (ЛТ). Наприклад, при збільшенні числа вхідних координат з двох до трьох кількість правил зростає з 9 до 27 для $k = 3$. У випадках, коли для визначення параметрів ФН необхідна інформація про велику кількість точок в просторі вхідних та вихідних значень координат моделі, експертам доводиться застосовувати методи налаштування моделі на основі нормативних значень вхідних та вихідних даних, з використанням, наприклад, нейрон-нечітких мереж та ін. [111,123].

Відомі такі підходи до побудови правил типу «**IF-THEN**»: на основі знань експерта (expert rules); за експериментальними даними (induced rules); змішаний підхід (induced rules expert knowledge). В процесі визначення підходів, щодо побудови БП, використовують критерії несуперечливості і повноти [65].

Критерій несуперечливості: в БП не повинно існувати двох правил, які мають однакові антецеденти і при цьому різні відповідні консеквенти [1].

Критерій повноти: БП вважається повною за кількістю правил, якщо для будь-яких значень вхідних змінних в БП існує хоча б одне правило, яке активізується в процесі нечіткого логічного виведення [65].

Для вирішення конфліктів суперечливості пропонується залишати тільки одне правило з усіх суперечливих. Для вирішення проблеми надмірності БП застосовуються алгоритми вибору підмножини найбільш значущих координат [65,125] (feature selection), а також злиття і виключення правил [65,126] (merging & removal reduction).

Нечітка БП повинна забезпечувати можливість досягнення необхідної точності моделі. При цьому зменшення кількості правил дозволить знизити вартість отримання необхідної інформації та відповідних розрахунків. В дослідженнях [65,124,127] існують ствердження, що процедура налаштування моделі суттєво ускладнюється при збільшенні кількості вхідних координат.

Розглянемо на прикладі нечіткої моделі $y = f(x_1, x_2)$ з двома вхідними координатами $\{x_1, x_2\}$ та однією вихідною координатою y процес формування БП. По-перше, необхідно визначитися з формою ФН та їх кількістю для оцінки вхідних та вихідних сигналів нечіткої моделі. Припустимо, що для оцінки вхідних лінгвістичних змінних $\{x_1, x_2\}$ обрано три ЛТ (L – «low», M – «medium», H – «high») з трикутною формою ФН, а для вихідної y – п'ять ЛТ (L – «low», LM – «lower then medium», M – «medium», MH – «higher then medium», H – «high») з трикутною формою ФН (рис. 1.18).

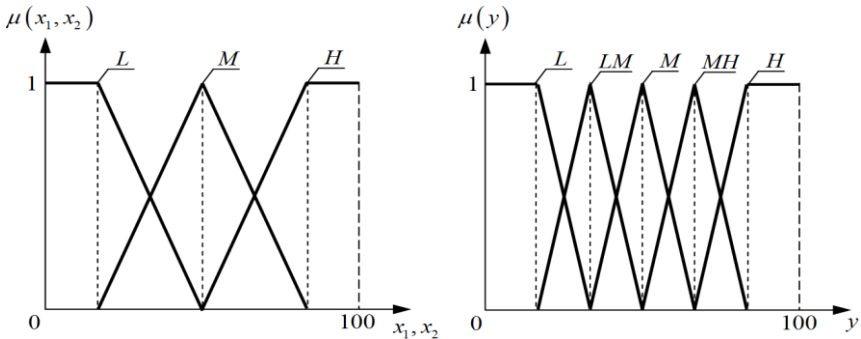


Рис. 1.18. Лінгвістичні терми вхідних $\{x_1, x_2\}$ та вихідної y змінних нечіткої моделі

Результат формування БП нечіткої моделі $y = f(x_1, x_2)$ з відповідною структурою правил представлено в таблиці 1.5, де також наведено структуру, як приклад, четвертого правила *Rule_4*.

Таблиця 1.5. Структура БП нечіткої моделі $y = f(x_1, x_2)$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_1	L	L	L	M	M	M	H	H	H
x_2	L	M	H	L	M	H	L	M	H
y	L	LM	M	LM	M	MH	M	MH	H
<i>Rule_4: IF ($x_1 \in M$) AND ($x_2 \in L$) THEN ($y \in LM$)</i>									

В процесі структурної організації БП нечітких моделей прийняття рішень необхідно чітко визначити кількість та форму ФН, структуру правил, тип логічних операцій для взаємозв'язку вхідних лінгвістичних змінних з вихідною.

При цьому, як вже відмічалось раніше, необхідно дотримуватися критеріїв несуперечливості та повноти БП нечіткої моделі прийняття рішень [65].

1.9 Фактори та показники діяльності партнерів АПК, як вхідні сигнали нечіткої СППР

Аналіз літературних джерел [22,45,85,86,112,113] дозволяє виділити 27 основних факторів, що впливають на оцінку можливого рівня кооперації в рамках АПК. Розглянемо більш детально деякі з них.

Рівень ІТ-досвіду студентів. На даний час гостро стоїть проблема «застарілості» навчальних програм в університетах, зокрема, на спеціальностях, що пов'язані з комп'ютерними науками. Університету рідко вдається підготувати у своїх стінах молодих високваліфікованих спеціалістів. Тому після закінчення університету або під час навчання студенти повинні приділяти багато часу і зусиль самоосвіті і здобуттю практичного досвіду. Рівень ІТ-досвіду студентів є важливим параметром для визначення професійної орієнтації студентів, оскільки роботодавці багатьох ІТ-компаній вимагають наявності досвіду при працевлаштуванні [112]. Рівень ІТ-досвіду студентів класифікується наступним чином:

1) Trainee (стажер, що проходить практику з можливим подальшим працевлаштуванням) - мінімальні вимоги, щодо знання технологій.

2) Junior - здатний вирішити прості завдання. Досвід і знання недостатні для самостійної роботи, необхідний постійний контроль з боку фахівців.

3) Middle - здатний самостійно вирішувати завдання простої і середньої складності. Необхідне залучення фахівців тільки для вирішення архітектурних завдань і завдань підвищеної складності. Володіє знаннями інструментів розробки.

4) Senior - справляється з завданнями будь-якої складності, а також здатний керувати виконанням складних завдань інших розробників. Володіння інструментами розробки на рівні експерта.

Рівень участі студентів в міжнародних програмах обміну (Exchange programs). Існує велика кількість програм обміну для студентів різних напрямків підготовки в сфері ІТ-інженерії. Чіткої класифікації чи стандартизації програм обміну на території України не існує. Умовно їх можна поділити на три основні групи: Всеукраїнські програми обміну; програми обміну на території СНД; Європейські програми обміну (до них також входять програми обміну з Америкою та Канадою) [113].

Рівень співпраці студентів з ІТ-компаніями. Достатньо важливий критерій для визначення професійної орієнтації студентів, оскільки в процесі освіти складно поєднувати роботу та навчання. Тому студенти, щоб отримати певний рівень співпраці з ІТ-компаніями, проходять ряд практик [85]:

1) Технологічна практика – студент проходить практику у стінах навчального закладу. Завдання на практику видають викладачі. По закінченню практики студент зобов'язаний надати звіт про її проходження.

2) Навчальна практика – студент проходить практику у стінах навчального закладу або у ІТ-компанії за її згодою. Це перший шанс отримати досвід співпраці із виробничими та промисловими ІТ-структурами окрім університету. Завдання на практику видають викладачі або керівник навчальної практики у компанії. По закінченню практики студент зобов'язаний надати звіт про її проходження.

3) Виробнича практика – студент проходить практику в ІТ-компанії за її згодою. Завдання на практику видає керівник виробничої практики у компанії. По закінченню практики студент зобов'язаний надати щоденник та звіт про проходження практики у ІТ-компанії.

Саме під час практики більшість студентів здобувають цінні знання та навички, що допоможуть знайти гідну роботу у майбутньому.

Успішність у навчанні. Успішність студентів можна розглядати як підсумковий показник, що характеризує багатогранну діяльність вищого навчального закладу з підготовки фахівців, які відповідають вимогам державних освітніх стандартів та конкурентоспроможні на ринку праці [134].

Рівень можливості передачі знань персоналом ІТ-компанії з врахуванням зайнятості. У кожного працівника ІТ-компанії основною задачею, незалежно від посади, є успішна реалізація відповідного ІТ-проекту згідно з поточним планом роботи ІТ-компанії. Виходячи з цього, для успішного обміну знаннями між працівниками ІТ-компанії та студентами необхідно враховувати наявність вільного часу у працівників ІТ-компанії (завантаженість основними проектами) [86].

Рівень досвіду персоналу ІТ-компанії. В ІТ-компаніях прийнято виділяти чотири досвідних рівня працівників: молодший (Junior), середній (Middle), старший (Senior) і експерт (Principal) [22].

Освітньо-кваліфікаційний рівень ІТ-компанії. Виражається як характеристика рівня вищої освіти працівників за ознаками ступеня сформованості знань, умінь та навичок, що забезпечують здатність виконувати завдання та обов'язки необхідного рівня професійної діяльності. В Україні розрізняють такі освітньо-кваліфікаційні рівні (згідно з відповідними освітньо-професійними програмами): кваліфікований робітник, молодший бакалавр, бакалавр, магістр [45].

ІТ-сертифікація викладачів. Основні компанії на ринку ІТ (Microsoft, Oracle, Cisco, ІС та ін.) навчають і проводять сертифікацію викладачів з метою популяризації своїх продуктів серед майбутніх ІТ спеціалістів. Сертифіковані викладачі дозволяють більш глибоко вивчати конкретні технології і можливості їх застосування у бізнесі [51].

Викладання бізнес-курсів в університеті. Включення в університетські навчальні плани таких дисциплін як «Економіка і бізнес» або, наприклад, курсів ораторського мистецтва дозволяє випускати більш пристосованих до ведення бізнесу студентів. Деякі з цих дисциплін мають викладатися досить поглиблено, адже ці знання необхідні майбутньому підприємцю [85,86]. Особливу увагу доцільно приділяти оцінці рівня підготовки бізнес-планів для реалізації відповідних ІТ проектів, в т.ч. стартапів (Start-ups).

Досвід в організації студентських компаній (стартапів). Поглиблене викладання професійно-орієнтованих дисциплін не має сенсу без практичного застосування набутих навичок. Для успішної організації стартапів в університеті необхідним та доцільним є створення умов для формування студентських груп, що реалізують ІТ-проекти [66-68].

Досвід в організації змішаних творчих колективів для реалізації ІТ-проектів. Успішні ІТ-компанії в більшості випадків складаються не тільки з програмістів та менеджерів. Реалізація кожного ІТ-проекту потребує наявності у колективі різних за фахом людей, що можуть виконувати незалежні задачі і мати протилежні погляди на майбутнє продукту. Вміння правильно визначити роль кожного фахівця у проекті, розподілити обов'язки, налагодити зв'язки і синхронізувати роботу усіх учасників стартапу повинно викладатися під час навчання в університеті [86].

Рівень інноваційних проектів. Інноваційний проект являє собою складну систему взаємопов'язаних за ресурсами, термінами і виконавцям заходів, спрямованих на досягнення конкретних цілей і завдань на пріоритетних напрямках розвитку науки і техніки. На практиці рівень інноваційних проектів проводиться на основі наступних груп критеріїв: науково-технічні; виробничі; ринкові; соціально-економічні; екологічні [85].

Кількість патентів. Патент представляє собою документ, що засвідчує авторство на винахід та виключне право на використання його протягом певного строку. Від кількості існуючих патентів залежить і рівень інноваційно-наукової діяльності відділу (кафедри) університету [95].

Кількість грантів на фінансування наукових досліджень. Гранти представляються у вигляді грошових надходжень або інших матеріально-технічних засобів, що передаються громадянами та

юридичними особами (в тому числі іноземними), а також міжнародними організаціями для проведення конкретних наукових досліджень та розробок на умовах, передбачених грантодавцем [99].

Рівень наукових публікацій. На сьогоднішній день для оцінювання результативності наукової діяльності спільно з експертними висновками все частіше використовують наукометричні показники. Ці показники засновані на кількості публікацій автора, що включені до провідних науково метричних баз світового рівня (Web of Science, Scopus та ін.) і на кількості посилань на його опубліковані роботи [100].

Як вищезгадані, так і інші (не вказані вище) показники мають суттєвий вплив на оцінку можливого рівня співпраці університетів та ІТ-компаній, а також на вибір раціональної моделі АПК.

1.10 Порівняльний аналіз однорівневих та ієрархічних систем на нечіткій логіці для задач прийняття рішень

Процес синтезу нечітких СППР базується на формуванні відповідних нечітких лінгвістичних моделей, які включають інформацію про розмірність та компоненти векторів вхідних та вихідних даних, функціональні залежності між входами та виходами СППР, що описуються у вигляді вербальних продукційних правил, кількість відповідних лінгвістичних термів, тип функцій належності та ін. [6,29,47].

Якісна лінгвістична модель може бути побудована для систем невеликої розмірності, головним чином, для систем з невеликою кількістю вхідних координат. Це пов'язано з особливістю сприйняття людиною-оператором інформації, що виключає можливість обробки більше ніж 7 ± 2 станів, образів або об'єктів (чанків інформації) [136].

Збільшення кількості продукційних правил дозволяє підвищити точність нечітких моделей, але при великій розмірності вектора вхідних координат суттєво ускладнюється процедура їх налаштування. Для підвищення точності результатів та ефективності прийняття рішень кожен нечітку модель попередньо навчають з метою мінімізації відхилення результатів логічного виведення від експериментальних даних. Налаштуванню підлягають також ваги правил і параметри ФН нечітких лінгвістичних термів [70].

Для реалізації багатовимірних нечітких залежностей доцільним є використання ієрархічного підходу при синтезі структур СППР на основі нечіткого логічного виведення. У відповідних нечітких системах вихідний сигнал однієї підсистеми надходить на один з входів іншої підсистеми з більш високим рівнем ієрархії. Досвід створення систем такого класу свідчить, що ефективність їх роботи досягається в тих випадках, коли кількість вхідних координат кожної з підсистем СППР не перевищує п'яти. Тому в реальних задачах при великій розмірності вектора вхідних координат виникає необхідність в ієрархічній декомпозиції вхідної інформації за спільними (в рамках підсистеми) властивостями. При цьому врахування та декомпозиція великої кількості вхідних параметрів нечітких лінгвістичних моделей являє собою досить складну процедуру, що вимагає високої кваліфікації як розробників СППР, так і ЛПР. Результатами досліджень нечітких ієрархічно-організованих систем доведено, що в процесі синтезу нечітких СППР з ієрархічною структурою кількість правил значно зменшується в порівнянні з однорівневими СППР і відповідно відбувається суттєве скорочення нечітких баз правил [65,128,129].

Розглянемо більш детально два підходи до створення нечітких ієрархічних систем. Перший підхід полягає у виконанні нечіткого логічного виведення для проміжних змінних на нижчому ієрархічному рівні з наступною передачею чітких значень відповідних змінних в підсистеми наступного рівня ієрархії при застосуванні процедур дефазифікації на попередньому (нижчому) ієрархічному рівні та фазифікації – на наступному ієрархічному рівні. При другому підході процедури дефазифікації і фазифікації для проміжних змінних не виконуються. Результат логічного виведення у вигляді результуючої нечіткої множини безпосередньо передається в блок нечіткого логічного виведення наступного рівня ієрархії [130-133].

Нехай необхідно синтезувати нечітку систему, що моделює залежність

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_N), \quad (1.27)$$

де $x_i, i = 1 \dots N$ – вхідні лінгвістичні змінні;

y – вихідна змінна.

Розглянемо, наприклад, нечітку однорівневу систему (рисунок 1.19), яка моделює залежність (1.26), при цьому кількість вхідних

параметрів $N = 9$. Зв'язки між вхідними змінними (x_1, x_2, \dots, x_9) та вихідною величиною y описані за допомогою нечітких правил однієї бази знань F (Fuzzy DSS – Fuzzy Decision Support System).

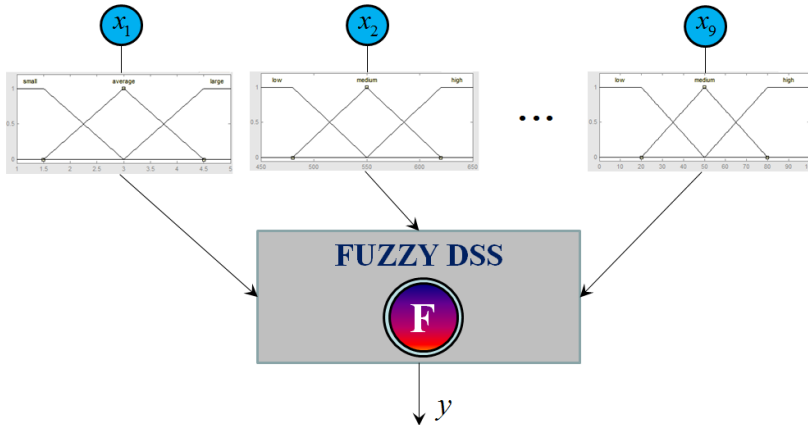


Рис. 1.19. Структура однорівневої нечіткої СППР

Один з можливих варіантів ієрархічно-організованої структури нечіткої СППР сформуємо (рис. 1.20) на основі декомпозиції вектора вхідних координат (x_1, x_2, \dots, x_9) шляхом їх об'єднання в наступну i -ту трикомпонентну групову комбінацію E_i :

$$E_i = \left\{ \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, \{x_5, x_6\}, \{x_7, x_8, x_9\} \right\}$$

При цьому відповідні підсистеми однієї з альтернативних структур нечіткої СППР [64,125] (рис. 1.20), наприклад j -ої, реалізують наступні функціональні залежності

$$St_j = \{y_1, y_2, \dots, y_4, y\} = \left. \begin{cases} y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3, x_4), y_2 = f_2(x_5, x_6), \\ y_3 = f_3(x_7, x_8, x_9), \\ y_4 = f_4(y_1, y_2), y = f_5(y_3, y_4) \end{cases} \right\}.$$

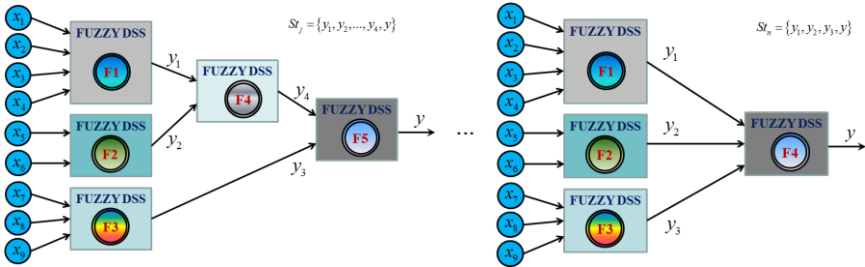


Рис. 1.20. Різноманітні структури багаторівневої (ієрархічної) нечіткої СППР

Результати досліджень [65,136,139] нечітких ієрархічно-організованих систем підтверджують, що число продукційних правил значно зменшується в процесі синтезу нечітких СППР на основі ієрархічної декомпозиції вхідних (x_1, x_2, \dots, x_9) і проміжних (y_1, y_2, y_3, y_4) параметрів.

На даний час існує достатня кількість програмних засобів для синтезу нечітких ієрархічно-організованих СППР, зокрема, MATLAB, FuzzyTECH, CubiCalc та ін. [11,58,140].

1.11 Нечітка система вибору доцільної моделі УС співпраці для кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією

Проблема вибору однієї з моделей УС співпраці з ІТ-компанією постає перед університетом на початку співробітництва та при умовах зміни напрямку розвитку. Аналіз літературних джерел дозволяє виділити фактори, що впливають на вибір моделі УС співпраці в рамках академічно-промислового консорціуму (АПК), зокрема рівень ІТ-досвіду студентів, рівень участі студентів в міжнародних програмах обміну, успішність у навчанні, рівень наукових публікацій тощо.

СППР для вибору доцільної моделі УС співпраці для кафедри університету з ІТ-компанією (модуль 1) включає в себе 17 вхідних координат $X = \{x_j\}, j = 1 \dots 17$, одну вихідну y , які пов'язані між собою нечіткими залежностями $y_k = f(x_1, x_2, \dots, x_{17}), k = \overline{1,7}$ відповідних баз правил (рис. 1.21).

Розділ 1. Нечітка система для оцінювання університетських підрозділів для вибору
раціональної моделі університетсько-індустріальної кооперації

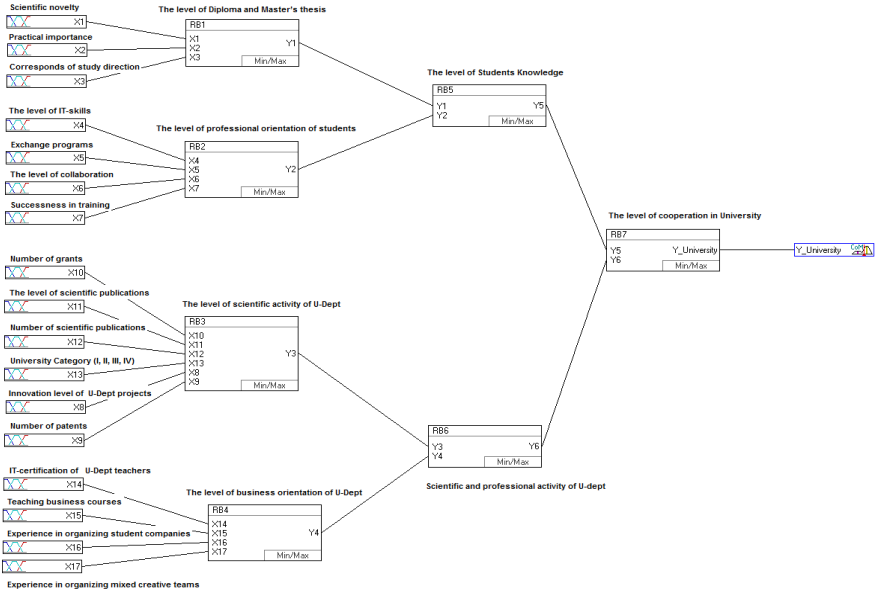


Рис. 1.21. Структура нечіткої системи з вибору доцільної моделі УС співпраці для кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією

Розглянемо методику вибору моделі співпраці для кафедри університету з ІТ-компанією на прикладі однієї з підсистем з використанням апроксимації нечітких систем з дискретним виведенням.

Ідея апроксимації полягає в використанні нечітких логічних рівнянь, які будуються на базі матриці знань (таблиця 1.6) або ізоморфної їй системі логічних висловлювань (1.28) і дозволяють обчислювати значення функцій належності різних рішень $d_j, j = \overline{1, m}$ при фіксованих значеннях вхідних змінних $x_i, i = \overline{1, n}$ нечіткої системи. Завданням відповідної апроксимації є вибір рішення з найбільшим значенням функції належності.

Таблиця 1.6. Матриця знань $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

Номер комбінації	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n	y
11	a_1^{11}	a_2^{11}	...	a_i^{11}	...	a_n^{11}	d_1

12	a_1^{12}	a_2^{12}	...	a_i^{12}	...	a_n^{12}			
...				
$1k_1$	$a_1^{1k_1}$	$a_2^{1k_1}$		$a_i^{1k_1}$		$a_n^{1k_1}$			
...						
$j1$	a_1^{j1}	a_2^{j1}	...	a_i^{j1}	...	a_n^{j1}	d_j		
$j2$	a_1^{j2}	a_2^{j2}		a_i^{j2}		a_n^{j2}			
...						
jk_j	$a_1^{jk_j}$	$a_2^{jk_j}$	$a_i^{jk_j}$	$a_n^{jk_j}$					
...						
$m1$	a_1^{m1}	a_2^{m1}	...	a_i^{m1}	...	a_n^{m1}	d_m		
$m2$	a_1^{m2}	a_2^{m2}		a_i^{m2}		a_n^{m2}			
...						
mk_m	$a_1^{mk_m}$	$a_2^{mk_m}$	$a_i^{mk_m}$	$a_n^{mk_m}$					

Нечіткі логічні висловлення (1.28) отримано з матриці знань (таблиця 1.6).

$$\begin{aligned}
 & \text{IF } (x_1 = a_1^{11} \text{ AND } x_2 = a_2^{11} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{11}) \text{ OR} \\
 & (x_1 = a_1^{12} \text{ AND } x_2 = a_2^{12} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{12}) \text{ OR } \dots \text{ OR} \\
 & (x_1 = a_1^{1k_1} \text{ AND } x_2 = a_2^{1k_1} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{1k_1}) \text{ THEN } y = d_1 \text{ ELSE} \\
 & \text{IF } (x_1 = a_1^{21} \text{ AND } x_2 = a_2^{21} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{21}) \text{ OR} \\
 & (x_1 = a_1^{22} \text{ AND } x_2 = a_2^{22} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{22}) \text{ OR } \dots \text{ OR} \\
 & (x_1 = a_1^{2k_2} \text{ AND } x_2 = a_2^{2k_2} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{2k_2}) \text{ THEN } y = d_2 \text{ ELSE} \\
 & \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\
 & \text{IF } (x_1 = a_1^{m1} \text{ AND } x_2 = a_2^{m1} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{m1}) \text{ OR} \\
 & (x_1 = a_1^{m2} \text{ AND } x_2 = a_2^{m2} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{m2}) \text{ OR } \dots \text{ OR} \\
 & (x_1 = a_1^{mk_m} \text{ AND } x_2 = a_2^{mk_m} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = a_n^{mk_m}) \text{ THEN } y = d_m
 \end{aligned} \tag{1.28}$$

де a_i^{jk} – лінгвістичний терм (оцінка) i -ї змінної (x_i) для оцінки j -го рішення (d_j) за k -м правилом. Найкращим є рішення d^* , для якого

$$\mu^{d^*} (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \max_{j=1, m} \left(\mu^{d_j} (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \right).$$

Розглянемо більш детально кожен з підсистем ієрархічної СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці.

Перша підсистема $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$.

Перша підсистема $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ має три вхідні (x_1, x_2, x_3) та одну вихідну y_1 змінні (рис. 1.22) і забезпечує оцінювання рівня виконання дипломних проектів та магістерських робіт студентами університету.

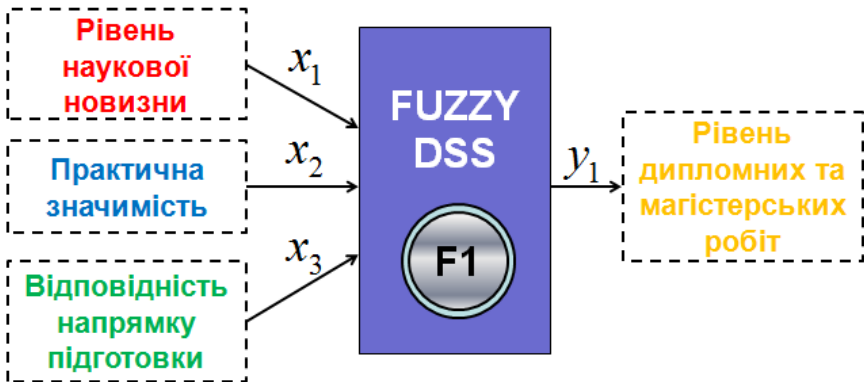


Рис. 1.22. Перша підсистема $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ ієрархічної СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

Вхідні лінгвістичні змінні:

- x_1 – рівень наукової новизни проектів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_2 – практична значимість проектів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_3 – відповідність напрямку підготовки: діапазон зміни - [0 20], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

– y_1 – оцінка рівня дипломної/магістерської роботи: діапазон зміни - $[0, 100]$, число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних x_1, x_2, x_3 та y_1 наведено на рис. 1.23.

Зокрема, структура БП гомогенного типу першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ представлена в таблиці 1.7.

Друга підсистема $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7)$.

Друга підсистема $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7)$ має чотири вхідні (x_4, x_5, x_6, x_7) та одну вихідну y_2 змінні (рис. 1.24) і забезпечує оцінювання рівня професійної орієнтації студентів університету.

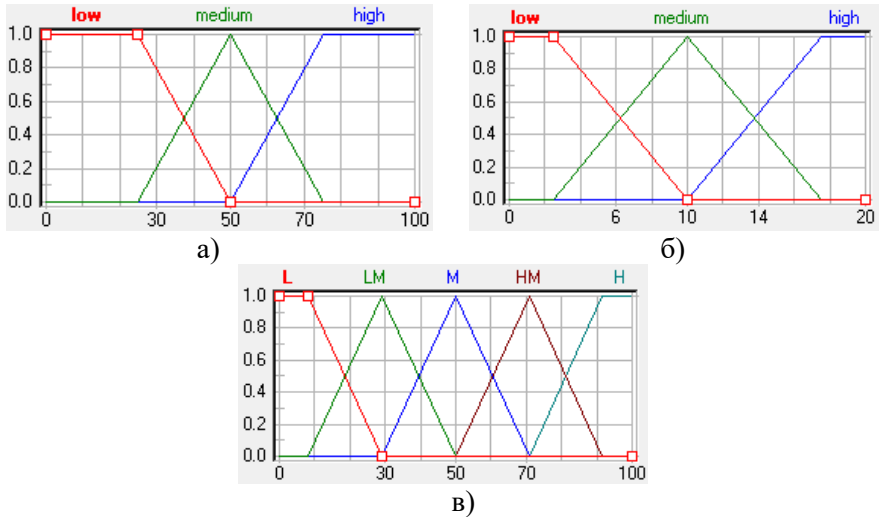


Рис. 1.23. ЛТ для змінних x_1, x_2 (а), x_3 (б) та y_1 (в)

Таблиця 1.7. БП першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

Номер правила	x_1	x_2	x_3	y_1
1	low	low	low	L

Розділ 1. Нечітка система для оцінювання університетських підрозділів для вибору
раціональної моделі університетсько-індустріальної кооперації

2	low	low	medium	L
3	low	low	high	LM
4	low	medium	low	L
5	low	medium	medium	LM
6	low	medium	high	M
7	low	high	low	LM
8	low	high	medium	M
9	low	high	high	HM
10	medium	low	low	L
11	medium	low	medium	L
12	medium	low	high	LM
13	medium	medium	low	LM
14	medium	medium	medium	M
15	medium	medium	high	HM
16	medium	high	low	M
17	medium	high	medium	HM
18	medium	high	high	H
19	high	low	low	L
20	high	low	medium	LM
21	high	low	high	M
22	high	medium	low	M
23	high	medium	medium	HM
24	high	medium	high	HM
25	high	high	low	HM
26	high	high	medium	H
27	high	high	high	H

Вхідні лінгвістичні змінні:

– x_4 – рівень ІТ-досвіду студентів університету: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;

– x_5 – участь студентів у програмах обміну: діапазон зміни - [0 8], число термів - 3 (“малий” - small, “середній” - average, “великий” - large), форма ФН - трикутна;

– x_6 – рівень співпраці студентів з ІТ-компаніями: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;

x_7 – успішність в навчанні: діапазон зміни - [60 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна.

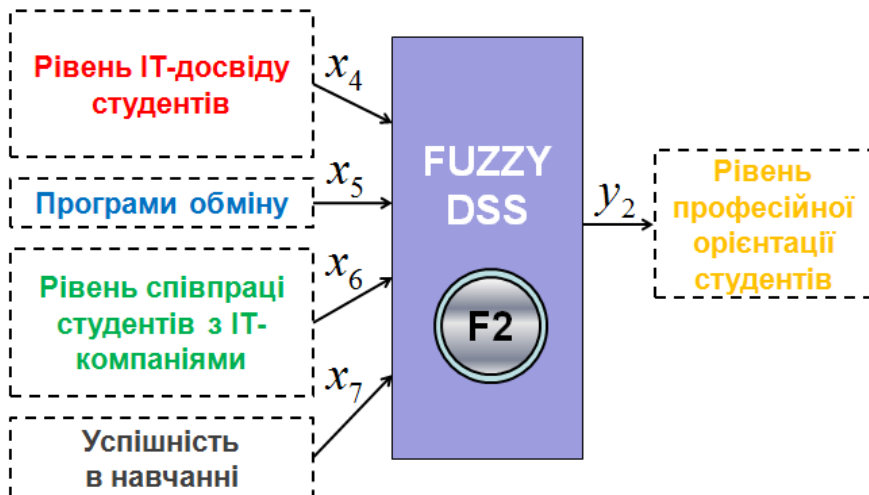


Рис. 1.24. Друга підсистема $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7)$ ієрархічної СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

Вихідна лінгвістична змінна:

– y_2 – рівень професійної орієнтації студентів: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - NM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних x_4, x_5, x_6, x_7, y_2 наведено на рис. 1.25.

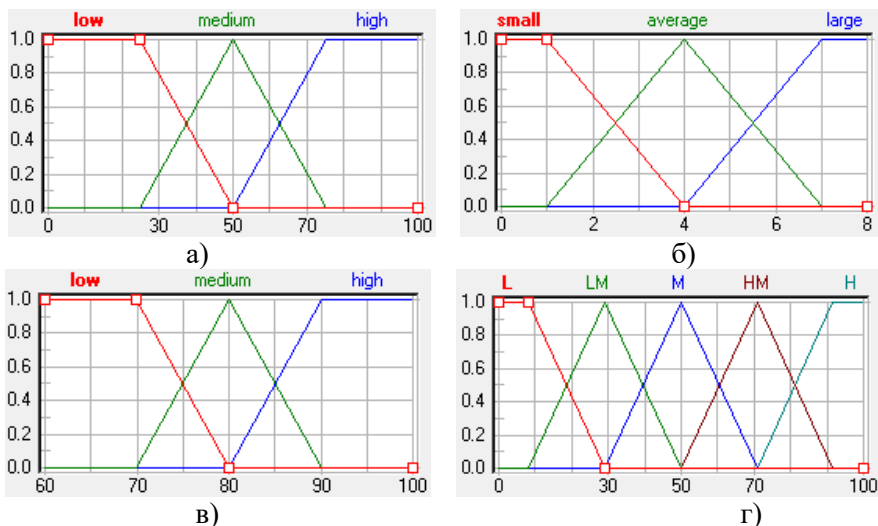


Рис. 1.25. ЛТ для змінних x_4, x_6 (а), x_5 (б), x_7 (в) та y_2 (г)

Зокрема, структура БП гомогенного типу другої підсистеми $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7)$ представлена в таблиці 1.8.

Третя підсистема $y_3 = f_3(x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13})$.

Третя підсистема $y_3 = f_3(x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13})$ має шість вхідних ($x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}$) та одну вихідну y_3 змінні (рис. 1.26) і забезпечує оцінювання рівня наукової діяльності кафедри (відділу) університету.

Вхідні лінгвістичні змінні:

- x_8 – рівень інноваційних проектів: діапазон зміни - $[0 \ 100]$, число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_9 – кількість патентів: діапазон зміни - $[0 \ 100]$, число термів - 3 (“малий” - small, “середній” - average, “великий” - large), форма ФН - трикутна;

Таблиця 1.8. Вибіркові правила з БП другої підсистеми
 $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7)$

Номер правила	x_4	x_5	x_6	x_7	y_2
		
10	low	average	low	low	L
11	low	average	low	medium	LM
12	low	average	low	high	LM
13	low	average	medium	low	LM
14	low	average	medium	medium	M
15	low	average	medium	high	M
16	low	average	high	low	LM
17	low	average	high	medium	M
18	low	average	high	high	M
		
46	medium	large	low	low	LM
47	medium	large	low	medium	M
48	medium	large	low	high	M
49	medium	large	medium	low	M
50	medium	large	medium	medium	HM
51	medium	large	medium	high	HM
52	medium	large	high	low	M
53	medium	large	high	medium	HM
54	medium	large	high	high	H
		
73	high	large	low	low	LM
74	high	large	low	medium	M
75	high	large	low	high	HM
76	high	large	medium	low	M
77	high	large	medium	medium	M
78	high	large	medium	high	HM
79	high	large	high	low	HM
80	high	large	high	medium	H
81	high	large	high	high	H

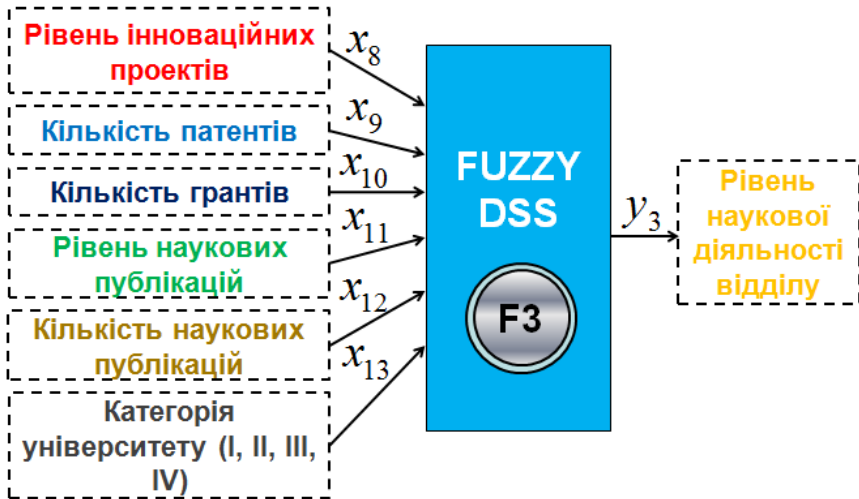


Рис. 1.26. Третя підсистема $y_3 = f_3(x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13})$ ієрархічної СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

- x_{10} – кількість грантів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“малий” - small, “середній” - average, “великий” - large), форма ФН - трикутна;
- x_{11} – рівень наукових публікацій відділу: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_{12} – кількість наукових публікацій відділу: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“малий” - small, “середній” - average, “великий” - large), форма ФН - трикутна;
- x_{13} – категорія університету: діапазон зміни - [1 4], число термів - 3 (“перший” - first, “другий” - second, “третій” - third, “четвертий” - fourth), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

- y_3 – рівень наукової діяльності відділу: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - NM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних x_8, \dots, x_{13}, y_3 наведено на рис. 1.27.

Зокрема, структура БП гомогенного типу третьої підсистеми $y_3 = f_3(x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13})$ представлена в таблиці 1.9.

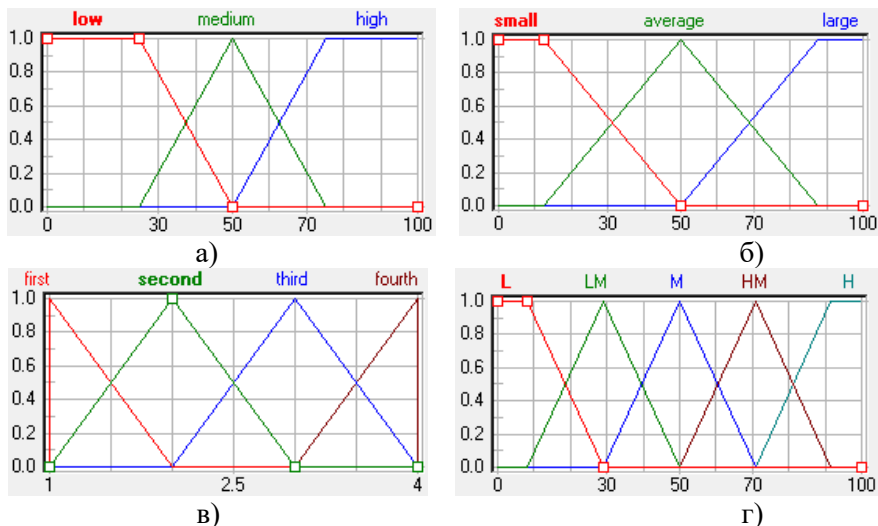


Рис. 1.27. ЛТ для змінних x_8, x_{11} (а), x_9, x_{10}, x_{12} (б), x_{13} (в) та y_3 (г)

Четверта підсистема $y_4 = f_4(x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$.

Четверта підсистема $y_4 = f_4(x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$ має чотири вхідні ($x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}$) та одну вихідну y_4 змінні (рис. 1.28) і забезпечує оцінювання рівня бізнес-орієнтації кафедри (відділу) університету.

Вхідні лінгвістичні змінні:

- x_{14} – рівень ІТ-сертифікації викладачів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_{15} – рівень викладання бізнес-курсів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_{16} – досвід в організації студентських компаній: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;

– x_{17} – досвід в організації змішаних творчих колективів на виконання та реалізацію ІТ-проектів: діапазон зміни - $[0\ 100]$, число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна.

Таблиця 1.9. Вибіркові правила з БП третьої підсистеми
 $y_3 = f_3(x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13})$

Номер правила	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	y_3
...							
17	low	small	small	medium	average	first	L
18	low	small	small	medium	average	second	LM
19	low	small	small	medium	average	third	LM
20	low	small	small	medium	average	fourth	M
21	low	small	small	medium	large	first	L
22	low	small	small	medium	large	second	LM
23	low	small	small	medium	large	third	M
24	low	small	small	medium	large	fourth	M
...							
377	medium	small	average	medium	average	first	M
378	medium	small	average	medium	average	second	M
379	medium	small	average	medium	average	third	HM
380	medium	small	average	medium	average	fourth	HM
381	medium	small	average	medium	large	first	M
382	medium	small	average	medium	large	second	HM
383	medium	small	average	medium	large	third	HM
384	medium	small	average	medium	large	fourth	HM
...							
757	high	average	small	low	small	first	LM
758	high	average	small	low	small	second	LM
759	high	average	small	low	small	third	M
760	high	average	small	low	small	fourth	M
761	high	average	small	low	average	first	LM
762	high	average	small	low	average	second	M
763	high	average	small	low	average	third	M
764	high	average	small	low	average	fourth	HM
...							

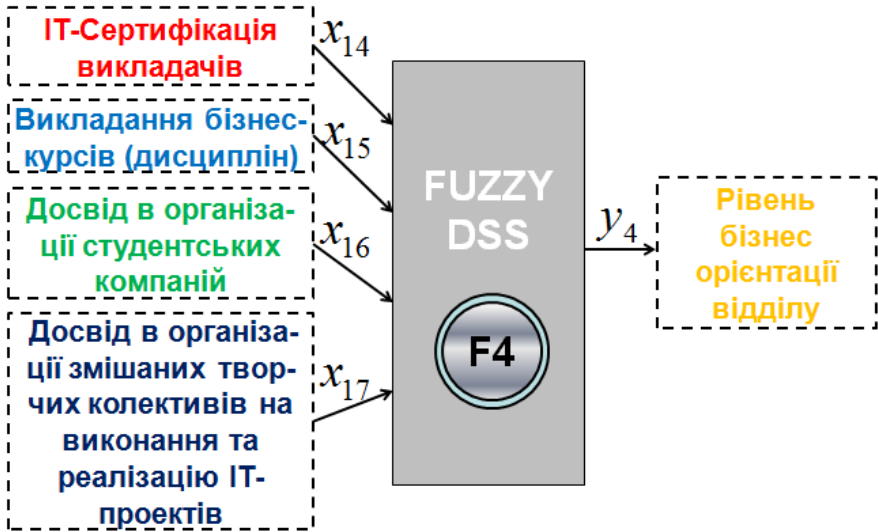


Рис. 1.28. Четверта підсистема $y_4 = f_4(x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$ ієрархічної СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

Вихідна лінгвістична змінна:

– y_4 – рівень бізнес-орієнтації відділу: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних $x_{14}, \dots, x_{17}, y_4$ наведено на рис. 1.29.

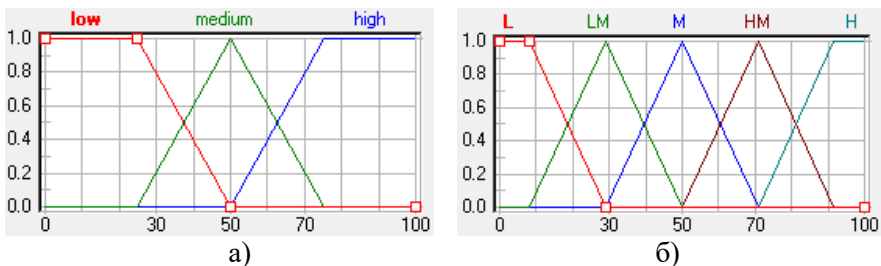


Рис. 1.29. ЛТ для змінних x_{14}, \dots, x_{17} (а) та y_4 (б)

Зокрема, структура БП гомогенного типу четвертої підсистеми $y_4 = f_4(x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$ представлена в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10. Вибіркові правила з БП четвертої підсистеми $y_4 = f_4(x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$

Номер правила	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	y_4
...
22	low	high	medium	low	LM
23	low	high	medium	medium	LM
24	low	high	medium	high	M
25	low	high	high	low	LM
26	low	high	high	medium	M
27	low	high	high	high	HM
28	low	high	low	low	L
29	low	high	low	medium	LM
30	low	high	low	high	M
...
37	medium	medium	low	low	LM
38	medium	medium	low	medium	LM
39	medium	medium	low	high	M
40	medium	medium	medium	low	LM
41	medium	medium	medium	medium	M
42	medium	medium	medium	high	HM
43	medium	medium	high	low	M
...
55	high	low	low	low	L
56	high	low	low	medium	LM
57	high	low	low	high	LM
58	high	low	medium	low	LM
59	high	low	medium	medium	M
60	high	low	medium	high	M
61	high	low	high	low	M
62	high	low	high	medium	HM
63	high	low	high	high	HM
...

П'ята підсистема $y_5 = f_5(y_1, y_2)$.

П'ята підсистема $y_5 = f_5(y_1, y_2)$ має дві входні (проміжні в рамках всієї СППР) (y_1, y_2) та одну вихідну y_5 змінні (рис. 1.30) і забезпечує оцінювання загального рівня освіти студентів.

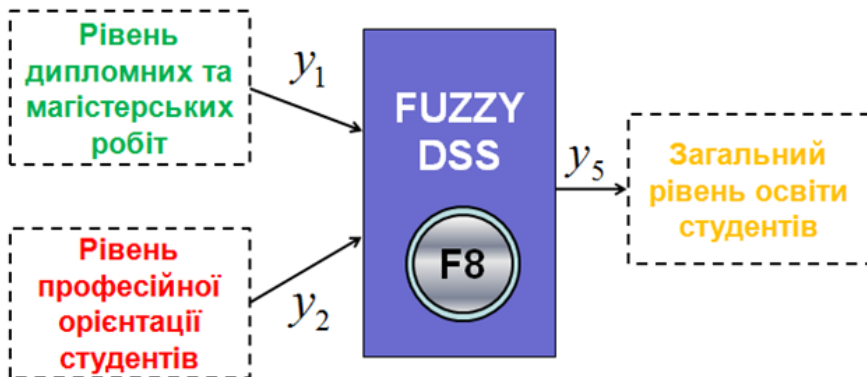


Рис. 1.30. П'ята підсистема $y_5 = f_5(y_1, y_2)$ другого ієрархічного рівня СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

Вхідні лінгвістичні змінні:

– y_1 – оцінка рівня дипломної/магістерської роботи: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - NM, “високий” - N), форма ФН - трикутна;

– y_2 – рівень професійної орієнтації студентів: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - NM, “високий” - N), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

– y_5 – загальний рівень освіти студентів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - NM, “високий” - N), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних y_1, y_2 та y_3 наведено на рис. 1.31.

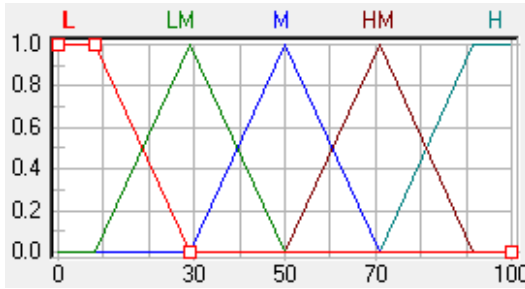


Рис. 1.31. ЛТ для змінних y_1, y_2 та y_3

Зокрема, структура БП гомогенного типу п'ятої підсистеми $y_5 = f_5(y_1, y_2)$ представлена в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11. Вибіркові правила з БП п'ятої підсистеми $y_5 = f_5(y_1, y_2)$

Номер правила	:	4	5	6	7	8	9	10	11	12	:
y_1	:	L	L	LM	LM	LM	LM	LM	M	M	:
y_2	:	HM	H	L	LM	M	HM	H	L	LM	:
y_5	:	LM	M	L	LM	M	M	M	LM	LM	:

Шоста підсистема $y_6 = f_6(y_3, y_4)$.

Шоста підсистема $y_6 = f_6(y_3, y_4)$ має дві вхідні (проміжні в рамках всієї СППР) (y_3, y_4) та одну вихідну y_6 змінні (рис. 1.32) і забезпечує оцінювання загального рівня діяльності відділу (кафедри) університету.

Вхідні лінгвістичні змінні:

– y_3 – рівень наукової діяльності відділу: діапазон зміни - $[0, 100]$, кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна;

– y_4 – рівень бізнес орієнтації відділу: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - НМ, “високий” - Н), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

– y_6 – загальний рівень діяльності відділу: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - НМ, “високий” - Н), форма ФН - трикутна.

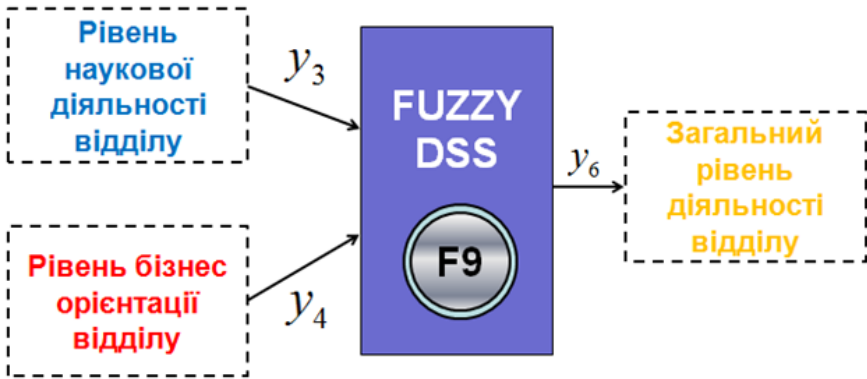


Рис. 1.32. Шоста підсистема $y_6 = f_6(y_3, y_4)$ другого ієрархічного рівня СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних y_3, y_4 та y_6 наведено на рис. 1.33.

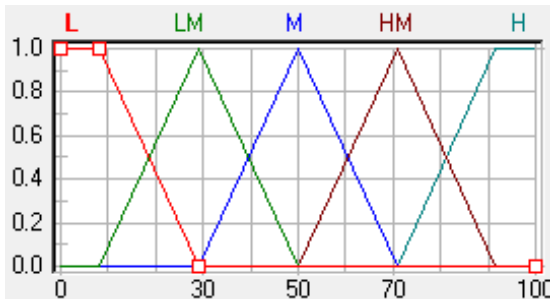


Рис. 1.33. ЛТ для змінних y_3, y_4 та y_6

Зокрема, структура БП гомогенного типу шостої підсистеми $y_6 = f_6(y_3, y_4)$ представлена в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12. Вибіркові правила з БП шостої підсистеми $y_6 = f_6(y_3, y_4)$

Номер правила	:	14	15	16	17	18	19	20	21	22	:
y_3	:	М	М	НМ	НМ	НМ	НМ	НМ	Н	Н	:
y_4	:	НМ	Н	L	LM	М	НМ	Н	L	LM	:
y_6	:	НМ	НМ	LM	М	М	НМ	Н	М	М	:

Сьома підсистема $y = f_7(y_5, y_6)$.

Сьома підсистема $y = f_7(y_5, y_6)$ має дві вхідні (проміжні в рамках всієї СППР) (y_5, y_6) та одну вихідну y змінні і забезпечує вибір моделі співпраці кафедри університету.

Вхідні лінгвістичні змінні:

– y_5 – загальний рівень освіти студентів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - М, “вище середнього” - НМ, “високий” - Н), форма ФН - трикутна.

– y_6 – загальний рівень діяльності відділу: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - М, “вище середнього” - НМ, “високий” - Н), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

– y – вибір доцільної моделі УС співпраці для кафедри університету: діапазон зміни - [0 100], число термів - 4 (“модель А1” - А1, “модель А2” - А2, “модель В” - В, “модель С” - С), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних y_5, y_6 та y наведено на рис. 1.34.

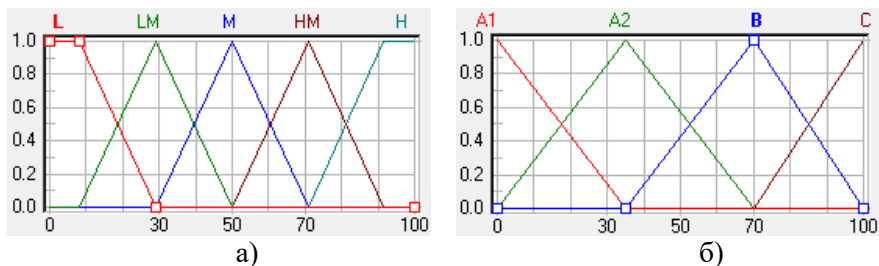


Рис. 1.34. ЛТ для змінних y_5, y_6 (а) та y (б)

Зокрема, структура БП гомогенного типу сьомої підсистеми $y = f_7(y_5, y_6)$ представлена в таблиці 1.13.

Таблиця 1.13. Вибіркові правила з БП сьомої підсистеми $y = f_7(y_5, y_6)$

Номер правила	:	14	15	16	17	18	19	20	21	22	:
y_5	:	M	M	HM	HM	HM	HM	HM	H	H	:
y_6	:	HM	H	L	LM	M	HM	H	L	LM	:
y	:	B	B	A1	A2	B	B	C	A2	B	:

РОЗДІЛ 2. НЕЧІТКА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ІТ-КОМПАНІЙ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ КООПЕРАЦІЇ

2.1 Ієрархічна система вибору доцільної моделі УС співпраці для ІТ-компанії

Необхідність вибору доцільної моделі УС співпраці для ІТ-компанії в рамках кооперації з університетом постає на початку їх співробітництва та при умовах зміни напрямку розвитку. Аналіз літературних джерел дозволяє виділити критерії, що впливають на вибір моделі кооперації в рамках академічно-промислового консорціуму (АПК), зокрема рівень можливості передачі знань персоналом ІТ-компанії з врахуванням зайнятості, освітньо-кваліфікаційний рівень персоналу ІТ-компанії, рівень співпраці студентів з ІТ-компаніями, досвід підтримки розвитку інноваційних наукових досліджень, вік ІТ-компанії в ІТ-бізнесі, досвід співпраці з університетами тощо.

Система підтримки прийняття рішень для вибору моделі співпраці ІТ-компанії з університетом (модуль 2) включає в себе 7 вхідних координат $X = \{x_j\}, j = 1..7$, одну вихідну y , які пов'язані між собою нечіткими залежностями $y_k = f(x_1, x_2, \dots, x_{10}), k = \overline{1,3}$ відповідних баз правил 3-х підсистем (рис. 2.1). Розглянемо методику вибору моделі УС співпраці для ІТ-компанії в рамках кооперації з університетом з використанням апроксимації нечітких систем з дискретним виведенням.

Структура нечіткої системи вибору доцільної моделі УС співпраці для ІТ-компанії має такі ж самі особливості формування лінгвістичних змінних, ФН та баз правил, як і попередньо розглянута система для кафедри університету.

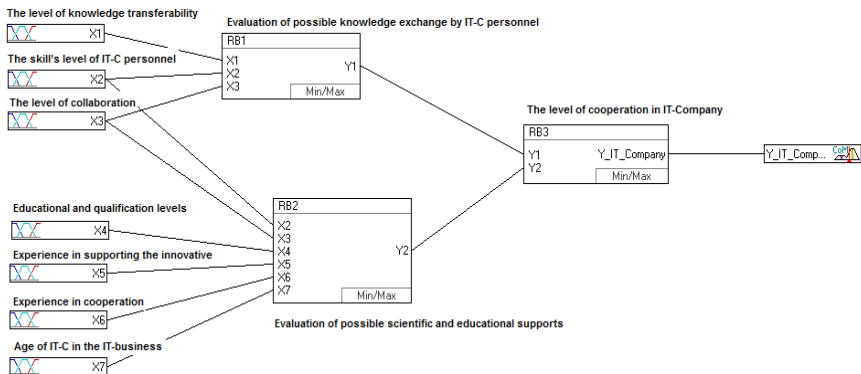


Рис. 2.1. Структура нечіткої системи вибору доцільної моделі УС співпраці для ІТ-компанії в рамках кооперації з університетом

2.2 Синтез та аналіз підсистем нечіткої ієрархічно-організованої системи вибору доцільної моделі УС співпраці для ІТ-компанії

Перша підсистема $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$.

Перша підсистема $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ має три вхідні (x_1, x_2, x_3) та одну вихідну y_1 змінні (рис. 2.2) і забезпечує оцінювання можливого обміну знаннями персоналом ІТ-компанії.

Вхідні лінгвістичні змінні:

- x_1 – рівень співпраці студентів з ІТ-компаніями: діапазон зміни - $[0 100]$, число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;

- x_2 – рівень можливості передачі знань персоналом ІТ-компанії з врахуванням зайнятості: діапазон зміни - $[0 100]$, число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;

- x_3 – досвідний рівень персоналу ІТ-компанії: діапазон зміни - $[0 100]$, число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна.

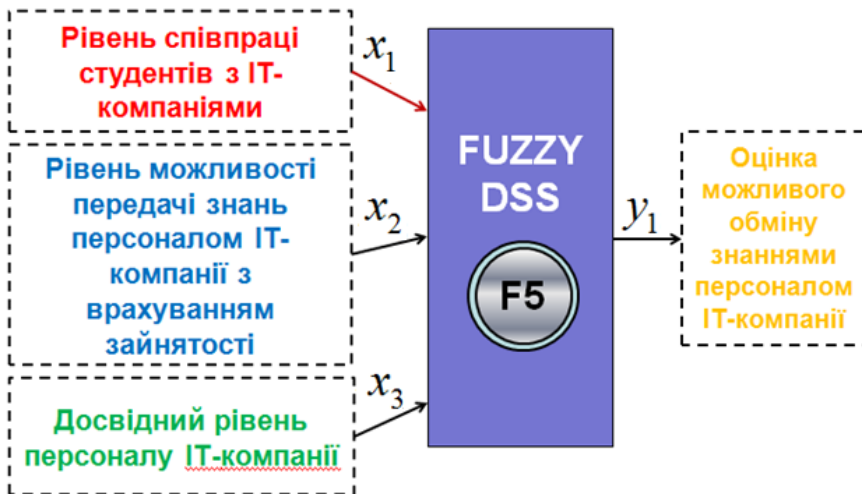


Рис. 2.2. Перша підсистема $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ ієрархічної СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

Вихідна лінгвістична змінна:

– y_1 – оцінка можливого обміну знаннями персоналом ІТ-компанії: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних x_1, x_2, x_3 та y_1 наведено на рис. 2.3.

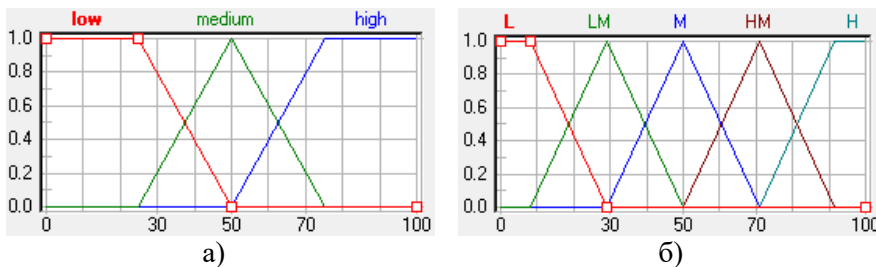


Рис. 2.3. ЛТ для змінних x_1, x_2, x_3 (а) та y_1 (б)

Зокрема, структура БП гомогенного типу першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. БП першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

Номер правила	x_6	x_{18}	x_{19}	y_5
1	low	low	low	L
2	low	low	medium	LM
3	low	low	high	LM
4	low	medium	low	L
5	low	medium	medium	LM
6	low	medium	high	M
7	low	high	low	LM
8	low	high	medium	M
9	low	high	high	HM
10	medium	low	low	LM
11	medium	low	medium	LM
12	medium	low	high	M
13	medium	medium	low	LM
14	medium	medium	medium	M
15	medium	medium	high	HM
16	medium	high	low	M
17	medium	high	medium	HM
18	medium	high	high	H
19	high	low	low	LM
20	high	low	medium	M
21	high	low	high	HM
22	high	medium	low	M
23	high	medium	medium	M
24	high	medium	high	HM
25	high	high	low	HM
26	high	high	medium	H
27	high	high	high	H

Друга підсистема $y_2 = f_2(x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$.

Друга підсистема $y_2 = f_2(x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$ має шість вхідних ($x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$) та одну вихідну y_2 змінні (рис. 2.4) і забезпечує оцінювання можливого рівня наукової та освітньої підтримки зі сторони ІТ-компанії.

Вхідні лінгвістичні змінні:

– x_2 – рівень можливості передачі знань персоналом ІТ-компанії з врахуванням зайнятості: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;

– x_3 – досвідний рівень персоналу ІТ-компанії: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;

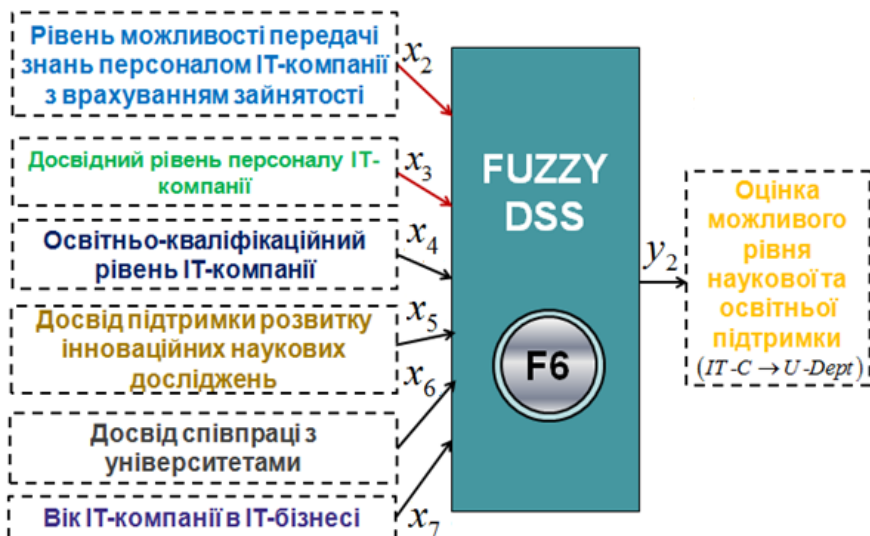


Рис. 2.4. Друга підсистема $y_2 = f_2(x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$ ієрархічної СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

- x_4 – освітньо-кваліфікаційний рівень ІТ-компанії: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_5 – досвід підтримки розвитку інноваційних наукових досліджень: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_6 – досвід співпраці з університетами: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_7 – вік ІТ-компанії: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

- y_2 – оцінка можливого рівня наукової та освітньої підтримки зі сторони ІТ-компанії: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних x_2, \dots, x_7, y_2 наведено на рис. 2.5.

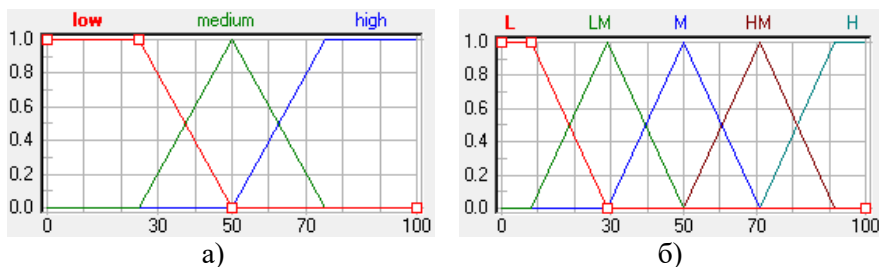


Рис. 2.5. ЛТ для змінних x_2, \dots, x_7 (а) та y_2 (б)

Зокрема, структура БП гомогенного типу другої підсистеми $y_2 = f_2(x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$ представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Вибіркові правила з БП другої підсистеми
 $y_2 = f_2(x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$

Номер правила	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	y_2
...
49	low	low	medium	high	medium	low	LM
50	low	low	medium	high	medium	medium	LM
51	low	low	medium	high	medium	high	M
52	low	low	medium	high	high	low	M
53	low	low	medium	high	high	medium	M
54	low	low	medium	high	high	high	HM
55	low	low	high	low	low	low	L
56	low	low	high	low	low	medium	L
57	low	low	high	low	low	high	LM
...
421	medium	high	medium	medium	high	low	M
422	medium	high	medium	medium	high	medium	M
423	medium	high	medium	medium	high	high	HM
424	medium	high	medium	high	low	low	LM
425	medium	high	medium	high	low	medium	M
426	medium	high	medium	high	low	high	M
427	medium	high	medium	high	medium	low	M
428	medium	high	medium	high	medium	medium	HM
429	medium	high	medium	high	medium	high	HM
...
571	high	medium	low	low	medium	low	LM
572	high	medium	low	low	medium	medium	LM
573	high	medium	low	low	medium	high	M
574	high	medium	low	low	high	low	LM
575	high	medium	low	low	high	medium	M
576	high	medium	low	low	high	high	M
577	high	medium	low	medium	low	low	LM
578	high	medium	low	medium	low	medium	M
579	high	medium	low	medium	low	high	HM
...

Третя підсистема $y = f_3(y_1, y_2)$.

Третя підсистема $y = f_3(y_1, y_2)$ має дві вхідні (проміжні в рамках всієї СППР) (y_1, y_2) та одну вихідну y змінні і забезпечує вибір моделі співпраці ІТ-компанії.

Вхідні лінгвістичні змінні:

– y_1 – оцінка можливого обміну знаннями персоналом ІТ-компанії: діапазон зміни - $[0\ 100]$, число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - NM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

– y_2 – оцінка можливого рівня наукової та освітньої підтримки зі сторони ІТ-компанії: діапазон зміни - $[0\ 100]$, кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - NM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

– y – вибір доцільної моделі УС співпраці для ІТ-компанії: діапазон зміни - $[0\ 100]$, число термів - 4 (“модель А1” - A1, “модель А2” - A2, “модель В” - B, “модель С” - C), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних y_1, y_2 та y наведено на рис. 2.7.

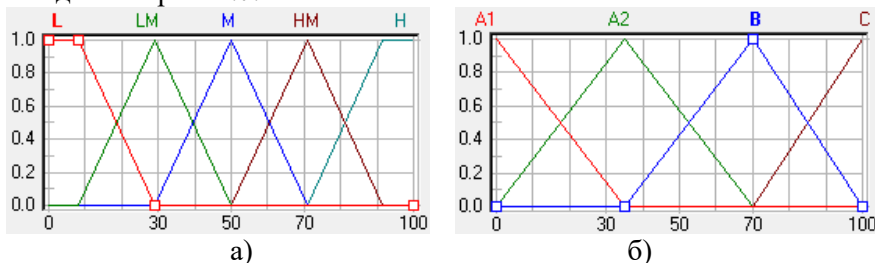


Рис. 2.7. ЛТ для змінних y_1, y_2 (а) та y (б)

Зокрема, структура БП гомогенного типу третьої підсистеми $y = f_3(y_1, y_2)$ представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Вибіркові правила з БП третьої підсистеми $y = f_3(y_1, y_2)$

Номер правила	:	14	15	16	17	18	19	20	21	22	:
y_1	:	М	М	НМ	НМ	НМ	НМ	НМ	Н	Н	:
y_2	:	НМ	Н	L	LM	М	НМ	Н	L	LM	:
y	:	В	В	A1	A2	В	В	С	A2	В	:

РОЗДІЛ 3. БАГАТОМОДУЛЬНА НЕЧІТКА СИСТЕМА ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО- ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ

3.1 Структура ієрархічно-організованої системи підтримки прийняття рішень на нечіткій логіці для підвищення ефективності АПК в області ІТ-інженерії

Попередньо розглянуті системи (модулі 1 і 2) для оцінки і вибору моделі співпраці окремо для кафедри університету (розділ TMS1.2) та ІТ-компанії (розділ TMS1.3) створюють основу для синтезу узагальненої нечіткої системи з вибору спільної моделі кооперації для університета та ІТ-компанії.

Попередні дослідження та аналіз успішного досвіду співпраці в рамках різнотипних консорціумів доводять, що на сьогоднішній день розв'язання задачі оцінювання рівня співпраці університетів та ІТ-компаній передбачає вибір однієї з чотирьох ($m=4$) сформованих альтернативних моделей [85], як альтернативних варіантів рішень $E_i, (i=1...m)$, де варіанту рішень E_1 відповідає модель $A1$ (взаємодія між університетом та ІТ-компанією в організації освіти та навчання, обмін знаннями, цілеспрямована підготовка кадрів для ІТ-індустрії); варіанту E_2 – модель $A2$ (організація та підтримка процесів сертифікації результатів співпраці); варіанту E_3 – модель B (створення спільного центру наукових досліджень, розробка спільних наукових проєктів); варіанту E_4 – модель C (створення студентських наукових груп і незалежних компаній з бізнес орієнтацією та реалізацією стартапів). При цьому ефективність процесів вибору моделей співпраці суттєво залежить від обраних критеріїв $x_j, (j=1,2,...,n)$, що характеризують кожного з партнерів відповідного майбутнього консорціуму типу «Університет – ІТ-компанія».

Розглянемо розроблену авторами СППР для вибору моделі ($m=4$) співпраці університетів та ІТ-компаній за попередньо запропонованими і визначеними критеріями ($n=27$). Досвід фахівців в області проєктування спеціалізованих нечітких систем різного призначення показує, що при однорівневій структурній організації СППР у випадках великої розмірності вектора $X = \{x_j\}, j=1...n$

вхідних координат (критеріїв) знижується чутливість їхніх баз нечітких правил до зміни значень вхідних координат $x_j, (j = 1, 2, \dots, n)$ [1,3,6,8,149]. Це, в першу чергу, пов'язано зі складністю формування відповідних нечітких правил для реалізації всіх можливих залежностей між вхідними та вихідними параметрами системи $y_k = f(x_1, x_2, \dots, x_{27}), k = 1 \dots K$.

На рис. 3.1 наведено варіант запропонованої авторами ієрархічно-організованої структури СППР St_s для вибору найбільш раціональної моделі співпраці $E^*, (E^* \in E, E = \{E_1, E_2, E_3, E_4\})$ університетів та ІТ-компаній, яка сформована на основі декомпозиції вектора вхідних координат $X = \{x_j\}, j = 1 \dots 27$ з їх об'єднанням у наступну S -групову комбінацію:

$$X_s = \left\{ \begin{array}{l} \{x_1, x_2, x_3\}, \{x_4, x_5, x_6, x_7\}, \{x_8, x_9, \dots, x_{13}\}, \\ \{x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}\}, \{x_{18}, x_{19}\}, \\ \{x_{18}, x_{19}, \dots, x_{23}\}, \{x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27}\} \end{array} \right\}.$$

При цьому відповідні підсистеми СППР (рис. 3.1), зокрема $\{FES_1, FES_2, \dots, FES_{10}, FES_{11}\}$ реалізують наступні функціональні залежності для S -ї альтернативної структури $St_s = \{y_1, y_2, \dots, y_{10}, y\}$ СППР:

$$St_s = \left\{ \begin{array}{l} y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3), y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7), \\ y_3 = f_3(x_8, \dots, x_{13}), y_4 = f_4(x_{14}, \dots, x_{17}), \\ y_5 = f_5(x_6, x_{18}, x_{19}), y_6 = f_6(x_{18}, \dots, x_{23}), \\ y_7 = f_7(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27}), y_8 = f_8(y_1, y_2), \\ y_9 = f_9(y_3, y_4), y_{10} = f_{10}(y_5, y_6), \\ y = f_{11}(y_7, y_8, y_9, y_{10}) \end{array} \right\}.$$

Оскільки нечітка система з вибору спільної моделі кооперації для університета та ІТ-компанії базується на використанні попередньо розроблених підсистем (модулі 1 і 2), то доцільним є окреслення структури відповідних підсистем без повторної деталізації.

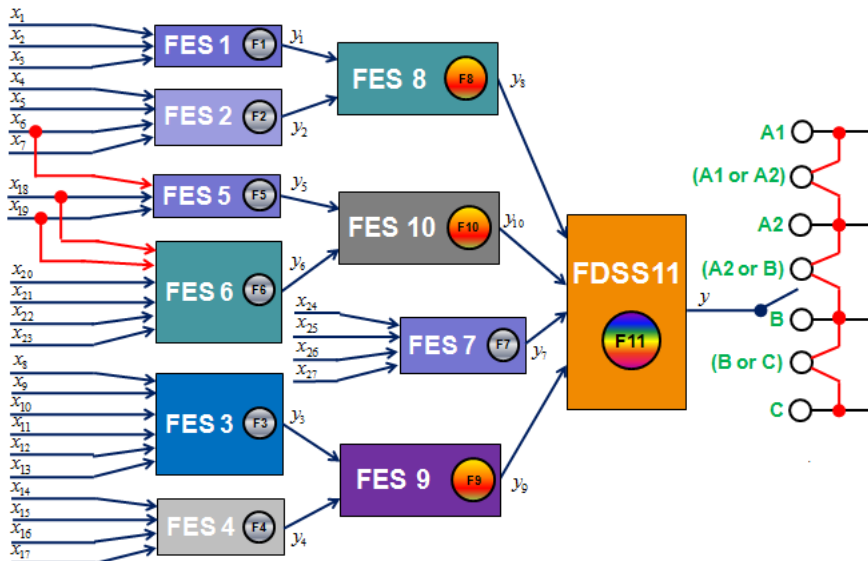


Рис. 3.1. Структура ієрархічної СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці в рамках консорціумів типу «Університет – ІТ-компанія»

3.2 Синтез і аналіз ієрархічно-організованої СППР на нечіткій логіці для підвищення ефективності АПК в області ІТ-інженерії

Перша підсистема $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ має три вхідні (x_1, x_2, x_3) та одну вихідну y_1 змінні і забезпечує оцінювання рівня виконання дипломних проектів та магістерських робіт студентами університету.

Друга підсистема $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7)$ має чотири вхідні (x_4, x_5, x_6, x_7) та одну вихідну y_2 змінні і забезпечує оцінювання рівня професійної орієнтації студентів університету.

Третя підсистема $y_3 = f_3(x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13})$ має шість вхідних ($x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}$) та одну вихідну y_3 змінні і забезпечує оцінювання рівня наукової діяльності кафедри (відділу) університету.

Четверта підсистема $y_4 = f_4(x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$ має чотири вхідні $(x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17})$ та одну вихідну y_4 змінні і забезпечує оцінювання рівня бізнес-орієнтації кафедри (відділу) університету.

П'ята підсистема $y_5 = f_5(x_6, x_{18}, x_{19})$ має три вхідні (x_6, x_{18}, x_{19}) та одну вихідну y_5 змінні і забезпечує оцінювання можливого обміну знаннями персоналом ІТ-компанії.

Шоста підсистема $y_6 = f_6(x_{18}, x_{19}, x_{20}, x_{21}, x_{22}, x_{23})$ має шість вхідних $(x_{18}, x_{19}, x_{20}, x_{21}, x_{22}, x_{23})$ та одну вихідну y_6 змінні і забезпечує оцінювання можливого рівня наукової та освітньої підтримки зі сторони ІТ-компанії.

Розглянемо більш детально нову підсистему СППР, зокрема *сьому підсистему* $y_7 = f_7(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27})$.

Сьома підсистема $y_7 = f_7(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27})$ має чотири вхідні $(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27})$ та одну вихідну y_7 змінні (рис. 3.2) і забезпечує оцінювання можливості співпраці.

Вхідні лінгвістичні змінні:

– x_{24} – потенціал відділу для співпраці: діапазон зміни - $[0\ 100]$, число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;

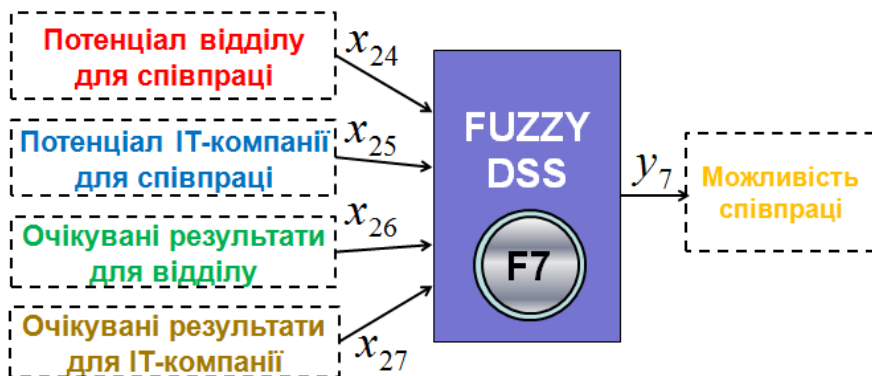


Рис. 3.2. Сьома підсистема $y_7 = f_7(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27})$ ієрархічної СППР на нечіткій логіці для оцінки можливості співпраці

- x_{25} – потенціал ІТ-компанії для співпраці: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_{26} – очікувані результати для відділу: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна;
- x_{27} – очікувані результати для ІТ-компанії: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (“низький” - low, “середній” - medium, “високий” - high), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

- y_7 – можливість співпраці: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних $x_{24}, \dots, x_{27}, y_7$ наведено на рис. 3.3.

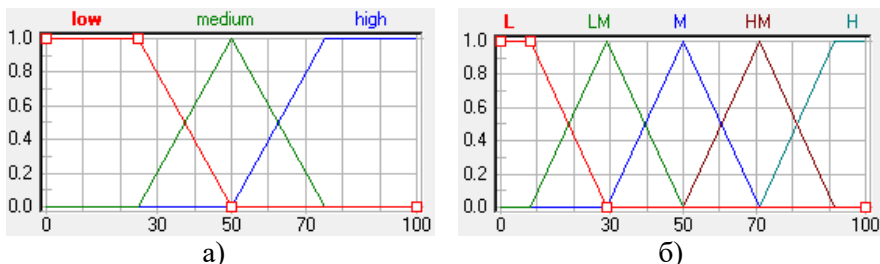


Рис. 3.3. ЛТ для змінних x_{24}, \dots, x_{27} (а) та y_7 (б)

Зокрема, структура БП гомогенного типу сьомої підсистеми $y_7 = f_7(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27})$ представлена в таблиці 3.1.

Восьма підсистема $y_8 = f_8(y_1, y_2)$ має дві вхідні (проміжні в рамках всієї СППР) (y_1, y_2) та одну вихідну y_8 змінні і забезпечує оцінювання загального рівня освіти студентів.

Таблиця 3.1. Вибіркові правила з БП сьомої підсистеми
 $y_7 = f_7(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27})$

Номер правила	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	y_7
...
7	low	low	high	low	L
8	low	low	high	medium	LM
9	low	low	high	high	M
10	low	medium	low	low	L
11	low	medium	low	medium	LM
12	low	medium	low	high	LM
13	low	medium	medium	low	LM
14	low	medium	medium	medium	M
15	low	medium	medium	high	M
...
31	medium	low	medium	low	LM
32	medium	low	medium	medium	LM
33	medium	low	medium	high	M
34	medium	low	high	low	LM
35	medium	low	high	medium	M
36	medium	low	high	high	M
37	medium	medium	low	low	LM
38	medium	medium	low	medium	LM
39	medium	medium	low	high	M
...
64	high	medium	low	low	LM
65	high	medium	low	medium	M
66	high	medium	low	high	M
67	high	medium	medium	low	M
68	high	medium	medium	medium	HM
69	high	medium	medium	high	HM
70	high	medium	high	low	HM
71	high	medium	high	medium	HM
72	high	medium	high	high	H
...

Дев'ята підсистема $y_9 = f_9(y_3, y_4)$ має дві вхідні (проміжні в рамках всієї СППР) (y_3, y_4) та одну вихідну y_9 змінні і забезпечує оцінювання загального рівня діяльності відділу (кафедри) університету.

Десята підсистема $y_{10} = f_{10}(y_5, y_6)$ має дві вхідні (проміжні в рамках всієї СППР) (y_5, y_6) та одну вихідну y_{10} змінні і забезпечує оцінювання загального рівня діяльності ІТ-компанії.

Розглянемо більш детально нову підсистему СППР, зокрема **одинадцятую підсистему** $y = f_{11}(y_7, y_8, y_9, y_{10})$.

Одинадцята підсистема третього ієрархічного рівня СППР $y = f_{11}(y_7, y_8, y_9, y_{10})$ має чотири вхідні (проміжні в рамках всієї СППР) (y_7, y_8, y_9, y_{10}) та одну вихідну y змінні (рис. 3.4) і забезпечує оцінювання рівня співпраці в рамках АПК, згідно з яким в автоматичному режимі формується рекомендація СППР по вибору найбільш раціональної моделі співпраці в рамках відповідного консорціуму типу «Університет – ІТ-компанія».

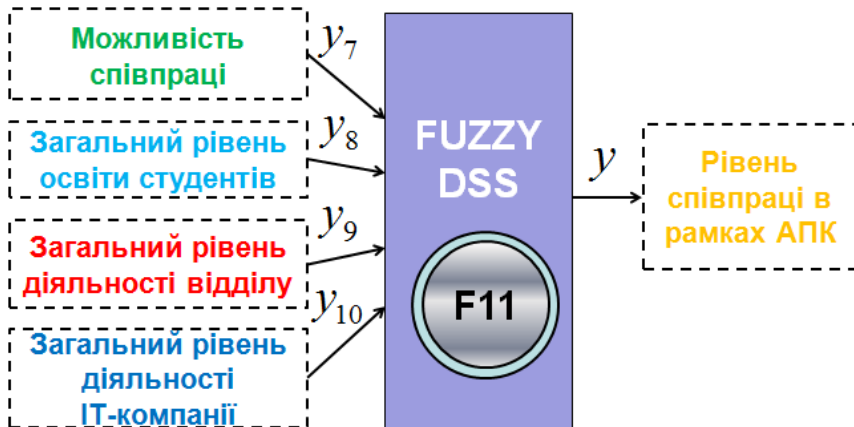


Рис. 3.4. Одинадцята підсистема $y = f_{11}(y_7, y_8, y_9, y_{10})$ третього ієрархічного рівня СППР на нечіткій логіці для вибору моделі співпраці

Вхідні лінгвістичні змінні:

– y_7 – можливість співпраці: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна;

– y_8 – загальний рівень освіти студентів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна;

– y_9 – загальний рівень діяльності відділу: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна;

– y_{10} – загальний рівень діяльності ІТ-компанії: діапазон зміни - [0 100], число термів - 5 (“низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

– y_{11} – рівень співпраці в рамках АПК: діапазон зміни - [0 100], кількість термів - 7 (“дуже низький” - VL, “низький” - L, “нижче середнього” - LM, “середній” - M, “вище середнього” - HM, “високий” - H, “дуже високий” - VH), форма ФН - трикутна.

Графічне представлення ЛТ для оцінювання змінних y_7, \dots, y_{10}, y наведено на рис. 3.5.

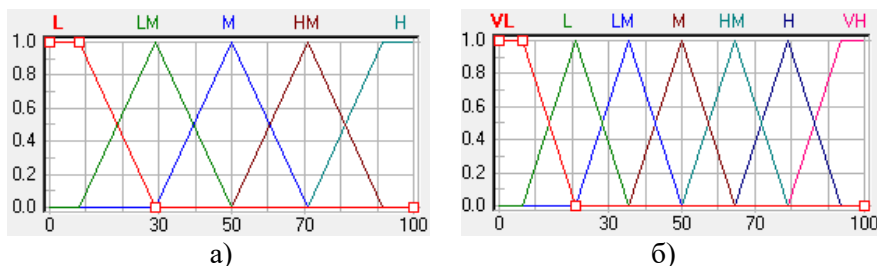


Рис. 3.5. ЛТ для змінних y_7, \dots, y_{10} (а) та y (б)

Зокрема, структура БП гетерогенного типу одинадцятої підсистеми $y = f_{11}(y_7, y_8, y_9, y_{10})$ представлена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Вибіркові правила з БП одинадцятої підсистеми
 $y = f_{11}(y_7, y_8, y_9, y_{10})$

Номер правила	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y
...					
81	L	HM	LM	L	L
82	L	HM	LM	LM	LM
83	L	HM	LM	M	LM
84	L	HM	LM	HM	M
85	L	HM	LM	H	M
86	L	HM	M	L	LM
87	L	HM	M	LM	LM
88	L	HM	M	M	M
89	L	HM	M	HM	M
90	L	HM	M	H	HM
...					
296	M	LM	H	L	LM
297	M	LM	H	LM	LM
298	M	LM	H	M	M
299	M	LM	H	HM	M
300	M	LM	H	H	HM
301	M	M	L	L	LM
302	M	M	L	LM	LM
303	M	M	L	M	LM
304	M	M	L	HM	M
305	M	M	L	H	M
...					
512	H	L	M	LM	LM
513	H	L	M	M	M
514	H	L	M	HM	M
515	H	L	M	H	HM
516	H	L	HM	L	LM
517	H	L	HM	LM	M
518	H	L	HM	M	M
519	H	L	HM	HM	HM
520	H	L	HM	H	HM
...					

Всі розроблені підсистеми в середовищі MATLAB об'єднуються в єдину цілісну СППР на нечіткій логіці (рис. 3.1) для вибору моделі співпраці в рамках академічно-промислових консорціумів типу «Університет – ІТ-компанія».

3.3 Аналіз існуючих підходів та методів корекції баз правил нечітких моделей в інтерактивних та автоматичних режимах

Процес прийняття ефективних рішень полягає у виборі найкращого альтернативного варіанту серед існуючих за певною множиною оцінювальних параметрів (вхідних даних системи) [1,2,65,155].

Однією з проблем синтезу СППР на основі нечіткого логічного виведення є складність в прийнятті рішень при змінній структурі вхідних даних системи. Це пов'язано з необхідністю розробки підходів щодо корекції нечітких БП для виключення або корекції правил, антецеденти яких містять вхідні сигнали, що приймають участі в процесі прийняття рішень які при зміні структури вектора вхідних даних в конкретному випадку [65, 171-174].

При нечіткому моделюванні частіше всього використовують алгоритм Мамдані, згідно якого антецеденти і консеквенти правил нечітких БП задані нечіткими множинами типу «Низький», «Середній», «Високий» і т.п. Нечіткі правила такого типу запропоновані Л. Заде в роботі [156], на основі якої Мамдані і Ассіліан розробили перший нечіткий контролер [65,158]. Нечіткі моделі Мамдані-типу є прозорими, на відміну від моделей типу «чорний ящик», їх структура інтерпретується в термінах, зрозумілих не тільки розробникам, а і замовникам – лікарям, економістам, менеджерам. Прозорість нечітких моделей Мамдані-типу є однією з головних переваг, які дозволяють успішно конкурувати з іншими методами.

Власні пріоритети ЛПР суттєво впливають на формування в кожній актуальній ситуації розмірності вектора вхідних координат. При цьому деякі з вхідних координат для одного ЛПР можуть бути важливими, а для іншого ЛПР – не важливими. Серед відомих підходів редукування БП нечітких моделей (БПНМ) інтелектуальних СППР є використання вагових коефіцієнтів для нечітких правил [65,149]. Зміна вектора вагових коефіцієнтів для відповідних правил нечітких баз знань дозволяє зменшити вплив вхідних параметрів, які за вибором

ЛПР в деяких ситуаціях можуть не приймати участь в процесі прийняття рішень, на результат роботи системи. Проте при цьому виникає необхідність у повторному налаштуванні відповідних коефіцієнтів при кожній зміні структури вхідних даних [37].

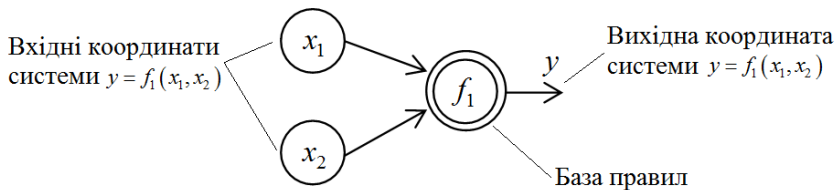
Основна складність процесу налаштування багатомірних нечітких моделей полягає у великій кількості параметрів таких систем. При цьому їх кількість стрімко зростає із збільшенням числа входів та лінгвістичних термів, необхідних для оцінки відповідних значень. Дослідженню даної проблеми присвячено ряд наукових робіт [142,143,37-40].

Одним із прикладів застосування методів оптимізації та корекції нечітких баз правил є системи з адаптивним нечітким управлінням для автоматичного контролю і регулювання температури, в яких правила можуть бути змінені в процесі отримання нечіткої оцінки результатів [65].

3.3.1 Метод редукування баз правил на основі безсіткового розбиття вхідного простору

Один із ефективних способів редукування баз правил нечітких моделей полягає у відмові від сіткового розбиття вхідного простору та у використанні безсіткового розбиття [65], зокрема, прямокутного (k-d tree partition) та квадратичного розбиття (quad tree partition). Метою застосування безсіткового розбиття є зменшення числа нечітких сегментів [65,93].

Розглянемо застосування методу безсіткового розбиття вхідного простору даних на прикладі нечіткої моделі, яка має дві вхідні (x_1, x_2) та одну вихідну y координати, де, наприклад, x_1 – якість оформлення наукової роботи, x_2 – практична значимість результатів, y – оцінка наукової роботи рецензентом. Для оцінки вхідних змінних (x_1, x_2) обрано по 3 ЛТ (S – “small”, M – “mean”, G – “great”) та (L – “low”, M – “medium”, H – “high”), відповідно, з трикутною формою ФН. Для вихідної змінної y – 5 лінгвістичних термів (L – “low”, LM – “lower than medium”, M – “medium”, MH – “higher than medium”, H – “high”). При цьому залежність вихідного сигналу системи від вхідних $y = f_1(x_1, x_2)$ визначається нечіткими правилами (рис. 3.6).



Нечітка база правил

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_1	S	S	S	M	M	M	G	G	G
x_2	L	M	H	L	M	H	L	M	H
y	L	LM	LM	LM	M	MH	M	H	H

Рис. 3.6. Структура та БПНМ системи для оцінки наукової роботи рецензентом $y = f_1(x_1, x_2)$

На рисунку 3.7 представлено застосування одного із методів редукування БПНМ, що полягає в розбитті вхідного простору координат (x_1, x_2) на сегменти S_1, S_2, \dots, S_7 . Кожному сегменту відповідає одне нечітке правило [65]. Редукування БПНМ (рис. 3.7) досягається за рахунок введення додаткового лінгвістичного терму, що призводить до зменшення кількості сегментів, а отже і правил. Можливість завдання сегментів S_2 та S_7 за допомогою одного правила $R_2 : \text{IF } x_1 = S \text{ AND } x_2 = M \ \& \ H \ \text{THEN } y = LM (s_2)$ - наприклад, для S_2 обумовлена тим, що в ньому використовується лінгвістичний терм $M \ \& \ H$. Згідно з БПНМ кількість сегментів повинна дорівнювати кількості правил, тобто $(N = 9)$. В розглянутому прикладі (рис. 3.7) консеквент вихідної змінної y для правил №2 та №3 однаковий (LM), при цьому антецеденти координати x_1 для обох правил незмінні і відповідають лінгвістичному терму S . Змінюється лише значення антецедентів координати x_2 з лінгвістичного терму M (правило №2) до H (правило №3). Таким чином, доцільним є введення додаткового терму $M \ \& \ H$, що об'єднує лінгвістичні терми M та H вхідної змінної x_2 . При цьому необхідність в одночасному користуванні

правилами №2 та №3 зникає, тим самим здійснюється редукування БПНМ заміною двох правил на одне комбіноване із структурою:

$$R_2 : \text{IF } x_1 = S \text{ AND } x_2 = M \ \& \ H \text{ THEN } y = LM \ (s_2) .$$

Відповідний процес редукування БПНМ здійснюється також з правилами №8 та №9 [6].

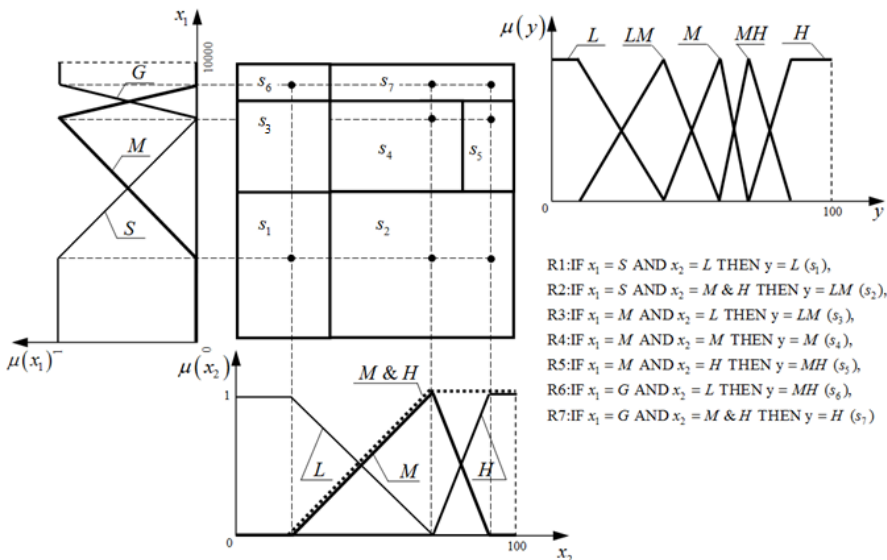


Рис. 3.7. Метод безсіткового розбиття вхідного простору

В деяких випадках кількість правил нечіткої моделі можна зменшити, використовуючи підхід, який полягає в компресії правил [145, 146]. Згідно з даним підходом, наприклад, для нечіткої моделі $y = f_1(x_1, x_2)$, правила №2 та №3 (рис. 3.7) можуть бути об'єднані в одне результуюче нечітке правило, структура якого має наступний вигляд:

$$\text{IF } x_1 = S \text{ AND } (x_2 = M \text{ OR } x_2 = H) \text{ THEN } y = LM .$$

3.3.2 Метод корекції баз правил на основі процедури об'єднання лінгвістичних термів

На даний час існує метод, який базується на зменшенні кількості нечітких множин (лінгвістичних термів), що використовуються в моделях СППР, шляхом їх об'єднання [65]. Це дозволяє зменшити число правил, а також редукувати їх форму. При виборі відповідних нечітких множин (A, B) для об'єднання необхідно визначити відстань між ними $d(A, B)$. При цьому ступіть близькості двох нечітких множин збільшується при зменшенні відстані між ними [146]

$$d(A, B) = \sum_{j=1}^k |\mu_A(x_j) - \mu_B(x_j)|, \quad (3.1)$$

де $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$ – ФН вхідного параметра x до нечітких множин A і B .

Розглянемо для прикладу нечітку модель $y_m = f(x)$ реальної системи $y = f(x)$, що має одну вхідну координату x , $x \in X$, для оцінки якої використовуються 5 ЛТ. Для оцінювання вихідної координати y також будемо використовувати 5 ЛТ (рис. 3.8). В результаті налаштування моделі отримано параметри (форма та розташування) ФН, які представлено на рисунку 3.8 [6, 35]. ЛТ «LM» та «M» мають близькі модальні значення x_{LM} та x_M , в зв'язку з чим об'єднання відповідних ЛТ в один ЛТ

$$LM \& M = LM \cup M$$

не повинно привести до значного зниження точності моделі, яку можна розраховувати, наприклад, за допомогою обчислення суми абсолютних помилок.

Нижче наведено повну БП моделі, що розглядається, перед початком налаштування параметрів (рис. 3.8).

$$R_1 : \text{IF } x = L \text{ THEN } y = S,$$

$$R_2 : \text{IF } x = LM \text{ THEN } y = SM,$$

$$R_3 : \text{IF } x = M \text{ THEN } y = M,$$

$$R_4 : \text{IF } x = MH \text{ THEN } y = MG,$$

$$R_5 : \text{IF } x = H \text{ THEN } y = G.$$

Одночасно з об'єднанням вхідних ЛТ $LM \cup M$ в результуючу множину $LM \& M$ відповідно змінної x необхідно також об'єднати ЛТ «SM» та «M» відповідно вихідної змінної y (рис. 3.9).

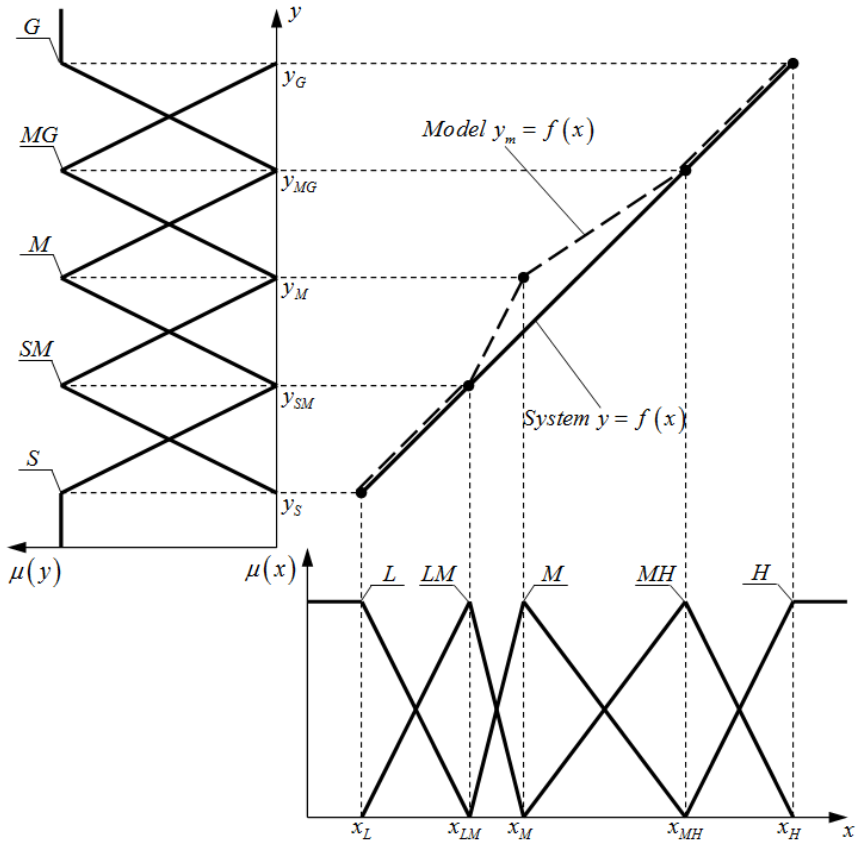


Рис. 3.8. Характеристики системи та моделі перед початком налаштування параметрів

Об'єднання ЛТ можна здійснити [65,78,79], наприклад, з використанням оператора SUM (3.2):

$$\begin{aligned} \mu_{LM \& M}(x) &= \text{SUM}(\mu_{LM}(x), \mu_M(x)) \\ \mu_{SM \& M}(y) &= \text{SUM}(\mu_{SM}(y), \mu_M(y)) \end{aligned} \quad (3.2)$$

де $\mu_{LM}(x)$, $\mu_M(x)$ – ФН змінної x до нечітких множин LM та M ;

$\mu_{SM}(y)$, $\mu_M(y)$ – ФН змінної y до нечітких множин SM та M

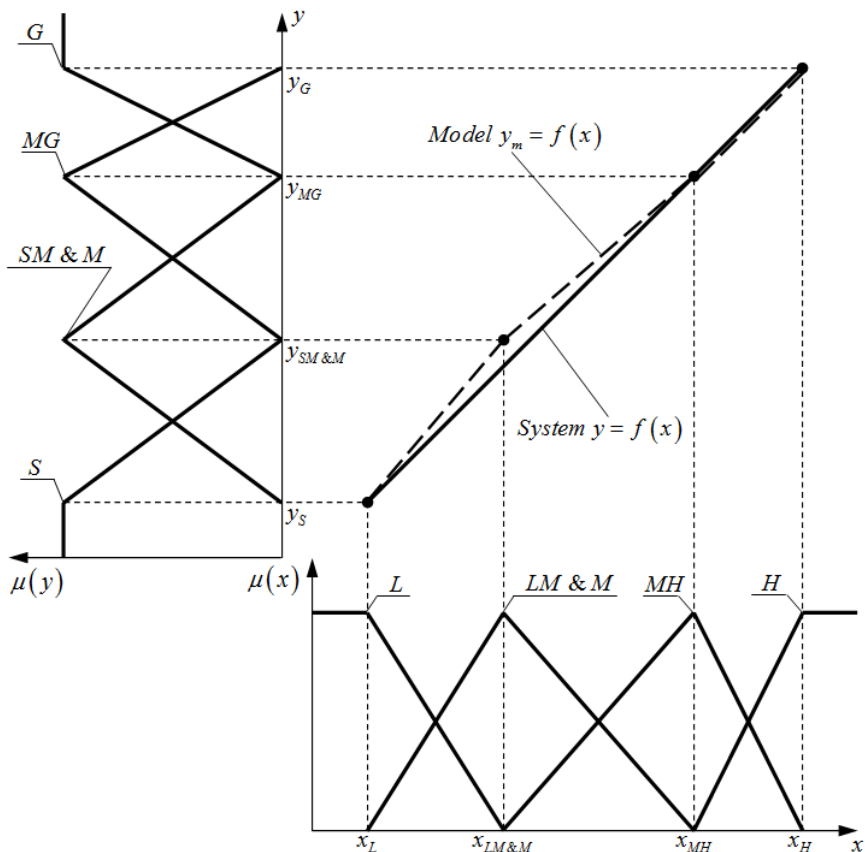


Рис. 3.9. Характеристики системи та моделі після завершення налаштування параметрів

Нижче представлено редуковану БПНМ, що розглядається, після виконання процесу налаштування параметрів (рис. 3.9):

- R_1 : IF $x = L$ THEN $y = S$,
- R_2 : IF $x = LM \& M$ THEN $y = SM \& M$,
- R_3 : IF $x = MH$ THEN $y = MG$,
- R_4 : IF $x = H$ THEN $y = G$.

З результатів застосування методу редукування БПНМ (рис. 3.9) [65], що базується на об'єднанні ЛТ, модальні значення яких близькі між собою, видно, що зменшення кількості ЛТ не призвело до значної

зміни точності моделі, при цьому кількість правил зменшилось з 5 до 4.

Для моделей з однією вхідною координатою оцінку точності провести набагато простіше, ніж у випадку систем з декількома входами [146].

3.3.3 Метод локальних моделей

В деяких випадках редукування БПНМ здійснюються за рахунок застосування методу локальних моделей [65]. При цьому глобальна модель, що задана на просторі входів X , розбивається на множину локальних моделей, кожна з яких має власну щільність сітки розбиття, пов'язаної з нею ділянки простору входів $X', X' \in X$. Метод локальних моделей застосовується в тих випадках, коли поверхня відображення $Y = F(X)$ має ділянки як з малою, так і з великою крутизною (рис. 3.10).

Ділянка поверхні (рис. 3.10) над сегментом S_2 простору входів X має більшу різницю за висотою нахилу (на 15%) ніж ділянки поверхні над сегментами S_1 та S_3 . Отже, для точного моделювання поверхні над сегментом S_2 знадобиться більша кількість опорних точок [65], що задані нечіткими правилами, ніж над сегментами S_1 та S_3 (рис. 3.11) [165-170].

У випадку, коли щільність нечіткого розбиття вхідного простору X однакова, то для завдання всіх опорних точок необхідно 273 правила (21x13). Однак, існує можливість використання різних за щільністю сіток розбиття вхідного простору. При цьому кількість нечітких правил для завдання опорних точок зменшиться з 273 до 200 (рис. 3.11).

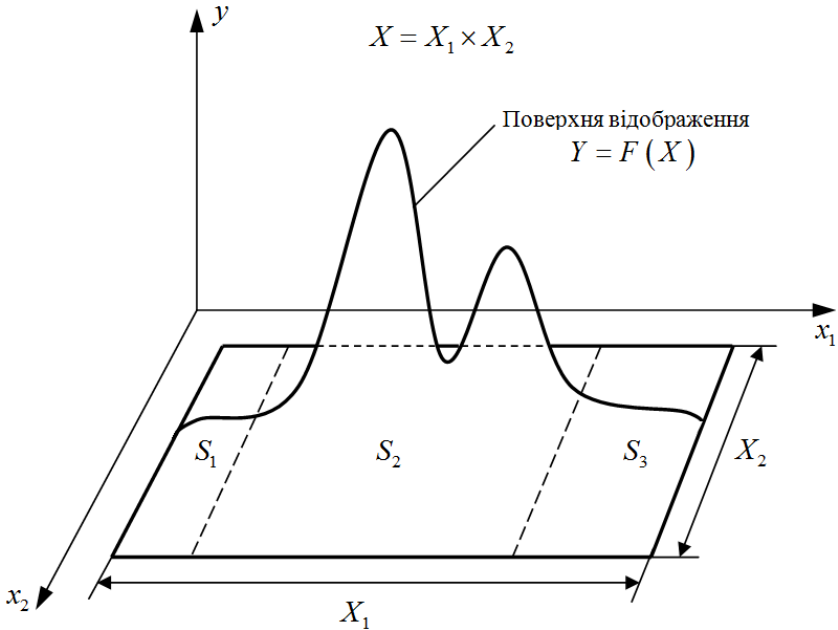


Рис. 3.10. Поверхня системи $Y = F(X)$

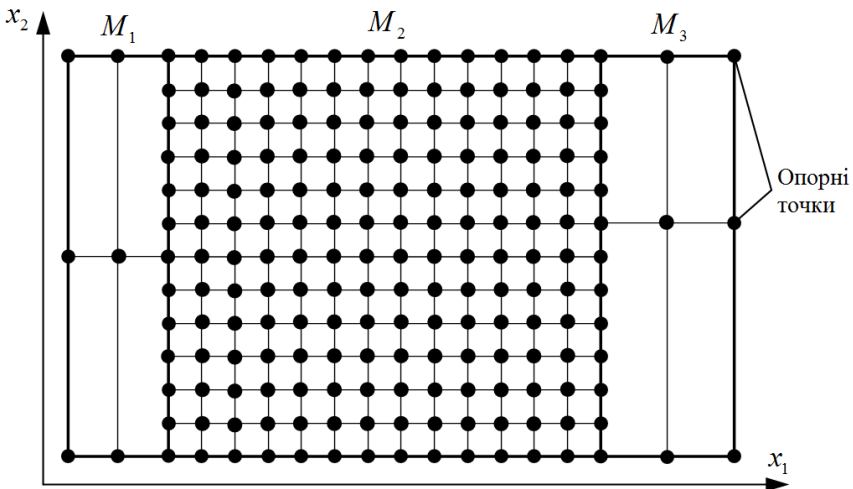


Рис. 3.11. Щільність нечіткого розбиття вхідного простору X для відповідних локальних моделей M_1, M_2, M_3

Одним з ефективних підходів до редукування БПНМ є підхід, що полягає у виявленні несуттєвих параметрів моделі [65,146]. При цьому кількість правил суттєво зменшується, що дозволяє підвищити чутливість системи до змін значень вектора вхідних сигналів. Визначення несуттєвих вхідних показників системи призводить не тільки до редукування структури моделі та налаштування її параметрів, а також і до зменшення часових витрат на отримання інформації щодо вхідних сигналів системи. Існують відомі методи оцінки важливості вхідних показників, серед яких: метод спроб і помилок, метод середніх нечітких кривих [65,77] та метод експертного ранжування. При цьому відповідні методи досить залежні від розмірності вектора вхідних сигналів. При збільшенні кількості входів («кандидатів»), які підлягають розгляду, підвищується складність процесу їх оцінювання [159-164].

Розглянуті методи та підходи, щодо редукування БПНМ, не можна безпосередньо застосовувати для оптимізації нечітких ієрархічних СППР із змінною структурою вектора вхідних даних, що обумовило доцільність подальших досліджень в даному напрямку.

3.4 Автоматична корекція баз правил нечітких СППР з врахуванням особливостей багатокритерійних задач прийняття рішень в АПК

Створення сучасних СППР, що забезпечать вибір оптимальних рішень при розв'язанні задач АПК, є важливою задачею сьогодення. При цьому слід відмітити, що процеси прийняття рішень в задачі вибору моделі функціонування АПК (A1, A2, B, C) характеризуються великою кількістю вхідних параметрів, багатокритерійною структурою, відсутністю в багатьох випадках достатньо повної апріорної інформації [85,86]. Покращення якості прийняття рішень при виборі моделі співпраці здійснюється за рахунок збору консолідованої інформації від учасників АПК, визначення необхідних критеріїв прийняття рішень, вибору методів оцінювання ефективності прийняття рішень в задачі АПК [22,85,86,95,112]. Некоректний вибір моделі співпраці може призвести до матеріально-технічних втрат з обох сторін АПК, а також до нераціональних часових витрат на планування та впровадження обраної моделі.

В процесі прийняття рішень з використанням нечітких ієрархічно-організованих СППР із змінною структурою вектора вхідних координат виникає необхідність розробки ефективних підходів до редукування БПНМ. Необхідність відповідної корекції з врахуванням вхідних координат, які за вибором ЛПР виключено зі складу вектора вхідних координат, виникає при взаємодії ЛПР та СППР в інтерактивних режимах. В таких режимах ЛПР може зменшити розмірність вектора вхідних координат СППР, виключаючи з подальшого розгляду ті координати, значення яких ЛПР не знає або не може достовірно отримати. Наприклад, синтезована СППР ефективно функціонує при 15 вхідних координатах ($N = 15$), але в деяких випадках ЛПР може точно (достовірно) оцінити тільки 11 вхідних сигналів ($N_E = 11$), а інші 4 вхідні сигнали ($N_{NE} = 4$) ЛПР виключає з розгляду, оскільки для них відсутня точна оцінка (not evaluated), $N_E + N_{NE} = N$. При цьому розмірність вектора вхідних координат X зменшується з 15 до 11. В процесі роботи нечіткої СППР з фіксованою структурою баз знань і при змінній структурі вектора вхідних даних ($N_E < N$) результати прийняття рішень y зазнають деформації. Це пов'язано з тим, що значення вхідних координат ($N_{NE} = 4$), які не приймають участі в моделюванні нечіткої СППР і прирівнюються нулю, через відповідні нечіткі правила негативно впливають на результат y .

3.5 Аналіз особливостей інформаційних технологій для корекції баз правил нечітких моделей прийняття рішень

Розглянемо процес редукування БПНМ СППР при змінній структурі вектора вхідних координат на основі розробленого авторами методу двокаскадної корекції нечітких БП (рис. 4.6, 4.7) [37,40,121-123].

Метод базується на запропонованих алгоритмах коригування антецедентів та консеквентів правил і дозволяє виключити з розгляду вхідні сигнали $x_i = NE, i \in \{1, 2, \dots, N\}$, які ЛПР не має можливості попередньо оцінити.

Блок-схема коригування антецедентів правил нечіткої СППР представлена на рис. 3.12, де блоки 1,2 формують інформацію про

підсистему (розмірність вхідних координат та структура правил); блоки 3,4 здійснюють перевірку і автоматично виключають з подальшого розгляду відповідну вихідну координату, якщо значення всіх вхідних координат підсистеми не може оцінити ЛПР; блоки 5-9 здійснюють коригування антецедентів правил на основі аналізу вхідних координат, які ЛПР не має можливості достовірно оцінити; в блоці 10 відбувається формування редукованої БП.

Алгоритм редагування антецедентів (перший каскад) правил нечіткої СППР, проект якого розроблено в обчислювальному середовищі MatLab, складається з наступних кроків:

Крок 1. Вхідною інформацією алгоритму редагування антецедентів правил виступають: інформація про склад та кількість правил підсистеми нечіткої СППР та вектор значень вхідних лінгвістичних змінних [11].

Крок 2. За допомогою вбудованої в Matlab функції `readfis` зчитується структура підсистеми, що була введена на першому кроці [140].

Крок 3. За допомогою функції `getfis` та її параметра `rules` зчитуються правила відповідної підсистеми [140].

Крок 4. Якщо значення всіх вхідних координат підсистеми не цікавлять ЛПР, то вихідна координата підсистеми автоматично виключається з подальшого розгляду.

Крок 5. Виконання циклу обходження кожного значення вектора вхідних змінних: якщо значення вхідної змінної не цікавить ЛПР і не приймає участі в процесі прийняття рішень, то значення лічильника збільшується на одиницю. При цьому запускається ще один цикл обходження всіх правил БП, у ході виконання якого номеру терму, який відповідає номеру нульового значення у векторі вхідних змінних, присвоюється значення нульового сигналу. Заміна номеру терму у БП на нульове значення означає, що цей терм не буде впливати на процес агрегації по відповідним нечітким правилам.

Крок 6. Якщо жодне значення вектора вхідних змінних не містить нульового значення або Крок 5 виконано повністю для всіх нульових значень вектора вхідних змінних, то динамічно створюється нова підсистема зі зміненими антецедентами БП.

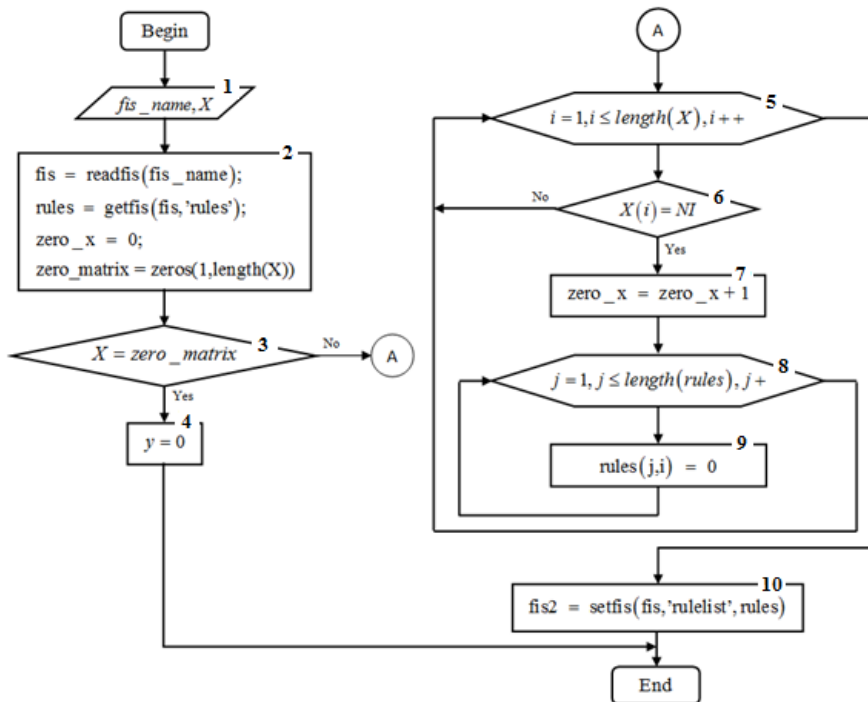


Рис. 3.12. Блок-схема першого каскаду (редукуванняв антецедентів) методу корекції нечітких БП

Розглянемо принцип редагування антецедентів правил на прикладі нечіткої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ з чітко визначеною структурою БП (таблиця 3.3).

При реалізації першого каскаду (рис. 3.12) обробляються всі правила БП (27 правил з таблиці 3.3) першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$. Якщо один із вхідних сигналів (x_1, x_2, x_3) не цікавить ЛПП (not interested – NI) або не має можливості оцінити (not evaluated – NE), наприклад $x_1 = NI$ or NE , то перший каскад редагування антецедентів правил замінить значення термів вхідної координати x_1 на значення нульового сигналу. Оскільки вхідний параметр x_1 не прийматиме участі в процесі прийняття рішень, то значення компонента $x_1 \in \{low, medium, high\}$ його антецеденту також виключається з розгляду.

Таблиця 3.3. БП першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

Номер правила	x_1	x_2	x_3	y_1
1	low	low	low	L
2	low	low	medium	L
3	low	low	high	LM
4	low	medium	low	L
5	low	medium	medium	LM
6	low	medium	high	M
7	low	high	low	LM
8	low	high	medium	M
9	low	high	high	HM
10	medium	low	low	L
11	medium	low	medium	L
12	medium	low	high	LM
13	medium	medium	low	LM
14	medium	medium	medium	M
15	medium	medium	high	HM
16	medium	high	low	M
17	medium	high	medium	HM
18	medium	high	high	H
19	high	low	low	L
20	high	low	medium	LM
21	high	low	high	M
22	high	medium	low	M
23	high	medium	medium	HM
24	high	medium	high	HM
25	high	high	low	HM
26	high	high	medium	H
27	high	high	high	H

При цьому значення $x_2, x_3 \in \{low, medium, high\}$ координат x_2 та x_3 залишаються незмінними у відповідних антецедентах БП з 27 правил (таблиця 3.3). Крім того всі можливі комбінації (повна нечітка модель [65]) антецедентів, що розглянуті в правилах №1-№9, повторюються в правилах №10-№18, №19-№27. Тому, якщо комбінації вхідних значень у відповідних антецедентах повторюються, то залишають

тільки одне правило (комбінацію), що призводить до скорочення БП з 27 (таблиця 3.3) до 9 правил (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4. Скорочена БП першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ при $x_1 = NI$ or NE

Номер правила	x_2	x_3	y_1
1	low	low	L
2	low	medium	L
3	low	high	LM
4	medium	low	L
5	medium	medium	LM
6	medium	high	M
7	high	low	LM
8	high	medium	M
9	high	high	NM

Після корекції антецедентів правил в БП нечіткої СППР необхідно також відредагувати консеквенти правил відповідно до змінених антецедентів. Це необхідно здійснювати, оскільки значення координат, наприклад x_1 , при нульовому значенні $x_1 = 0$ через антецеденти відповідних нечітких правил негативно впливають на результат вихідної змінної y_1 (таблиці 3.3, 3.4). Значення нульового сигналу $x_1 = 0$ відповідає терму «low» в антецеденті кожного з відповідних правил (правила з таблиці 3.3). При цьому проаналізуємо ситуацію, наприклад, коли значення координат x_2 та x_3 відповідають терму «medium» у відповідних антецедентах, а значення консеквенту вихідної величини y_1 відповідатиме терму «LM» (правило №5 з таблиці 3.3). Якщо ж виключити з розгляду антецедент координати x_1 , тобто $x_1 = NI$, то антецедент правила №5 спрощується на одну змінну (таблиця 3.4), а формула правила приймає наступний вигляд

$$\text{IF } x_2 = \text{medium AND } x_3 = \text{medium THEN } y_1 = \text{LM} ,$$

що не відповідає реальному співвідношенню. Значення консеквенту вихідної координати в такій ситуації повинно відповідати терму «M», оскільки вхідні змінні x_2 та x_3 відповідають терму «medium (M)».

Отже, процедура звичайного обнуління вхідної координати $x_1 = 0$ призводить до деформації результатів роботи нечіткої СППР. Від даного недоліку вільним є запропонований авторами метод одночасної двокаскадної корекції антецедентів та консеквентів правил в нечітких БП СППР.

При реалізації другого каскаду (рис. 3.13) методу автоматичної корекції нечітких баз правил інформація про редуковану БП надходить в блок 1; блок 2 перевіряє наявність вхідних сигналів нульового рівня; обробка скорегованих антецедентів правил з обчисленням ступеня їх модифікації здійснюється в блоках 3-7; в блоках 8-16 в залежності від значення ступеня модифікації здійснюється корекція консеквенту з формуванням модифікованого ЛТ; в блоці 17 реалізується механізм нечіткого логічного виведення і на основі скорегованих нечітких правил формується вихідний сигнал відповідної підсистеми.

Запропонований алгоритм (рис. 3.13) редагування консеквентів (другий каскад) правил нечіткої СППР складається з наступних кроків:

Крок 1. Вхідними даними алгоритму виступають: інформація про склад та кількість правил підсистеми, яку створено в процесі виконання попереднього алгоритму редагування антецедентів правил нечіткої СППР, вектор значень вхідних лінгвістичних змінних (X) та матриця видозмінених правил БП (rules) [11,31,40,140].

Крок 2. Виконується цикл обходження матриці видозмінених правил БП: додаються значення антецедентів по кожному правилу нечіткої бази знань (НБЗ); сума ділиться на кількість вхідних значень вектора вхідних змінних, що не дорівнюють нульовому значенню ($divide = length(X) - zero_x$; $result = sum / divide$).

Крок 3. Здійснюється перевірка консеквентів на кількість термів: якщо вона дорівнює трьом, то аналізується результат ділення та на його основі консеквенту відповідного правила присвоюється значення від 1 до 3 (1 – «L», 2 – «M», 3 – «N»). Якщо кількість термів відповідає п'яти, то присвоюється значення від 1 до 5 (1 – «L», 2 – «LM», 3 – «M», 4 – «MN», 5 – «N»).

Крок 4. Після обходження всіх правил в БП та коригування консеквентів розраховується значення вихідного сигналу нечіткої СППР.

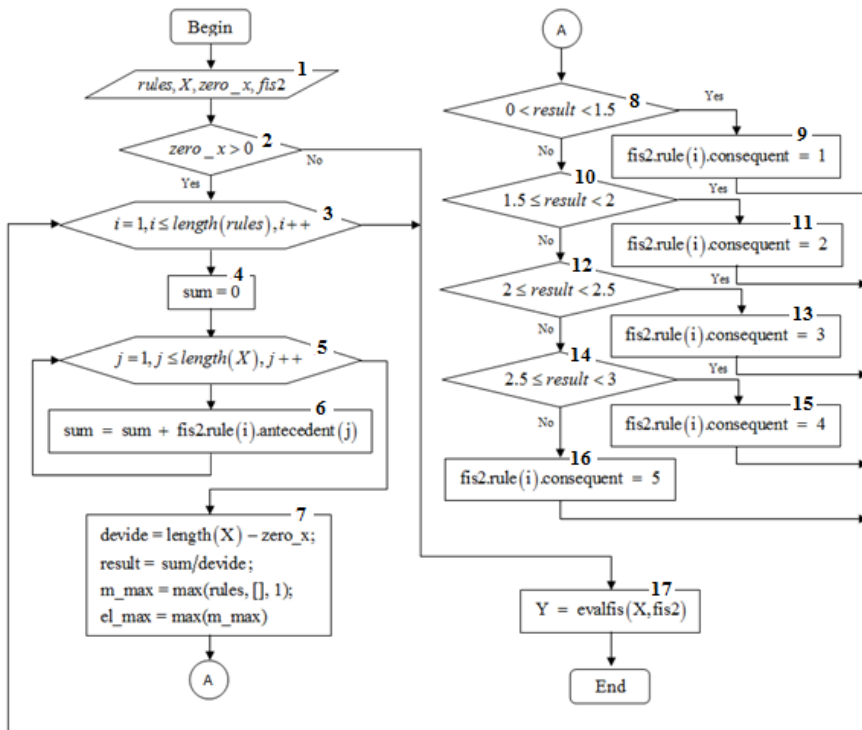


Рис. 3.13. Блок-схема другого каскаду (корегування консеквентів) для реалізації методу автоматичної корекції нечітких БП

Запропонований метод двокаскадного редукування БПНМ СППР у випадку зміни розмірності вектора вхідних координат дозволяє в інтерактивному режимі здійснювати автоматичну корекцію нечітких правил [38-40]. При цьому немає необхідності в безпосередній зміні структури СППР, що забезпечує підвищення ефективності та швидкодії СППР в задачах багатокритерійного прийняття рішень.

3.6 Механізм реалізації методу двокаскадної корекції баз правил нечітких моделей СППР

Механізм реалізації методу двокаскадної корекції баз правил при зміні розмірності вектора вхідних координат нечітких моделей

СППР розглянемо на прикладі першої підсистеми (рис. 3.14) розробленої і представленої в третьому розділі СППР.

При реалізації першого каскаду (рис. 3.12, 3.14) обробляються антецеденти всіх 27 правил (таблиця 3.3) підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$. При цьому одиничний сигнал надходить на інформаційні входи ключів Кл.1, ..., Кл.3. Якщо, наприклад, один вхідний сигнал $x_1 = NE$ не цікавить ЛПР або його неможливо визначити, то замикаються тільки ключі Кл.2 та Кл.3 (ЛПР зацікавлений в координатах x_2, x_3), а на керувальні входи ключів Кл.5 і Кл.6 та на суматор Σ_1 надходять відповідні одиничні сигнали. При цьому замикаються ключі Кл.5 та Кл.6, що забезпечує редукування антецедентів правил (рис. 3.14) шляхом автоматичного виключення всіх складових з вхідною координатою x_1 , оскільки ключ Кл.4 залишається розімкнутим.

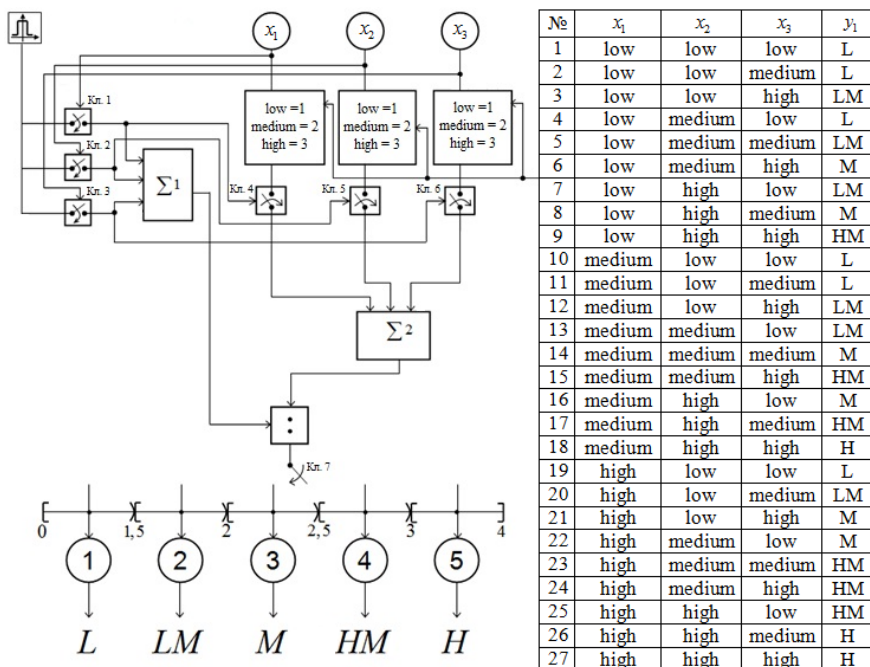


Рис. 3.14. Схема механізму двокаскадної корекції БП підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

До складу модифікованих антецедентів входять лише вхідні координати x_2 та x_3 , оскільки на інформаційні входи ключів Кл.5 та Кл.6 з БП надходить інформація про числові характеристики $\{low = 1, medium = 2, high = 3\}$ відповідних ЛТ в активізованих правилах першої підсистеми СППР. При цьому редукована БП для реалізації модифікованої залежності $y_1 = f_1(x_2, x_3)$ скорочується з 27 до 9 правил.

При реалізації другого каскаду (рис. 3.13, 3.14) здійснюється корекція консеквентів складових y_i вихідної координати y відповідно до редукованої БП, що автоматично формується після реалізації першого каскаду (числові значення $\{low = 1, medium = 2, high = 3\}$ відповідних ЛТ редукованих правил надходять на входи суматора $\sum 2$, рис. 3.14).

Для детальної ілюстрації методу двокаскадної корекції нечітких баз правил СППР розглянемо, наприклад, нечітке правило №5 (рис. 3.14):

$$\text{IF } x_1 = low \text{ AND } x_2 = medium \text{ AND } x_3 = medium \text{ THEN } y_1 = LM. \quad (3.3)$$

В процесі реалізації першого каскаду (рис. 3.12, 3.14) антецедент даного правила (3.3) автоматично корегується і новосформований антецедент трансформується до виду:

$$\text{IF } x_2 = medium \text{ AND } x_3 = medium. \quad (3.4)$$

При реалізації другого каскаду (рис. 3.13, 3.14) шляхом обчислення відношення $U_{aux}(\sum 2)/U_{aux}(\sum 1)$ вихідних сигналів суматорів $\sum 1$ та $\sum 2$ формується оцінка Result:

$$\text{Result} \in \{[0,1.5), [1.5, 2), [2, 2.5), [2.5, 3), [3, 4]\}. \quad (3.5)$$

В залежності від величини сигналу Result (4.5) форма консеквенту за допомогою ключа Кл.7 трансформується до одного з відповідних лінгвістичних термів $LT_{\text{Result}} \subset \{L, LM, M, HM, H\}$, рис. 4.8.

Для правила №5 сигнал $\text{Result} = 2$ і відповідно (рис. 3.14) $\text{Result} \in [2, 2.5)$, що забезпечує автоматичну корекцію консеквенту і модифіковане правило №5 приймає остаточний вигляд:

$$\text{IF } x_2 = medium \text{ AND } x_3 = medium \text{ THEN } y_1 = M. \quad (3.6)$$

Характеристичні поверхні першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ представлено на рис. 3.15.

3.7 Особливості застосування методу двокаскадної корекції баз правил для вибору моделі партнерської співпраці в рамках АПК

Авторами запропоновано один з варіантів ієрархічно-організованої структури СППР St_s для вибору найбільш раціональної моделі співпраці E^* , ($E^* \in E, E = \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$) університетів та ІТ-компаній, яка сформована на основі декомпозиції вектора вхідних координат $X = \{x_j\}, j = 1 \dots 27$ з їх об'єднанням у наступну S -групову комбінацію:

$$X_s = \left\{ \left\{ x_1, x_2, x_3 \right\}, \left\{ x_4, x_5, x_6, x_7 \right\}, \left\{ x_8, x_9, \dots, x_{13} \right\}, \left\{ x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17} \right\}, \left\{ x_{18}, x_{19} \right\}, \left\{ x_{18}, x_{19}, \dots, x_{23} \right\}, \left\{ x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27} \right\} \right\}.$$

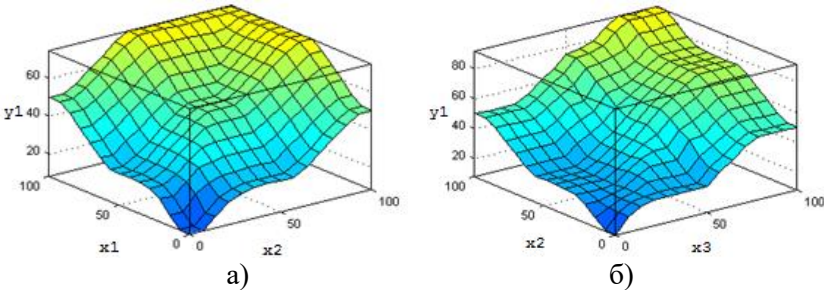


Рис. 3.15. Характеристичні поверхні підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$:
 а) $y_1 = f_1(x_1, x_2); x_3 - const$; б) $y_1 = f_1(x_2, x_3); x_1 - const$

При цьому відповідні підсистеми СППР

$$St_s = \left\{ \begin{array}{l} y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3), y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7), y_3 = f_3(x_8, \dots, x_{13}), \\ y_4 = f_4(x_{14}, \dots, x_{17}), y_5 = f_5(x_6, x_{18}, x_{19}), y_6 = f_6(x_{18}, \dots, x_{23}), \\ y_7 = f_7(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27}), y_8 = f_8(y_1, y_2), y_9 = f_9(y_3, y_4), \\ y_{10} = f_{10}(y_5, y_6), y = f_{11}(y_7, y_8, y_9, y_{10}) \end{array} \right\}$$

реалізують наступні функціональні залежності:

- для першого ієрархічного рівня:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3), y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7), y_3 = f_3(x_8, \dots, x_{13}), y_4 = f_4(x_{14}, \dots, x_{17}),$$

$$y_5 = f_5(x_6, x_{18}, x_{19}), y_6 = f_6(x_{18}, \dots, x_{23}), y_7 = f_7(x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27});$$

– для другого ієрархічного рівня нечіткої СППР:

$$y_8 = f_8(y_1, y_2), y_9 = f_9(y_3, y_4), y_{10} = f_{10}(y_5, y_6);$$

– для третього ієрархічного рівня нечіткої СППР:

$$y = f_{11}(y_7, y_8, y_9, y_{10}).$$

Попередньо сформована БП першої $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ підсистеми нечіткої СППР представлена в таблиці 3.3. При цьому для оцінювання всіх вхідних змінних $\{x_1, x_2, x_3\}$ використовується по 3 лінгвістичні терми (low – “низький”, medium – “середній”, high – “високий”), а для оцінюванн вихідної змінної y_1 – 5 відповідних термів (L – “низький”, LM – “нижче середнього”, M – “середній”, HM – “вище середнього”, H – “високий”).

Проілюструємо реалізацію методу двокаскадної корекції баз правил на різних актуальних наборах даних: I – $y_1 = f_1(x_2, x_3)$; II – $y_1 = f_1(x_3)$; III – $y_1 = f_1(x_1, x_2)$; IV – $y_1 = f_1(x_1)$, що наведені в таблиці 3.5. При цьому актуальні набори даних характеризують різнотипні актуальні ситуації, зокрема, для першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$, які можуть виникати в процесі прийняття рішень [31,40], коли одна (в наборах даних I та III) або навіть дві (в наборах даних II та IV) відповідні вхідні координати не цікавлять ЛПР.

Таблиця 3.5. Вхідна інформація для першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

Координати системи	Актуальні набори вхідних даних			
	I	II	III	IV
x_1	NI	NI	(L,M,H)	(L,M,H)
x_2	(L,M,H)	NI	(L,M,H)	NI
x_3	(L,M,H)	(L,M,H)	NI	NI

Для відповідних актуальних наборів даних (таблиця 3.5) при реалізації першого каскаду корегування правил на основі запропонованого методу двокаскадної корекції база правил першої

підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ (таблиця 3.3) трансформується в редуковану за кількістю правил БП (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6. Редукована БП першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

Набір даних	Функціональні залежності для вихідної змінної y_1	Кількість правил	Номери правил, що залишаються в редукованій БП (таблиця 4.1)
I	$f_1^I(x_2, x_3)$	9	1...9
II	$f_1^{II}(x_3)$	3	1...3
III	$f_1^{III}(x_1, x_2)$	9	1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25
IV	$f_1^{IV}(x_1)$	3	1, 10, 19

На рисунку 3.16 наведена результуюча діаграма корекції консеквентів правил в БП підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ для актуальних наборів даних I – IV (таблиця 3.5), що побудована при реалізації другого каскаду корегування правил на основі запропонованого авторами методу автоматичної двокаскадної корекції баз правил [31,40,121-127].

Проаналізуємо більш детально етап корекції консеквентів правил скорочених БП (рис. 3.16) для різних актуальних наборів даних (таблиці 3.5, 3.6).

При цьому визначення та корекцію консеквентів правил вихідної координати y_1 першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ для актуальних наборів даних I – IV розглянемо на прикладі 3-го правила (рис. 3.16). Для наведеного в таблиці 3.3 третього правила значення антецедентів вхідних координат (x_1, x_2, x_3) та консеквенту вихідної y_1 координати можна представити в наступному вигляді:

$$\text{IF } x_1 = \text{low AND } x_2 = \text{low AND } x_3 = \text{high THEN } y_1 = \text{LM} .$$

Для першої актуальної ситуації (I) в процесі прийняття рішень приймають участь дві вхідні змінні (таблиця 3.6), тобто $y_1 = f_1^I(x_2, x_3)$.

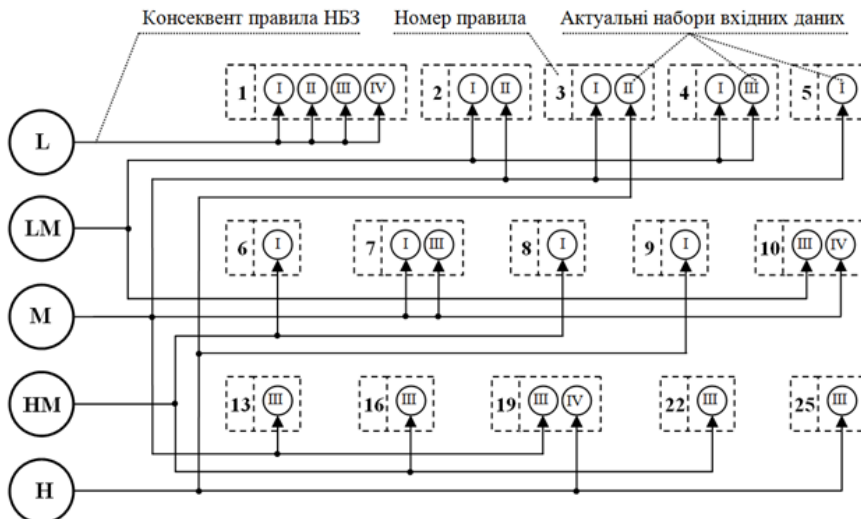


Рис. 3.16. Результуюча діаграма корекції консеквентів правил підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ для актуальних наборів вхідних даних I – IV

В даному випадку в антецеденті 3-го правила координати x_2 відповідає лінгвістичний терм «low», а координаті x_3 – ЛТ «high». При цьому консеквент вихідної змінної y_1 залишається незмінним і відповідає терму «LM» (таблиця 3.3). Дана ситуація (I) потребує також корекції значення консеквенту, оскільки згідно експертного оцінювання при $x_2 = low$ та $x_3 = high$ значення консеквенту вихідної величини y_1 повинно відповідати терму «M». В другій ситуації (II), коли ЛПР зацікавлена лише у вхідному сигналі x_3 , а інші координати x_1, x_2 виключаються з розгляду, оскільки вони є для ЛПР не суттєвими (не важливими), процес корекції значення консеквенту 3-го правила є аналогічним. Скориговане значення консеквенту вихідної координати y_1 відповідає лінгвістичному терму «H». Для третього $y_1 = f_1^{IV}(x_1, x_2)$ та четвертого $y_1 = f_1^V(x_1)$ актуальних наборів даних 3-є правило в БП відсутнє, а отже його консеквент не підлягає корекції [37].

Порівняльний аналіз результатів корекції консеквентів правил (таблиця 3.7) методом двокаскадного редукування БП та на основі

оцінок експертів доводить високий рівень адекватності запропонованого методу.

Таблиця 3.7. Перевірка адекватності запропонованого методу двокаскадного редукування БП на прикладі першої підсистеми $y_1 = f_1(x_2, x_3); x_1 = NE$

№ правила Корекція БП	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Метод двокаскадного редукування БП	L	LM	M	LM	M	HM	M	HM	H
На основі оцінок експертів	L	LM	M	LM	M	HM	M	H	H

При цьому відсоток еквівалентності результатів (при розгляді першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$) у випадку $x_1 = NE$ (таблиця 3.7) складає 88,9%, а у випадку $x_1, x_2 = NE$ - 100% (немає розбіжності по 3 можливим правилам).

РОЗДІЛ 4. АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ

4.1 Інтерфейс та характеристика мов і середовищ програмування для програмної реалізації СППР

На даний час існує можливість проектування та синтезу ієрархічно-організованих СППР на основі нечіткої логіки засобами різноманітних мов та середовищ програмування. Одним з відповідних програмних середовищ є FuzzyTECH [58]. СНЛВ в програмному середовищі FuzzyTECH представляється у вигляді окремого проекту, який зберігається в проектних файлах формату FTL (Fuzzy Technology Language). Даний формат використовують всі сучасні розробники програмних та апаратних рішень, що дозволяє здійснювати перенесення проектів на різні платформи [60].

В програмному середовищі FuzzyTECH існує можливість розробки та синтезу проекту нечіткої СППР як цілісної системи або як сукупності взаємодіючих між собою підсистем (рис. 4.1, рис. 4.2).

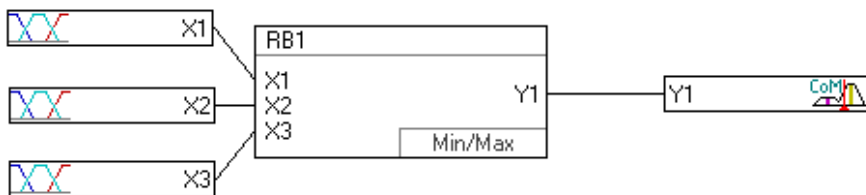


Рис. 4.1. Структура першої $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ підсистеми

Антецеденти правил в середовищі FuzzyTECH генеруються в автоматичному режимі, що скорочує час на створення БП, особливо в тих випадках, коли кількість правил достатньо велика [65].

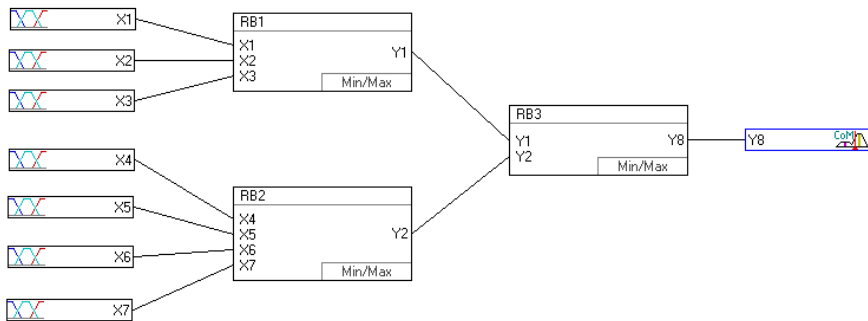


Рис. 4.2. Структура восьмої $y_8 = f_8(y_1, y_2)$ підсистеми та її взаємозв'язок з першою $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ та другою $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6, x_7)$ підсистемами СППР

На рис. 4.3 представлено характеричну поверхню першої $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ підсистеми для двох змінних координат x_1 та x_2 , при цьому $x_3 = const$.

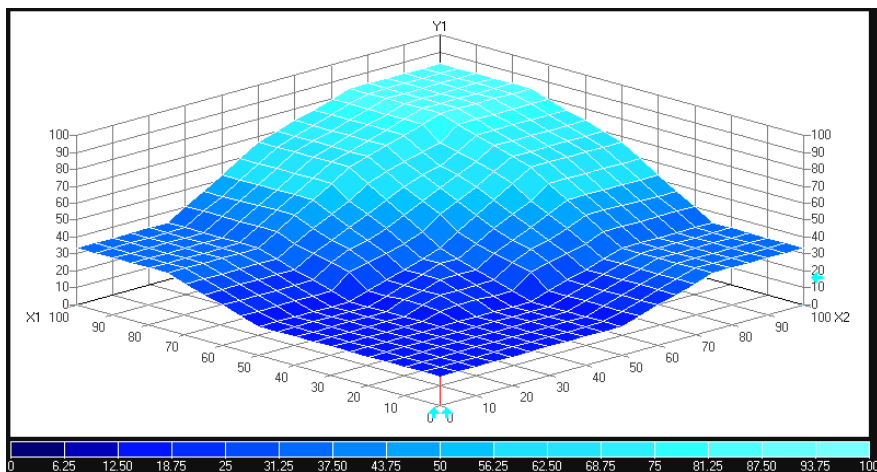


Рис. 4.3. Характеристична поверхня першої $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ підсистеми для двох змінних координат x_1 та x_2

Характеристична поверхня графічно представляє функціональну залежність вихідної лінгвістичної змінної від двох

вхідних лінгвістичних змінних у формі зміни відтінку і насиченості відповідного кольору [58].

На рис. 4.4 представлено один із вбудованих засобів аналізу результатів моделювання, зокрема, аналізатор правил для першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ при $x_1 = 60$, $x_2 = 40$, $x_3 = 15$. Крім того, на рис. 4.4 також представлена БП (RB1) першої підсистеми з вибіркоким набором правил (активізовані правила при заданих вхідних даних x_1, x_2, x_3).

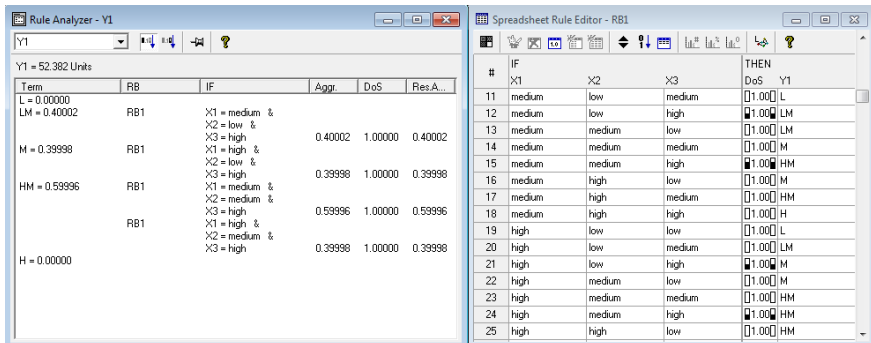


Рис. 4.4. Аналізатор правил першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ з вибіркоким набором правил БП (RB1)

З рис. 4.4 видно, що значення вихідної змінної складає $y_1 = 52,38$ при розрахованих ступенях належності вихідної координати по всім активізованим правилам (правила №12, №15, №21, №24) з 27 можливих із зазначенням результатів агрегації. Так, наприклад, ступінь належності $\mu_{LM}(y_1)$ в правилі №12 (рис. 4.4) розраховується за min-агрегацією:

$$\mu_{LM}(y_1) = \text{MIN}(\mu_{\text{medium}}(x_1), \mu_{\text{low}}(x_2), \mu_{\text{high}}(x_3)) = \text{MIN}(0,6, 0,4, 1) = 0,4.$$

Активізовані правила №15 та №24 мають однакове лінгвістичне значення консеквенту (HM), але різні за значеннями ступені належності (0,59996 та 0,39998). В цьому випадку застосовується додаткова max-агрегація (активізація). Серед двох ступенів належності обирається найбільше, а отже – $\mu_{HM}(y_1) = 0,59996$.

Проект нечіткої ієрархічно-організованої СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК зображено на рисунку 4.5.

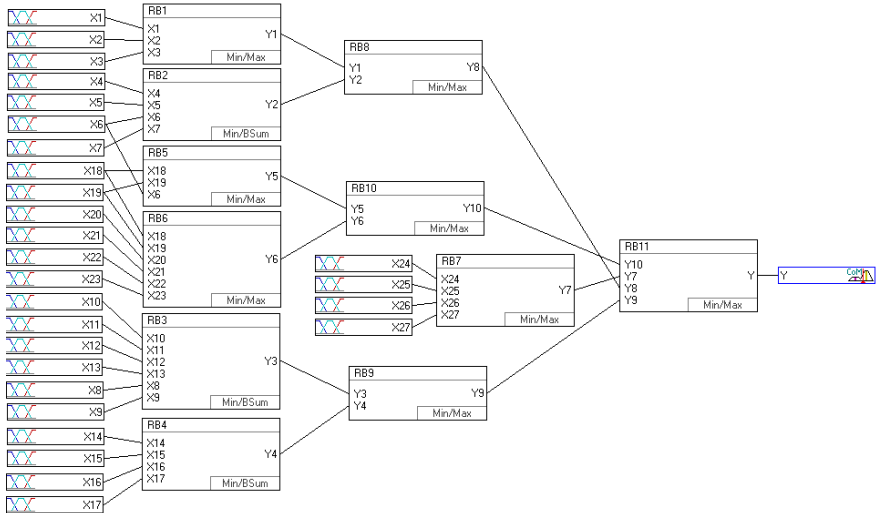


Рис. 4.5. Проект нечіткої СППР $y = f(x_1, x_2, \dots, x_{27})$ для вибору моделі співпраці в рамках АПК

Результати моделювання нечіткої СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК на різнотипних альтернативних варіантах вхідних даних (I, II, III, IV) представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Результати моделювання нечіткої СППР $y = f(x_1, x_2, \dots, x_{27})$

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	...	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	y
I	75	80	10	80	4	85	70	90	30	95	50	...	94	85	33	61	83	82
II	33	90	20	50	8	17	95	80	80	65	95	...	45	94	96	59	94	68
III	60	30	15	90	7	30	60	75	55	37	75	...	92	68	66	85	82	48
IV	50	45	8	47	3	60	60	60	65	45	85	...	56	53	71	50	53	23

З результатів моделювання отримуємо наступні оцінки можливого рівня співпраці в рамках АПК, що відповідають моделям кооперації (A1, A2, B, C):

- 1) для альтернативного варіанту I – 82 бали (модель C);
- 2) для альтернативного варіанту II – 68 балів (B);
- 3) для альтернативного варіанту III – 48 балів (A2);
- 4) для альтернативного варіанту IV – 23 бали (A1).

Результати моделювання (таблиця 4.1) показують, що зміни значень одного чи групи вхідних параметрів (факторів) $\{x_1, x_2, \dots, x_{27}\}$

ієрархічної нечіткої СППР в різній ступені якісно і кількісно впливають на вихідну змінну y , що доводить працездатність системи в цілому та всіх її підсистем з відповідними нечіткими БП [31,40]. Застосування ієрархічного підходу до побудови СППР дозволяє суттєво зменшити об'єм нечітких БП, підвищити наочність системи в цілому, підвищити чутливість системи до впливу вхідних факторів за рахунок одночасного спостереження за вхідними, проміжними і вихідними змінними та БП всіх підсистем.

Недоліком середовища FuzzyTECH є обмеженість вибору мов програмування при генерації програмного коду проекту, а також відсутність графічного середовища розробки інтерфейсів програм.

На відміну від середовища FuzzyTECH, програмно-алгоритмічне середовище *MATLAB* (MATrix LABoratory) є одним з найбільш відомих засобів комп'ютерного та технічного програмування [11,58,69,77]. Середовище *MATLAB*, що складається із спеціалізованих модулів, в т.ч. для нечіткого моделювання, дозволяє виконувати весь комплекс досліджень по розробці і застосуванню нечітких моделей [140].

Нечітке моделювання в середовищі *MATLAB* здійснюється з використанням пакета розширення Fuzzy Logic Toolbox, в якому реалізовані функції нечіткої логіки і нечіткого логічного виведення [58].

Для розробки і подальшого використання систем нечіткого логічного виведення в інтерактивному режимі можуть бути використані наступні графічні засоби, що входять до складу пакету Fuzzy Logic Toolbox [58]:

- редактор СНЛВ (FIS Editor);
- редактор ФН (Membership Function Editor);
- редактор правил (Rule Editor);
- вікно перегляду правил (Rule Viewer);
- вікно перегляду характеристичної поверхні (Surface Viewer).

Редактор FIS володіє графічним інтерфейсом і дозволяє викликати всі інші редактори і підпрограми перегляду СНЛВ. Графічний інтерфейс редактора наділено максимальною зручністю та гнучкістю, яка необхідна для інтерактивної роботи з окремими компонентами СНЛВ [11,69,140].

Розглянемо більш детально процедуру розробки проекту першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ СППР для вибору моделі співпраці в

рамках АПК. У верхній частині інтерфейсу редактора FIS зображується діаграма, що представляє у візуальній формі входи і виходи системи (підсистеми) [11,69].

Редактор ФН дозволяє змінювати форму та кількість ЛТ, їх назву і діапазон зміни.

На рисунку 4.6 представлено ЛТ (L, M, H) для лінгвістичної змінної x_1 першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

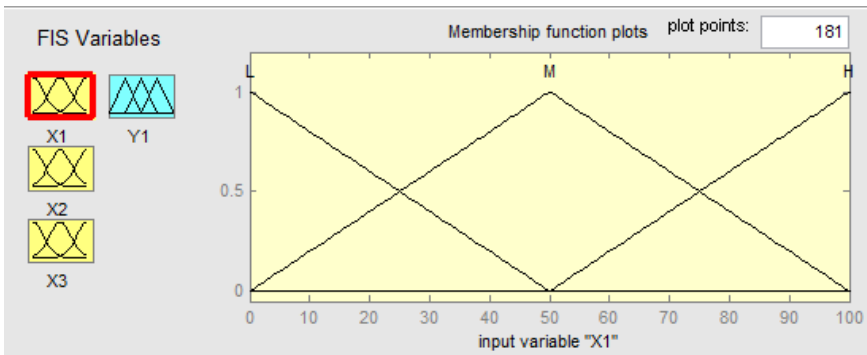


Рис. 4.6. ЛТ для змінної x_1 першої підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

Вікно перегляду результатів моделювання (рис. 4.7) підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ нечіткої СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК дозволяє оцінити вплив кожного правила на вихідну змінну [65]. Середовище MATLAB дозволяє об'єднувати окремі підсистеми в цілісну ієрархічно-організовану систему з можливістю розробки графічного інтерфейсу (рис. 4.8) за допомогою вбудованої мови програмування MATLAB [140].

Крім того, середовище MATLAB (на відміну від FuzzyTECH) дозволяє здійснювати реалізацію методу двокаскадної корекції нечітких БП в СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК за рахунок використання спеціалізованих функцій редагування БП та власної мови програмування.

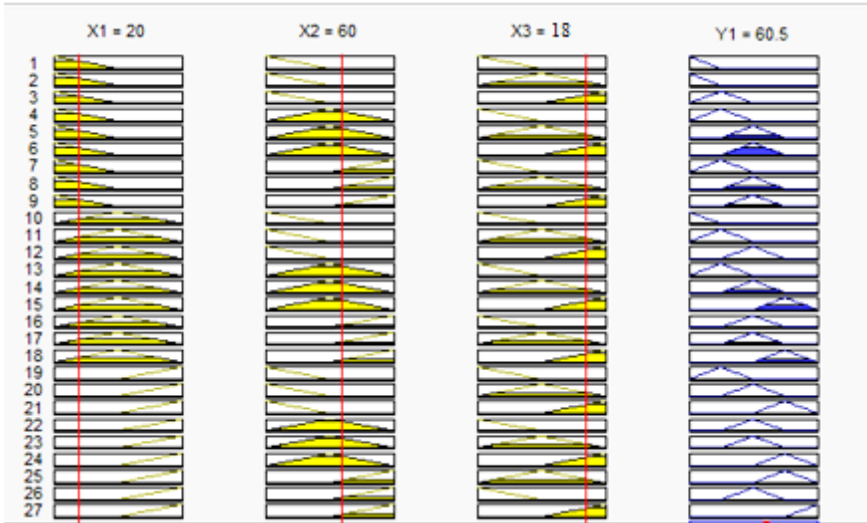


Рис. 4.7. Вікно перегляду результатів моделювання підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

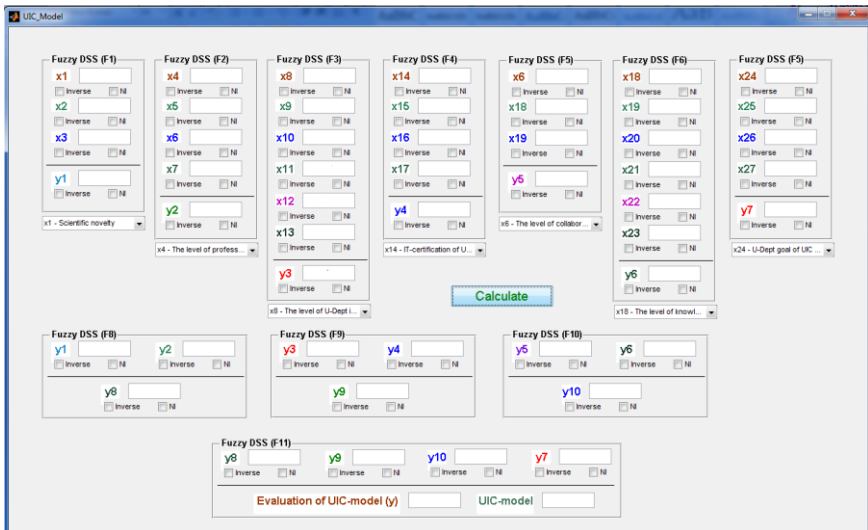


Рис. 4.8. Інтерфейс розробленої ієрархічно-організованої СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК

4.2 Діаграми інформаційної технології розробки ієрархічно-організованої СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК

На основі проведеного аналізу можливостей сучасних засобів проектування [11,58,61,69,92,140] прийнято ряд рішень, які дозволяють раціонально використовувати ресурси та уніфікувати інструментарій розробки СППР для різного кола задач. Однією з необхідних умов ефективного функціонування інформаційної технології для розробки ієрархічно-організованої СППР на нечіткій логіці є розподіл доступу до ресурсів, тобто підтримка необхідного рівня конфіденційності, цілісності та доступності даних. Специфікою відповідної технології є чітко визначені ролі людей, які безпосередньо приймають участь в підготовці та апробації СППР. Таким чином, в інформаційній технології для розробки нечітких СППР повинна бути підтримка двох ролей: користувача (User) та експерта (Expert) з відповідними правами доступу та обов'язками (рис. 4.9).

«Експертом» у відповідній технології створення нечітких ієрархічних СППР виступає людина, яка наділена правами та обов'язками розробки структури СППР, визначення форми та кількості ФН, формування БП. При цьому експерт повинен також вносити зміни до СППР відповідно запитам конкретних клієнтів (користувачів).

«Користувач» наділений правами на введення вхідних даних до сформованої експертом СППР. При цьому він може відправляти запит до експерта на оновлення інформації в СППР.

Діаграма «сутність-зв'язок» (рис. 4.10) представляє собою модель даних верхнього рівня. Вона включає сутності та взаємозв'язки, відображає основні бізнес-правила предметної області [2]. У відповідній діаграмі відображено основні сутності та зв'язки між ними, які відповідають вимогам до СППР.

Діаграма «сутність-зв'язок» може включати зв'язки *багато-до-багатьох* і не включати опис ключів. Як правило, вона використовується для репрезентацій та обговорення структури даних з експертами предметної області.

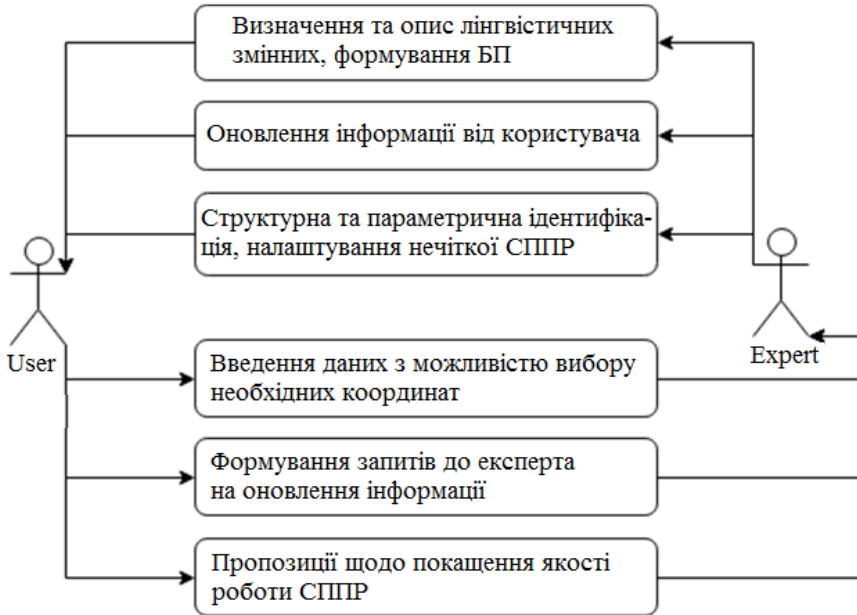


Рис. 4.9. Діаграма діяльностей інформаційної технології для розробки нечіткої СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК

У функціональних моделях відображаються функції, які виконує користувач або експерт. Наприклад, відображення взаємозв'язків між даними і функціями дає можливість описати процес отримання результатів моделювання. Дерево функцій є найбільш широкочисливим серед існуючих типів функціональних моделей [10,13]. На рис. 4.11 та 4.12 зображені дерева функцій відповідно для експерта та користувача інформаційною технологією.

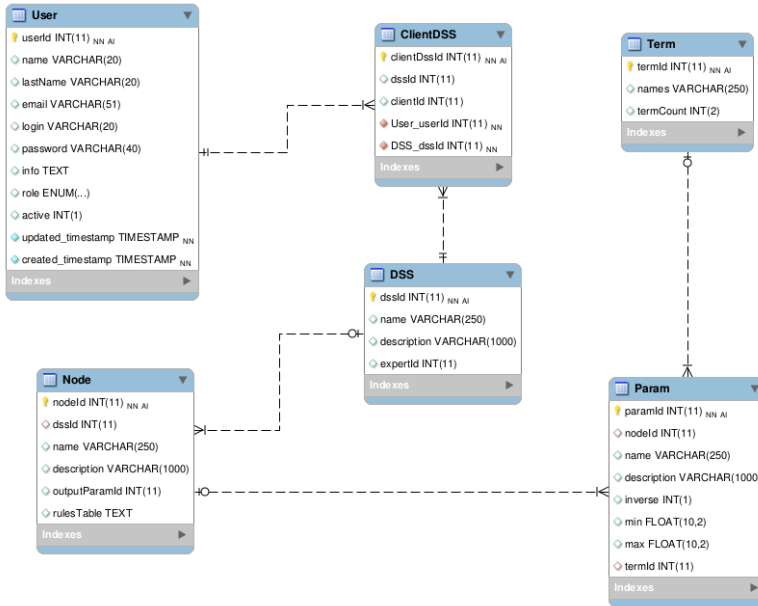


Рис. 4.10. Діаграма «сутність-зв'язок» інформаційної технології для розробки ієрархічно-організованої СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК

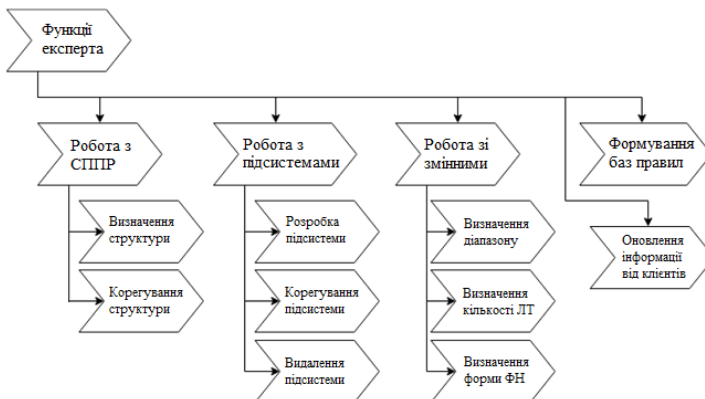


Рис. 4.11. Дерево функцій експерта в інформаційній технології для розробки ієрархічно-організованої СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК



Рис. 4.12. Дерево функцій клієнта в інформаційній технології для розробки ієрархічно-організованої СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК

На рис. 4.13 представлено діаграму переходів між основними та допоміжними функціями експерта та клієнта в інформаційній технології для розробки ієрархічно-організованої СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК.

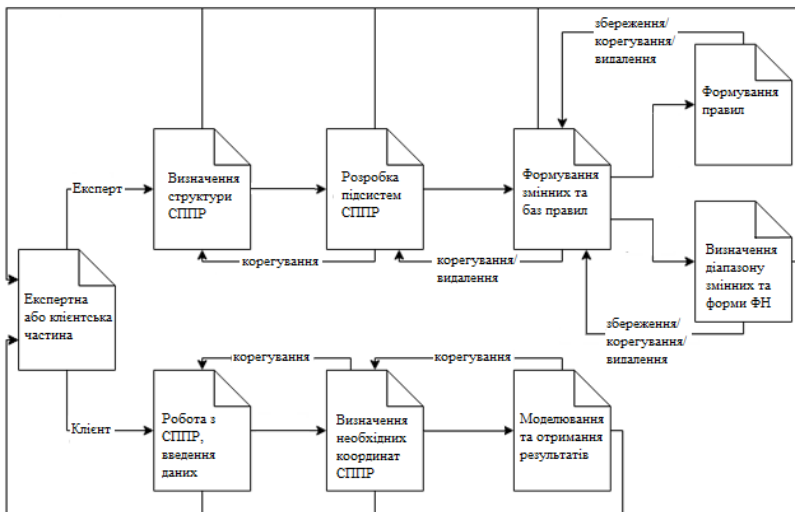


Рис. 4.13. Діаграма переходів експертної/клієнтської частин в інформаційній технології для розробки ієрархічно-організованої СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК

Сформовані діаграми дають можливість менеджерам, розробникам та програмістам краще зрозуміти задачі, функціональні можливості і обмеження інформаційної технології для розробки ієрархічно-організованої СППР.

4.3 Моделювання, тестування та аналіз результатів роботи СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК

Працездатність розробленої ієрархічно-організованої СППР перевірено на різнотипних наборах (I, II, III) вхідних даних, що відповідають можливим ситуаціям (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2. Результати роботи СППР для вибору моделі АПК

	Значення вхідних координат СППР при різнотипних наборах даних (I, II, III)								
	I			II			III		
x_1	25,0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	80,0	80,0	80,0
x_2	30,0	30,0	30,0	60,0	60,0	60,0	95,0	95,0	95,0
x_3	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0
						
x_{15}	35,0	35,0	35,0	65,0	65,0	65,0	95,0	95,0	95,0
x_{16}	30,0	30,0	30,0	60,0	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0
x_{17}	23,0	53,0	83,0	23,0	53,0	83,0	23,0	53,0	83,0
x_{18}	30,0	60,0	90,0	30,0	60,0	90,0	30,0	60,0	90,0
x_{19}	20,0	50,0	80,0	20,0	50,0	80,0	20,0	50,0	80,0
x_{20}	10,0	45,0	80,0	10,0	45,0	80,0	10,0	45,0	80,0
x_{21}	15,0	15,0	15,0	50,0	50,0	50,0	85,0	85,0	85,0
x_{22}	25,0	25,0	25,0	60,0	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0
x_{23}	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0
						
x_{26}	20,0	20,0	20,0	60,0	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0
x_{27}	30,0	30,0	30,0	65,0	65,0	65,0	95,0	95,0	95,0
y	18,5	34,2	45,2	26,3	48,1	66,4	39,2	62,6	89,3

Інтерфейс розробленої нечіткої ієрархічно-організованої СППР для вибору моделі АПК представлено на рис. 4.14, де в якості вхідних даних обрано І набір (таблиця 4.2).

З результатів роботи відповідної СППР при визначеному наборі вхідних даних видно, що найкращою є співпраця університету та відповідної ІТ-компанії за моделлю А2 (рис. 4.14).

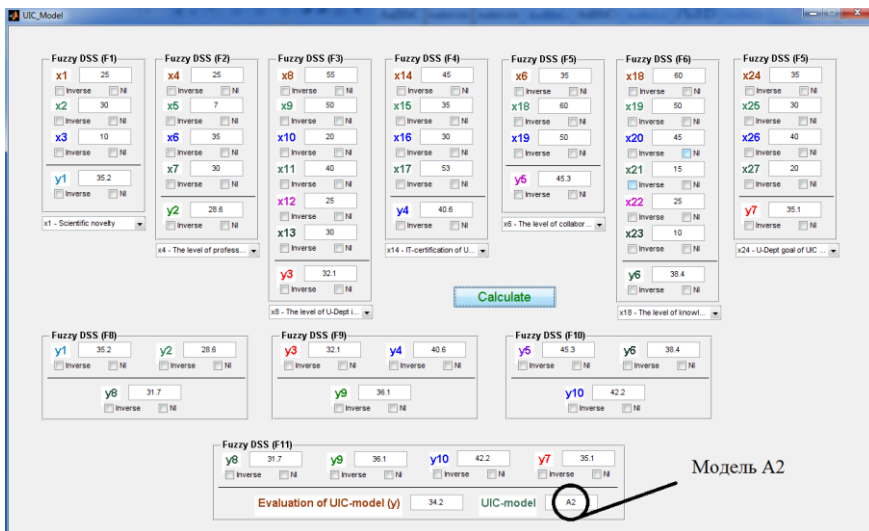


Рис. 4.14. Інтерфейс розробленої ієрархічно-організованої СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК (І набір вхідних даних)

В таблиці 4.3 представлено результати роботи відповідної СППР без/з застосуванням методу двокаскадної корекції нечітких БП. В таблиці 4.3 позначення I_{\downarrow} та I_{\uparrow} відповідають зменшенню та збільшенню значень координат $\{x_3, x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}, x_{23}\}$ при І наборі вхідних даних, а $I(-)$ та $I(+)$ – результатам моделювання для І набору вхідних даних, відповідно, без (рис. 4.15) та з (рис. 4.16) застосуванням методу корекції нечітких БП.

Таблиця 4.3. Результати моделювання СППР для вибору моделі АПК (І набір вхідних даних без/з застосуванням методу корекції нечітких БП)

	x_1	x_2	x_3		x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}		y
I↓	25	30	5		15	35	30	23	30	20	10		18,5 (A1)
I	25	30	10		45	35	30	53	60	50	45		34,2 (A2)
I↑	25	30	15		75	35	30	83	90	80	80		45,2 (A2)
I(-)	25	30	10		0	60	35	0	0	0	0		12,6 (A1)
I(+)	25	30	10		NI	60	35	NI	NI	NI	NI		34,2 (A2)

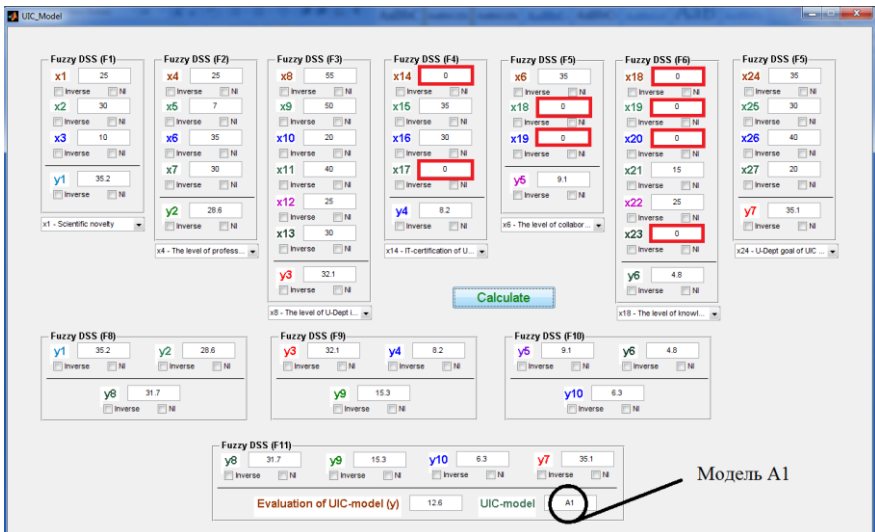


Рис. 4.15. Інтерфейс і результати роботи СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК без застосування методу двокаскадної корекції нечітких БП

У випадку зміни вектора вхідних координат ($\{x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}, x_{23}\} = 0$) без застосування методу двокаскадної корекції нечітких БП (рис. 4.15) СППР зазнає деформації результатів моделювання (таблиця 4.3), що може суттєво вплинути на коректність вибору моделі співпраці в рамках АПК.

В результаті застосування методу двокаскадної корекції нечітких БП для розробленої СППР, результати моделювання не

деформуються, а модель співпраці залишається незмінною (рис. 4.16, таблиця 4.3).

Результати моделювання інтерактивних режимів СППР (таблиця 4.4) для вибору моделі співпраці з різними варіантами вхідних даних для конкретних учасників академічно-промислового консорціуму

I: $X = (x_1, x_2, \dots, x_{27})$;

II: $X = (x_1, x_3, \dots, x_{16}, x_{18}, \dots, x_{27})$;

III: $X = (x_2, x_4, \dots, x_{13}, x_{15}, \dots, x_{17}, x_{20}, \dots, x_{27})$;

IV: $X = (x_1, x_3, \dots, x_{14}, x_{18}, x_{19}, x_{23}, \dots, x_{27})$;

V: $X = (x_1, \dots, x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{21}, x_{22}, x_{24}, \dots, x_{27})$

розмірності вектора вхідних координат X підтверджують ефективність запропонованого методу автоматичної двокаскадної корекції нечітких БП та його інваріантність щодо обмежень на число підсистем та число вхідних змінних СППР, кількість нечітких правил та кількість складових в їх антецедентах, а також на кількість ЛТ для оцінювання вхідних та вихідних координат.

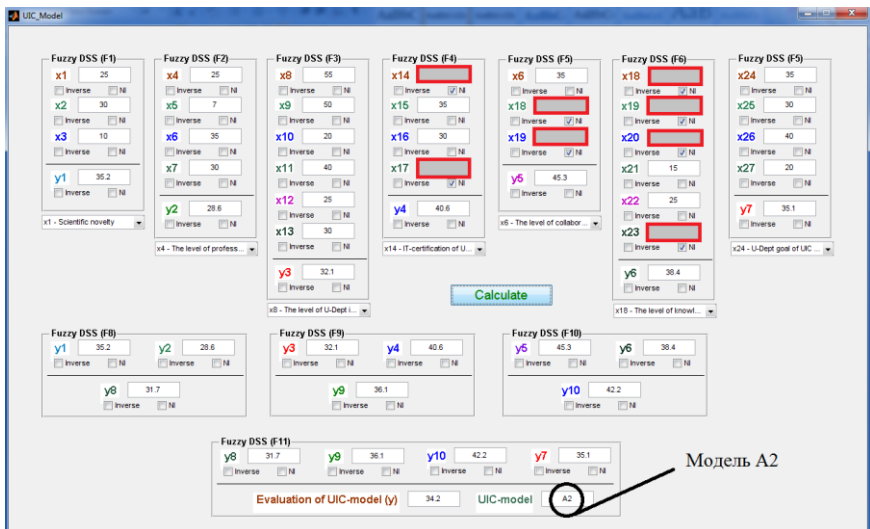


Рис. 4.16. Інтерфейс і результати роботи СППР з вибору моделі співпраці в рамках АПК із застосування методу двокаскадної корекції нечітких БП

Таблиця 4.4. Результати моделювання інтерактивних режимів СППР

	x_1	x_2	x_3		x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}		y
I	25	30	10	.	45	35	30	53	60	50	45	.	34,2 (A2)
II	25	NI	10	.	45	35	30	NI	60	50	45	.	33,6 (A2)
III	NI	30	NI	.	NI	35	30	53	NI	NI	45	.	33,2 (A2)
IV	25	NI	10	.	45	NI	NI	NI	60	50	NI	.	32,7 (A2)
V	25	30	10	.	NI	60	35	NI	NI	NI	NI	.	34,2 (A2)

Порівняльний аналіз результатів моделювання запропонованої СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК при $X = (x_4, x_5, x_6, x_7)$ з СППР на основі методів МАІ та нечіткого МАІ [21,65,72,153] підтверджує високу адекватність (94%) отриманих результатів.

4.4 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу першого типу

Інструментальний засіб першого типу (Додаток А - Додаток Д) призначений для розробки нечітких ієрархічно-організованих СППР з дискретним логічним виведенням, що дозволяє отримати результуючу оцінку у вигляді лінгвістичного терму, який в свою чергу відповідає моделі кооперації (A1, A2, B, C), оскільки для ЛПР це є більш зрозумілий результат.

Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., студентом магістратури Румянковим Д.І.

На рис. 4.17 наведено процедуру формування ЛЗ (назва і тип) та ЛТ (параметрична модель трикутного нечіткого числа). Також можна задати значення змінної

Розділ 4. Алгоритмічно-програмне забезпечення знання-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень для вибору раціональної моделі університетсько-індустріальної кооперації

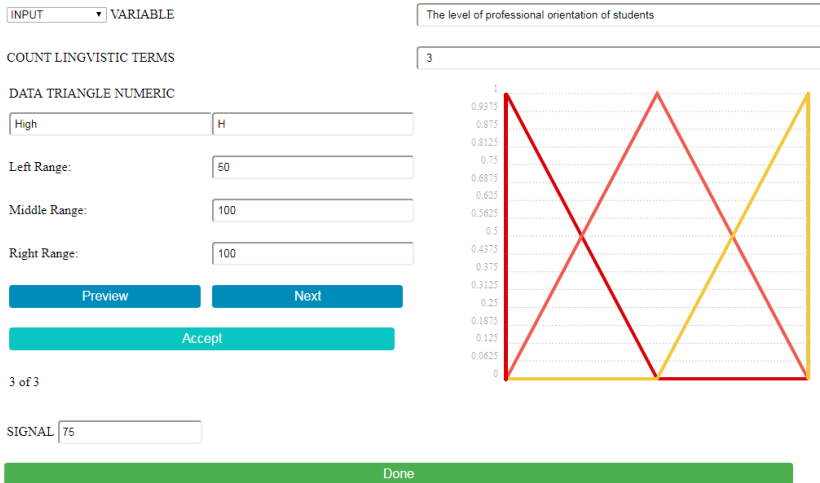


Рис. 4.17. Формування ЛЗ та ЛТ вхідних координат

Для проміжної або вихідної ЛЗ необхідно вказати назви ЛЗ, які є вхідними в рамках даної підсистеми (рис. 4.18).

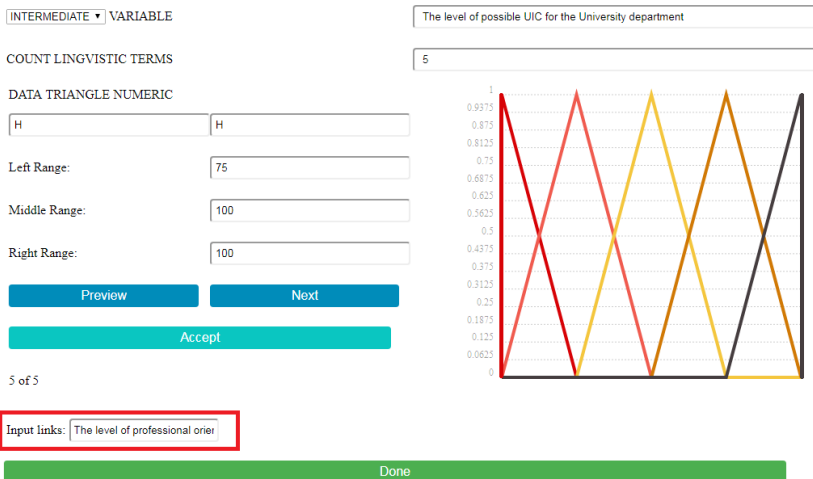


Рис. 4.18. Формування ЛЗ та ЛТ проміжних/вихідної координат

На рис. 4.19 наведено структуру нечіткої СППР для вибору моделі кооперації з використанням відповідного інструментального засобу.

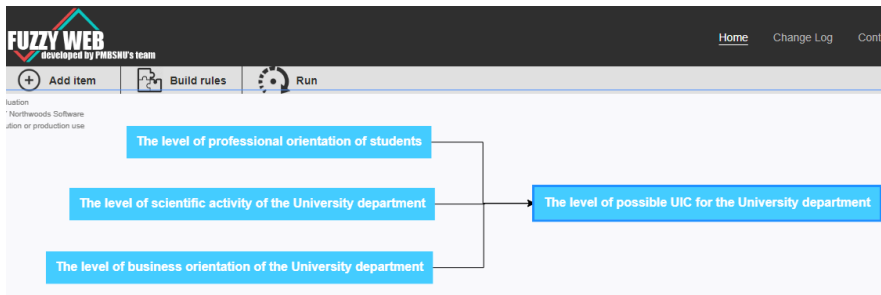


Рис. 4.19. Структура нечіткої СППР для вибору моделі кооперації

На рис. 4.20 відображено процес формування БП, з рисунку видно, що СППР наділена можливістю автоматичної генерації антецедентів, експерт заповнює лише консеквенти правил.

The level of professional orientation of students	The level of scientific activity of the University department	The level of business orientation of the University department	The level of possible UIC for the University department
L	L	L	L ▾
L	L	M	L ▾
L	L	H	LM ▾
L	M	L	LM ▾
L	M	M	LM ▾
L	M	H	M ▾
L	H	L	LM ▾
L	H	M	M ▾
L	H	H	HM ▾
M	L	L	▾
M	L	M	L LM M HM H ▾
M	L	H	▾
M	M	L	▾
M	M	M	▾
M	M	H	▾
M	H	L	▾
M	H	M	▾
M	H	H	▾
H	L	L	▾
H	L	M	▾
H	L	H	▾
H	M	L	▾
H	M	M	▾
H	M	H	▾
H	H	L	▾
H	H	M	▾
H	H	H	▾

Accept

Рис. 4.20. Формування БП нечіткої СППР для вибору моделі кооперації

Результат роботи СППР виводиться в діалоговому вікні.

4.5 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу другого типу

Інструментальний засіб другого типу (Додаток А - Додаток Д) призначений для розробки нечітких ієрархічно-організованих СППР з неперервним логічним виведенням, що дозволяє отримати результуючу оцінку у вигляді чіткої величини, яка в подальшому може бути застосована для аналізу та порівняння з іншими результатами кооперації. Крім того даний інструментальний засіб дозволяє здійснювати корекцію нечітких баз правил в реальному часі при зміні вектора вхідних координат.

Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., студентами магістратури Поліщуком Д.В. та Юріним Д.В.

На рис. 4.21 наведено процедуру формування ЛЗ та ЛТ для всіх типів (вхідна, проміжна, вихідна) координат СППР.

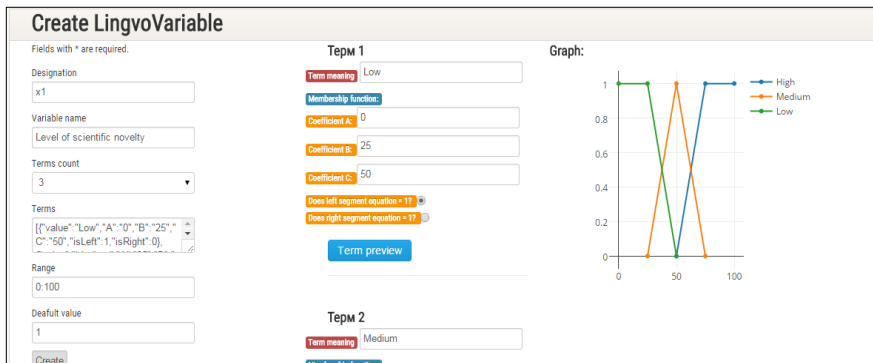


Рис. 4.21. Формування ЛЗ та ЛТ

На рис. 4.22 представлено процедуру створення підсистеми нової підсистеми ієрархічної СППР.

The first screenshot, titled "Creating new subsystem", shows a form with a "Name" field containing "група 1" and an "Inputs count" field containing "3". At the bottom right, there are "Close" and "Save" buttons. The second screenshot, titled "Add variable to subsystem", shows a "Variable name and designation" dropdown menu with the selected option "y1: 'Level of qualification work'". At the bottom right, there are "Close", "Add", and "Create new" buttons.

Рис. 4.22. Створення нової підсистеми нечіткої СППР

Формування нечітких правил представлено на рис. 4.23.

The "Create rule" interface shows a "DSS *" dropdown menu with "Cooperation model" selected and a "Subsystem *" dropdown menu with "1:: Level of qualification work" selected. The "IF:" section contains three conditions: "Level of scientific novelty:" with a dropdown set to "Low", "Compliance for majoring:" with a dropdown set to "Low", and "Practical importance:" with a dropdown set to "Low". The "THEN:" section shows a dropdown menu for "Level of qualification work:" with a list of options: "Low", "Low medium", "Medium", "Medium high", and "High". A "Save" button is located at the bottom left.

Рис. 4.23. Формування бази правил

Ієрархічна структуризація нечіткої СППР з вибору моделі кооперації представлено на рис. 4.24.

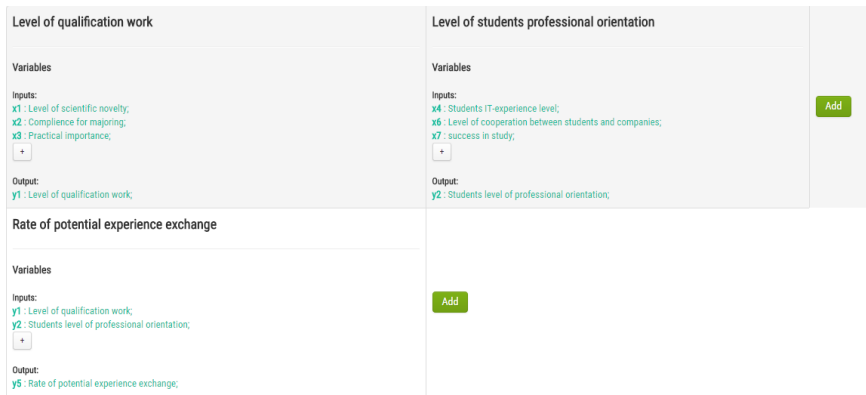


Рис. 4.24. Ієрархічна структуризація нечіткої СППР

4.6 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу третього типу

Інструментальний засіб третього типу (Додаток А - Додаток Д) призначений для розробки нечітких однорівневих СППР з дискретним логічним виведенням. Крім того даний інструментальний засіб дозволяє здійснювати параметричне налаштування системи за рахунок можливого вибору t-норм. Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., студентами магістратури Бавікіним С.С., Поліщуком Д.В. та Юріним Д.В., студентом бакалаврату Румянковим Д.І.

4.6.1 Опис WEB-додатку

Для визначення модель-орієнтованої системи оцінки кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією було розроблено WEB-додаток "Educampus".

WEB-додаток розроблений із використанням наступних інструментів для створення і розгортання web-орієнтовних продуктів.

Фреймворк VueJS.

Відповідний фреймворк відносять до JavaScript-фреймворків, що використовує шаблон MVVM для створення інтерфейсів користувача на основі моделей даних, через реактивне зв'язування даних.

Формуємо лінгвістичні змінні для 1 підсистеми (рис. 4.25, 4.26).

рівень наукової новизни проєктів 1

Ім'я: рівень наукової новизни проєктів

Змінна: x1

Характеристичні показники:

Атрибут: L	a: 0	b: 0	c: 50	-
Атрибут: M	a: 0	b: 50	c: 100	-
Атрибут: H	a: 50	b: 100	c: 100	-

Новий характеристичний показник Видалити модель

практична значимість проєктів 2

Ім'я: практична значимість проєктів

Змінна: x2

Характеристичні показники:

Атрибут: L	a: 0	b: 0	c: 50	-
Атрибут: M	a: 0	b: 50	c: 100	-
Атрибут: H	a: 50	b: 100	c: 100	-

Новий характеристичний показник Видалити модель

Рис. 4.25. Формування вхідних змінних СППР

Розділ 4. Алгоритмічно-програмне забезпечення знання-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень для вибору раціональної моделі університетсько-індустріальної кооперації

Ім'я:	відповідність напрямку підготовки							
Змінна:	x3							
Характеристичні показники:								
Атрибут:	<input type="text" value="L"/>	a:	<input type="text" value="0"/>	b:	<input type="text" value="0"/>	e:	<input type="text" value="10"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут:	<input type="text" value="M"/>	a:	<input type="text" value="0"/>	b:	<input type="text" value="10"/>	e:	<input type="text" value="20"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут:	<input type="text" value="H"/>	a:	<input type="text" value="10"/>	b:	<input type="text" value="20"/>	e:	<input type="text" value="20"/>	<input type="button" value="-"/>
<input type="button" value="Новий характеристичний показник"/>			<input type="button" value="Видалити модель"/>					

оцінка рівня дипломної/магістерської роботи							Результат	
Ім'я:	оцінка рівня дипломної/магістерської роботи							
Змінна:	y							
Характеристичні показники:								
Атрибут:	<input type="text" value="L"/>	a:	<input type="text" value="0"/>	b:	<input type="text" value="0"/>	c:	<input type="text" value="35"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут:	<input type="text" value="LM"/>	a:	<input type="text" value="0"/>	b:	<input type="text" value="35"/>	c:	<input type="text" value="50"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут:	<input type="text" value="M"/>	a:	<input type="text" value="35"/>	b:	<input type="text" value="50"/>	c:	<input type="text" value="50"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут:	<input type="text" value="HM"/>	a:	<input type="text" value="35"/>	b:	<input type="text" value="50"/>	c:	<input type="text" value="100"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут:	<input type="text" value="H"/>	a:	<input type="text" value="50"/>	b:	<input type="text" value="100"/>	c:	<input type="text" value="100"/>	<input type="button" value="-"/>

Рис. 4.26. Формування вихідної змінної СППР

Формуємо базу знань для першої підсистеми (рис. 4.27).

База знань					
1	x1: L	x2: L	x3: L	y: L	-
2	x1: L	x2: L	x3: M	y: L	-
3	x1: L	x2: L	x3: H	y: LM	-
4	x1: L	x2: M	x3: L	y: L	-
5	x1: L	x2: M	x3: M	y: LM	-
6	x1: L	x2: M	x3: H	y: M	-
7	x1: L	x2: H	x3: L	y: LM	-
8	x1: L	x2: H	x3: M	y: M	-
9	x1: L	x2: H	x3: H	y: HM	-
10	x1: M	x2: L	x3: L	y: L	-
11	x1: M	x2: L	x3: M	y: L	-
12	x1: M	x2: L	x3: H	y: LM	-

Рис. 4.27. Формування бази знань СППР

На основі сформованої бази знань формується відповідна база правил (рис. 4.28).

Матриця знань	
	Для L:
1	x1:L x2:L x3:L
2	x1:L x2:L x3:M
4	x1:L x2:M x3:L
10	x1:M x2:L x3:L
11	x1:M x2:L x3:M
	Для LM:
3	x1:L x2:L x3:H
5	x1:L x2:M x3:M
7	x1:L x2:H x3:L
9	x1:L x2:H x3:H
12	x1:M x2:L x3:H
	Для M:
6	x1:L x2:M x3:H

Рис. 4.28. База знань для першої підсистеми СППР

Вводимо вхідні параметри і натискаємо кнопку "Розпочати" і отримуємо результат виконання додатку відносно першої підсистеми.

Бачимо, що з введеними значеннями лінгвістичних змінних оптимальний варіант - M (medium) (рис. 4.29).

Розділ 4. Алгоритмічно-програмне забезпечення знання-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень для вибору раціональної моделі університетсько-індустріальної кооперації

Введіть ваші вхідні параметри:

x1 x2 x3

$$M_{\perp}(15, 60, 80) = (0.7 \cdot 0.0 \cdot 0.4)^2 \cdot (0.7 \cdot 0.0 \cdot 0.4) \cdot (0.7 \cdot 0.8 \cdot 0.0)^2 \cdot (0.3 \cdot 0.0 \cdot 0.0)^2 \cdot (0.3 \cdot 0.0 \cdot 0.4)^2 \cdot (0.0 \cdot 0.0 \cdot 0) = 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 = 0$$

$$M_{\cup}(15, 60, 80) = (0.7 \cdot 0.0 \cdot 0.6)^2 \cdot (0.7 \cdot 0.8 \cdot 0.4)^2 \cdot (0.7 \cdot 0.2 \cdot 0.0)^2 \cdot (0.3 \cdot 0.0 \cdot 0.6)^2 \cdot (0.3 \cdot 0.8 \cdot 0.0)^2 \cdot (0.3 \cdot 0.0 \cdot 0.4) = 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0.3 = 0.4$$

$$M_{\cap}(15, 60, 80) = (0.7 \cdot 0.8 \cdot 0.6)^2 \cdot (0.7 \cdot 0.2 \cdot 0.4)^2 \cdot (0.7 \cdot 0.2 \cdot 0.6)^2 \cdot (0.3 \cdot 0.8 \cdot 0.6)^2 \cdot (0.3 \cdot 0.2 \cdot 0.0)^2 \cdot (0.3 \cdot 0.2 \cdot 0.4) = 0.6 \cdot 0.2 \cdot 0.2 \cdot 0.3 \cdot 0 \cdot 0.2 = 0.6$$

$$M_{\cap}(15, 60, 80) = (0.3 \cdot 0.2 \cdot 0.6)^2 \cdot (0.0 \cdot 0.2 \cdot 0.3)^2 \cdot (0.0 \cdot 0.2 \cdot 0.6) = 0.2 \cdot 0 \cdot 0 = 0.1$$

$$M_{\cap}(15, 60, 80) = (0.3 \cdot 0.2 \cdot 0.6)^2 \cdot (0.0 \cdot 0.2 \cdot 0.4)^2 \cdot (0.0 \cdot 0.2 \cdot 0.6) = 0.2 \cdot 0 \cdot 0 = 0.2$$

Результат: 0.6

Результат роботи першою підсистемою: M

Рис. 4.29. Результат роботи першої підсистеми

За таким же принципом вводимо значення для другої підсистеми (рис. 4.30, 4.31).

Рівень ІТ досвіду студентів

Ім'я:

Змінна:

Характеристичні показники:

Атрибут: L	a: <input type="text" value="0"/>	b: <input type="text" value="0"/>	c: <input type="text" value="50"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут: M	a: <input type="text" value="0"/>	b: <input type="text" value="50"/>	c: <input type="text" value="100"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут: H	a: <input type="text" value="50"/>	b: <input type="text" value="100"/>	c: <input type="text" value="100"/>	<input type="button" value="-"/>

Графік

участь студентів у програмах обміну

Ім'я:

Змінна:

Характеристичні показники:

Атрибут: L	a: <input type="text" value="0"/>	b: <input type="text" value="0"/>	c: <input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут: M	a: <input type="text" value="0"/>	b: <input type="text" value="4"/>	c: <input type="text" value="8"/>	<input type="button" value="-"/>
Атрибут: H	a: <input type="text" value="4"/>	b: <input type="text" value="8"/>	c: <input type="text" value="8"/>	<input type="button" value="-"/>

Рис. 4.30. Вхідні лінгвістичні змінні другої підсистеми

Розділ 4. Алгоритмічно-програмне забезпечення знання-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень для вибору раціональної моделі університетсько-індустріальної кооперації

успішність в навчанні
4

Ім'я: успішність в навчанні

Змінна: x4

Характеристичні показники:

Атрибут:	L	a:	60	b:	60	c:	100	-
Атрибут:	M	a:	60	b:	80	c:	100	-
Атрибут:	H	a:	80	b:	100	c:	100	-

Новий характеристичний показник

Видалити модель

рівень професійної орієнтації студентів
Результат

Ім'я: рівень професійної орієнтації студентів

Змінна: y2

Характеристичні показники:

Атрибут:	L	a:	0	b:	0	c:	35	-
Атрибут:	LM	a:	0	b:	35	c:	70	-
Атрибут:	M	a:	35	b:	70	c:	100	-
Атрибут:	H	a:	70	b:	100	c:	100	-

Новий характеристичний показник

Рис. 4.31. Вихідна лінгвістична змінні другої підсистеми

Заповнюємо базу знань, на її основі будується матриця знань і рахуємо вихідне значення для підсистеми. Ця операція проводиться з кожною із підсистем, вхідними даними на останню підсистему будуть значення вихідних даних 5 і 6 підсистеми, тобто y_5, y_6 (рис. 4.32).

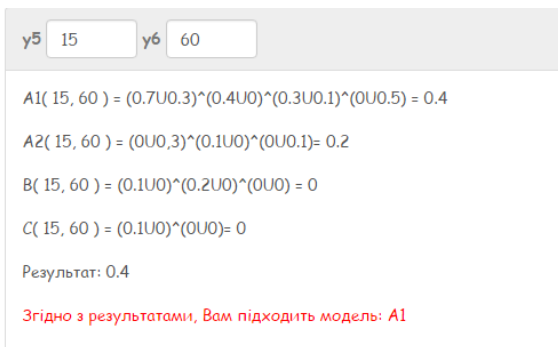


Рис. 4.32. Результат роботи додатку

Після виконання розрахунків останньої підсистеми, ЛПП може побачити результат у вигляді оптимальної моделі співпраці кафедри університету і ІТ-компанії. Це модель - A1 (Освіта та навчання).

4.7 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу четвертого типу

Інструментальний засіб четвертого типу призначений для розробки нечітких ієрархічно-організованих СППР з дискретним логічним виведенням, що дозволяє отримати результуючу оцінку у вигляді лінгвістичного терму, який в свою чергу відповідає моделі кооперації (A1, A2, B, C), оскільки для ЛПП це є більш зрозумілий результат.

Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., аспірантом Топаловим А.М., студентом бакалаврату Шурбіним О.А.

4.7.1 Методологія формування IDEF0-діаграми

Методологія функціонального моделювання IDEF0 – це технологія опису системи в цілому як великої кількості взаємозалежних дій, або функцій. Важливо відзначити функціональну спрямованість IDEF0 – функції системи досліджуються незалежно від об'єктів, які забезпечують їх виконання. Функціональна точка зору

дозволяє чітко відокремити аспекти призначення системи від аспектів її фізичної реалізації [33, 43].

Найчастіше IDEF0 застосовується як технологія дослідження і проектування систем на концептуальному рівні. З цієї причини він як правило, використовується на ранніх етапах розробки проекту.

Результати IDEF0-аналізу можуть застосовуватися при проведенні проектування з використанням моделей IDEF3 і діаграм потоків даних.

IDEF0 поєднує в собі невелику за об'ємом графічну нотацію із конкретними і чітко визначеними рекомендаціями, в сукупності призначеними для побудови якісної і зрозумілої моделі системи.

Виходячи із зазначених принципів побудови IDEF0-діаграм було визначено ключові елементи, на які треба звернути увагу при проектуванні власної СППР з нечітким логічним виведенням та побудовано функціональну модель (рис. 4.33).

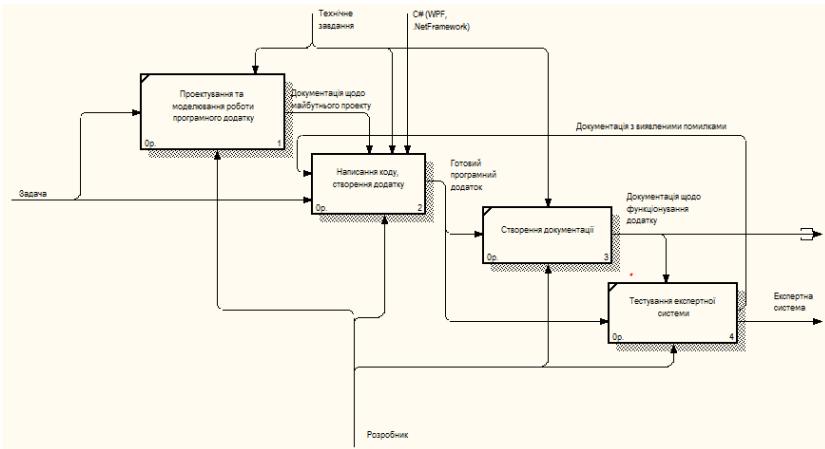


Рис. 4.33. IDEF0-діаграма процесу проектування власної СППР з нечітким логічним виведенням

4.7.2 Методологія формування IDEF3-діаграми

IDEF3 – технологія збору даних, необхідних для проведення структурного аналізу системи, яка доповнює технологію IDEF0. За допомогою цієї технології є можливість уточнити картину процесу, залучаючи увагу аналітика до черговості виконання функцій і бізнес-процесів в цілому [46].

IDEF3 – спосіб опису процесів, основною метою якого є забезпечення структурованого методу, використовуючи який експерт в предметній області може описати стан речей як упорядковану послідовність подій із одночасним описом об'єктів, які мають безпосереднє відношення до процесу [46].

Технологія IDEF3 добре пристосована для збору даних, які потрібні для проведення структурного аналізу системи. На відміну від більшості технологій моделювання бізнес-процесів, IDEF3 не має жорстких синтаксичних або семантичних обмежень, які роблять незручним опис неповних або нецілісних систем. Крім того, автор моделі (системний аналітик) позбавлений від необхідності змішувати свої власні припущення про функціонування системи.

В ході дослідження основних властивостей IDEF3-діаграм, було визначено основні структурні компоненти, які необхідні для створення моделі СППР з нечітким логічним висновком. На рис. 4.34 наведено IDEF3-діаграму процесу створення системи нечіткого виводу.

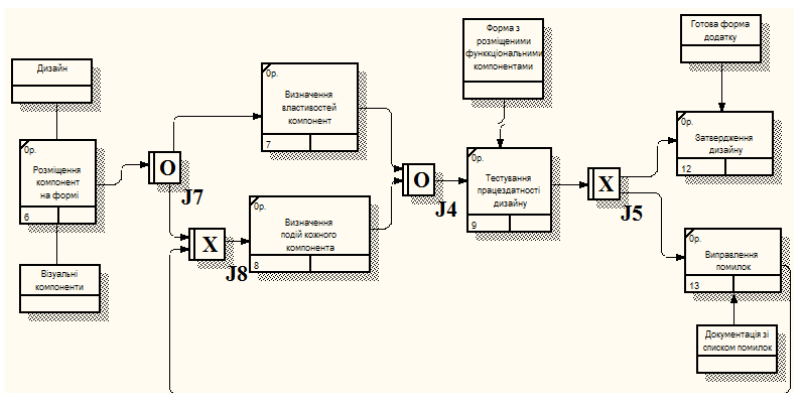


Рис. 4.34. IDEF3-діаграма процесу створення СППР з нечітким логічним виведенням

4.7.3 Методологія формування DFD-діаграми

Так само, як і діаграми IDEF0, діаграми потоків даних моделюють систему як набір дій, з'єднаних одна з одною стрілками. Діаграми потоків даних також можуть містити два нових типів об'єктів: об'єкти, які збирають і зберігають інформацію – сховища даних і зовнішні сутності – об'єкти, які взаємодіють з тими частинами системи (або іншими системами), які виходять за границі моделювання.

Стрілки в DFD показують, як об'єкти з даними реально переміщуються від однієї дії або об'єкта до іншої дії або об'єкта. Це представлення потоку разом зі сховищами даних і зовнішніми сутностями забезпечує відображення в DFD-моделях таких фізичних характеристик системи, як рух об'єктів, зберігання об'єктів, джерела і споживачі об'єктів.

В результаті дослідження DFD-діаграм було розроблено та побудовано функціональну модель процесу тестування розробленої СППР з нечітким логічним виведенням (рис. 4.35).

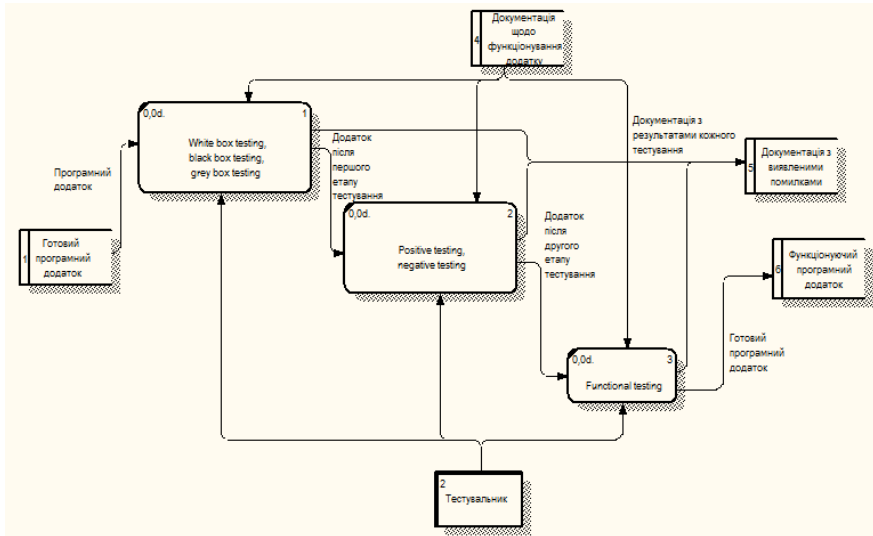


Рис. 4.35. DFD-діаграма тестування СППР з нечітким логічним виведенням

4.7.4 Особливості застосування мови програмування C# і .NET Framework

C# - об'єктно-орієнтована мова програмування. Розроблено в 1998-2001 роках групою інженерів під керівництвом Андерса Хейлсберг в компанії Microsoft як мова розробки додатків для платформи Microsoft .NET Framework [1].

У мові C# перевірені часом засоби вдосконалені за допомогою найсучасніших технологій. C# надає дуже зручний і ефективний спосіб написання програм для сучасного середовища обчислювальної обробки даних, яка включає операційну систему Windows, Internet, компоненти та ін. В процесі становлення C# перевизначив весь "ландшафт" програмування.

C# відноситься до сім'ї мов з C-подібним синтаксисом. Мова має статичну типізацію, підтримує поліморфізм, перевантаження операторів (в тому числі операторів явного і неявного приведення типу), делегати, атрибути, події, властивості, узагальнені типи і методи, ітератори, анонімні функції з підтримкою замикань, LINQ, виключення, коментарі у форматі XML [15].

Незважаючи на те, що C# - самодостатня мова програмування, вона тісно пов'язана з середовищем .NET Framework. І на це є дві причини. По-перше, C# від самого початку був розроблений компанією Microsoft для створення коду, що виконується в середовищі .NET Framework. По-друге, в цьому середовищі визначені бібліотеки, що використовуються мовою C#. І хоча можна відокремити C# від .NET Framework, ці два середовища тісно пов'язані [1].

Середовище .NET Framework.

Оболонка .NET Framework визначає середовище для розробки і виконання сильно розподілених додатків, що засновані на використанні компонентних об'єктів. Вона дозволяє "мирно співіснувати" різним мовам програмування і забезпечує безпеку, перенесення програм і загальну модель програмування для платформи Windows. Важливо при цьому розуміти, що .NET Framework за своєю сутністю не обмежена застосуванням в Windows, тобто програми, що написані для неї, можна потім переносити в середовища, відмінні від Windows [1].

Зв'язок середовища .NET Framework з C# обумовлено наявністю двох дуже важливих засобів. Одне з них, Common Language Runtime

(CLR), являє собою систему, яка керує виконанням призначених для користувача програм. CLR - це складова частина .NET Framework, яка робить програми переносимими, підтримує багатомовне програмування і забезпечує безпеку.

Другий засіб, бібліотека класів .NET, надає програмам доступ до середовища виконання. Якщо програма обмежується використанням засобів, що визначені .NET-бібліотекою класів, вона може виконуватися в будь-якому середовищі, де підтримується .NET-система. Оскільки С # автоматично використовує .NET-бібліотеку класів, С #-програми автоматично переносяться в усі .NET-середовища [15].

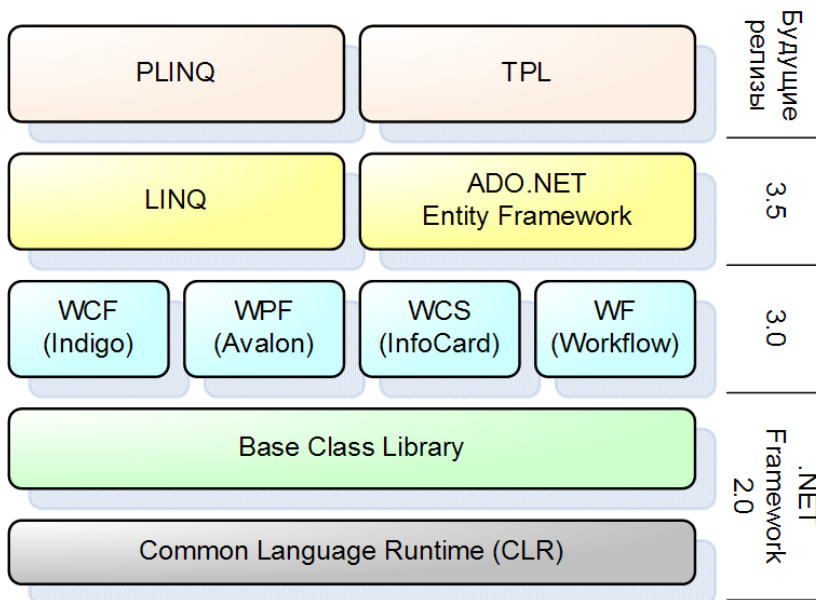


Рис. 4.36. Місце WPF у системі .NET Framework

Windows Presentation Foundation ma XAML.

Windows Presentation Foundation (WPF) - система для побудови клієнтських додатків Windows з візуально привабливими можливостями взаємодії з користувачем, графічна підсистема у складі .NET Framework (починаючи з версії 3.0), яка використовує мову XAML [1].

WPF встановлена в Windows Vista, Windows 7, Windows 8, Windows 8.1. За допомогою WPF можна створювати широкий спектр як автономних додатків, так і тих, що запускаються в браузері. На рис. 4.36 зображено загальне місце WPF в системі .NET Framework.

В основі WPF лежить векторна система візуалізації, яка не залежить від дозволу пристрою виведення і створена з урахуванням можливостей сучасного графічного обладнання. WPF надає ресурси для створення візуального інтерфейсу, включаючи мову XAML (eXtensible Application Markup Language), елементи управління, прив'язку даних, макети, двомірну і тривимірну графіку, анімацію, стилі, шаблони, документи, текст, мультимедіа і оформлення.

Графічної технологією, що лежить в основі WPF, є DirectX, на відміну від Windows Forms, де використовується GDI / GDI +. Продуктивність WPF вище, ніж у GDI + за рахунок використання апаратного прискорення графіки через DirectX [1].

XAML є мовою декларативного опису інтерфейсу, засноване на XML. Також реалізована модель поділу коду та дизайну, що дозволяє кооперуватися програмісту і дизайнеру. Крім того, є вбудована підтримка стилів елементів, а самі елементи легко розділити на елементи управління другого рівня, які, в свою чергу, поділяються до рівня векторних фігур і властивостей або дій. Це дозволяє легко задати стиль для будь-якого елемента [15].

Нижче наведено лістинг коду з робочого проекту, який визначає у програмному вікні декілька структурних елементів.

```
<StackPanel>
    <GroupBox Height="100" Header="Define
Linguistic Variable">
        <TextBlock
            Margin="5"
            Text="The Linguistic Variables
Wizard will...."
            TextAlignment="Justify"
            TextWrapping="Wrap" />
    </GroupBox>
```

```
<StackPanel Orientation="Horizontal">
    <TextBlock
        Margin="10,2,2,2"
```

```
        Padding="5"
        Background="#E0EEEE"
        Text="Name: " />
    <TextBox
        Name="textBox_NameVar"
        Width="226"
        Margin="2,2,10,3"
        Padding="3"
        HorizontalAlignment="Right"
        Background="#E0EEEE" />
</StackPanel>
<GroupBox
    Grid.Column="0"
    Margin="5,0"
    Header="Type">
    <StackPanel>
        <RadioButton
            Name="Input"
            Margin="5"
            Checked="OnRadioBtnTypeChecked"
            Content="Input Interface"
            IsChecked="True" />
        <RadioButton
            Name="Output"
            Margin="5"
            Checked="OnRadioBtnTypeChecked"
            Content="Output Interface" />
        <RadioButton
            Name="Intermediate"
            Margin="5"
            Checked="OnRadioBtnTypeChecked"
            Content="Intermediate" />
    </StackPanel>
</GroupBox>
</StackPanel>
```

4.7.5 Опис головних функціональних елементів створеного програмного додатку

Після запуску програмного додатку ExpSys перед користувачем з'являється головне вікно, з якого доступні наступні функції:

- а) створення нової СППР:
 - створення лінгвістичної змінної;
 - створення блоку правил;
 - редагування блоку правил;
 - редагування змінної;
 - видалення змінної;
 - видалення блоку правил.
- б) відкриття СППР, що вже існує на комп'ютері;
- в) збереження створеного файлу;
- г) створення, редагування та видалення текстового блоку.

Приклад головного вікна програми наведено на рис. 4.37.

Для створення лінгвістичної змінної користувачу необхідно у головному меню перейти у пункт Edit та натиснути на елемент New Variable. Після чого з'являється перше вікно визначення параметрів створюваної змінної (рис 4.38). Тут присвоюється назва та визначається тип лінгвістичної змінної. На наступному вікні користувач призначає змінній діапазон та може створити стандартні терми (рис. 4.39). В останньому вікні користувач може вказати коментар до змінної (рис. 4.40).



Рис. 4.37. Головне вікно програми

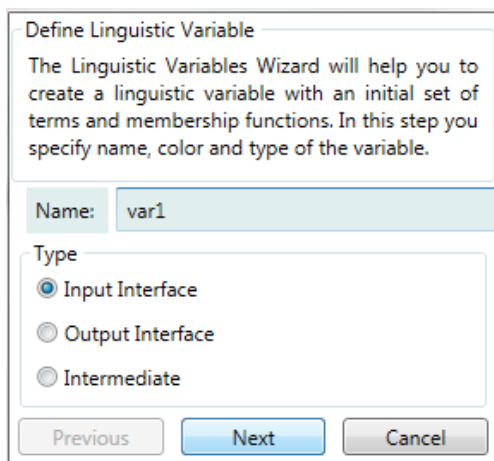


Рис. 4.38. Створення лінгвістичної змінної (перший етап)

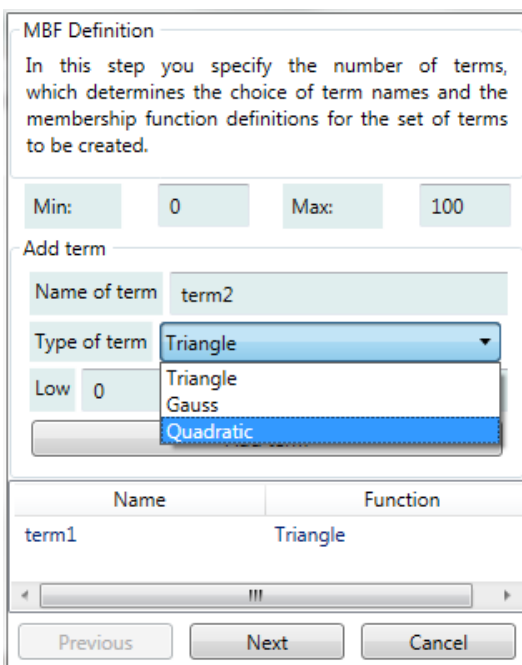


Рис. 4.39. Створення лінгвістичної змінної (другий етап)

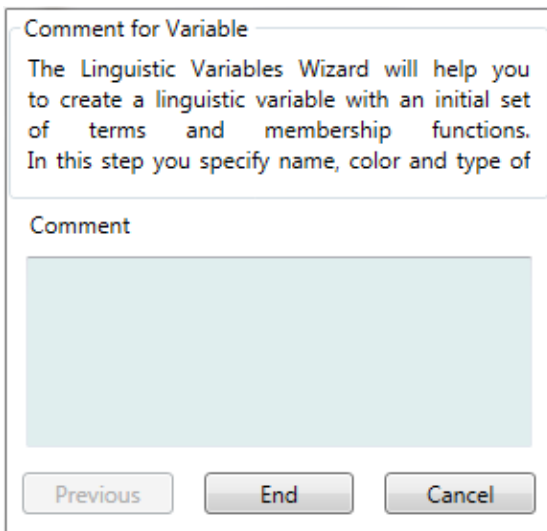


Рис. 4.40. Створення лінгвістичної змінної (останній етап)

В результаті виконання перелічених дій буде створено лінгвістичну змінну; результат зображено на рис. 4.41. Якщо натиснути на ній, з'явиться контекстне меню, з якого можна видалити змінну або перейти до вікна визначення її властивостей.

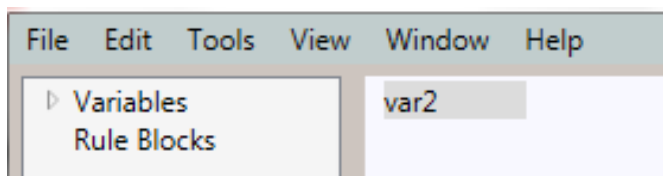


Рис. 4.41. Результат створення лінгвістичної змінної

Для створення блоку правил користувач може натиснути на елемент New Rule Block у пункті Edit головного меню, або на робочій панелі головного вікна. В результаті з'являється вікно створення блоку правил (рис. 4.42).

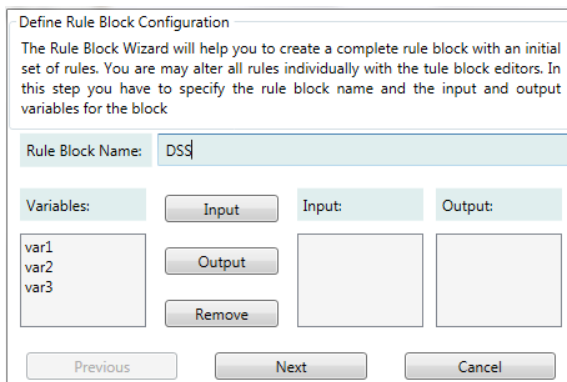


Рис. 4.42. Вікно майстра створення блоку правил

Для визначення змінних, що повинні бути задіяні у роботі даного блоку правил, користувачу необхідно виділити потрібні та натиснути кнопку, яка відповідає їх майбутній ролі. Якщо тип змінної не відповідає ролі, до якої її віднесено користувачу буде показано повідомлення про неможливість виконання цієї дії. Після створення блоку правил користувач побачить на головній панелі елемент, що відповідає останньому (рис. 4.43).

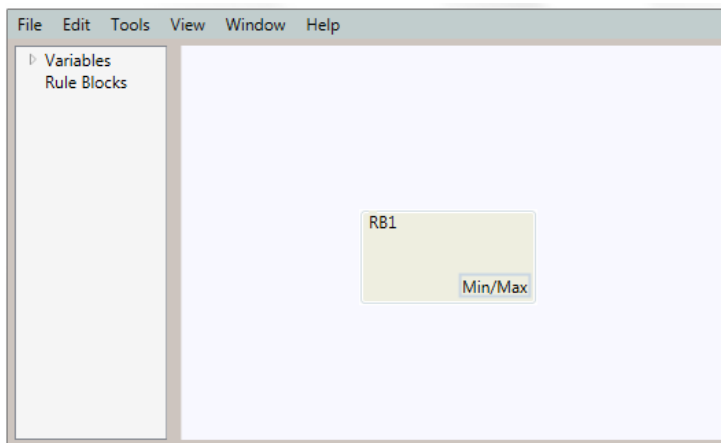


Рис. 4.43. Результат створення порожнього блоку правил

Натиснувши правою кнопкою миші на блоку правил, з'являється контекстне меню, за допомогою якого можна видалити

його або викликати вікно налаштування параметрів та визначення правил (рис. 4.44).

#	IF			THEN	
	var1	var2	var3	DoS	out1
1	low	low	low		low
2	low	low	mid		low
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

Рис. 4.44. Вікно формування правил СППР

4.7.6 Створення СППР для визначення раціональної моделі кооперації університету та ІТ-компанії

Для тестування програмного додатку було створено СППР для визначення раціональної моделі кооперації для університетів та ІТ-компаній. При цьому створено шість лінгвістичні змінних вхідного типу, дві – проміжного та одну – результуючого (рис. 4.45). Також було створено три блоки правил та для кожного встановлено їх певний набір (рис. 4.46, 4.47).

Define Linguistic Variable

The Linguistic Variables Wizard will help you to create a linguistic variable with an initial set of terms and membership functions. In this step you specify name, color and type of the variable.

Name: x1

Type

Input Interface

Output Interface

Intermediate

Previous Next Cancel

MBF Definition

In this step you specify the number of terms, which determines the choice of term names and the membership function definitions for the set of terms to be created.

Min: 0 Max: 100

Add term

Name of term: high

Type of term: Triangle

Low 50 Mid 100 High 100

Add term

Name	Function
low	Triangle
mid	Triangle
high	Triangle

Previous Next Cancel

Рис. 4.45. Створення першої лінгвістичної змінної для побудови СППР

Define Rule Block Configuration

The Rule Block Wizard will help you to create a complete rule block with an initial set of rules. You may alter all rules individually with the rule block editors. In this step you have to specify the rule block name and the input and output variables for the block

Rule Block Name: DSS_University

Variables:

x1
x2
x3
x4

Input:

Output:

Рис. 4.46. Процес створення першого блоку правил

	Generate	Sort	Delete all		
#	IF			THEN	
	x1	x2	x3	DoS	y1
1	low	low	low	1	A1
2	low	low	mid	1	A1
3	low	low	high	1	A2
4	low	mid	low	1	A1
5	low	mid	mid	1	A2
6	low	mid	high	1	A2
7	low	high	low	1	A2
8	low	high	mid	1	B
9	low	high	high	1	B
10	mid	low	low	1	A1
11

Рис. 4.47. Визначення комбінації правил для першого блоку правил СППР

Результат створення ієрархічної СППР для вибору кращої моделі кооперації університет – ІТ-компанія наведено на рис. 4.48.

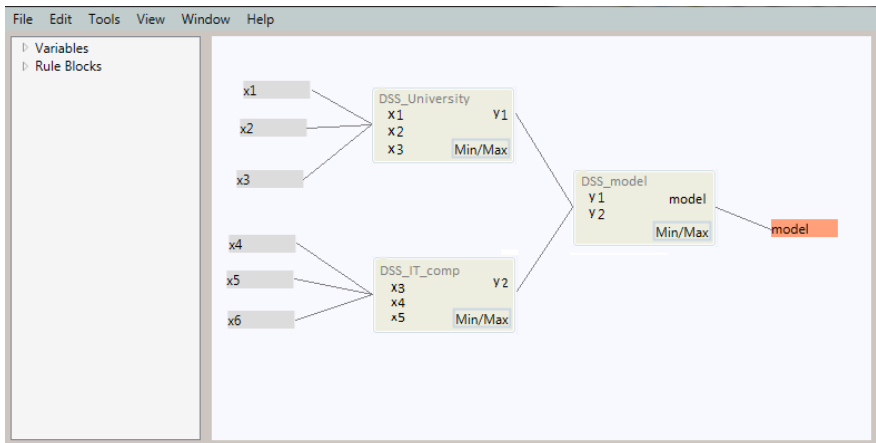


Рис. 4.48. Результат створення ієрархічної СППР

В результаті роботи створеної СППР для вибору кращої моделі кооперації університетів та ІТ-компаній було визначено, що модель С - створення студентських наукових груп і незалежних компаній з бізнес орієнтацією та реалізацією стартапів - має найбільшу перевагу серед усіх запропонованих.

4.8 Web-орієнтований синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу п'ятого типу

Інструментальний засіб п'ятого типу призначений для розробки нечітких ієрархічно-організованих СППР з неперервним логічним виведенням, що дозволяє отримати результуючу оцінку у вигляді чіткої величини, яка в подальшому може бути застосована для аналізу та порівняння з іншими результатами кооперації. Крім того даний інструментальний засіб дозволяє здійснювати корекцію нечітких баз правил в реальному часі при зміні вектора вхідних координат.

Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., аспірантом Герасіним О.С., студенткою магістратури Стучинською Н.Ю.

4.8.1 Опис програмного забезпечення

Під час вибору засобів для розробки було вирішено використовувати мову програмування Java та платформу NetBeans IDE. Мова Java має кросплатформенні функції, тобто може працювати на будь-якому комп'ютері з будь-якою операційною системою. Також за допомогою використання Java EE можна створювати Web-додатки, що дозволяють працювати з програмою на віддаленому сервері та надавати доступ до неї іншим користувачам.

Мова значно запозичила синтаксис із C і C++. Зокрема, взято за основу об'єктну модель C++, проте її модифіковано. Усунуто можливість появи деяких конфліктних ситуацій, що могли виникнути через помилки програміста та полегшено сам процес розробки об'єктно-орієнтованих програм. Ряд дій, які в C/C++ повинні здійснювати програмісти, доручено віртуальній машині.

NetBeans IDE — вільне інтегроване середовище розробки (IDE) для мов програмування Java, JavaFX, C/C++, PHP, JavaScript, HTML5, Python, Groovy. Середовище може бути встановлене і для підтримки окремих мов, і у повній конфігурації. Середовище розробки NetBeans за умовчанням підтримує розробку для платформ J2SE і J2EE.

Діаграма класів.

Діаграма класів представляє собою статичне представлення структури моделі. Відображає статичні (декларативні) елементи, такі як: класи, типи даних, їх зміст та відношення. Діаграма класів може містити позначення для пакетів та позначення для вкладених пакетів, позначення деяких елементів поведінки. Діаграма класів (class diagram) служить для представлення статичної структури моделі системи в термінології класів об'єктно-орієнтованого програмування. На цій діаграмі показують класи, інтерфейси, об'єкти й кооперації, а також їхні відносини [60].

Структура розробленого програмного забезпечення визначається наступними компонентами. Систему нечіткого логічного виведення описує клас SubDSS, а саме містить інформацію про набори

вхідних та вихідних змінних за допомогою колекцій List<Variable>, має функціонал для автоматичного формування бази правил, які записуються у колекцію ArrayList<Rule>. Лінгвістичні змінні описуються класом Variable, який містить в своєму описі ім'я змінної, діапазон зміни та множину лінгвістичних термів (клас Term). Терм в свою чергу визначається назвою та формою терму, яка задається за допомогою методу setTermForm(double[] Xcoord, double[] Ycoord). Клас Rule описує правила продукційного типу за допомогою колекції ArrayList для антецедентів та консеквентів. Методи фазифікації (fuzzification), активації (activation), агрегації (aggregation), акумуляції (accumulation) та дефазифікації (defuzzification) представлені відповідними методами у класі MamdaniAlgorithm.

На рисунку 4.49 представлена діаграма класів розробленого програмного забезпечення.

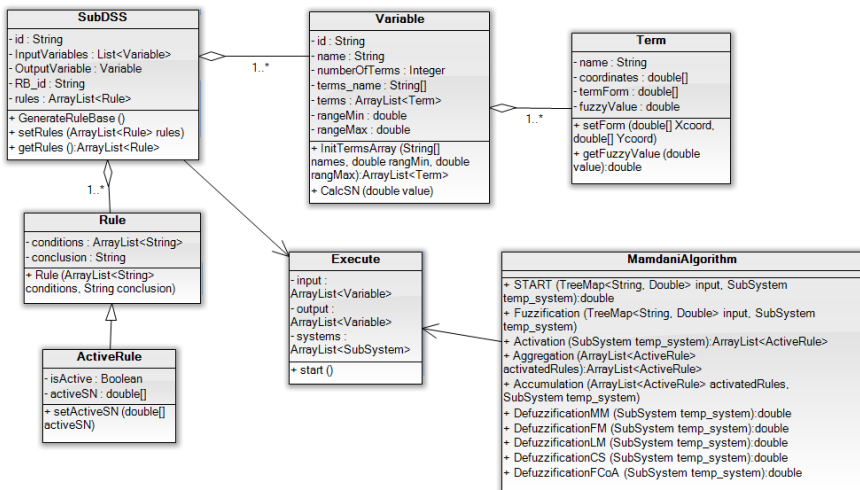


Рис. 4.49. Діаграма класів розробленого ПЗ

4.8.2 Опис інтерфейсу СППР

Інтерфейс користувача дуже важлива частина розробки СППР для кооперації університетів та ІТ-компаній. Зручність та зрозумілий інтерфейс – одні із самих головних факторів впливу на проектування та розробку інтерфейсу.

На стартовому вікні програми користувач може або створити нову СППР або відкрити вже існуючу, натиснувши на одну зі списку (рис. 4.50). При наведенні на назву СППР з правого боку з'являється її опис.

Список створених СППР:

СППР для вибору моделі співпраці між університетом та ІТ-компанією

test

test1

test2

test3

Створити нову СППР

Короткий опис

СППР здійснює вибір однієї з 4х моделей співпраці для університетів та ІТ-компаній:

- A1 - освіта та навчання
- A2 - центр підтримки сертифікацій
- A1 - центр наукових досліджень
- A1 - бізнес інкубатор стартапів

Рис. 4.50. Стартове вікно програми

Обираємо необхідну систему, та натискаємо. Відкривається вікно зі списком всіх змінних та підсистем (рис 4.51). Є можливість поставити відмітку біля тих змінних або підсистем які не будуть використовуватись. Перед розрахунками є можливість вибору методу дефазифікації, інакше буде проведено розрахунок для методу, встановленого за замовченням.

СППР для вибору моделі співпраці між університетом та ІТ-компанією

FES1 <input type="checkbox"/> x1 <input type="checkbox"/> x2 <input type="checkbox"/> x3 <input type="checkbox"/> y1	FES2 <input type="checkbox"/> x4 <input type="checkbox"/> x5 <input type="checkbox"/> x6 <input type="checkbox"/> x7 <input type="checkbox"/> y2	FES3 <input type="checkbox"/> x8 <input type="checkbox"/> x9 <input type="checkbox"/> x10 <input type="checkbox"/> x11 <input type="checkbox"/> x12 <input type="checkbox"/> x13 <input type="checkbox"/> y3	FES4 <input type="checkbox"/> x14 <input type="checkbox"/> x15 <input type="checkbox"/> x16 <input type="checkbox"/> x17 <input type="checkbox"/> y4	FES5 <input type="checkbox"/> x6 <input type="checkbox"/> x18 <input type="checkbox"/> x19 <input type="checkbox"/> y5	FES6 <input type="checkbox"/> x18 <input type="checkbox"/> x19 <input type="checkbox"/> x20 <input type="checkbox"/> x21 <input type="checkbox"/> x22 <input type="checkbox"/> x23 <input type="checkbox"/> y6	FES7 <input type="checkbox"/> x24 <input type="checkbox"/> x25 <input type="checkbox"/> x26 <input type="checkbox"/> x27 <input type="checkbox"/> y7
FES8 <input type="checkbox"/> y1 <input type="checkbox"/> y2 <input type="checkbox"/> y8	FES9 <input type="checkbox"/> y3 <input type="checkbox"/> y4 <input type="checkbox"/> y9	FES10 <input type="checkbox"/> y5 <input type="checkbox"/> y6 <input type="checkbox"/> y10				

Оберіть метод дефазифікації:

Middle of Maxima First of Maxima Last of Maxima Height Fast CoA

Отримати результат $y =$ Модель:

Рис. 4.51. Інтерфейс СППР

При натисканні на кнопку «Отримати результат» проводиться перевірка на правильність введених даних, у разі помилки користувачу пропонується ввести вірні дані та повторити спробу. Після виконання розрахунків користувач отримує результат у вигляді чіткого значення вихідної змінної та отриманої моделі співпраці відповідно до заданих вхідних параметрів.

При наведенні на змінну з'являється спливаюча підказка з коротким описом (рис. 4.52).

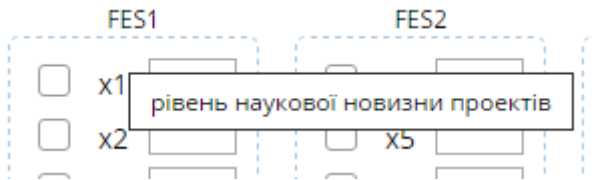


Рис. 4.52. Короткий опис змінної

Якщо будь-яку змінну треба виключити з розрахунку для проведення реконфігурації достатньо поставити біля неї відмітку і поле для вводу даних стане неактивним (рис. 4.53).

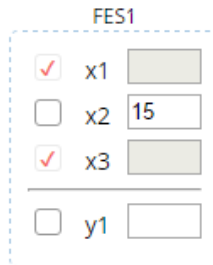


Рис. 4.53. Блокування поля для вводу значень змінних

4.8.3 Тестування та верифікація результатів роботи програми на основі реального досвіду співпраці

Працездатність розробленої ієрархічно-організованої СППР на основі нечіткої логіки для вибору моделі співпраці в рамках АПК перевірено на різноманітних наборах вхідних даних, що відповідають можливим, які були отримані від конкретних університетів та ІТ-компаній (таблиця 4.5). Дані були отримані за допомогою мережі Інтернет [39,41] та подані на вхід системи в якості лінгвістичних змінних.

Таблиця 4.5. Результати тестування на різнотипних наборах даних

	Значення вхідних координат		
	I	II	III
x_1	57.0	25.0	25.0
x_2	85.0	30.0	30.0
x_3	18.0	15.0	10.0
x_4	60.0	20.0	25.0
x_5	1.0	2.0	7.0
x_6	30.0	15.0	35.0
x_7	90.0	65.0	30.0
x_8	53.0	40.0	55.0
x_9	35.0	15.0	50.0
x_{10}	65.0	20.0	20.0
x_{11}	90.0	50.0	40.0
...
x_{19}	65.0	70.0	50.0
x_{20}	33.0	70.0	45.0
x_{21}	50.0	15.0	15.0
x_{22}	70.0	25.0	25.0
x_{23}	10.0	15.0	10.0
x_{24}	75.0	10.0	35.0
x_{25}	75.0	15.0	30.0
x_{26}	85.0	20.0	40.0
x_{27}	75.0	30.0	20.0
Значення вихідної змінної у			
MoM	62,5 (HM)	37.5 (LM)	37.5 (LM)
FoM	57,5 (HM)	32.5 (LM)	32.5 (LM)
LoM	67,5 (HM)	42.5 (LM)	42.5 (LM)
Height	65,98 (HM)	42.5 (LM)	40.0 (LM)
FastCoA	67,3 (HM)	43.37 (LM)	40.4 (LM)
Модель	C	A2	A2

Результати моделювання (таблиця 4.5) показують, що зміни значень одного чи групи вхідних параметрів ієрархічної нечіткої СППР в різній ступені якісно і кількісно впливають на вихідну змінну, що доводить працездатність системи в цілому та всіх її підсистем з відповідними нечіткими БП.

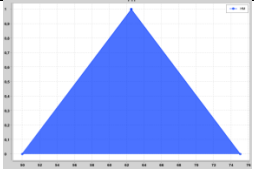
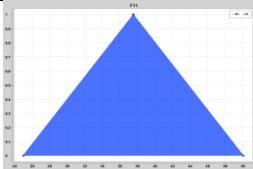

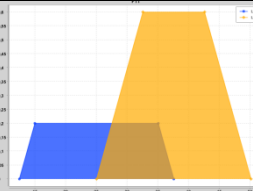
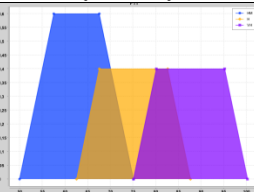
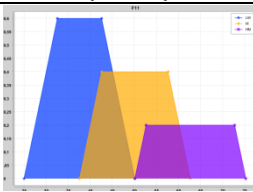
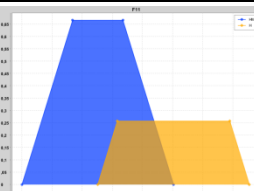
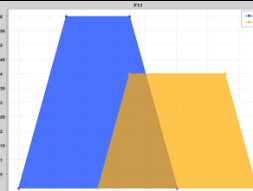

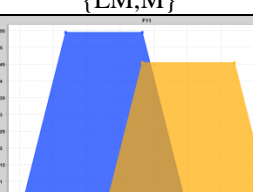
У таблиці 4.6 наведено результат впливу різних методів дефазифікації на результат моделювання для першого та другого наборів даних та графіки активованих цими методами термів.

Для верифікації розробленої СППР в якості еталонного зразку були обрані данні, що характеризують співпрацю Національного аерокосмічного університету «ХАІ» з НВП «Радій». Офіційними представниками університету було надано два набори вхідних даних (таблиця 4.7), які подані в якості лінгвістичних змінних на вхід створеної системи.

Кафедра комп'ютерних систем і мереж ХАІ має більш ніж десятирічний успішний досвід співпраці з науково-виробничим підприємством «Радій» - одним з національних та світових лідерів в області розробки та виробництва комп'ютерних систем безпеки. Результатами їх співпраці стало багато європейських проектів і інноваційних ідей, направлених на розвиток вітчизняної науки та практики та створення сприятливої атмосфери для навчання і наукової творчості. На сьогоднішній день співпраця ХАІ та «Радій» розвивається по змішаній моделі В || С, так як учасники співпраці займаються як науковими дослідженнями, так і створенням стартапів. Представниками університету була надана розрахована експертна оцінка $u = 73.0$, що відповідає вказаній моделі співпраці.

За допомогою методів дефазифікації було знайдено найбільш наближене вихідне значення системи до еталонного. Результати моделювання та вплив різних методів дефазифікації на результат наведено в таблицях 4.8 та 4.9.

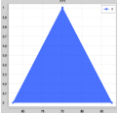
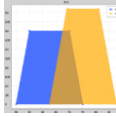
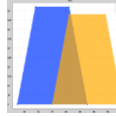
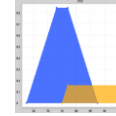
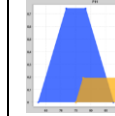
Таблиця 4.6. Вплив методів дефазифікації на результат моделювання для першого та другого наборів даних

Метод дефазифікації	I	II
MoM	 {HM}	 {LM}
FoM	 {M,HM}	 {L,LM}
LoM	 {HM,H,VH}	 {LM,M,HM}
Height	 {HM,H}	 {LM,M}
FastCoA	 {HM,H}	 {LM,M}

Таблиця 4.7. Значення вхідних параметрів, надані представниками Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”

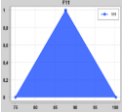
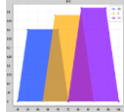
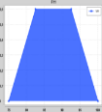

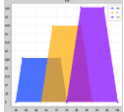
	Значення вхідних координат	
	I	II
x_1	85.0	85.0
x_2	80.0	80.0
x_3	20.0	20.0
x_4	76.0	76.0
x_5	4.0	4.0
x_6	65.0	65.0
x_7	79.0	79.0
x_8	75.0	55.0
x_9	23.0	23.0
x_{10}	65.0	65.0
x_{11}	80.0	70.0
...
x_{19}	65.0	95.0
x_{20}	70.0	80.0
x_{21}	68.0	78.0
x_{22}	67.0	67.0
x_{23}	62.0	62.0
x_{24}	80.0	90.0
x_{25}	80.0	90.0
x_{26}	95.0	80.0
x_{27}	85.0	80.0
	Значення вихідної змінної у	
Еталон	73.0	
MoM	75.0	87.5
FoM	69.0	81.5
LoM	81.0	92.5
Height	76.953	80.127
FastCoA	78.394	77.27

Таблиця 4.8. Результати моделювання та вплив різних методів дефазифікації для першого (I) набору даних

	MoM	FoM	LoM	Height	FastCoA
y_1	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333
y_2	66.666	60.0	73.333	64.285	63.592
y_3	66.666	60.0	73.333	66.666	66.666
y_4	50.0	45.333	54.666	50.0	50.0
y_5	66.666	60.0	73.333	66.666	66.666
y_6	66.666	58.666	74.666	69.270	68.753
y_7	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333
y_8	83.333	76.666	90.0	80.952	79.042
y_9	66.666	60.0	73.333	66.666	66.666
y_{10}	66.666	58.666	74.666	69.270	69.875
y_{11}	75.0	69.0	81.0	76.953	78.394
	 {H}	 {HM,H}	 {H,VH}	 {H,VH}	 {H,VH}
Модель	B C	B C	B C	B C	B C

Як бачимо в результаті використання різних методів дефазифікації систему можна налаштовувати та підбирати оптимальне значення моделі співпраці, тобто найбільш наближене до еталонного значення.

Таблиця 4.9. Результати моделювання та вплив різних методів дефазифікації для другого (II) набору даних

	MoM	FoM	LoM	Height	FastCoA
y_1	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333
y_2	66.666	60.0	73.333	64.285	63.592
y_3	66.666	60.0	73.333	62.5	61.666
y_4	50.0	45.333	54.666	50.0	50.0
y_5	83.333	76.666	90.0	76.666	76.126
y_6	83.333	75.333	91.333	76.984	76.478
y_7	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333
y_8	83.333	76.666	90.0	80.952	79.042
y_9	66.666	60.0	73.333	62.5	60.680
y_{10}	83.333	75.333	83.333	76.861	75.907
	87.5	81.5	92.5	80.127	77.27
y_{11}	 {VH}	 {HM,H,VH}	 {VH}	 {HM,HVH}	 {HM,H,VH}
Модель	C	C	C	B C	B C

Також систему протестовано у випадку застосування реконфігурації, результати наведено у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10. Результати моделювання з використанням реконфігурації системи для запропонованого вище першого набору даних

	Значення вхідних координат	
	I	II
x_1	85.0	–
x_2	–	80.0
x_3	20.0	20.0
x_4	76.0	–
x_5	4.0	4.0
x_6	–	–
x_7	–	79.0
x_8	55.0	75.0
x_9	23.0	23.0
x_{10}	65.0	65.0
x_{11}	70.0	–
...
x_{19}	95.0	65.0
x_{20}	–	70.0
x_{21}	78.0	–
x_{22}	67.0	–
x_{23}	62.0	62.0
x_{24}	90.0	80.0
x_{25}	90.0	80.0
x_{26}	80.0	95.0
x_{27}	80.0	85.0
	Значення вихідної змінної у	
MoM	75.0 (H)	75.0 (H)
FoM	69.0 (H)	69.0 (H)
LoM	81.0 (H)	81.0 (H)
Height	76.8 (H)	75.0 (H)
FastCoA	78.13 (H)	75.0 (H)
Модель	B C	B C

Після проведення реконфігурації модель співпраці не змінилась, що означає працездатність системи у випадку зміни вектора вхідних координат.

4.9 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу шостого типу

Інструментальний засіб шостого типу призначений для розробки нечітких ієрархічно-організованих СППР з неперервним логічним виведенням, що дозволяє отримати результуючу оцінку у вигляді чіткої величини, яка в подальшому може бути застосована для аналізу та порівняння з іншими результатами кооперації. Крім того даний інструментальний засіб дозволяє здійснювати автоматичне формування баз правил на основі розробленого алгоритму формування БП, при цьому засіб орієнтований на зміну ФН різного типу.

Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., аспірантом Тарановим М.О., студенткою магістратури Кравченко А.К.

4.9.1 Структура програмного забезпечення

Основними компонентами СППР для вибору моделі співпраці між університетами та ІТ-компаніями є:

- серверний додаток (мова програмування: PHP, платформа – Yii framework 1.2);
- користувацьке представлення (мови програмування: HTML, CSS, JavaScript);
- база даних (мова: SQL, платформа обробки – PHPMyAdmin для адміністрування MySql).

Структура зв'язків між компонентами системи наведена на рис. 4.54.

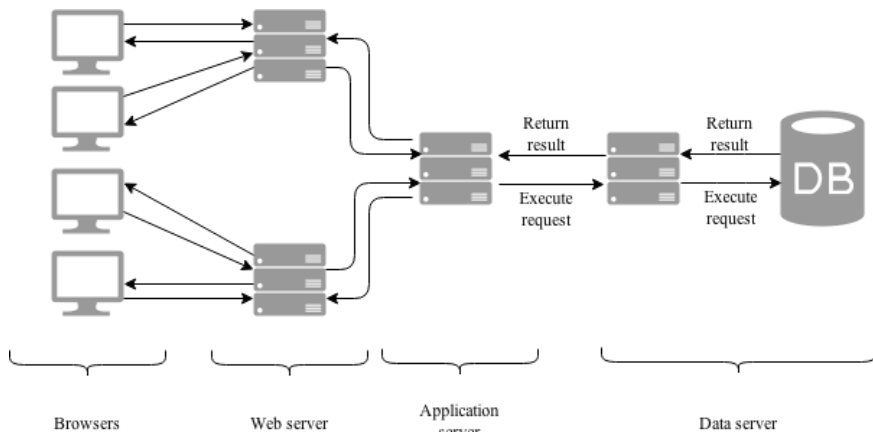


Рис. 4.54. Клієнт-серверна архітектура проекту веб-системи підтримки прийняття рішень

Розроблена система має в основі своїй принцип «Платформа, як послуга» (PaaS), що означає надання уніфікованого інструменту для розробки, тестування та організації підтримки веб-продукту (у даному випадку, продукту на базі моделей СППР).

Завдяки моделі PaaS весь перелік операцій з розробки та тестування моделей СППР можна виконати в одному інтегрованому середовищі, тим самим виключивши витрати на підтримку окремих середовищ для конкретних етапів. Це дозволяє істотно знизити витрати як на придбання та підтримку обладнання, так і на обслуговування самого сервісу.

Завдяки можливості одночасного доступу до одних і тих же моделей СППР без перешкодження іншим користувачам та погрози пошкодження паралельних обчислень, перед експертами та клієнтами системи відкриваються нові можливості:

1. Робота у режимі реального часу із можливістю співпраці між клієнтами та експертами;
2. Доступ до інформації із будь-якої точки світу;
3. Можливість створення на базі однієї моделі СППР великої кількості реконфігурацій і їх збереження на серверному сховищі;
4. Визначення експертом обмеженої кількості моделей для клієнта, надання/вилучення доступу для користування моделями за запитом.

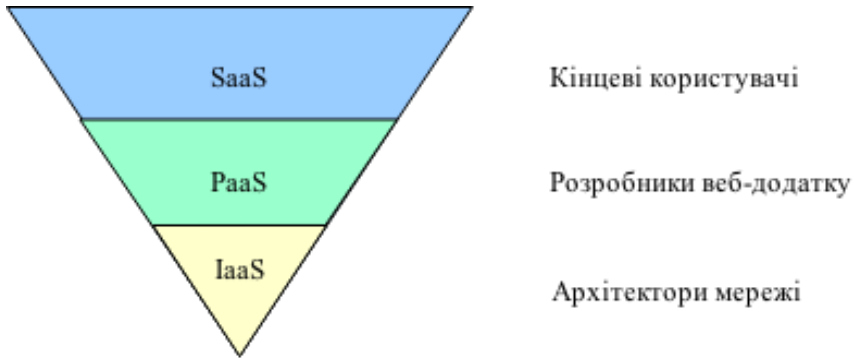


Рис. 4.55. Модель роботи із «хмарними» обчисленнями для різних груп користувачів

4.9.2 Процесна модель об'єкта інформації

Взаємозв'язок між об'єктами моделей даних, організаційних моделей і функціональних моделей здійснюється за допомогою керуючого (процесного) виду моделювання. Процесне подання є найбільш частіше використовуваним на практиці в процесі моделювання й опису підприємств. Розглянемо найпоширеніший тип діаграми процесного подання за назвою «Подієкерований функціональний потік» (eEPC – extended Event-Driven Process Chain), в основі якого лежить нотація під таким же ім'ям eEPC. По суті, вона є розширенням методології IDEF3 (яка використовується в BPWin) за рахунок використання такого поняття, як подія (Event). Нотація ARIS eEPC являє собою розширену нотацію опису ланцюжка процесу, керованого подіями.

У моделях типу eEPCs описується об'єднання функцій і даних, де для кожної функції можуть бути визначені початкові й кінцеві події, які перемикають функції (передають керування від однієї функції до іншої) і є результатом їхнього виконання. Для одержання динамічної послідовності функцій у функціональний потік необхідно включити події, тобто набори даних, що визначають стани й умови, необхідні для виконання функціональних послідовностей. Події можуть ініціювати початок виконання послідовності функцій (події, що запускають), її завершення (завершальні події) або зміна порядку виконання функцій у рамках бізнес-процеса (перемикаючі події).

Сполучення функції і її подій, що запускають, утворюють тригер (керуючий елемент). На відміну від функцій, які мають деяку тривалість, події відбуваються миттєво. Події разом з функціями відіграють ключову роль у процесних ланцюжках. Вони запускають (активізують) функції і є результатом їхнього виконання. Події описують стан об'єкта й дозволяють контролювати БП (бізнес-процес) або впливати на хід його виконання. Кілька подій зв'язуються з функціями за допомогою логічних операторів ("й", "або", "або, що виключає" та ін.).

На рис. 4.56 зображено процесне представлення СППР.

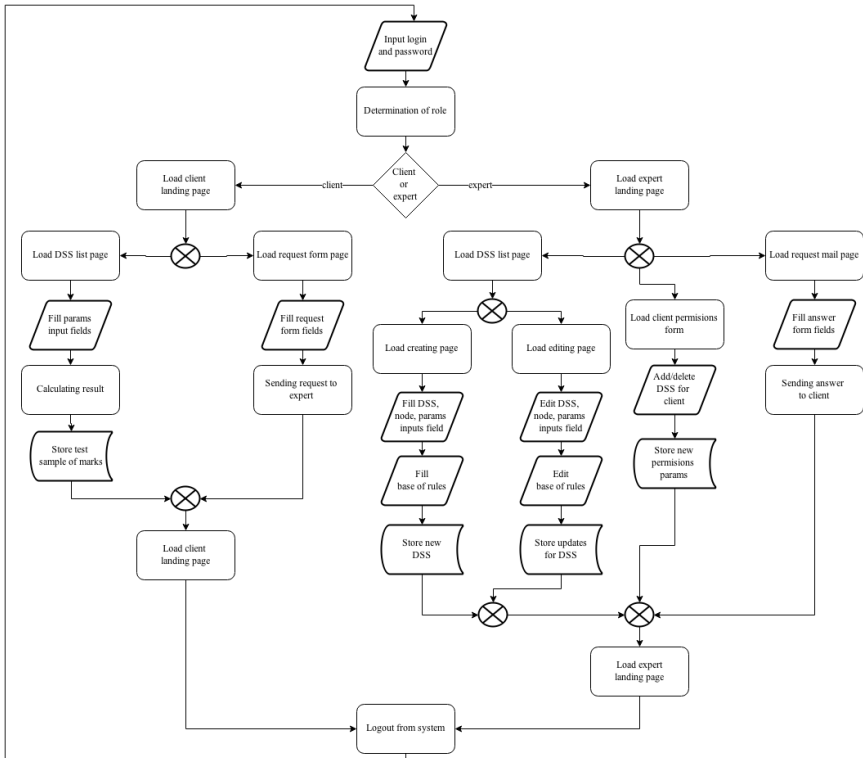


Рис. 4.56. Процесне представлення СППР для вибору моделі співпраці між університетами та ІТ-компаніями

4.9.3 Основні структурні моделі системи

На етапі проектування системи важливим доробком у комплексі діаграм та базових схематичних представлень є карта екранів майбутнього програмного додатка.

Більшість додатків мають невід'ємну інформаційну модель, яка може бути виражена у вигляді дерева або графа типів об'єктів (у СППР для вибору моделі співпраці між університетами та ІТ-компаніями, це – ERD-модель. На базі такого графу взаємодії функціональних частин та схеми потоків даних можна створити схематичні представлення майбутніх сторінок веб-проєкту використовуючи функції Balsamiq Mockups.

Прототипування програмного забезпечення (у тому числі і сайтів), як етап розробки, дозволяє створити прототип програми з метою перевірки придатності пропонуваного для застосування концепцій, архітектурних та/або технологічних рішень, а також для представлення програми на ранніх стадіях процесу розробки.

Процес створення прототипу зазвичай складається з кроків:

- визначення початкових вимог;
- розробка першого варіанту прототипу, який містить тільки користувальницький інтерфейс системи;
- вивчення прототипу замовником і кінцевими користувачами, отримання зворотного зв'язку про необхідні зміни та доповнення;
- переробка та поліпшення прототипу: з урахуванням отриманих зауважень і пропозицій змінюються як специфікації так і прототип, після цього останні кроки даного алгоритму можуть повторюватися.

«Мокап», як один із графічних представлень прототипів, використовується для наочного зображення усіх функціональних рішень програмного продукту із використанням існуючих інструментів веб-програмування.

На рис. 4.57 зображене схематичне представлення переходів між інтерфейсами СППР для вибору моделі співпраці між університетами та ІТ-компаніями.

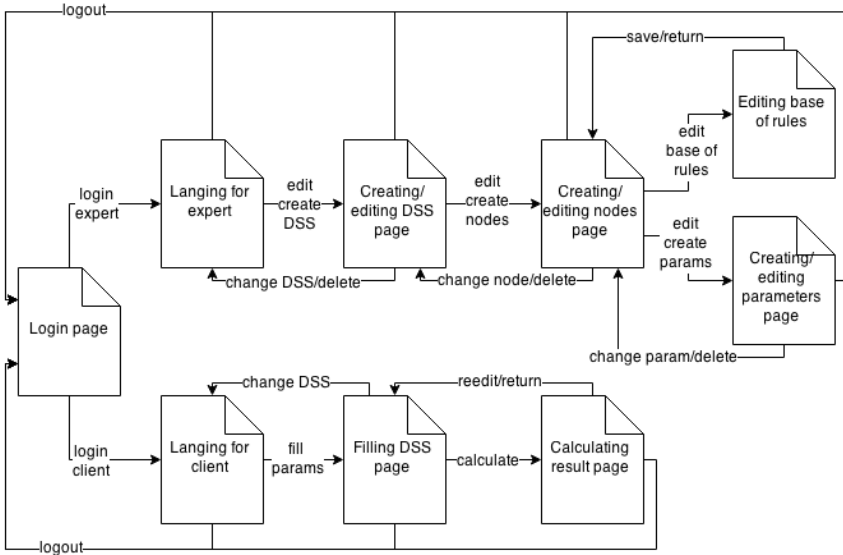


Рис. 4.57. Карта інтерфейсів та переходів СППР для вибору моделі співпраці між університетами та ІТ-компаніями

На рис. 4.58-4.63 зображені прототипи інтерфейсів СППР для вибору моделі співпраці між університетами та ІТ-компаніями.

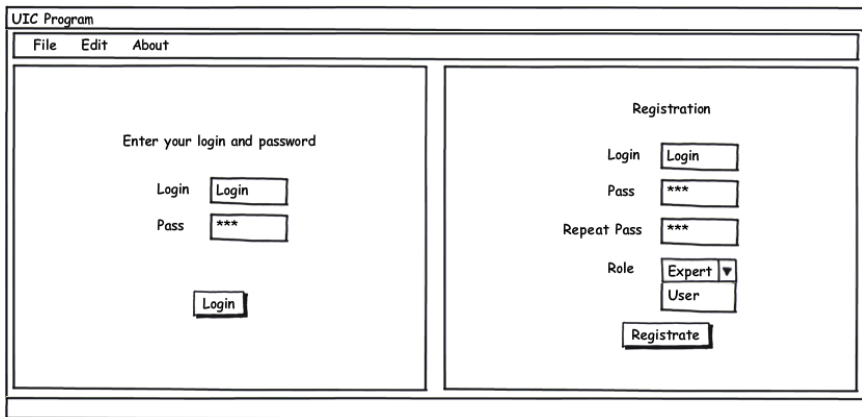


Рис. 4.58. Екран «Login page» для авторизації та реєстрації користувачів

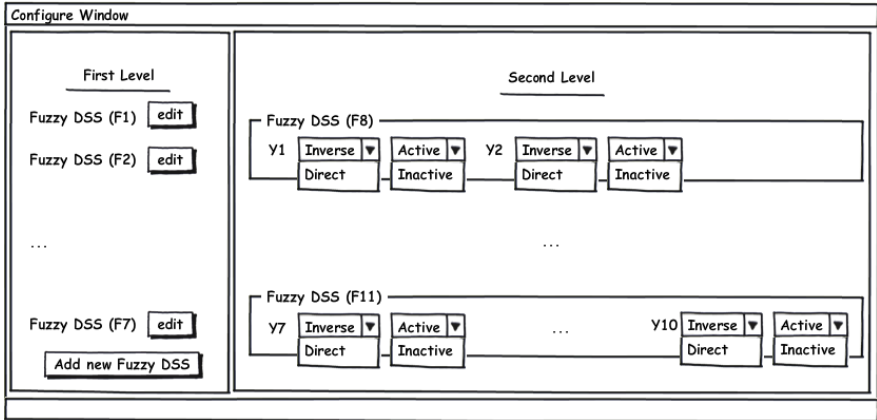


Рис. 4.59. Екран «Creating/Editing DSS» із можливістю редагування підсистем для цільової СППР

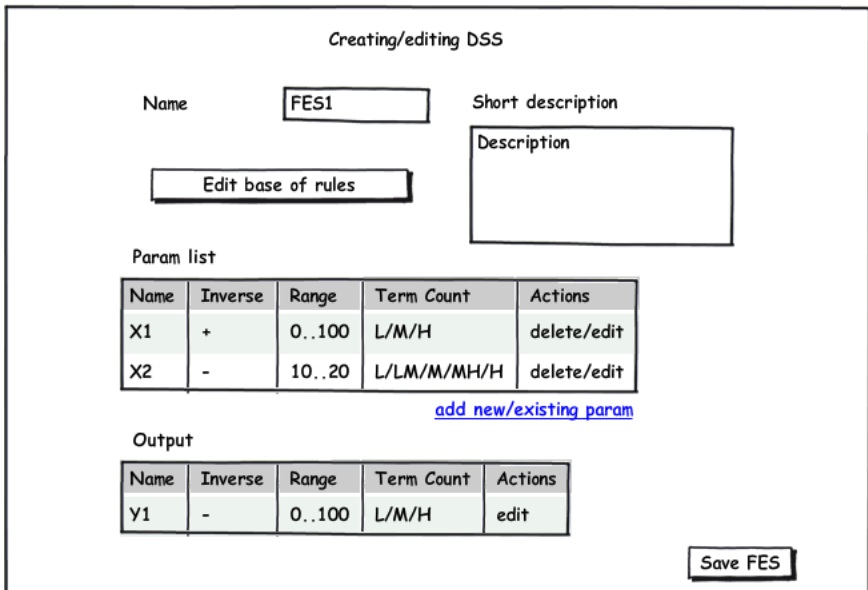


Рис. 4.60. Екран «Creating/Editing nodes» із можливістю редагування параметрів для цільової підсистеми

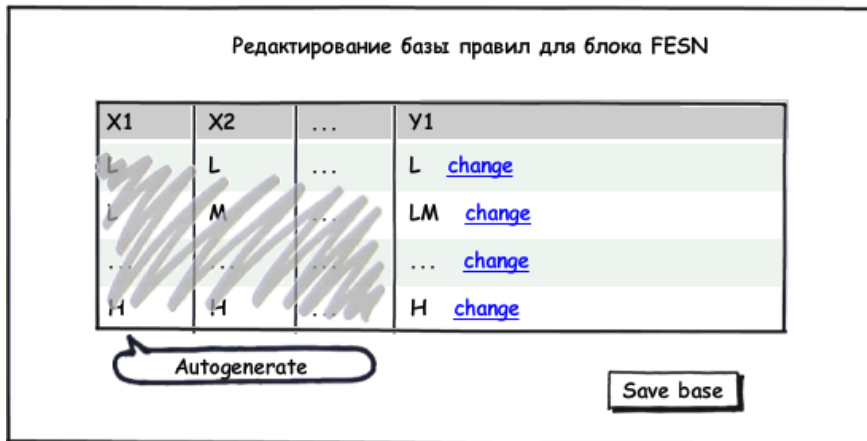


Рис. 4.61. Экран «Editing base of rules» для редагування бази правил

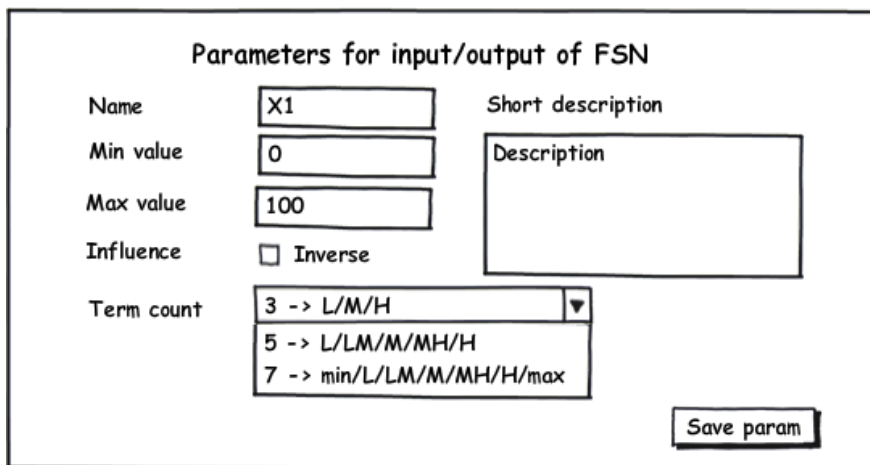


Рис. 4.62. Экран «Creating/editing params page» для редагування вхідних та вихідних параметрів обраної підсистеми

The screenshot shows a 'User Window' with two main sections: 'First Level' and 'Second Level'. Each section contains a 'Fuzzy DSS' form. The 'First Level' form has input fields for 'Fuzzy DSS (F1)' with variables X1, X2, and X3, each with a value of 0. Below these is a 'Result:' field with a value of Y1. The 'Second Level' form has input fields for 'Fuzzy DSS (F8)' with variables Y1 and Y2, each with a value of 0. Below these is a 'Result:' field with a value of Y8. There are also ellipses (...) between the two levels, and a 'Fuzzy DSS (F7)' form at the bottom left with input fields for X24, X25, X26, and X27, each with a value of 0. Below these is a 'Result:' field with a value of Y7. A 'Calculate' button is located at the bottom right. A tooltip 'Details on hover' is visible over the X24 input field.

Рис. 4.63. Екран «Filling DSS page» для введення оцінок по кожному із доступних для редагування параметру

Використовуючи у основі ці прототипи, розроблено інтерфейс програми для користування експертами та клієнтами веб-додатку.

4.9.4 Керівництво користувача

Створення моделі СППР.

Для створення нової моделі СППР необхідно перейти до бібліотеки моделей СППР, натиснути кнопку «Створення моделі СППР».

Після переходу на загальну сторінку обраної/створеної моделі СППР експерт заповнює назву та короткий опис. Для того, щоб додати нову підсистему до моделі СППР, необхідно натиснути кнопку «Add node».

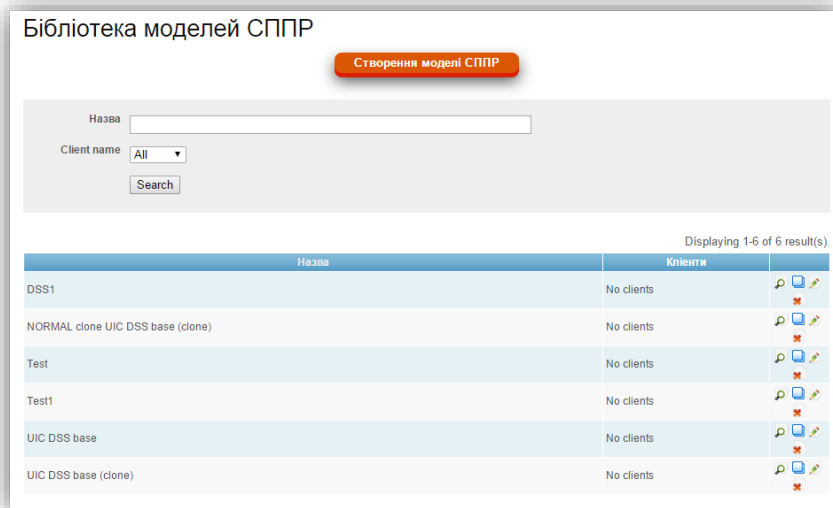


Рис. 4.64. Інтерфейс «DSS model's library»

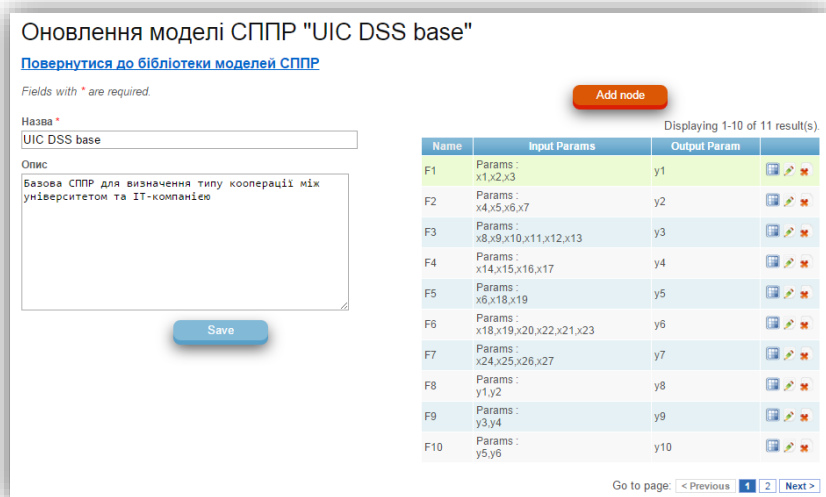


Рис. 4.65. Інтерфейс «DSS creating/editing page»

Створення/редагування підсистеми для моделі СППР.

На наступній сторінці експерт заповнює назву та короткий опис підсистеми для обраної/створеної моделі СППР. Наступними кроками є створення вхідних та вихідних параметрів.

The screenshot shows a web interface titled "Створення підсистеми" (Subsystem creating/editing page). It includes a form with a "Name" field and a "Description" text area. A "Create" button is at the bottom left. On the right, there are two sections for "input params" and "output params", each with a "Create param" link and a table with columns: Назва, Інверсія, Діапазон, Терми, Action. Below each table, it says "Параметри відсутні" (Parameters missing).

Рис. 4.66. Інтерфейс «Subsystem creating/editing page»

The screenshot shows a dialog box titled "Create input param". It contains a "Select existing param" dropdown menu with "Choose param" selected. Below it is a "Name" field, a "Description" text area, an "Inverse" checkbox, "Min" and "Max" fields (both containing "0.00" and "100.00" respectively), and a "Term" dropdown menu with "Select term" and an "Add term" button. At the bottom right, there are "Create input param" and "Cancel" buttons.

Рис. 4.67. Інтерфейс «Parameters creating/editing»

Створення/редагування параметрів підсистеми.

Для створення вхідних/вихідного параметрів експерт заповнює назву параметру, короткий опис, мінімальне та максимальне значення, а також кількість термів, які належать для відповідного параметру. При цьому назви термів можна змінювати відповідно до параметру. Додатково є можливість встановити пряму та зворотну залежність.

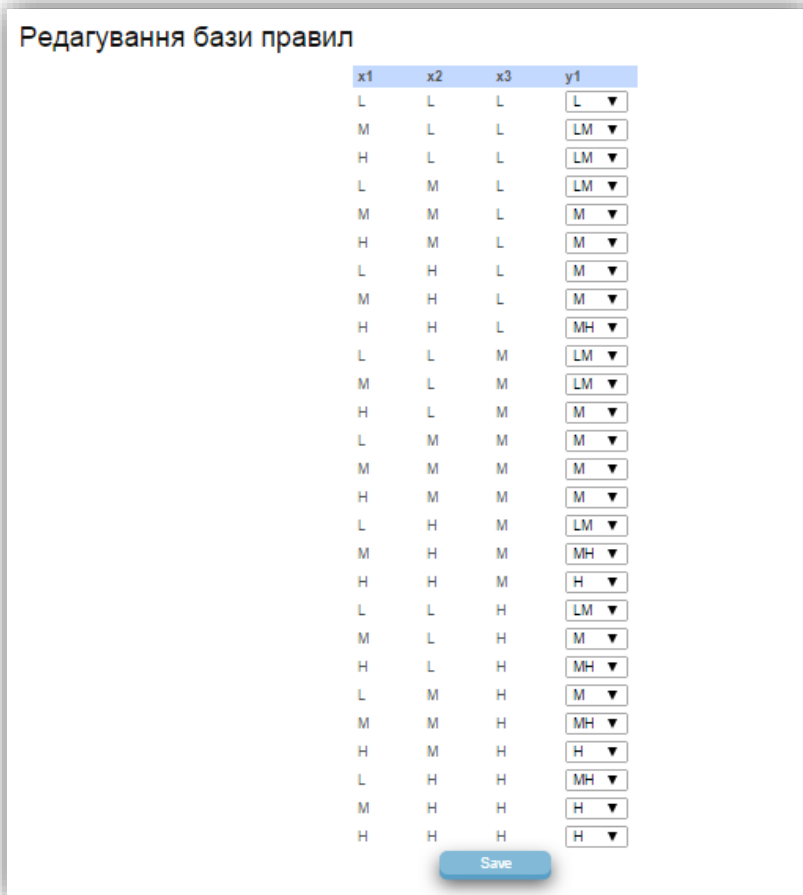




Рис. 4.68. Інтерфейс «Base of rules page»

Заповнення бази правил для підсистеми.

При редагуванні бази правил експерт переходить на окрему сторінку, при натисненні кнопку – , котра містить автоматично генеровані антецеденти та доступні для редагування консеквенти. Відповідно до термів вихідного параметру експерт обирає варіанти із списку підходящий консеквент для правила.

Клонування існуючої моделі СППР.

За для клонування існуючої моделі СППР експерт повертається до сторінки бібліотеки моделей СППР. У відповідному рядку необхідно натиснути кнопку клонування – .

Заповнення вхідних оцінок та підрахунок.

У клієнта є можливість вводити оцінки у відповідні вхідні параметри. При цьому проміжні оцінки будуть підраховані автоматично та не підлягають редагуванню зі сторони користувача.

Бібліотека моделей СППР

Displaying 1-6 of 6 result(s)

Назва	
DSS1	
NORMAL clone UIC DSS base (clone)	
Test	
Test1	
UIC DSS base	
UIC DSS base (clone)	

Рис. 4.69. Інтерфейс «DSS library for client»

СППР "Test"

TestNode Xtest <input type="text" value="0,00"/> Min:0,00 Max:100,00 Terms:L/M/H Xtest2 <input type="text" value="0,00"/> Min:0,00 Max:100,00 Terms:L/M/H	Subsystem2 x3 <input type="text" value="0,00"/> Min:0,00 Max:100,00 Terms:L/M/H x4 <input type="text" value="0,00"/> Min:0,00 Max:100,00 Terms:L/M/M/MH/H	Second level subsystem Ytest <input type="text" value="0,00"/> Min:0,00 Max:100,00 Terms:A/B/C/D y2 <input type="text" value="0,00"/> Min:0,00 Max:100,00 Terms:L/LM/M/MH/H
--	--	--




Рис. 4.70. Інтерфейс «DSS calculating»

РОЗДІЛ 5. ІНСТРУМЕНТАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ

5.1 Принципи оцінювання взаємодії університетських і індустріальних команд

5.1.1 Загальна характеристика прийнятих рішень за результатами оцінювання

Прийняття рішень є перманентною властивістю (характеристикою) людини. Навколишнє середовище (суспільство, колектив, родина) накладає свої особливості на механізм прийняття рішень кожного конкретного індивідуума, однак уся безліч прийнятих рішень можна співвіднести з одним із трьох типів:

- не структуровані;
- структуровані;
- напівструктуровані.

При більш детальному розгляді, можна або навіть необхідно виявити також інші категорії прийнятих рішень. Наприклад, наведені в таблиці 5.1 [179] категорії дозволять більш детально досліджувати механізм взаємодії університетських і індустріальних команд й вибору моделі взаємодії.

Таблиця 5.1. Категорії прийняття рішень для оцінки взаємодії університетських і індустріальних команд

Рішення	Період часу	Новизна	Ступінь структурованості	Автоматизація
Стратегічне	Довгостроковий	Нове	Не структурована	Низька
Тактичне	Середньостроковий	Модифікація	Структурована	Середня
Оперативне	Короткостроковий	Повсякденне	Напівструктурована	Висока

У більшості випадків, не існує ідеального варіанта, який би задовольняв усім критеріям, відповідно виникає необхідність в знаходженні компромісного рішення.

Для розв'язку цієї проблеми експерт, що схвалює рішення (ЕСР) може використовувати слабоформалізовані підходи, такі як проста зважена сума.

У деяких випадках зважена сума є окремим випадком більш складного методу й може застосовуватися при дотриманні необхідних умов, таких як нормалізація, незалежність критеріїв і т.д.

Однак варто відзначити, що найчастіше такий підхід не обґрунтований, оскільки він припускає лінійність переваг, які можуть не відображати переваги експерта, що схвалює рішення.

Методи багатокритеріального аналізу рішень (MCDA) забезпечують технології пошуку компромісного розв'язку й призначені для допомоги ЕСР. Вони враховують особливості, зв'язані зі специфікою процесу розв'язку для конкретного ЕСР і дозволяють включити суб'єктивну інформацію. Суб'єктивна інформація, також відома як інформація заснована на перевагах, надається ЕСР, що й дозволяє знайти компромісне рішення.

MCDA містить у собі багато підходів й техніки математики, менеджменту, інформатики, психології, соціальних наук і економіки. Тому застосування сімейства подібних методів дозволяє вирішувати широкий діапазон завдань у різних сферах діяльності й різної складності.

У цей час розроблене велику кількість методів розв'язку багатокритеріальних завдань. Кількість інформаційних джерел, пов'язаних з реалізацією принципів MCDA при розв'язку завдань багатокритеріального вибору зростає (як результати досліджень, так і розроблене ПО). Подібна доступність інструментальних засобів проведення MCDA, починаючи від реалізації на табличних процесорах (Microsoft Excel, Supercalc) і закінчуючи спеціалізованими онлайновими, оффлайновими й мобільними додатками, привела до появи позитивної динаміки використання методів MCDA серед дослідників і росту самого співтовариства користувачів.

Однієї із цілей даного розділу є обґрунтування актуальності застосування методів MCDA для розв'язку завдань оцінки університетських і індустріальних команд і вибору моделі взаємодії й обґрунтованих пропозицій на вибір інструментальних засобів DSS.

Прийняття рішень при використанні методів MCDA зокрема передбачає попередню декомпозицію на такі підзадачі:

– вибору – полягає в тому, щоб вибрати один кращий варіант або зменшити кількість обраних варіантів до підмножини еквівалентних або непорівнянних задовольняючих варіантів;

– сортування – варіанти сортуються в упорядковані й визначені групи – категорії. Ціль полягає в тому, щоб потім перегрупувати варіанти з аналогічною поведінкою або характеристиками;

– ранжирування – варіанти впорядковуються від кращого до гіршого за допомогою оцінних шкал або парних порівнянь і т.п. Упорядкування може бути частковим, якщо розглядаються непорівнянні варіанти або повним. У контексті тематики розділу прикладом може бути ранжирування Університетів (підприємств ІТ індустрії) по декільком критеріям, таким як якість викладання, досвід науково-дослідної діяльності, можливості кар'єрного росту та інші;

– опису – полягає в тому, щоб описати варіанти (альтернативи) і їх значимість. Як правило, це робиться на першому етапі, щоб зрозуміти особливості розглянутого завдання.

При розв'язку реальних завдань об'єктивно існують і інші труднощі, що найчастіше представляють собою комбінацію перерахованих вище.

Прийняття рішень (*Decision Making, DM*) тісно пов'язане із системами прийняття рішень (*Decision Support System, DSS*), основною функцією яких повинне бути сприяння особі, що схвалює розв'язок. Необхідно також проводити чітку відмінність між системами підтримки прийняття рішень, системами прийняття рішень, у яких рішення схвалюється людиною й системами зі штучним інтелектом, де, по суті, рішення схвалюється спеціально підготовленою машиною. У такому контексті, незважаючи на різноманіття існуючих визначень систем підтримки прийняття рішень пропонується дотримуватися наступного визначення.

Система підтримки прийняття рішень (DSS, СППР) – комп'ютерна автоматизована система, метою якої є допомога людям (особам), що схвалюють рішення у неоднозначних умовах для повного й об'єктивного аналізу предметної діяльності.

У цей час однозначне визначення DSS відсутнє через те, що структура DSS залежить від виду завдань, для розв'язку яких вона створюється, а також від доступності необхідних даних і осіб, що схвалюють рішення (користувачів системи).

5.1.2 Класифікація методів прийняття рішень

Крім того, різні автори пропонують використовувати різні підходи до класифікації DSS.

По-перше, на рівні користувача німецький дослідник Haettenschwiler (1999) виділяє в DSS три види:

1. Пасивної DSS називається система, яка допомагає процесу ухвалення рішення, але не може винести пропозицію, яке рішення прийняти.

2. Активна DSS може зробити пропозицію, яке рішення слід вибрати.

3. Кооперативна дозволяє ЕСР змінювати, доповнювати або поліпшувати розв'язок, пропонований системою, посилаючи потім ці зміни в систему для перевірки. Система змінює, поповнює або поліпшує ці розв'язки й посилає їх знову користувачеві. Процес триває до одержання погодженого рішення.

По-друге, на концептуальному рівні Daniel Power (2003) запропонував розділити DSS на наступні:

- керовані повідомленнями (Communication-Driven DSS),
- керовані даними (Data-Driven DSS),
- керовані документами (Document-Driven DSS), –
- керовані знаннями (Knowledge-Driven DSS),
- керовані моделями (Model-Driven DSS).

Керована повідомленнями (Communication-Driven DSS) (раніше групова DSS – GDSS) DSS підтримує групу користувачів, що працюють над виконанням загального завдання.

DSS, керовані даними (Data-Driven DSS), орієнтовані на роботу з даними (Data-oriented DSS) (також відомі як Business Intelligence) в основному орієнтуються на доступ і маніпуляції з даними. DSS, керовані документами (Document-Driven DSS), управляють, здійснюють пошук і маніпулюють неструктурованою інформацією, заданої в різних форматах. Нарешті, DSS, керовані знаннями (Knowledge-Driven DSS) забезпечують рішення завдань у вигляді фактів, правил, процедур.

По-третє, на технічному рівні Power (1997) розрізняє DSS усього підприємства й настільну DSS. DSS усього підприємства підключена до більших сховищ інформації й обслуговує багатьох менеджерів підприємства. Настільна DSS – це мала система, що

обслуговує лише один комп'ютер користувача. Існують і інші класифікації (Alter, Holsapple і Whinston, Golden, Nevner і Power).

5.2 Методи інструментально-орієнтованого оцінювання й вибору моделей взаємодії університетських і індустріальних команд

5.2.1 Загальна характеристика завдань і методів підтримки прийняття рішень

Для успішного застосування багатокритеріального аналізу рішень (MSDA) у контексті прийняття рішень для оцінки університетських і індустріальних команд і вибору моделі взаємодії з урахуванням необхідності розв'язку завдань вибору, сортування, ранжирування й опису були розроблені спеціальні методи. Частина з них, що найбільше часто зустрічаються в інформаційних джерелах [182], наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Завдання MCDA і методи їх розв'язку

№ п/п	Вибір	Ранжирування	Сортування	Опис
1	AHP	AHP	Ahpsort	
2	ANP	ANP		
3	MAUT/UTA	MAUT/UTA	UTADIS	
4	MACBETH	MACBETH		
5	PROMETHEE	PROMETHEE	Flowsort	GAIA, Fs-gaia
6	ELECTRE I	ELECTRE III	Electre-tri	
7	TOPSIS	TOPSIS		
8	Goal Programming			
9	DEA	DEA		

Методи розв'язку завдань MCDA, представлені в таблиці 5.2, мають відповідні програмні реалізації, основні характеристики яких наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 Інструментальні засоби MCDA

Задачі	Методи	Програмне забезпечення
Ранжирування, опис, вибір	PROMETHEE– GAIA	Decision Lab, D-Sight, Smart Picker Pro, Visual Promethee
Ранжирування, вибір	PROMETHEE ELECTRE UTA AHP ANP MACBETH TOPSIS DEA	DECERNS Electre IS, Electre III-IV UTA Right Choice, UTA+, DECERNS Makeitrational, Expertchoice, Decision Lens, HIPRE 3+, Rightchoicedss, Criterium, Easy mind, Questfox, Choiceresults, 123AHP, DECERNS Super Decisions, Decision Lens M-MACBETH DECERNS Win4DEAP, Efficiency Measurement System, DEA Solver Online, Deafrontier, Dea-solver PRO, Frontier Analyst
Вибір	Goal Programming	–
Сортування, вибір	Flowsort - FS- GAIA	Smart Picker Pro
Сортування	Electre-tri UTADIS Ahp sort	Electre Tri, IRIS – –

5.2.2 Особливості застосування методів підтримки прийняття рішень

Розглянемо коротко особливості застосування перерахованих вище методів MCDA.

Multi-Attribute Utility Theory (MAUT), широко використовується в університетах Великобританії, ґрунтується на основній гіпотезі, що кожне ЕСР намагається оптимізувати, свідомо або неявно, функцію, яка поєднує різні точки зору.

Це означає, що переваги ЕСР можуть бути представлені функцією, називаною функцією корисності [181]. Ця функція не обов'язково відома на початку процесу ухвалення рішення, тому розробнику рішення необхідно спочатку її створити. Функція корисності – це спосіб виміру бажаності або переваги об'єктів, названих альтернативами. Оцінка корисності – це ступінь благополуччя, яке ці альтернативи надають експерту, що схвалює рішення. Функція корисності складається з різних критеріїв, які дозволяють оцінювати глобальну корисність альтернативи.

Analytic hierarchy process (AHP) або *Метод аналізу ієрархії* (MAI) був розроблений Сааті (1977, 1980). Цей метод є особливо ефективним в тих випадках коли експерт, що схвалює рішення, не може побудувати функцію корисності, в іншому випадку рекомендується використовувати MAUT.

Процес ухвалення рішення містить у собі наступні складові:

- планування,
- генерування ряду альтернатив,
- установлення пріоритетів,
- вибір найкращої лінії поведінки після знаходження ряду альтернатив,
- розподіл ресурсів,
- побудова систем,
- вимір характеристик,
- забезпечення стійкості системи,
- оптимізація.

Для використання АНР користувачеві необхідно виконати послідовність кроків для одержання ранжирування альтернатив. Як і в будь-якому іншому методі МСДА, проблема спочатку повинна бути структурована. Після цього бали (пріоритети) розраховуються на основі парних порівнянь, надаваних користувачем. Особа, що схвалює рішення, не має потреби в кількісній визначенні; замість цього досить відносної словесної (якісної) оцінки, що часто зустрічається в повсякденнім житті. Крім того, існують два додаткові етапи, які можуть бути виконані: перевірка погодженості, аналіз чутливості.

Обоє етапу є необов'язковими, але рекомендується в якості підтвердження надійності (точності) результатів. Перевірка погодженості є загальною для всіх методів, заснованих на парних порівняннях, подібних АНР.

На рисунку 5.1 представлений приклад використання методу аналізу ієрархій для оцінки й вибору моделі взаємодії університетських і індустріальних команд.

Analytic network process (ANP) – це узагальнення АНР (МАІ), яке займається залежностями. В АНР, як і в інших методах, представлених у цій книзі, передбачається, що критерії незалежні. Якщо вони не є незалежними, корельовані критерії приведуть до надмірної ваги в розв'язку, що наведене нижче. У традиційних методах МСДА ця залежність має на увазі більшу вагу цих спільних критеріїв. ANP-метод дозволяє моделювати ці залежності, також названі зворотними зв'язками. Вони ближче до реальності й дають більш точні результати. Оскільки залежності можуть виникати між будь-якими елементами в розв'язку проблеми (тобто альтернативами, критеріями, підкритеріями), модель уже не лінійна, як в АНР, де елементи розташовані по рівнях. Ієрархія не потрібна в моделі ANP, де кластери заміняють рівні, і кожний кластер містить вузли або елементи. Кластери з'єднані лінією, яка, у свою чергу, означає, що елементи, або вузли зв'язані.

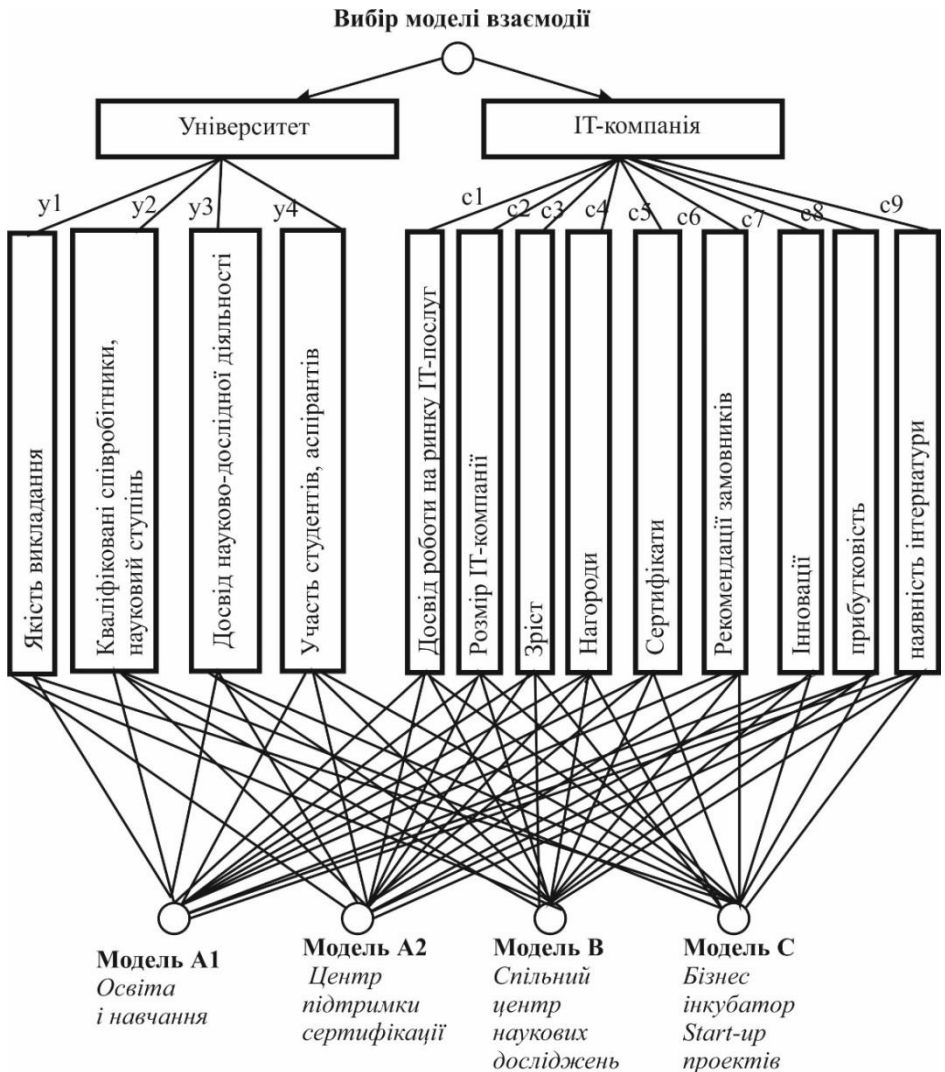


Рис. 5.1. Використання методу аналізу ієрархій для оцінки й вибору моделі взаємодії університетських і індустріальних команд

FUZZY SET THEORY або Теорія нечітких множин є розширенням класичної теорії множин. Такий підхід має багато переваг. Нечітка логіка враховує недостатність інформації і її зміна. Подібний підхід дозволяє вводити неточні дані, що дозволяє

декільком правилам охопити завдання з великою складністю. З недоліків варто відзначити труднощі у розробці *fuzzy* систем. У багатьох випадках вони можуть побажати безліч симуляцій, перш ніж зможуть використовуватися в реальному світі. Теорія нечітких множин використовується в таких областях, як машинобудування, економіка, екологія, соціальна сфера, медицина й керування. Багато із цих типів проблем використовують переваги неточного введення. Ці типи додатків підтримують метод, який містить у собі невизначеність (вихідних даних) і може бути перевірений необхідну кількість разів до реального застосування.

МАСВЕТН означає «Вимір привабливості за допомогою категоріальної оцінки». З погляду користувача, МАСВЕТН має багато спільного з АНР. Ці методи засновані на парних порівняннях, уведених користувачем, але МАСВЕТН використовує інтервальну шкалу, і АНР використовує масштаб відношення. Процес розрахунків для АНР так само відрізняється від МАСВЕТН.

Скорочення **PROMETHEE** означає «Метод організації ранжирування переваг для вдосконаленої оцінки». Таким чином, метод PROMETHEE надасть експерту, що схвалює рішення, ранжирування дій (варіантів або альтернатив) на основі ступенів переваг. Цей метод складається із трьох основних етапів:

1. Обчислення ступенів переваг для кожної впорядкованої пари дій один із критеріїв.
2. Обчислення потоків однократності;
3. Обчислення глобальних потоків.

На основі глобальних потоків буде отриманий рейтинг дій, а також графічне представлення проблеми розв'язку.

Методи **ELECTRE** (усунення й вибір, що виражають реальність), відносяться до методів «outranking». Вони становлять одну з основних галузей цього сімейства, незважаючи на їхню відносну складність (через багатьох технічних параметрів і складного алгоритму). Методи перевищення засновані на парному порівнянні опцій. Це означає, що кожна опція порівнюється з усіма іншими опціями. Передбачається використання програмного забезпечення Electre III-IV. На основі цих парних порівнянь можуть бути зроблені остаточні рекомендації. Головна характеристика й перевага методів ELECTRE полягає в тому, що вони уникають компенсації між критеріями й будь-яким процесом нормалізації, що «спотворює»

вихідні дані. Це поклало початок цілому ряду поліпшень, досліджень і розробок методів ELECTRE, щоб розв'язати нові проблеми з розв'язком. Вони можуть бути підрозділені відповідно до типу проблеми, яку вони вирішують.

Метод **TOPSIS** вимагає від користувача мінімальної кількості вхідних даних, і його висновок легко зрозуміти. Єдиними суб'єктивними параметрами є вагові коефіцієнти, пов'язані із критеріями. Основна ідея TOPSIS полягає в тому, що найкращим розв'язком є рішення, що має найкоротшу відстань до ідеального рішення й найвіддаленіше від негативного розв'язку. У результаті TOPSIS представляє альтернативу А як краще рішення, чому альтернатива В.

GOAL PROGRAMMING. Основна ідея (цільового програмування) полягає в тому, що є ідеальна мета, яка повинна бути досягнута при одночасному задоволенні жорстких обмежень. Ця мета складається з декількох цілей, які можуть суперечити один одному. Основні труднощі полягає в моделюванні проблеми: знайти мету й м'які й тверді обмеження. Моделювання проблеми вимагає, насамперед, ідентифікації змінних розв'язку, цілей і обмежень.

Метод **DEA** використовується для виміру продуктивності фірм або підрозділів (називаних вузлами прийняття рішень, *decision-making units*, DMU), які перетворюють кілька вхідних даних у кілька виходів. Він підходить для використання як компаніями приватного сектору, так і організаціями державного сектору (і навіть для таких суб'єктів, як регіони або країни). DEA був сформульований, щоб оцінити програму федерального уряду США в системі освіти. Використання DEA потім поширилося на інші громадські організації (лікарні, установи по догляду за старими, соціальні служби, департаменти по працевлаштуванню, поліцію, збройні сили, в'язниці, комунальні служби, електростанції, компанії суспільного транспорту, лісгосподарські компанії, бібліотеки, музеї, театри і т.д.) і приватний сектор (банки, страхові компанії, роздрібні магазини і т.д.). Показники ефективності кожного DMU розраховуються щодо границі ефективності. DMU, розташовані на границі ефективності, мають показник ефективності 1 (або 100%). В DMU, що працюють під границею, є показник ефективності менш 1 і, отже, є потенціал для поліпшення майбутніх показників. Потрібно враховувати, що жоден DMU не може бути розташований вище границі ефективності, тому

що вони не можуть мати показник ефективності більше 1. DMU, розташовані на границі, служать у якості контрольних крапок (або однорангових вузлів) для неефективних DMU.

5.3 Вибір методу аналізу й вибору моделі кооперації між університетами й ІТ-підприємствами

5.3.1 Уточнення задачі вибору моделі

Задача вибору моделі кооперації між Вузами й ІТ-підприємствами являє собою взаємозв'язок двох підзадач, які необхідно розв'язати.

По-перше – це задача класифікації типів моделей взаємодії між Вузами й ІТ-підприємствами.

По-друге – це обґрунтування методу вибору моделі взаємодії між Вузами й ІТ-підприємствами.

Рішення першого завдання в загальному виді представлено в працях Харченка В.С., Скляра В.В., Кондратенка Ю.П. та ін.

Основними типами моделей кооперації (взаємодії) є:

A1 – Утвір і навчання.

A2 – Центр підтримки сертифікації.

У – Спільний центр науково-технічних розробок і досліджень.

С – Бізнес-Інкубатор Start-up проектів.

Завдання обґрунтування методу вибору моделі взаємодії між Вузами й ІТ-підприємствами має декількома важливими відмітними характеристиками, які унеможливають застосування часте використовуваних методів кількісного аналізу. Саме тому основна увага була приділена методам (розглянутим у попередньому підрозділі 5.2), які дозволяють урахувувати різномірні кількісні і якісні критерії.

Задача прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності, що базуються на методах нечіткої логіки й аналізу ієрархій, дозволяють охопити наступні напрямки:

- якість викладання;
- кваліфіковані співробітники, наявність ученого ступеня;
- досвід науково-дослідної діяльності;
- участь студентів, аспірантів;
- досвід роботи на ринку ІТ-послуг;
- розмір ІТ-компанії;

- можливість кар'єрного росту;
- урядові нагороди;
- сертифікати;
- рекомендації замовників;
- прибутковість підприємства;
- інноваційність;
- наявність інтернатури;
- багатокритеріальна оцінка ефективності й ризику інвестиційних проєктів;
- формування оптимального портфеля інвестиційних проєктів;
- прогнозування попиту (обсягу продажів);
- оптимізації плану виробництва продукції з урахуванням прогнозованого попиту (обсягу продажів);
- аналіз і прогнозування фінансового стану підприємства.

5.3.2 Математичні методи вибору моделі

При застосуванні *методів нечіткої логіки* для вибору моделі взаємодії між ВУЗами й ІТ-компаніями необхідно пройти наступні етапи проєктування:

1. Визначити входи й виходи створюваної системи.
2. Задати для кожної із вхідних і вихідних змінних функції приналежності з термами.
3. Розробити бази правил виводів для реалізованої нечіткої системи.
4. Провести дефазифікацію.
5. Провести налаштування й аналіз адекватності розробленої моделі реальній системі.
6. Розробити програмну реалізацію.

До недоліків методів нечіткої логіки відносять:

- відсутність стандартної методики проєктування й розрахунків нечітких систем;
- неможливість математичного аналізу нечітких систем існуючими методами; застосування нечіткого підходу в порівнянні з імовірнісним не приводить до підвищення точності обчислень;
- збільшення вхідних змінних збільшує складність обчислень експоненціально;

– як наслідок попереднього пункту, збільшується база правил, що приводить до важкого її прийняття.

При виборі методу аналізу й вибору моделі кооперації між Вузами й ІТ-підприємствами також необхідно врахувати наступні фактори:

1. Невизначеність кінцевого списку критеріїв.
2. Невизначеність функції корисності. Функція корисності займається приведенням значень із однієї шкали виміру в іншу. Але тому що можна виділити багато критеріїв (наприклад, попит, рівень конкуренції, задоволення потреб споживача і т.д.) які не можуть бути оцінені кількісно, для таких критеріїв неможливо створити функцію корисності.

3. Критерії є не порівнянними між собою. Необхідна можливість працювати з непорівнянними шкалами (зацікавленість користувачів, простота використання, рейтинг, конкурентоспроможність)

Для рішення подібних задач часто застосовують метод аналізу ієрархій – замкнену логічну конструкцію, що забезпечує за допомогою простих правил, рішення багатокритеріальних завдань, що включають якісні й кількісні фактори, причому кількісні фактори можуть мати різну розмірність.

Метод заснований на декомпозиції задачі й представленні її у вигляді ієрархічної структури, що дозволяє включити в ієрархію всі наявні ЕСР знання по розв'язуваній проблемі й наступній обробці ЕСР. У результаті може бути виявлений відносний ступінь взаємодії елементів в ієрархії, які потім виражаються чисельно.

Метод аналізу ієрархій включає процедури синтезу множинних суджень, одержання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень.

Процес розв'язку зазнає перевірки й переосмисленню на кожному етапі, що дозволяє проводити оцінку якості отриманого рішення.

Структура моделі ухвалення рішення в методі аналізу ієрархій являє собою схему, яка включає:

- 1) набір альтернативних рішень;
- 2) головний критерій рейтингування рішень;
- 3) набір груп однотипних факторів, що впливають на рейтинг;
- 4) безліч спрямованих зв'язків, що вказують на впливи рішень, критерію й факторів один на одного.

Структура моделі відображає результат аналізу ситуації ухвалення рішення.

Перша група понять пов'язана з описом можливих структур моделей ухвалення рішення.

Для обчислення пріоритетів альтернативних рішень до структури необхідно додати інформацію про силу впливів рішень, критерію й факторів один на одного.

Друга група понять пов'язана з описом даних для моделей ухвалення рішення.

Після того як сформована структура й зібрані всі дані, модель ухвалення рішення готова, тобто в ній можуть бути отримані рейтинги пріоритетів рішень і факторів. Знання пріоритетів використовується для підтримки ухвалення рішення.

Третя група понять пов'язана з описом результатів, одержуваних у моделях ухвалення рішення.

Четверта група понять пов'язана з поясненням того, як організовані обчислення. Знання цих понять необхідно лише для розуміння математичних обґрунтувань методу. Для застосування методу знання цих понять необов'язково.

Метод аналізу ієрархій являє собою міждисциплінарну галузь науки.

Обґрунтування обчислювальних процедур методу проводиться за допомогою теорії негативних матриць.

Основним інструментом для збору даних, завдяки якому метод практично не має аналогів при роботі з якісною інформацією, є процедура парних порівнянь.

Аналіз структури моделі, якої оперує метод аналізу ієрархій, проводиться за допомогою процедур, розроблених у теорії графів.

При проведенні процедури узгодження й при розв'язку зворотного завдання використовуються методи оптимізації (нелінійного програмування).

Метод аналізу ієрархій представляється більш обґрунтованим шляхом розв'язку багатокритеріальних задач у складній обстановці з ієрархічними структурами, що включають як відчутні, так і невлімові фактори, чому підхід, заснований на лінійній логіці. Застосовуючи дедуктивну логіку, дослідники проходять важкий шлях побудови ретельно осмислених логічних ланцюгів тільки для того, щоб у

підсумку, покладаючись на одну лише інтуїцію, об'єднати різні умовиводи, отримані із цих дедуктивних посилок.

Ієрархія є основним способом, за допомогою якого дослідник може підрозділити всю сукупність досліджуваних даних на кластери й підкластери.

Основною задачею МАІ є оцінка вищих рівнів ієрархії, виходячи із взаємодії різних рівнів, а також оцінка значимості розглянутих керуючих впливів.

Процеси прийняття рішень у різних сферах діяльності багато в чому аналогічні. Тому необхідний універсальний метод підтримки прийняття рішень, відповідний до природнього ходу людського мислення.

Часто економічні, медичні, політичні, соціальні, управлінські проблеми мають кілька варіантів рішень. Найчастіше, при виборі одного рішення з безлічі можливих, експерт, що схвалює рішення, керується тільки інтуїтивними уявленнями. Внаслідок цього ухвалення рішення має невизначений характер, що позначається на якості прийнятих рішень.

З метою додання ясності процес підготовки ухвалення рішення на всіх етапах супроводжується кількісним вираженням таких категорій як «перевага», «важливість», «бажаність» і т.п.

Потрібно кожній альтернативі поставити у відповідність пріоритет (число) – одержати рейтинг альтернатив. Причому чим більш краща альтернатива за обраним критерієм, тим більше її пріоритет.

Прийняття рішень ґрунтується на величинах пріоритетів.

Метод аналізу ієрархій – методологічна основа для розв'язку задач вибору альтернатив за допомогою їх багатокритеріального рейтингування.

Метод аналізу ієрархій виріс у цей час у великий міждисциплінарний розділ науки, що має строгі математичні й психологічні обґрунтування й численні додатки.

Основне застосування методу – підтримка прийняття рішень за допомогою ієрархічної композиції завдання й рейтингування альтернативних рішень, відповідно він має наступні можливості (особливості, переваги).

1) Метод дозволяє провести аналіз проблеми. При цьому проблема ухвалення рішення представляється у вигляді ієрархічно впорядкованих:

а) головної мети (головного критерію) рейтингування можливих рішень;

б) декількох груп (рівнів) однотипних факторів, так чи, що інакше впливають на рейтинг;

в) групи можливих рішень;

г) системи зв'язків, що вказують на взаємний вплив факторів і рішень. ієрархія синтез операційний

Передбачається, так само, що для всіх перерахованих «вузлів» проблеми зазначені їхні взаємні впливи один на одного (зв'язки один з одним).

2) Метод дозволяє провести збір даних по проблемі.

У відповідність із результатами ієрархічної декомпозиції модель ситуації ухвалення рішення має кластерну структуру. Набір можливих рішень і всі фактори, що впливають на пріоритети рішень, розбиваються на відносно невеликі групи – кластери. Розроблена в методи аналізу ієрархій процедура парних порівнянь дозволяє визначити пріоритети об'єктів, що входять у кожний кластер. Для цього використовується метод власного вектора. Отже, складна проблема збору даних розбивається на ряд більш простих.

3) Метод дозволяє оцінити суперечливість даних і мінімізувати її.

Із цією метою в методи аналізу ієрархій розроблені процедури узгодження. Зокрема, є можливість визначити найбільш суперечливі дані, що дозволяє виявити найменш ясні ділянки проблеми й організувати більш ретельне вибіркове обмірковування проблеми.

4) Метод дозволяє провести синтез проблеми ухвалення рішення.

Після того, як проведений аналіз проблеми й зібрані дані по всіх кластерах, по спеціальному алгоритму розраховується підсумковий рейтинг – набір пріоритетів альтернативних рішень. Властивості цього рейтингу дозволяють здійснювати підтримку прийняття рішень. Наприклад, схвалюється рішення з найбільшим пріоритетом. Крім того, метод дозволяє побудувати рейтинги для груп факторів, що дозволяє оцінювати важливість кожного фактора.

5) Метод дозволяє організувати обговорення проблеми, сприяє досягненню консенсусу.

Ідеї, що виникають під час обговорення проблеми ухвалення рішення, самі можуть у даній ситуації розглядатися в якості можливих рішень. Тому метод аналізу ієрархії можна застосувати для визначення важливості обліку думки кожного учасника обговорення.

6) Метод дозволяє оцінити важливість обліку кожного розв'язку й важливість обліку кожного фактора, що впливає на пріоритети рішень.

Відповідно до формулювання задачі ухвалення рішення величина пріоритету прямо пов'язана з оптимальністю розв'язку. Тому рішення з низькими пріоритетами відкидаються як несуттєві. Як відзначено вище, метод дозволяє оцінювати пріоритети факторів. Тому, якщо при виключенні деякого фактора пріоритети рішень змінюються незначно, такий фактор можна вважати несуттєвим для розглянутого завдання.

7) Метод дозволяє оцінити стійкість прийнятого розв'язку.

Прийняття рішення можна вважати обґрунтованим лише за умови, що неточність даних або неточність структури моделі ситуації ухвалення рішення не впливають суттєво на рейтинг альтернативних рішень.

Таким чином, слід зазначити, що розглянуті методи можуть застосовуватися для роботи з кількісними і якісними показниками. Однак, метод аналізу ієрархій відбиває природний хід людського мислення й дає більш загальний підхід. Він не тільки дає спосіб виявлення найбільш кращого рішення, але й дозволяє кількісно виразити ступінь переваги за допомогою рейтингування. Це сприяє повному й адекватному (обґрунтованому) виявленню переваг особи, що схвалює рішення. Крім того, оцінка заходу суперечливості використаних даних дозволяє встановити ступінь довіри до отриманого результату (точність, довірчість).

5.4 Аналіз і використання інструментальних засобів для оцінювання й вибору моделі університетсько-індустріальної кооперації

5.4.1 Класифікація інструментальних засобів

Класифікацію інструментальних засобів DSS пропонується провести в розрізі існуючого програмного забезпечення, яке може тією

чи іншою мірою успішно застосоване для систем підтримки прийняття рішень [для оцінки університетських і індустріальних команд і вибору моделі взаємодії].

У цей час існуючі інструментальні засоби підтримки системи прийняття рішень оформилися в чотири основні групи.

1. Спеціалізовані математичні пакети, такі як (Mathematica, Mathcad, Matlab, Maple, Sage, etc.).

2. Локальні інструментальні засоби/розв'язку, що спеціалізуються на реалізації певного наукового підходу/методики (Criterium Decisionplus – {АНР}, GMDH Shell від «Group Method of Data Handling» {neural networks}, Projectexpert, etc.).

3. Реалізація допоміжних розрахунків/макросів/підпрограм для підтримки системи прийняття рішень за допомогою функцій офісних пакетів (MS Excel, Libreoffice Calc, WPS Spreadsheets, etc.)

4. Інструментальні засоби/рішення підтримки системи прийняття рішень на основі Web-Сервісів (Expert Choice, Superdesicion, PROMETHEE, etc.).

Одним з найбільш актуальних і повних порівнянь інструментальних засобів у відкритій пресі є матеріали [184] Саманти Олесон (Samantha Oleson) під егідою організації Informs (Information Operation Research Manangement System).

5.4.2 Рекомендації з використання інструментальних засобів

Адаптація цих матеріалів у контексті систем підтримки прийняття рішень [для оцінки університетських і індустріальних команд й вибору моделі взаємодії] наведена нижче в таблицях 5.4 – 5.7.

Таблиця 5.4. Можливість застосування програмного забезпечення для завдань аналізу прийнятих рішень

ПО	Можливість застосування ПО для завдань аналізу прийнятих рішень							
	Множинні цілі	Невизначеність	Імовірнісні залежності	Облік фактора ризику	Послідовне прийняття рішень	Портфельне прийняття рішень	Двохнаправлений аналіз чутиливості	Враховування інтересів декількох учасників
@RISK	+	+	+	+	-	+	+	
1000Minds	+	+	-	-	+	+	-	+
Analytic Solver Platform for Excel	-	+	+	+	+	+	+	-
Analytica	+	+	+	+	+	+	+	+
Analyticsolver.com	-	+	+	+	+	+	+	-
Chemdecide	+	+	-	+	-	+	-	+
D-Sight CDM	+	-	-	-	-	+	+	+
DEA Solverpro	+	+	+	+		+	+	+
Decideit	+	+	-	+	+	-	+	-
Decision Explorer	+	+	-	-	-	-	-	+
Decision Quality Desktop (including Dtrio and Treetop)	+	+	+	+	+	-	+	+
Discoversim	+	+	+	+	-	-	+	-
DPL	+	+	+	+	+	+	+	+
Equity3	+	-	-	+	-	+	-	+
FOCUS	+	+	-	+	-	+	+	+
Goldsim	+	+	+	-	+	+	+	+
Hiview3	+	-	-	+	-	-	+	+
Intelligent Decision System (IDS)	+	+	+	+	-	-	+	+
Logical Decisions v7.2	+	+	-	+	-	+	+	+
Meenymo	+	+	-	-	-	+	-	-
Sensit	-	+	-	-	-	-	+	-

Продовження таблиць 5.4.

ПО	Можливість застосування ПО для завдань аналізу прийнятих рішень							
	Множинні цілі	Невизначеність	Імовірнісні залежності	Облік фактора ризику	Послідовне прийняття	Портфельне прийняття	Двохнаправлений аналіз	Враховування інтересів декількох
Simvoi	-	+	+	-	-	-	-	-
SLIM	+	+	+	+	+	+	+	+
Smart Decisions	+	+	-	-	-	+	+	+
Smart-Swaps	+	-	-	-	-	-	-	-
The Decisiontools Suite	+	+	+	+	+	+	+	
Transparentchoice	+	-	-	+	-	+	+	+
Treeplan	-	+	+	+	+	-	-	-
Web-hipre	+	-	-	-	-	-		+

Таблиця 5.5. Облік структурних елементів системи прийняття рішень

ПО	Чи дозволяє ПО враховувати наступні компоненти системи прийняття рішень?			
	Структурне моделювання / Мозковий штурм	Функція цінності / Оцінки	Зважування критеріїв / Атрибутів	Імовірнісний характер залежності
@RISK	+	+	+	+
1000Minds	+	+	+	-
Analytic Solver Platform for Excel	-	+	-	+
Analytica	+	+	+	+
AnalyticSolver.com	-	+	-	+
Chemdecide	+	+	+	-
D-Sight CDM	-	+	+	-
DEA Solverpro	+	+	+	+

Продовження таблиць 5.5.

ПО	Чи дозволяє ПО враховувати наступні компоненти системи прийняття рішень?			
	Структурне моделювання/ Мозковий штурм	Функція цінності/ Оцінки	Зважування критеріїв/ Атрибутів	Імовірнісний характер залежності
Decideit	+	+	+	+
Decision Explorer	+	-	-	-
Decision Quality Desktop (including Dtrio and Treetop)	+	+	+	+
Discoversim	-	-	-	+
DPL	+	+	+	+
Equity3	+	+	+	-
FOCUS	+	+	+	+
Goldsim	+	-	-	+
Hiview3	+	+	+	-
Intelligent Decision System (IDS)	+	+	+	+
Logical Decisions v7.2	+	+	+	+
Meenymo	+	+	+	-
Sensit	-	-	-	-
Simvoi	-	-	-	-
SLIM	-	+	+	+
Smart Decisions	+	+	+	-
Smart-Swaps	+	-	-	-
The Decisiontools Suite	+	+	+	+
Transparentchoice	+	+	+	-
Treeplan	-	-	-	-
Web-hipre	+	+	+	-

Таблиця 5.6. Забезпечення ПО необхідними характеристиками usability

ПО	Забезпечення ПО необхідними характеристиками usability				
	Інтерфейс із іншим ПО	Імпорт (БД, таблиці)	Експорт (презентації)	Інтерфейс із іншим ПО	Імпорт (БД, таблиці)
	common	import	export	xml	api
@RISK	+	+	+	-	+
1000Minds	+	+	+	+	+
Analytic Solver Platform for Excel	+	+	+	-	-
Analytica	+	+	+	+	+
Analyticsolver.com	+	+	+	-	-
Chemdecide	+	+	+	+	-
D-Sight CDM	-	+	+	+	-
DEA Solverpro	+	+	+	-	-
Decideit		+	+	-	-
Decision Explorer	+	+	+	+	+
Decision Quality Desktop (including Dtrio and Treetop)	+	+	+	-	+
Discoversim	+	+	+	-	-
DPL	+	+	+	+	+
Equity3	+	+	+	+	-
FOCUS	+	+	+	+	-
Goldsim	+	+	+		+
Hiview3	+	-	+	+	-
Intelligent Decision System (IDS)	+	+	+	-	+

Продовження таблиці 5.6.

ПО	Забезпечення ПО необхідними характеристиками usability				
	Інтерфейс із іншим ПО	Імпорт (БД, таблиці)	Експорт (презентації)	Інтерфейс із іншим ПО	Імпорт (БД, таблиці)
	common	import	export	xml	api
Logical Decisions v7.2	+	+	+	-	+
Meenymo	+	+	-	-	-
Sensit	+	+	+	+	-
Simvoi	+	+	+	+	-
SLIM	+	+	+	+	+
Smart Decisions	-	+	+	+	-
Smart-Swaps	-	-	-	-	-
The Decisiontools Suite	+	+	+	-	+
Transparentchoice	+	+	+	-	-
Treeplan	+	+	+	+	-
Web-hipre	-	-	-	-	-

Таблиця 5.7. Реалізація застосовуваних алгоритмів ухвалення рішення

ПО	Застосування алгоритмів прийняття рішень			Забезпечення графічної вистави результатів аналізу	
	MODA/MAUT	АНР	Інші	Графічна вистава результатів аналізу чутливості для вагових коефіцієнтів і ймовірностей	Графічна вистава аналітичних результатів
@RISK	-	-		+	+
1000Minds	+	-	PAPRIKA	+	+

Продовження таблиці 5.7.

ПО	Застосування алгоритмів прийняття рішень			Забезпечення графічної вистави результатів аналізу	
	MODA/MAUT	AHP	Інші	Графічна вистава результатів аналізу чутливості для вагових коефіцієнтів і ймовірностей	Графічна вистава аналітичних результатів
Analytica	+	-		+	+
Analyticsolver.com	-	-		+	+
Analytic Solver Platform for Excel	-	-		+	+
Chemdecide	+	+	MARE, ELECTRE III	+	+
D-Sight CDM	+	+	PROMETHEE	+	+
DEA Solverpro	-	-	Data Envelopment Analysis	+	+
Decideit	+	-	Бібліотека рішень	+	+
Decision Explorer	-	-		-	-
Decision Quality Desktop	+	+	Користувацькі метрики	+	+
Discoversim	-	-	Monte Carlo Simulation	+	+
DPL	+	-	Decision Tree, Monte Carlo simulation	+	+
Equity3	+	-		+	+
FOCUS	+	-		+	+
Intelligent Decision System	+	+	Метод Evidential Reasoning	+	+

Продовження таблиці 5.7.

ПО	Застосування алгоритмів прийняття рішень			Забезпечення графічної вистави результатів аналізу	
	MODA/MAUT	AHP	Інші	Графічна вистава результатів аналізу чутливості для вагових коефіцієнтів і ймовірностей	Графічна вистава аналітичних результатів
Goldsim	+			+	+
Hiview3	+	-	MACBETH	+	+
Logical Decisions v7.2	+	+		+	+
Meenymo	+	-	PAPRIKA	+	+
Sensit	-	-	Automated Sensitivity Analysis	-	+
Simvoi	-	-		-	+
SLIM	-	-	MJC2 algorithms	+	+
Smart Decisions	+	-		+	+
Smart-Swaps	-	-		-	-
The Decisiontools Suite	-	-		+	+
Transparent choice	-	+		+	+
Treeplan	-	-	Відкіт дерева рішень з використанням очікуваного значення або корисності ризику	-	+
Web-hipre	+	+	Технології зважування MAVT	+	+

Відповідно до представлених таблиць можна зробити обґрунтований висновок (деякі із представників ПО досить універсальні, деякі спеціалізуються на одне-двох методах аналізу прийнятих рішень) про популярність як теоретичних підходів до дослідження й аналізу прийнятих рішень, так і інструментальних засобів (ПО), що дозволяють полегшити цей процес для ЕСР.

Таким чином, у рекомендації при виборі/застосуванню підходів/інструментальних засобів у системі прийняття рішень пропонується враховувати наступні особливості:

- первісним орієнтиром може бути інформація про статистику застосування інструментальних засобів підтримки систем прийняття рішень у контексті реалізованих методів й специфіки модельованих об'єктів або явищ;

- аспекти права, патентної чистоти, ліцензії на використовуване програмне забезпечення;

- економічна доцільність (у найпростішому випадку прибуток, у більш складних – економічна ефективність) від використання комерційного ПО для дослідницьких цілей;

- рівень математичної підготовки й ІТ-грамотності дослідника (у деяких пакетах ПО математика «захована» усередину);

- наочність процесу підготовки рішення, представлених даних і результатів, сервісні можливості ПО (експорт/імпорт, графічне відображення, зберігання вихідних даних і результатів локально/мережа/хмара й т.п.), і деякі інші.

ВИСНОВКИ

В даному томі відображено результати розроблення і впровадження інтелектуальної системи та інструментальних засобів підтримки прийняття рішень при визначенні і виборі моделей університетсько-індустріальної кооперації.

Вони базуються на:

- аналізі досвіду партнерів за проектом CABRIOLET, а саме університетів і компаній Великобританії (Університет Ньюкаслу), Іспанії (компанія Inercia Digital), Італії (компанія Critiware), Португалії (Університет Коїмбри) та Швеції (Університет КТН, Стокгольм) в процесі безпосереднього спілкування та різноманітних семінарів і зустрічей в цих країнах і в Україні;

- аналізі публікацій та досвіду провідних університетів і компаній інших країн.

При розробленні СППР і інструментальних засобів використано наступні джерела [93-94, 101-102, 111, 141, 160, 170-172, 189-214].

Модельний підхід, описаний першому томі, був розвинутий і конкретизований для розроблення принципів ієрархічної організації СППР для вибору моделі кооперації з використанням методології обробки нечіткої експертної інформації та відповідного інструментарію.

Аналіз прикладів успішної інноваційної співпраці університетів та ІТ-компаній підтверджує, доцільність використання отриманих у проекті результатів для подальшого розвитку освіти, індустрії в Україні, її інтеграції у європейський і світовий простір.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алтунин А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень: Тюменский государственный университет, 2000. – 352 с.
2. Андрейчиков А.В. Интеллектуальные информационные системы / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 427 с.
3. Багат А.В. Статистика: учебное пособие / А.В. Багат; под ред. В.М. Симчеры. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с.
4. Батыршин И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения / И.З. Батыршин. – Казань: Отечество, 2001. – 190 с.
5. Бідюк П.І. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / П.І. Бідюк, О.П. Гожий, Л.О. Коршевнок. – К.: ННК «ПСА», 2012. – 379 с.
6. Бодянский Е.В. О синтезе нечетких алгоритмов на основе композиции фрагментов правил и моделей / Е.В. Бодянский, Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко // АСУ и приборы автоматики. – 2004. – №128. – С 19-28.
7. Борисов А.Н. Принятие решения на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Знание, 1990. – 184 с.
8. Вороновский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. – Харьков: Основа, 1997. – 112 с.
9. Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории / А.И. Галушкин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 496 с.
10. Горбань А.Н. Идея оптимальности и естественный отбор / А.Н. Горбань, Р.Г. Хлебопрос. – М.: Наука, 1998. – 178 с.
11. Гультяев А.Р. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс / А.Р. Гультяев. – СПб.: Питер, 2000. – 432 с.
12. Денисенко М.П. Організація та проектування логістичних систем / М.П. Денисенко, П.Р. Левковець, Л.І. Михайлова. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 336 с.
13. Джексон П. Введение в экспертные системы: Пер. с англ. – М.: Вильмс, 2001. – 624 с.

14. Дубровин В.И. Метод получения вектора приоритетов из нечетких матриц попарных сравнений / В.И. Дубровин, Н.А. Миронова // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 464-470.

15. Дьяконов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб: Питер, 2001. – 488 с.

16. Елисеева И.И. Общая теория статистики: учебник для вузов / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев; под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 656 с.

17. Елисеева И.И. Статистика: учебник / Елисеева И.И. – М.: Высшее образование, 2008. – 566 с.

18. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с.

19. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій / Ю.П. Зайченко. – К.: Слово, 2006. – 688 с.

20. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем / Ю.П. Зайченко. – К.: Слово, 2004. – 353 с.

21. Катренко А.В. Теорія прийняття рішень / А.В. Катренко, В.В. Пасічник, В.П. Пасько. – К.: Видавнича група ВНУ, 2009. – 448 с.

22. Клименко Л.П. Перспективи і роль академічних консорціумів у процесах реформування вищої освіти в Україні / Л.П. Клименко, Ю.П. Кондратенко // Маркетинг в Україні. – 2012. – №2 (71). – С. 45-55.

23. Клименко Л.П. Спосіб керування енергозабезпеченням автономного об'єкта з акумуляцією та перетворенням енергії від поновлюваних джерел енергії / Л.П. Клименко, Ю.П. Кондратенко, В.І. Андрєєв, А.С. Доценко, Н.Ю. Караман, В.Ю. Кондратенко, Є.В. Сіденко // Патент України на корисну модель №66037. Оpubл. Бюл. №24, 2011.

24. Клименко Л.П. Спосіб керування енергозабезпеченням автономного об'єкта від поновлюваних джерел енергії з акумуляцією корисного продукту / Л.П. Клименко, Ю.П. Кондратенко, В.І. Андрєєв, А.С. Доценко, Н.Ю. Караман, В.Ю. Кондратенко, Є.В. Сіденко // Патент України на корисну модель №66039. Оpubл. Бюл. №24, 2011.

25. Кондратенко В.Ю. Об'єктно-орієнтовані моделі для синтезу інтелектуальних систем з нечіткою логікою / В.Ю. Кондратенко, В.С.

Яценко // Праці Одеського національного політехнічного університету. – 2006. – С. 54–60.

26. Кондратенко Г. В. Особливості синтезу нечітких ієрархічних СППР у середовищі FuzzyTECH / Г. В. Кондратенко, Є. В. Сіденко, О. В. Чекашова // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Ольвійський форум – 2011». – Ялта, Червень 2011. – С. 36-37.

27. Кондратенко Г.В. Алгоритмы оценки эффективности процессов планирования маршрутов и траекторий на основе нечетких моделей принятия решений // Моделирование та інформаційні технології. – К.: ПІМЕ НАНУ, 2002. – Вип. 12. – С. 40-47.

28. Кондратенко Г.В. Інверсний підхід до комп'ютерного синтезу апріорних моделей початкової інформації в задачах класу TSP та CVRP / Г.В. Кондратенко, Ю.П. Кондратенко, Є.В. Сіденко, В.Й. Чабан // Наукові праці. – 2012. – № 179(191). – С. 21–28.

29. Кондратенко Г.В. Інверсні математичні моделі і алгоритми в інформаційних технологіях оптимізації транспортних маршрутів / Г.В. Кондратенко, Ю.П. Кондратенко, Є.В. Сіденко // Міжн. наук.-практ. конф. “Ольвійський форум – 2012: Стратегії України в геополітичному просторі”. – Севастополь, Червень 2012. – С. 22-23.

30. Кондратенко Г.В. Синтез та тестування нечіткої СППР для супроводження процесів кредитування / Г.В. Кондратенко, Є.В. Сіденко, О.В. Чекашова // Наукові праці. Серія: Комп'ютерні технології. ЧДУ ім. П.Могили. – 2011. – № 148(160). – С. 89-92.

31. Кондратенко Ю. Аналіз особливостей інноваційної співпраці академічних інституцій та ІТ-компаній в напрямках S2B та B2S / Ю. Кондратенко, В. Харченко // Технічні вісті. – Львів: НУ «Львівська політехніка». – 2014. – № 1(39). – С. 15-19.

32. Кондратенко Ю. Синтез нечітких систем підтримки прийняття рішень для задач транспортної логістики / Ю. Кондратенко, С. Енчева, Є. Сіденко // Технічні вісті. – 2010. – Вип. 1(31), 2(32). – С. 61-66.

33. Кондратенко Ю.П. Verilog-HDL для моделювання и синтеза цифровых электронных схем / Ю.П. Кондратенко, В.В. Мохор, С.А. Сидоренко. – Миколаїв: Вид-во МДГУ, 2002. – 208 с.

34. Кондратенко Ю.П. Дослідження та нечітке моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / Ю.П. Кондратенко, Є.В. Сіденко // Труды XII Межд. научн.-практ. конф.

«Современные информационные и электронные технологи СИЭТ-2011». – Одеса, Травень 2011. – С. 55.

35. Кондратенко Ю.П. Ієрархічна організація та корекція в реальному часі нечітких СППР при змінній структурі вхідної інформації / Ю.П. Кондратенко, Є.В. Сіденко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2012. – № 7(59). – С. 17-23.

36. Кондратенко Ю.П. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для вибору раціональної моделі академічно-промислових консорціумів типу «Університет – ІТ-компанія» / Ю.П. Кондратенко, Г.В. Кондратенко, Є.В. Сіденко // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2015. – № 19(95). – С. 303-306.

37. Кондратенко Ю.П. Інформаційна технологія для оцінки функцій належності нечітких множин на основі операторів Т-норм та S-норм / Ю.П. Кондратенко, Г.В. Кондратенко, Є.В. Сіденко // *Наукові праці. Серія: Комп'ютерні технології. ЧДУ ім. П.Могили*. – 2013. – № 201(213). – С. 51-56.

38. Кондратенко Ю.П. Комп'ютерна система багатокритеріального вибору раціонального варіанта доставки вантажів на основі нечіткої логіки / Ю.П. Кондратенко, В.Ю. Кондратенко, Є.В. Сіденко // *Патент України на корисну модель №84584*. Опубл. Бюл. №20, 2013.

39. Кондратенко Ю.П. Метод автоматичної корекції баз правил нечітких ієрархічно-структурованих СППР / Ю.П. Кондратенко, А.М. Гіл-Лафунте, Г.В. Кондратенко, Є.В. Сіденко // *Матеріали XX Міжнарод. конф. з автоматичного управління Автоматика-2013*, присв. 100-річчю з дня народж. академіка НАНУ О.Г.Івахненка. – Миколаїв, Вересень 2013. – С. 296-297.

40. Кондратенко Ю.П. Метод агрегації узагальнених трапецієвих лінгвістичних термів для задач багатокритерійного прийняття рішень / Ю.П. Кондратенко, Є.В. Сіденко // *Вісник Національного університету водного господарства і природокористування*. – 2014. – № 1(65). – С. 454-468.

41. Кондратенко Ю.П. Методи обробки нечіткої лінгвістичної інформації в задачах багатокритерійного прийняття рішень / Ю.П. Кондратенко, Є.В. Сіденко // *Матер. 6-ї Міжн. наук.-практ. конф. Сучасні інформаційні та іноваційні технології на транспорті MINTT-2014*. – Херсон, Травень 2014. – С. 161-163.

42. Кондратенко Ю.П. Механізм двокаскадної корекції та аналіз методів редукування баз правил нечітких моделей прийняття рішень / Ю.П. Кондратенко, Є.В. Сіденко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2013. – № 09(85). – С. 127-136.

43. Кондратенко Ю.П. Міжуніверситетські студентські творчі колективи – кузня майбутніх вчених / Ю.П. Кондратенко, Е.А. Швець // Матеріали Міжн. конф. “Перспективи вищої освіти: роль міжуніверситетських консорціумів”. – Миколаїв, Атол, 2004. – С. 35-37.

44. Кондратенко Ю.П. Нові підходи до обробки лінгвістичної інформації в задачах багатокритерійного прийняття рішень / Ю.П. Кондратенко, Є.В. Сіденко // Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції "Стратегічні рішення інформаційного розвитку економіки, суспільства та бізнесу". – Рівне, Лютий 2014. – С. 34-35.

45. Кондратенко Ю.П. Оптимізація процесів прийняття рішень в умовах невизначеності // Навчальний посібник. – Миколаїв: МДГУ ім. Петра Могили, 2006. – 96 с.

46. Кондратенко Ю.П. Организация учебного процесса при изучении методов проектирования цифровых устройств на основе программируемых логических интегральных схем / Ю.П. Кондратенко // Современные технологии проектирования систем на микросхемах программируемой логики. Матер. науч.-техн. АЛДЕК конф. – Харьков: ХНУРЕ, Сентябрь, 2003. – С. 5-6.

47. Кондратенко Ю.П. Основні напрямки і перспективи багатовекторної неперервної освіти / Ю.П. Кондратенко // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Педагогічні науки. – Миколаїв: Видавництво МДГУ ім. Петра Могили. – 2002. – Вип. 7. – с. 77-80.

48. Кондратенко Ю.П. Особливості синтезу і моделювання ієрархічно-організованих СППР на основі нечіткої логіки / Ю. П. Кондратенко, Є. В. Сіденко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ. – 2011. – № 2(41). – С. 150-158.

49. Кондратенко Ю.П. Поведінковий синтез цифрових пристроїв у середовищі Active-HDL / Ю.П. Кондратенко, С.А. Сидоренко, Д.М. Підпригора. – Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2002. – 116 с.

50. Кондратенко Ю.П. Проблеми і перспективи неперервної багатовекторної освіти в Україні / Ю.П. Кондратенко // Матеріали Міжн. конф. "Кораблебудування: освіта, наука, виробництво". – Миколаїв, УГМТУ, 2002. – С. 52-53.

51. Кондратенко Ю.П. Програмний комплекс для автоматизованого тестування знань студентів / Ю.П. Кондратенко, С.В. Волкова // Технічні вісті. – 2006. – Вип. 1(22), 2(23). – С. 32-36.

52. Кондратенко Ю.П. Регіональні міжвузівські центри: аспекти багатовекторної неперервної освіти / Ю.П. Кондратенко // Технічні вісті. – 2003. – 1(16), 2(17). – С. 36-39.

53. Кондратенко Ю.П. Синтез структурованого програмного забезпечення для автоматизованого тестування знань / Ю.П. Кондратенко, С.Б. Енчева, С.В. Волкова, А.І. Олійник, Я.В. Сапожник // Наукові праці. – МДГУ ім. П.Могили, Серія "Комп'ютерні технології". – 2007. – Том 68, Випуск 55. – С. 183-194.

54. Кондратенко Ю.П. Системи підтримки прийняття рішень на основі пристроїв з нечіткою логікою / Ю.П. Кондратенко, С.А. Сидоренко // Збірник наукових праць УДМТУ. – 1999. – Вип. 4. – С. 125-134.

55. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 482 с.

56. Крошилин А.В. Особенности построения систем поддержки принятия решений на основе нечеткой логики / А.В. Крошилин, А.В. Бабкин, С.В. Крошилина // Научно-технические ведомости. – 2010. – №2(97). – С. 58-63.

57. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб.пособие / Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 2001. – 289 с.

58. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и FuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

59. Миркес Е.М. Нейрокомпьютер. Проект стандарта / Миркес Е.М. –Новосибирск: Наука, 1998. – 267 с.

60. Недашковская Н.И. Методология обработки нечеткой экспертной информации в задачах предвидения / Н.И. Недашковская, Н.Д. Панкратова // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 2. – С. 40-55.

61. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. Под ред. Поспелова Д.А. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
62. Орлов А.И. Прикладная статистика / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2007. – 656 с.
63. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – М.: Питер, 2002. – 345 с.
64. Палагин А.В. Реконфигурируемые вычислительные системы / А.В. Палагин, В.Н. Опанасенко. – К.: Просвіта, 2006. – 280 с.
65. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление; пер. с англ. / А. Пегат. – М.: БИНОМ, 2012. – 798 с.
66. Романовський Г.Ф. Взаємозв'язок завдань Регіонального міжвузівського центру з проблемами суднобудування / Г.Ф. Романовський, Ю.П. Кондратенко // Матеріали міжнародного симпозіуму «Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення». – Миколаїв, 1997. – С. 44-45.
67. Романовський Г.Ф. Інтеграція зусиль міжнародних неурядових асоціацій на розвиток Чорноморського регіону / Г.Ф. Романовський, Ю.П. Кондратенко // Економічні Інновації. – 1999. – № 4. – С. 40-41.
68. Романовський Г.Ф. Регіональний міжвузівський центр – базовий консорціум для впровадження концепції неперервної багатовекторної освіти / Г.Ф. Романовський, Ю.П. Кондратенко // Матеріали Міжн. конф. “Перспективи вищої освіти: роль міжуніверситетських консорціумів”. – Миколаїв, Атол, 2004. – С. 78-85.
69. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
70. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике / А. П. Ротштейн. – Винница: Континент-ПРИМ, 1996. – 132 с.
71. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д. – М.: Питер, 2006. – 124 с.
72. Саати Т. Анализ иерархических процессов / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 315 с.

73. Сапотницький А.Я. Информационно-экспертные технологии в процессах создания и эксплуатации сложных образцов техники. Сборник трудов конференции Компьютерные технологии в инженерной и управленческой деятельности / А.Я. Сапотницький, А.С. Юдин, И.П. Мирошниченко, Р.В. Сахабудинов. – Таганрог, 1998. – С. 215-217.

74. Сапотницький А.Я. Универсальный программно-аппаратный комплекс / А.Я. Сапотницький, А.Я. Ционский, Л.Н. Фоменко // Программные продукты и системы. – 1997. – №3. – С. 30-34.

75. Сетлак Г. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений / Г. Сетлак. – К.: Логос, 2004. – 315 с.

76. Ситник В.Ф., Олексюк О.С., Гужва В.М., Ріппа С.П., Олейко В.М. Системи підтримки прийняття рішень / В.Ф. Ситник, О.С. Олексюк, В.М. Гужва, С.П. Ріппа, В.М. Олейко. – К.: Техніка, 1995. – 387 с.

77. Сіденко Є.В. Дослідження впливу різнотипних операторів t-норм та s-норм на ефективність обробки нечіткої інформації / Є.В. Сіденко, К.О. Баранов // Матеріали III Міжнар. наук. конф. студентів та молод. вчених «Modern Information Technology – Сучасні Інформаційні Технології 2013». – Одеса, Квітень 2013. – С. 128-130.

78. Сіденко Є.В. Метод агрегації узагальнених лінгвістичних термів в задачах багатокритерійного прийняття рішень // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Ольвійський форум – 2014». – Миколаїв, Червень 2014. – С. 35.

79. Сіденко Є.В. Особливості застосування різнотипних логічних операторів t-норм та s-норм для оцінки інформації в нечітких моделях // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Ольвійський форум – 2013». – Ялта, Червень 2013. – С. 266-269.

80. Теленик С.Ф. Метод формування нечіткого логічного висновку із залученням експертного комітету / С. Ф. Теленик, П. І. Бідюк, Л. О. Коршевнік, В. С. Хмелюк // Пробл. програмув. – 2008. – № 4. – С. 73-83.

81. Терентьев А.Н. Алгоритм вероятностного вывода в байесовских сетях / А. Н. Терентьев, П. И. Бидюк, Л. А. Коршевнік // Систем. дослідж. та інформ. технології. – 2009. – № 2. – С. 107-111.

82. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: Синтег, 1998. – 652 с.

83. Трахтенгерц Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: Синтег, 2001. – 549 с.

84. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

85. Харченко В.С. Концепція і моделі взаємодії між університетською наукою та ІТ-індустрією: S2B-B2S / В.С. Харченко, В.В. Скляр // КАРТБЛАНШ. – К.: Карт Бланш. – 2012. – № 8-9. – С. 40-47.

86. Харченко В.С. Кооперация университетов и ИТ-индустрии: некоторые проблемы и решения / В.С. Харченко, В.В. Скляр // КАРТБЛАНШ. – К.: Карт Бланш. – 2014. – № 3-4. – С. 43-50.

87. Хемди А.Т. Введение в исследование операций / А.Т. Хемди. – М.: «Вильямс», 2007. – 912 с.

88. Циделко В. Информационные технологии на базе нечеткой логики (Fuzzy logic) / В. Циделко, В. Хандоняк // Электронные компоненты и системы. – 1999. – №10(26). – С. 29-34.

89. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноуцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

90. Шмойлова Р.А. Практикум по теории статистики: учебное пособие для вузов / Р.А. Шмойлова и др.; под ред. Р.А. Шмойловой. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 416 с.

91. Шмойлова Р.А. Теория статистики: учебник для вузов / Шмойлова Р.А.; под ред. Р.А. Шмойловой. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 656 с.

92. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

93. Antunes, N., Vieira, M. Enhancing Penetration Testing with Attack Signatures and Interface Monitoring for the Detection of Injection Vulnerabilities in Web Services. In: 2011 IEEE International Conference on Services Computing (SCC), IEEE, 2011, pp. 104–111.

94. Antunes, N., Vieira, M. Designing vulnerability testing tools for web services: approach, components, and tools. International Journal of Information Security, 2017, Vol. 16, Iss. 4, pp. 435–457.

95. Babuska, R., Verbruggen, H.B. A New Identification Method for Linguistic Fuzzy Models. In: International Conference FUZZ-IEEE/IFES, Yokohama, 1995, pp. 905-912.

96. Beerkens, H.J.J.G. Global Opportunities and Institutional Embeddedness: Higher Education Consortia in Europe and Southeast Asia, Publ. by CHEPS/UT, Enschede, NL, 2004, 385 p.

97. Best Practices in Higher Education Consortia: How Institutions Can Work Together. L. G. Dotolo, J. T. Strandness (Editors). New Directions for Higher Education. No. 106, Volume XXVII, Number 2, Martin Kramer, Editor-in-Chief, San Francisco: JOSSEY-BASS PUBLISHERS, 1999, 128 p.

98. Chang, D.Y. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. In: European Journal of Operational Research, 1996, vol. 95, pp. 649–655.

99. Chen, S.M., Hong, J. Multicriteria Linguistic Decision Making Based on Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets and the Aggregation of Fuzzy Sets // Information Sciences, 2014, pp. 312-328.

100. Cheng, R.W., Chang, Che-Wei, Lin, Hung-Lung. A fuzzy ANP-based approach to Evaluate Medical Organizational Performance // International and Management Sciences, 2008, Vol. 19, pp. 53-74.

101. Cinque, M., Cotroneo, D., Corte, R.D., Pecchia, A. Characterizing direct monitoring techniques in software systems. IEEE Transactions on Reliability, 2016, Vol. 65, Iss. 4, pp. 1665-1681.

102. Cinque, M., Cotroneo, D., Pecchia, A. Event logs for the analysis of software failures: A rule-based approach. IEEE Trans. Softw. Eng., 2013, Vol. 39, No. 6, pp. 806-821.

103. Consortia and Interinstitutional Cooperation. Ed. by D.C. Neal. American Council on Education and Macmillan Publishing Company, New York, 1988, 215 p.

104. Cultures of Cooperation: The Future Role of Consortia in Higher Education. In: Conference Proceedings, Amherst, USA, 1999, 47 p.

105. Deiaco, E., Gren, A.M., Melin, G. Exploring University Alliances and Comparable Academic Cooperation Structures. Swedish Institute for Studies in Education and Research (SISTER), <http://www.snee.org/filer/papers/450.pdf>.

106. Drozd, J., Drozd, A., Maevsky, D., Shapa, L. The Levels of Target Resources Development in Computer Systems. In: Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium, Kiev, Ukraine, 2014, pp. 185-189.

107. Emilio, B.-M.R. A Description, Analysis, and Evaluation of the Financial Structure of Four Private Universities in the Consortium of Universities of the Washington Metropolitan Area between 1973-74 and

1982-83.- .Dissertation for the degree of Doctor of Education, George Washington University, Florida, USA, 1984, 435 p.

108. Farhadinia, B. Information measures for hesitant fuzzy sets and interval-valued hesitant fuzzy sets. *Information Sciences*, 2013, № 240(13), pp. 129-144.

109. Ferren, Ann S. General education reform and the computer revolution. *The Journal of General Education*, 1993, pp. 164-177.

110. Five Colleges: Five Histories. Ronald Story (Ed.), Published by Five Colleges, Inc., and Historic Deerfield, Inc., Distr. by the University of Massachusetts Press, Amherst, 1992, 138 p.

111. Fonseca, J., Vieira, M., Madeira, H. Testing and Comparing Web Vulnerability Scanning Tools for SQL Injection and XSS Attacks. In: 13th Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (PRDC 2007), Australia, 2007, pp. 365–372.

112. Fostering University-Industry Relationships, Entrepreneurial Universities and Collaborative Innovations, Meerman A., Klieve T. (eds). Good Practice Series 2013, University Industry Innovation Network, 2013, 134 p.

113. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. MathWorks, Inc., 1999, 134 p.

114. Gonzalez, A., Luna, C., Abella, R. UML state machine as modeling language for DEVS formalism. In: 42nd Latin American Computing Conference, CLEI 2016, Chile, 2016, pp. 362-381.

115. Haratian, R., Timotijevic, T., Phillips, C. Reducing power and increasing accuracy of on-body sensing in motion capture application. *IET Signal Processing*, 2016, Vol. 10, Iss. 2, pp. 133-139.

116. Hiltz, Starr Roxanne, and Murray Turoff. Education goes digital: The evolution of online learning and the revolution in higher education. *Communications of the ACM* 48.10, 2005, pp 59-64.

117. Hwang, C. L. Multiple Attribute Decision Making: A State of the Art Survey. In: *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Vol. 186. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

118. Jahanshaloo, G.R, Hosseinzadeh, F. Lotfi, M. Izadikhah. An algorithmic method to extend TOPSIS method for decisionmaking problems with interval data, *Appl. Math. Comput*, Vol 175, 2006, pp. 1375-1384.

119. Kazymyr, V.V., Sklyar, V.V., Lytvyn, S.V., Lytvynov, V.V. *Communications Management for Academia-Industry Cooperation in IT-*

Engineering: Training. Kharchenko, V.S. (Ed.). MESU, ChNTU, NASU “KhAI”, Chernigiv, Kharkiv, 2015, 133 p.

120. Kharchenko, V., Brezhnev, E., Sklyar, V. Green Information Technologies: Paradigm and Cooperation in Research, Development and Education Domains. Proc. Intern. Green Energy Conference, Kyiv, Ukraine, June 17-19, 2013, pp. 216-219.

121. Kharchenko, V., Gorbenko, A., Sklyar, V., Phillips, C. Green computing and communications in critical application domains: challenges and solutions. In: Proceeding of Digital Technologies (DT'2013), Zilina, Slovak Republic, 2013, pp. 191–197

122. Koehn, P. Combining Genetic Algorithms and Neural Networks: The Encoding Problem. Knoxville: Master’s Thesis, 1994, 124 p.

123. Kondratenko, Y., Eisen, G. U.S. Inter-university consortia and their role in future of higher education. In: Proceedings of Intern. Conf. “Higher Education Perspectives: The Role of Inter-University Consortia”, Mykolaiv, Atol, 2004, pp. 145-150.

124. Kondratenko, Y., Khademi, G., Azimi, V., Ebeigbe, D., Abdelhady, M., Fakoorian, S.A., Barto, T., Roshanineshat, A.Y., Atamanyuk, I., Simon, D. Robotics and Prosthetics at Cleveland State University: Modern Information, Communication, and Modeling Technologies. Ginige, A. et al. (Eds): ICTERI’2016, CCIS 783, Springer, Cham, pp. 133–155, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-69965-3_8.

125. Kondratenko, Y., Simon, D., Atamanyuk, I. University Curricula Modification Based on Advancements in Information and Communication Technologies. In: Proceedings of the 12th International Conference on Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Application. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, 21-24 June, 2016, Kyiv, Ukraine, Ermolayev, V. et al. (Eds), ICTERI’2016, CEUR-WS, Vol-1614, pp. 184–199.

126. Kondratenko, Y., Sydorenko, S. Cooperation between Ukrainian Universities and Aldec Inc. (USA) in the field of VHDL and Verilog introduction to design of digital devices. Proceedings of Intern. Conf. “Higher Education Perspectives: The Role of Inter-University Consortia”, Mykolaiv, Atol, 2004, pp. 150-153.

127. Kondratenko, Y.P. Application of Active-HDL in leading universities of Mykolaiv region of Ukraine. Proceedings of International

Active-HDL Conference, 15-16 October, 2001, Kharkiv, Ukraine, pp. 60-62.

128. Kondratenko, Y.P. Exchange academic opportunities for students in the framework of regional inter-institutional cooperation. State and Perspectives of Modern Scientific-Education Computer Technologies Development. In: Conference Proceedings, Nov. 14-15, Mykolaiv, Ukraine, 2003, pp.10-13.

129. Kondratenko, Y.P. Future perspectives of inter-institutional cooperation on international and regional level. Anales del Curso Academico 2006-2007. Tomo XXIX, Barcelona: Real Academia de Ciencias Economicas y Financieras, 2008, pp. 34-41.

130. Kondratenko, Y.P. Model-Oriented Approach and Fuzzy Decision Support Systems for Evaluation of Science-Economic Realities and Perspectives in S2B and B2S. Ciencia Y Realidades Económicas: Reto Del Mundo Post-Crisis A La Actividad Investigadora. X Sesion Internacional. Barcelona: Real Academia de Ciencias Economicas y Financieras, 2015, pp. 89-112.

131. Kondratenko, Y.P. The Role of Inter-University Consortia for Improving Higher Education System. In: Proceedings of Phi Beta Delta (Ed. By Michael Smithee), Volume 2, No. 1, Phi Beta Delta, Honor Society for International Scholars, USA, May 2011, pp. 26-27.

132. Kondratenko, Y.P., Kondratenko, G.V., Atamanyuk, I.P., Sidenko, Ie.V. Fuzzy Logic for Optimization of Transportation Problems. In: 2nd World Conference on Soft Computing dedicated to the research heritage of Lotfi A.Zadeh, University of California, Berkeley, Proceedings, 2012, Baku, Azerbaijan, Printed by Letterpress Publishing House, 2012, pp. 220-223.

133. Kondratenko, Y.P., Sidenko, E.V. Correction of the Knowledge Database of Fuzzy Decision Support System with Variable Structure of the Input Data. In: Proceedings of the International Conference Modeling and Simulation, A.M. Gil-Lafuente (Eds.), V.V. Krasnoproshin (Eds.), Minsk, Republic of Belarus, 2012, pp. 56-61.

134. Kondratenko, Y.P., Sidenko, Ie.V. Comparative analysis of evaluation algorithms for decision-making in transport logistics. In book: M.Jamshidi, V.Kreinovich, J.Kazprzyk (Eds.) Advance Trends in Soft Computing, Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2014, Vol. 312, pp. 203–217.

135. Kondratenko, Y.P., Sidenko, Ie.V. Decision-Making Based on Fuzzy Estimation of Quality Level for Cargo Delivery, L. A. Zadeh et al. (eds.), *Recent Developments and New Directions in Soft Computing, Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 317*, Springer International Publishing, Switzerland 2014, pp. 331-344.

136. Kondratenko, Y.P., Sidenko, Ie.V. Design and Reconfiguration of Intelligent Knowledge-Based System for Fuzzy Multi-Criterion Decision Making in Transport Logistics, *Journal of Computational Optimization in Economics and Finance*, 2014, Vol. 6. Issue 3, pp. 1-12.

137. Kondratenko, Y.P., Sidenko, Ie.V. Method of Actual Correction of the Knowledge Database of Fuzzy Decision Support System with Flexible Hierarchical Structure, *Journal of Computational Optimization in Economics and Finance*, 2012, № 2(4), P. 57–76.

138. Kondratenko, Y.P., Sidenko, Ie.V. Method of Actual Correction of the Knowledge Database of Fuzzy Decision Support System with Flexible Hierarchical Structure, *Journal of Computational Optimization in Economics and Finance*, Nova Science Publishers, New York, USA, Vol. 4, Issue 2-3, pp. 57-76.

139. Kondratenko, Yuriy P., Simon, Dan. Modification of University Curricula According to R&D in Information Technologies: American and Ukrainian Experiences. *Карт Бланш*, вип. 1-2 (135-136), 2016, сс. 20-22.

140. Kondratenko, Yuriy, Sidenko, Ievgen. Methods of Aggregative Processing of Linguistic Information in Decision Making Processes. In: *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proc. of the XIIth Intern. Conf. TCSET, Lviv-Slavske, Ukraine, 2014*, pp. 670-671.

141. Kordas, V.A., Nakonechnyi, A.G., Levoshich, O.L. Source intensity control in transport and diffusion problems. *Cybernetics and Systems Analysis*, 1997, Vol. 33, Iss. 4, pp. 593-596.

142. Kwater, T., Bartman, J., Atamanyuk, I., Sidenko, E. Diagnosis of apples by automatic classification of objects. *Computing in Science and Technology 2011*, T. Kwater, W. Zuberek (Eds.), *Monographs in Applied Informatics*, Agencja Reklamo-Wydawnicza A. Grzegorzcyak, Warsaw, Poland, 2011, P. 97-110.

143. Laarhoven, V., Pedrych, W. Fuzzy Extension for Saaty's Priority Theory. In: *Fuzzy Sets and Systems*, 1983, vol. 11, pp. 229-241.

144. Lee, L.W., Chen, S.M. Fuzzy decision making based on hesitant fuzzy linguistic term sets. In: Proceedings of the 2013 Fifth Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems, Kuala Lumpur, Malaysia, 2013, pp. 21-30.
145. Liao, S.H., Lu, K.C., Cheng, C.H. Evaluating anti-armor weapon using rankin fuzzy numbers. *Tamsui Oxford Journal of Mathematical Sciences*, 2000, Vol. 16, № 2, pp. 241-257.
146. Lin, C.I., Lin, C.T. Reinforcement learning for an ART-based fuzzy adaptive learning control network. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1996, № 7(7), pp. 709-731.
147. Luna, C.A., Losada-Gutierrez, C., Fuentes-Jimenez, D., Fernandez-Rincon, A., Mazo, M., Macias-Guarasa, J. Robust people detection using depth information from an overhead Time-of-Flight camera. *Expert Systems with Applications*, 2017, Vol. 71, Iss. 1, pp. 240-256.
148. Lytvynov, V.V., Kharchenko, V.S., Lytvyn, S.V., Saveliev, M.V., Trunova, E.V., Skiter, I.S. Tool-Based Support of University-Industry Cooperation in IT-Engineering. *ChNTU, Chernigiv*, 2015, 108 p.
149. Messarovich, M.D., Macko, D., Takahara, Y. *Theory of hierarchical multilevel systems*, N.Y.: Academic Press, 1970, 344 p.
150. Milenkoski, A., Jayaram, K.R., Antunes, N., Vieira, M., Kounev, S. Quantifying the Attack Detection Accuracy of Intrusion Detection Systems in Virtualized Environments. In: *International Symposium on Software Reliability Engineering*, Canada, 2016, pp. 136-142.
151. Miller, C.A. The Magic Number Seven Plus or Minus two: Some limits on our Capacity. *Psychological Review*, 1956, № 63, pp. 81-97.
152. Minakova, S.M. Criteria for Selecting the Carrier. In: *Proceedings of the Odessa National Sea University*, 2012, vol. 38, pp. 57-67.
153. Narasimha, B., Chen, N. Effect of Imprecision in Specification of Pair-wise Comparisons on Ranking of Alternatives using Fuzzy AHP. In: *AMCIS*, 2001, pp. 238-243.
154. Nauck, D. Kruse, R. Neuro-Fuzzy Systems for Function Approximation. *Fuzzy Sets and Systems*, 1999, Vol. 101, №2, pp. 261-271.
155. *Optimization Toolbox. User's Guide*. MathWorks, Inc., 1999, 112 p.

156. Patterson, F. *Colleges in Consort: Institutional Cooperation Through Consortia*, San Francisco-Washington-London: JOSSEY-BASS PUBLISHERS, 1974, 182 p.

157. Pereverza, K., Pasichnyi, O., Lazarevic, D., Kordas, O. Strategic planning for sustainable heating in cities: A morphological method for scenario development and selection. *Applied Energy*, 2017, Vol. 186, Part 2, pp. 115-125.

158. Prabjot, K., Mahanti, N.C. A fuzzy ANP-based approach for selection ERP vendors. *International Journal of Soft Computing*, 2008, № 3(1), pp. 24-32.

159. Rodriguez, R.M., Martinez, L., Herrera, F. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2012, № 20(1), pp. 109-119.

160. Russo, S., Vieira, M. Editorial: Security and dependability of cloud systems and services. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2017, Vol. 10, Iss. 5, pp. 673-674.

161. Schmidt, Mark A. *Modeling the Adaptive Process of Consortia in Higher Education: A Structural Equation Modeling Approach*. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, The Florida State University, College of Education, USA, 2000, 455 p.

162. Setnes, M. Similarity measures in fuzzy rule base simplification. *IEEE Trans. Systems*, 1998, № 28(3), pp. 376–386.

163. Setnes, M. Simplification of fuzzy rule bases. In: *Proceedings of the International Conference EUFIT, Aachen, Germany, 1996*, pp. 1115–1119.

164. Starov, O., Kharchenko, V., Sklyar, V., Khokhlienkov, N. *Startup Company and Spin-Off Advanced Partnership via Web-Based Networking*, *Proceedings of the University-Industry Interaction Conference, Amsterdam, May 2013*.

165. Starov, O., Sklyar, V., Kharchenko, V., Boyarchuk, A., Phillips, C. *A Student-in-the-Middle Approach for Successful University and Business Cooperation in IT*. In: *Proceedings of the University-Industry Interaction Conference, Spain, April 2014*, pp. 193-207.

166. Tang, Y. Linguistic modelling based on semantic similarity relation among linguistic labels. *Fuzzy Sets Syst*, № 157, pp. 1662-1673.

167. *The State of European University-Business Cooperation. Final Report: Study on the Cooperation between Higher Education Institutions*

and public and private organizations in Europe. Science-to-Business Marketing Research Centre, 2011, 140 p.

168. Torra, V. Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 2010, № 25(6), pp. 529-539.

169. Touretzky, David S. Preparing computer science students for the robotics revolution. *Communications of the ACM*, 2010, pp. 27-29.

170. Vieira, M., Antunes, N., Madeira, H. Using Web Security Scanners to Detect Vulnerabilities in Web Services. In: *IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems & Networks, DSN'09*, Portugal, 2009, pp. 566–571.

171. Vieira, M., Laranjeiro, N., Madeira, H. Assessing Robustness of Web-services Infrastructures. In: *37th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks, DSN'07*, pp. 131–136.

172. Wang, Q., Phillips, C. Cooperative collision avoidance for multi-vehicle systems using reinforcement learning. In: *18th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Poland, 2013*, 231-238.

173. Wang, Y.-M., Luo, Ying, Zhongsheng, Hua. On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. *European Journal of Operational Research*, 2008, Vol. 186, pp. 735-747.

174. Wei, C. Operators and comparisons of hesitant fuzzy linguistic term sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2013, № 21(2), pp. 485-497.

175. Whitley, D. *Genetic Algorithms and Neural Networks: Optimization Connections and Connectivity*, 1990, 231 p.

176. Zadeh, L. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, №8, pp. 338-353.

177. Zambonelli, Franco, and H. Van Dyke Parunak. Signs of a revolution in computer science and software engineering. *Engineering Societies in the Agents World III*, Springer Berlin, 2003, pp 13-28.

178. Zimmerman, H.J. *Fuzzy Set Theory*, Boston, 1991, 315 p.

179. Haettenschwiler, P. (1999). *Neues anwenderfreundliches Konzept der Entscheidungsunterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft*. Zurich, vdf Hochschulverlag AG: 189-208.

180. Power, D. J. (1996). What is a DSS? *The On-Line Executive Journal for Data-Intensive Decision Support* 1(3).

181. Power, D. J. (2002). *Decision support systems: concepts and resources for managers*. Westport, Conn., Quorum Books.

182. Decision-Making and the Information System 2015 Volume 3 Maryse Salles ISBN 978-1-84821-753-9

183. Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software, First Edition. Alessio Ishizaka and Philippe Nemery. © 2013 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2013 by John Wiley & Sons, Ltd.

184. An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. Mark Velasquez and Patrick T. Hester. International Journal of Operations Research Vol. 10, No. 2, 56-66 (2013).

185. Інформаційний ресурс, режим доступу online: <https://www.informs.org/Orms-today/Public-Articles/October-volume-43-number-5/Software-Survey>.

186. Інформаційний ресурс, режим доступу online: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:403994/FULLTEXT01.pdf>

187. Інформаційний ресурс, режим доступу online: Dias L.C., V. Mousseau (eds), Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, Special Issue: “Applying MCDA: challenges and case studies”. Vol. 21, Issue 1-2, pp. 1-93, January-April 2014.

188. IMA Journal of Management Mathematics, Volume 23, Issue 3, 1 July 2012, Pages 227–239, <https://doi.org/10.1093/imaman/dpr012>

189. KTH spin-off boosts industry cooperation <https://www.kth.se/en/ees/nyheterochpress/annualreport/yearbook-2015/kth-spin-off-boosts-industry-cooperation-1.665452>

190. Bridge builders between academia and society <https://www.kth.se/en/ees/nyheterochpress/annualreport/yearbook-2015/bridge-builders-between-academia-and-society-1.643199>

191. Collaboration with companies <https://www.kth.se/en/ece/2.48522/samverkanskampanj-1.437497>

192. New perspectives on internationalization and competitiveness integrating economics, innovation and higher education, Ullberg, Eskil (Ed.), Springer International Publishing Switzerland 2015, 185 p.

193. New innovation centre to promote collaboration between academia and industry, <https://www.akademiskahus.se/en/news/news-room/2013/12/new-innovation-centre-to-promote-collaboration-between-academia-and-industry/>

194. Anders Broström, Firms’ rationales for interaction with research universities and the principles for public co-funding, The Journal of Technology Transfer, June 2012, Volume 37, Issue 3, pp 313–329, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10961-010-9177-4>

195. Folke Valfrid Snickars, Ulf Karlsson, Research infrastructure, networks of science and regional development – the case of Oskarshamn, *REGION, The journal of ERSA*, Volume 4, Number 3, 2017, 119–13 <http://openjournals.wu.ac.at/ojs/index.php/region/article/view/143/205>
196. Linda Assbring, Cali Nuur, What’s in it for industry? A case study on collaborative doctoral education in Sweden, *Industry and Higher Education*, Volume: 31 issue: 3, page(s): 184-194, <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0950422217705245>
197. Partnerships for Innovation and Socio-Economic Impact: The Entrepreneurial University. Report of proceedings, European Commission, Royal Institute of Technology, 63 p. http://ec.europa.eu/dgs/education_culture/repository/education/tools/docs/ub-forum-stockholm_en.pdf
198. Prospectus and future tasks of universities. Digitalization – Internationalization – Differentiation, Austrian Council for research and technology development, Austrian Council for Research and Technology, 2017, 413 p.
199. Marie Magnell, Anette Kolmos, Employability and work-related learning activities in higher education: how strategies differ across academic environments, *Tertiary Education and Management Journal*, Volume 23, 2017 - Issue 2, European Higher Education Society and Taylor & Francis pp. 103-114.
200. J.P.C. Marques, J.M.G. Carac, H. Diz, How can university-industry-government interactions change the innovation scenario in Portugal? - The case of the University of Coimbra, *The International Journal of Technological Innovation, Entrepreneurship and Technology Management*, Elsevier Ltd 26 (2006) 534–542, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497205000751>
201. Website of Instituto de Pedro Nunes, <https://www.ipn.pt/>
202. Addison, J. T., Teixeira, P., Evers, K., & Bellmann, L. (2017a). Collective Bargaining and Innovation in Germany: A Case of Cooperative Industrial Relations? *Industrial Relations*, 56(1), 73–121.
203. Simões, M., Andrade, J. S., & Duarte, A. Differences in human capital and openness to trade as barriers to growth and convergence in the EU. In N. da C. Cabral, J. R. Gonçalves, & N. C. Rodrigues (Eds.), *The Euro and the Crisis: Perspectives for the Eurozone as a Monetary and Budgetary Union* (pp. 73–94). Springer.

204. UIIN Good Practice Series 2013 – Fostering University-Industry Relationships, Entrepreneurial Universities and Collaborative Innovation Arno Meerman & Thorsten Kliewe (eds.), University Industry Innovation Network, 131 p.

205. Website of European Commission, section “University Business Cooperation” http://ec.europa.eu/education/policy/higher-education/university-business-cooperation_en

206. The State of European University-Business Cooperation, Todd Davey, Thomas Baaken, Victoria Galan Muros, Arno Meerman, Europe Science-to-Business Marketing Research Centre, Münster University of Applied Sciences, Germany, 140 p. http://ec.europa.eu/dgs/education_culture/repository/education/tools/docs/uni-business-cooperation_en.pdf

207. 5th University-Business Forum on Strategic Partnerships for Innovation and Growth: From Dialogue to Partnerships, Final report, Rebecca Allinson, Flora Giarracca, Zsuzsa Jávorka, Xavier Potau, European Commission, Brussels, 4-5 June 2013, 38 p. http://ec.europa.eu/dgs/education_culture/repository/education/tools/docs/ubforum-5_en.pdf

208. 6th University-Business Forum, Forum report, Rebecca Allinson, Zsuzsa Jávorka, Adam Krčál, Xavier Potau, Brussels, European Commission, 5-6 March 2015, 77 p. http://ec.europa.eu/dgs/education_culture/repository/education/tools/docs/university-business-forum-brussels_en.pdf

209. 7th University-Business Forum University-Business Cooperation - For Innovation And Modernisation, Forum report, Christine Bertram, Janna Puukka, Michael Blakemore, Angeli Jeyarajah, 6 - 7 April 2017 The Square, Meeting Centre, Mont des Arts-Kunstberg, Brussels, 105 p. https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/university-business-forum-2017-report_en.pdf

210. 30 best case studies of good practice in the area of UBC within Europe, Todd Davey, Michael Deery, Clive Winters, Peter van der Sijde, Tomasz Kusio, Silvia Rodríguez Sedano, Europe Science-to-Business Marketing Research Centre, Münster University of Applied Sciences, Germany, 184 p. <https://www.ub-cooperation.eu/pdf/casestudyreport.pdf>

211. Grubicka, J.; Matuska, E. 2015. Sustainable entrepreneurship in conditions of UN (Safety) and technological convergence,

Entrepreneurship and Sustainability Issues 2(4): 188–197. http://jssidoi.org/jesi/uploads/articles/8/Grubicka_Sustainable_entrepreneurship_in_conditions_of_UN_Safety_and_technological_convergence.pdf

212. Cristina De Castro, Barbara Mavi Masini, Management of Group Evolution Through Cooperative Work in E/M-learning Systems, Consumer Electronics Times Apr. 2014, Vol. 3 Iss. 2, The world academic publishing Co., Limited, Hong Kong, pp. 220-232

213. R. Inklaar, M. O'Mahony, and M. Timmer, “ICT and Europe’s Productivity Performance: Industry-Level Growth Account Comparisons with the United States”, Review of Income and Wealth, vol. 51, pp. 505–536, Dec. 2005.

214. Emerging Modes of Cooperation between Private Enterprises and Organizations, The International report of EMCOSU project, Mateja Melnik, Tomas Pusnik, Samo Pavlin, University of Ljunljana, 116 p. http://www.emcosu.eu/static/uploaded/files/outcomes/Att5.8.3_EMCOSU_International_report_final.pdf

ДОДАТОК А. ВИМОГИ ДО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НЕЧІТКОЇ СППР

Вимоги до СППР можуть бути класифіковані, виходячи з різних точок зору. Якщо їх вважати інформаційним інструментом, що складається з відповідної комбінації комп'ютера, програмного забезпечення, експерта та людини, що приймає рішення (ЛПР), то можна виділити такі вимоги (підходи) щодо побудови, розгортання та оцінки роботи СППР: організаційний, управлінський, інструментальний [1,2]. Представники *організаційного підходу* акцентують свою увагу на побудові СППР, що сумісні з діями ЛПР, реальними процесами та відповідною стратегією прийняття рішень. При *управлінському підході* підкреслюється насамперед характер задач, що розв'язуються у процесі прийняття рішень (за рівнем використання – стратегічні, тактичні, операційні, за ступенем складності – слабоструктуровані, частково структуровані та неструктуровані). На *інструментальному підході* сконцентровано увагу представників галузі прогресивних інформаційних технологій, які повинні забезпечити швидку розробку основних інструментів для побудови СППР: генераторів СППР, прикладів специфічного застосування СППР і т.д. Кожен з описаних підходів спирається на якісні вимоги щодо СППР, які узагальнюються такими моделями: структури керівництва, ієрархії керування, фази управлінського процесу, моделі поведінки і знань ЛПР. Дотримання всіх відповідних вимог не є необхідним і залежить від класу задач, яку вирішують запропонована СППР [58,69].

Для вирішення поставленої задачі, зокрема, вибору раціональної моделі кооперації між університетом (структурним підрозділом: кафедрою, факультетом, інститутом) та ІТ-компанією, було запропоновано застосування СППР. *До відповідної СППР висувалися наступні основні вимоги:*

1. Web-орієнтація СППР з можливістю швидкого доступу до її основних функціональних можливостей.
2. Розгортання на глобальних серверах та тестування на локальних.
3. Передача та впровадження досвіду успішних кооперацій і знань експертів в базу даних/знань СППР.
4. Валідація та верифікація результатів.

Розглянемо більш детально вищезазначені вимоги.

При створенні СППР можна використовувати Web-технології. В такому випадку архітектура СППР представляється різними авторами по-різному, наприклад, Marakas [82] запропонував узагальнену архітектуру, що складається з 5 різних частин:

– система керування даними (the data management system – DBMS);

– система керування моделями (the model management system – MBMS);

– машина (механізм) знань (the knowledge engine – KE);

– інтерфейс користувача (the user interface – UI);

– користувачі (the user(s) – U).

Запропонована СППР повина мати web-орієнтовну направленість, що дозволить швидко (в екстремальних умовах), в будь-який час і без локальної прив'язки до експертних даних/знань отримати результат роботи СППР з вибору моделі кооперації. Дана вимога є однією з головних, оскільки можливість оцінки та вибору моделі співпраці для ЛПР (керівників структурних підрозділів університетів та ІТ-компаній) без обмежень на час і місце доступу до СППР є пріоритетним завданням.

Всі дані/знання від експертів повинні зберігатися на серверній частині web-орієнтовного інструменту. Це дозволить уникнути помилок та підвищити захист системи до можливих зовнішніх впливів. Крім того незалежні глобальні сервера надають доступ до управління процесом розробки СППР (лінгвістичні змінні, терми, бази знань) за обмеженими правами (наприклад, лише для експертів). Таким чином експерт та клієнт можуть знаходитися в різних місцях і працювати над створенням СППР та її подальшим тестуванням в різний час, це дозволить істотно зекономити час та технічні ресурси. За таких умов тестування та оновлення системи до нової версії може відбуватися на локальних серверах з подальшим розгортанням на глобальних серверах.

Оскільки СППР призначена для вибору моделі співпраці між університетом та ІТ-компанією, то доцільною є вимога щодо передачі та впровадження досвіду успішних кооперацій і знань експертів в базу даних/знань СППР. Для оцінки рівня кооперації та вибору моделі співпраці використовуються різні підходи, зокрема, анкетні опитування, експертні оцінки, статистичні та економіко-математичні методи тощо. Складність полягає в тому, що більшість вхідних

параметрів неможливо оцінити кількісно. Інструментом для формалізації нечітких оцінок виступає математичний апарат, що базується на теорії нечітких множин [1,2,88]. Необхідність застосування нечіткої логіки для вирішення багатокритерійних задач прийняття рішень обумовлена можливістю зручної і зрозумілої лінгвістичної інтерпретації процесів побудови моделей суджень людини, що полегшує їх впровадження в інтерактивні комп'ютерні СППР [83]. Це дозволить підвищити якість і точність прийняття рішень, зменшити помилковість результатів роботи СППР.

Процедури валідації та верифікації тісно пов'язані з процесами тестування і забезпечення якості. Під верифікацією (verification) слід розуміти процес оцінки СППР або її компонентів з метою визначення того, чи задовольняють результати поточного етапу розробки умови, сформовані на початку цього етапу. Тобто, чи виконуються завдання, цілі та строки по розробці СППР. Валідація (validation) – це визначення відповідності розробленої СППР очікуванням і потребам користувача, поставленим вимогам. Таким чином верифікація та валідація є невід'ємними складовими при розробці та розгортанні СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією.

Для вирішення задачі вибору моделі співпраці між університетом та ІТ-компанією авторами розроблено web-орієнтовні інструментальні засоби для створення СППР на нечіткій логіці, які повністю відповідають поставленим вимогам. Відповідні інструменти відрізняються між собою за призначенням та механізмом виведення результатів. Розглянемо більш детально три інструментальні засоби.

Інструментальний засіб першого типу (ІЗТ1) (рис. А1) призначений для розробки нечітких ієрархічно-організованих СППР з дискретним логічним виведенням, що дозволяє отримати результуючу оцінку у вигляді лінгвістичного терму, який в свою чергу відповідає моделі кооперації (A1, A2, B, C), оскільки для ЛПР це є більш зрозумілий результат.

Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., студентом магістратури Румянковим Д.І.

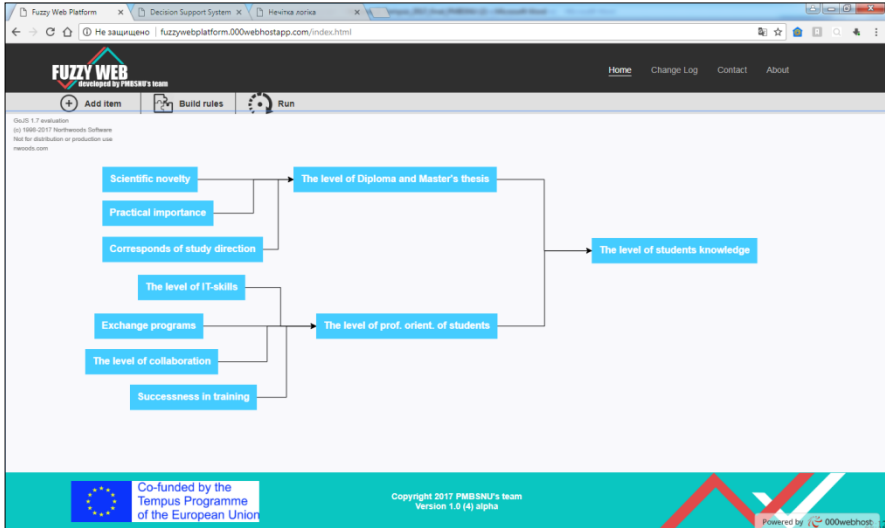


Рис. А1. Інструментальний засіб першого типу для розробки нечіткої СППР з вибору моделі кооперації

Інструментальний засіб другого типу (ІЗТ2) (рис. А2) призначений для розробки нечітких ієрархічно-організованих СППР з неперервним логічним виведенням, що дозволяє отримати результуючу оцінку у вигляді чіткої величини, яка в подальшому може бути застосована для аналізу та порівняння з іншими результатами кооперації. Крім того даний інструментальний засіб дозволяє здійснювати корекцію нечітких баз правил в реальному часі при зміні вектора вхідних координат.

Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., студентами магістратури Поліщуком Д.В. та Юріним Д.В.

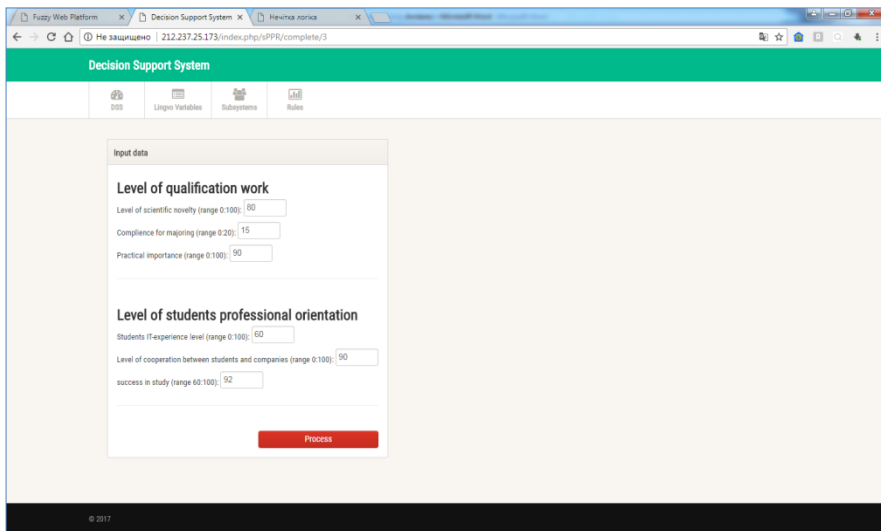


Рис. А2. Інструментальний засіб другого типу для розробки нечіткої СППР з вибору моделі кооперації

Інструментальний засіб третього типу (ІЗТЗ) (рис. А3) призначений для розробки нечітких однорівневих СППР з дискретним логічним виведенням, що дозволяє ЛПР швидко оцінити та перевірити працездатність конкретних підсистем. Так, наприклад, для оцінки рівня наукового потенціалу структурного підрозділу, чи оцінки загального рівня професійної орієнтації студентів. Крім того даний інструментальний засіб дозволяє здійснювати параметричне налаштування системи за рахунок можливого вибору t-норм.

Відповідний інструментальний засіб розроблений д.т.н., проф. Кондратенко Ю.П., к.т.н., доцентом Кондратенко Г.В., к.т.н., доцентом Сіденко Є.В., студентом магістратури Бавикінін С.С.

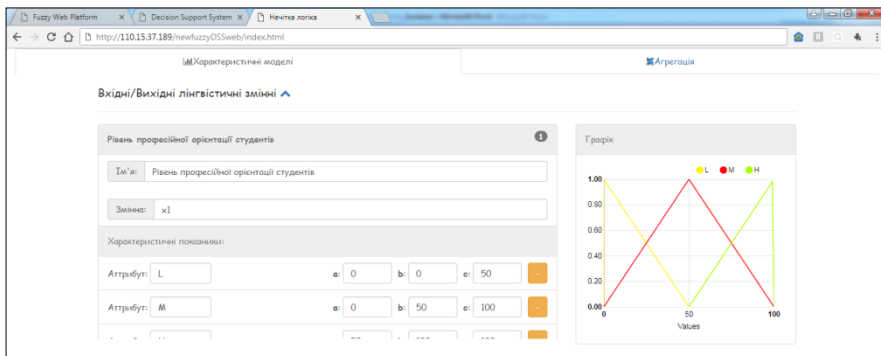


Рис. А3. Інструментальний засіб третього типу для розробки нечіткої СППР з вибору моделі кооперації

Після розробки відповідних інструментальних засобів різнотипного призначення (рис. А1-3) до роботи з нечіткою СППР для вибору моделі кооперації висуваються наступні вимоги щодо:

- мінімальних та рекомендованих технічних параметрів комп’ютера;
- введення вхідної інформації (даних);
- знань і компетенцій експерта та ЛПР.

Наведемо мінімальний та рекомендований переліки технічних параметрів комп’ютера для роботи з розробленими інструментальними засобами (таблиця А1):

Таблиця А1. Мінімальний та рекомендований переліки технічних параметрів комп’ютера

Компонент	Мінімальні вимоги	Рекомендовані вимоги
Процесор	1 ядро, частота 1.6 ГГц	2 ядра, частота 2.2 ГГц
Оперативна пам’ять	1 Гб	2 Гб
Доступ до мережі Інтернет	1 Мбіт	3 Мбіт
Операційна система	Window XP SP3	Window 7
Додаткові параметри	<ul style="list-style-type: none"> – інтегрована відеокарта – монітор з високою роздільною здатністю – миша і клавіатура 	

При введенні вхідних даних в СППР необхідно вказувати числові значення у визначеному експертом діапазоні для кожної вхідної змінної (координати системи). Так, наприклад, для вхідної змінної x_7 «Успішність студентів в навчанні» діапазон зміни значень знаходиться в межах [60 100], що дозволяє ЛПР оцінити відповідну координату тільки у визначених межах (рис. А4-6).

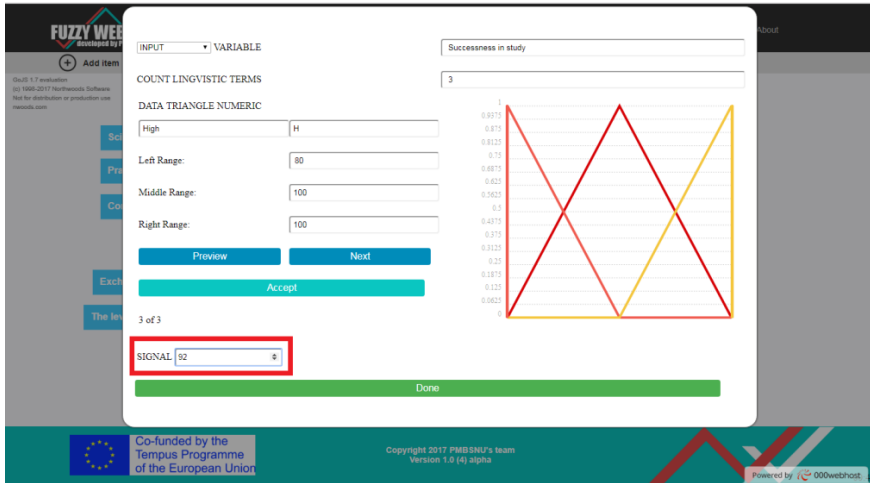


Рис. А4. Введення вхідних даних ($x_7 = 92$) в нечітку СППР з вибору моделі кооперації (ІЗТ1)

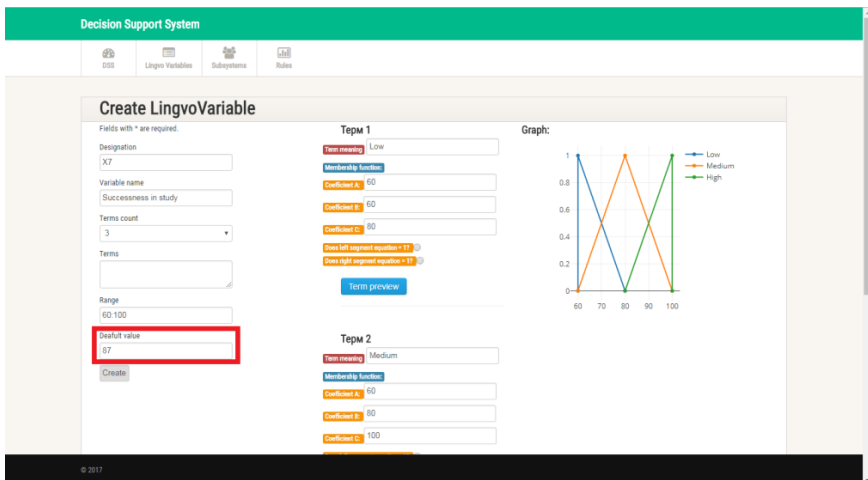


Рис. А5. Введення вхідних даних ($x_7 = 87$) в нечітку СППР з вибору моделі кооперації (ІЗТ2)

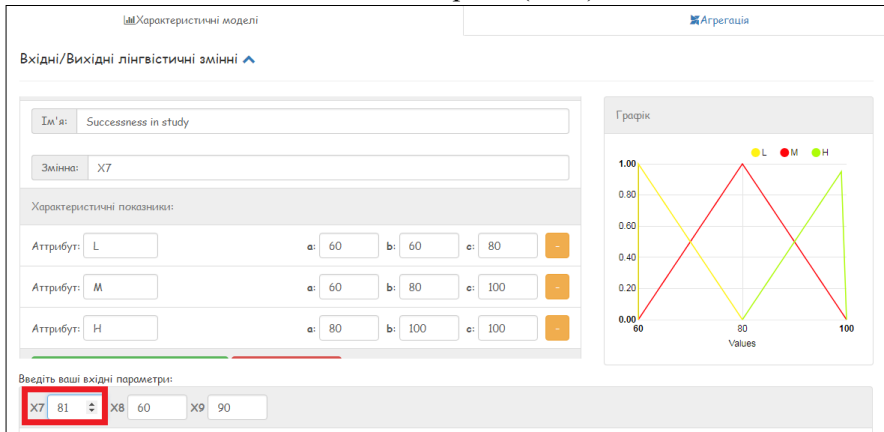


Рис. А6. Введення вхідних даних ($x_7 = 81$) в нечітку СППР з вибору моделі кооперації (ІЗТ3)

Експерт повинен володіти вміннями та знаннями щодо формування лінгвістичних змінних (визначення діапазону зміни значень координат), лінгвістичних термів (встановлення параметрів моделі функції належності) та баз знань, що представлені у вигляді нечітких продукційних правил типу «якщо...то...» (рис. А7-9).

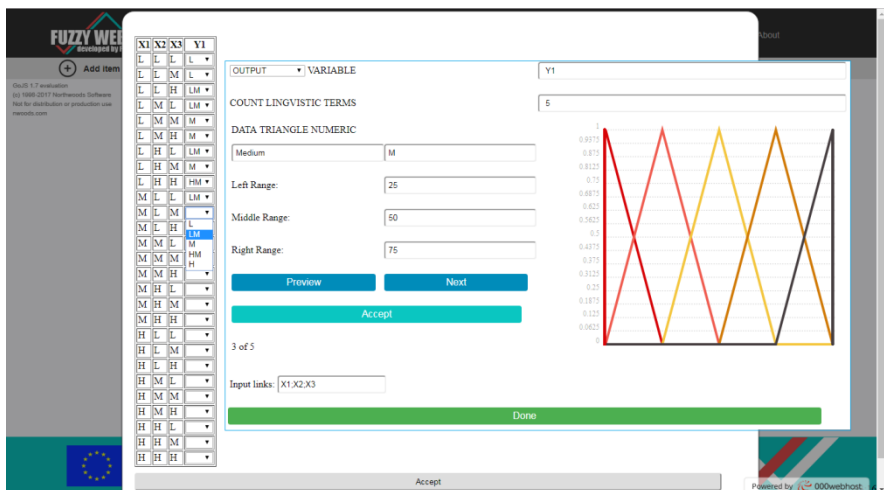


Рис. А7. Формування лінгвістичних змінних, термів та баз знань нечіткої СППР з вибору моделі кооперації (ІЗТ1)

Create LingoVariable

Fields with * are required.

Designation:

Variable name:

Terms count:

Terms:

Range:

Default value:

Терм 1

Term meaning:

Membership function:

Coefficient A:

Coefficient B:

Coefficient C:

Done left segment equation = 1?

Done right segment equation = 1?

Graph:

Create rule

DSS *

Subsystem *

IF:

- Students IT-experience level:
- Level of cooperation between students and companies:
- success in study:

THEN:

Рис. А8. Формування лінгвістичних змінних, термів та баз знань нечіткої СППР з вибору моделі кооперації (ІЗТ2)

Клієнт (ЛПР, керівник структурного підрозділу) повинен володіти вміннями введення вхідної інформації в СППР для вибору моделі кооперації. При цьому він може скористатися попередньо розробленою експертом структурою СППР, або скорегувати її при наданні йому відповідних прав доступу.

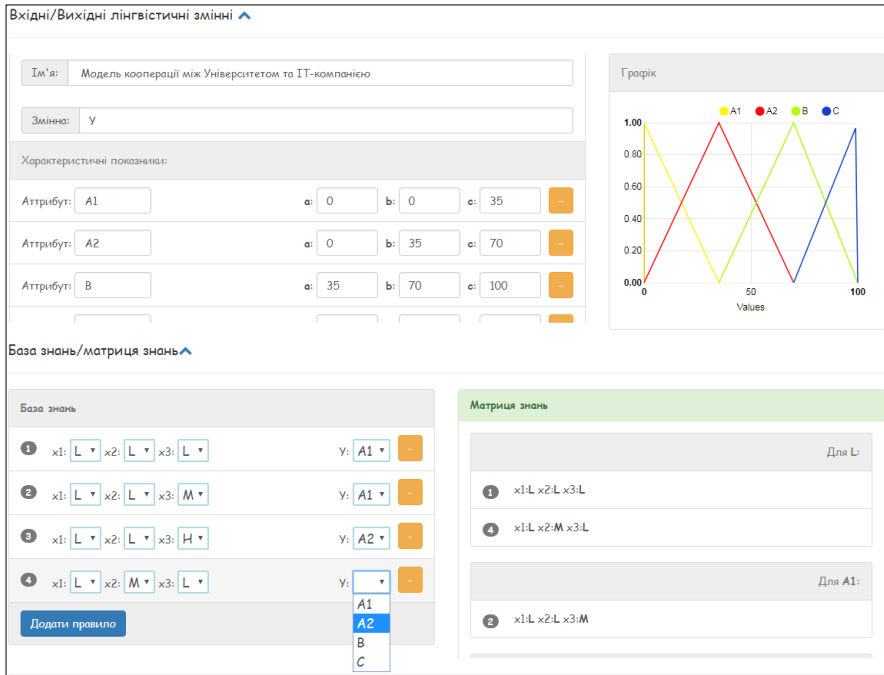


Рис. А9. Формування лінгвістичних змінних, термів та баз знань нечіткої СППР з вибору моделі кооперації (ІЗТЗ)

Отже, основні вимоги, які висувалися до розробки, розгортання та підтримки СППР для вибору моделі кооперації дотримано в повній мірі. Це дозволило авторам забезпечити адекватність, гнучкість, захист та простоту використання розроблених інструментальних засобів для проектування різнотипних СППР, зокрема для вибору моделі співпраці між університетом та ІТ-компанією.

ДОДАТОК Б. ВИМОГИ ДО САМООЦІНЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Вимоги до самооцінювання полягають у визначенні готовності технології нечіткої обробки та прийняття рішень для вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією (скор. Fuzzy Decision Making in UIC), яку покладено в основу розроблених інструментальних засобів (ІЗТ1-ІЗТ3, див. Додаток А). Оцінку готовності відповідної технології доцільно визначити за допомогою ПЗ «DHS_RL_Calculator», який дозволяє розрахувати і визначити рівень готовності технології (TRL) в процесі її розробки в різні моменти часу на основі переліку технологічних питань. Технологію «Fuzzy Decision Making in UIC» [124,125] почали розробляти та впроваджувати тестові версії в інструментальні засоби (ІЗТ1-ІЗТ3) з 2014 року. Перша оцінка готовності відповідної технології, станом на 09.10.2014, представлена на рис. Б1.

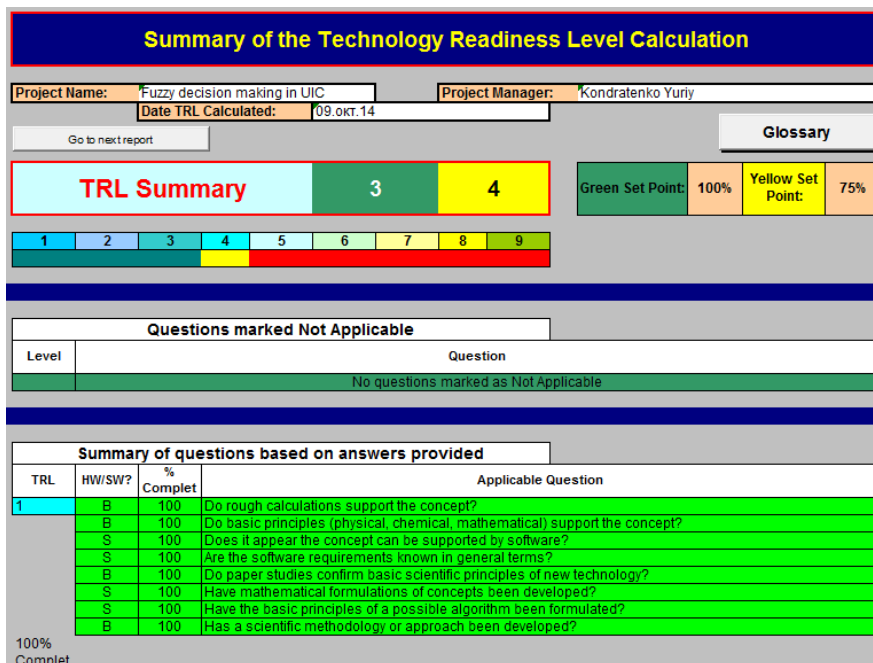


Рис. Б1. Загальна оцінка готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» (ІЗТ1-3, 09.10.2014)

В таблиці Б1 наведено основні завершені та впроваджені в ІЗТ1-3 технологічні процеси відповідно до оціненого рівня готовності TRL(3,4) [130].

Таблиця Б1. Опис завершених технологічних процесів (TRL)

Рівень	Назва TRL	Опис TRL
3	Аналітичні та експериментальні дослідження та/або математичне доведення концепції.	Проводяться активні аналітичні та лабораторні дослідження для обґрунтування окремих елементів технології (лінгвістичні змінні, терми, бази правил, підсистеми).
↓	↓	↓
4	Перевірка компонентів та/або макета в лабораторних умовах.	Синтез основних технологічних компонентів (структура моделі, база правил, метод автоматичної корекції нечітких баз правил, блок прийняття рішень) в лабораторних умовах (тестування, перевірка, оцінка ефективності). Перевірка сумісності компонентів.

На рис. Б2 представлено оцінку готовності запропонованої технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження.

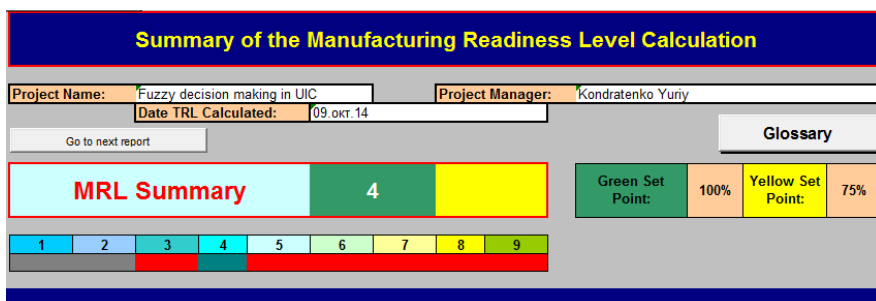


Рис. Б2. Загальна оцінка готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження (ІЗТ1-3, 09.10.2014)

Після 1 року роботи над відповідною технологією було проведено самооцінку, яка дозволила побачити прогрес в розробці та інтеграції технології «Fuzzy Decision Making in UIC» по відношенню до попередньої самооцінки (09.10.2014). На рис. Б3 наведено

результати оцінки готовності відповідної технології, станом на 11.10.2015.

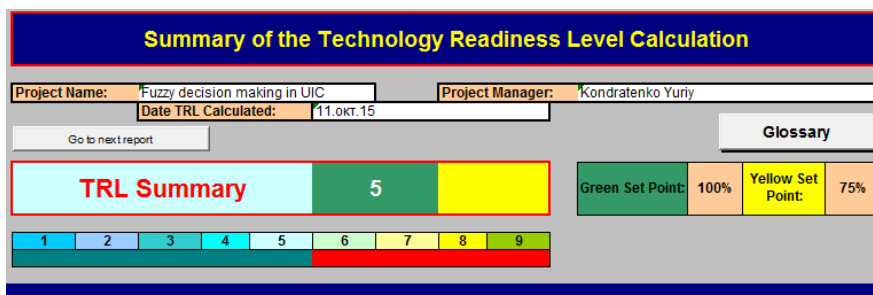


Рис. Б3. Загальна оцінка готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» (ІЗТ1-3, 11.10.2015)

В таблиці Б2 наведено основні завершені та впроваджені в ІЗТ1-3 технологічні процеси відповідно до оціненого рівня готовності TRL(5).

Таблиця Б2. Опис завершених технологічних процесів (TRL)

Рівень	Назва TRL	Опис TRL
5	Перевірка компонентів та/або макетів у відповідному середовищі.	Синтез та перевірка працездатності окремих компонентів технології (структура СППР з базами знань, методологія ієрархічної організації підсистем, комунікація підсистем, блоки фазифікації, агрегації, акумуляції та дефазифікації) в реальному середовищі, зокрема, у web-орієнтовних інструментальних засобах (ІЗТ1-3).

На рис. Б4 представлено оцінку готовності запропонованої технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження, станом на 11.10.2015.

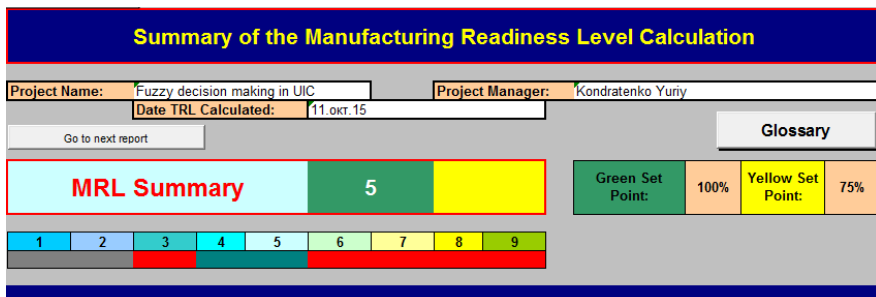


Рис. Б4. Загальна оцінка готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження (ІЗТ1-3, 11.10.2015)

На рис. Б5 наведено результати оцінки готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC», станом на 10.10.2016.

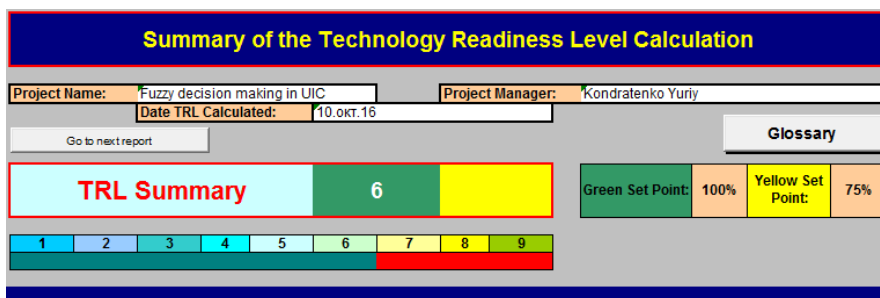


Рис. Б5. Загальна оцінка готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» (ІЗТ1-3, 10.10.2016)

В таблиці Б3 наведено основні завершені та впроваджені в ІЗТ1-3 технологічні процеси відповідно до оціненого рівня готовності TRL(6) [130,139].

Таблиця Б3. Опис завершених технологічних процесів (TRL)

Рівень	Назва TRL	Опис TRL
6	Модель системи / підсистеми або демонстрація прототипу у відповідному середовищі.	Синтез та перевірка адекватності роботи технології в реальних умовах, зокрема, на прикладі успішних кооперації університетів та ІТ-компаній.

На рис. Б6 представлено оцінку готовності запропонованої технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження, станом на 10.10.2016.

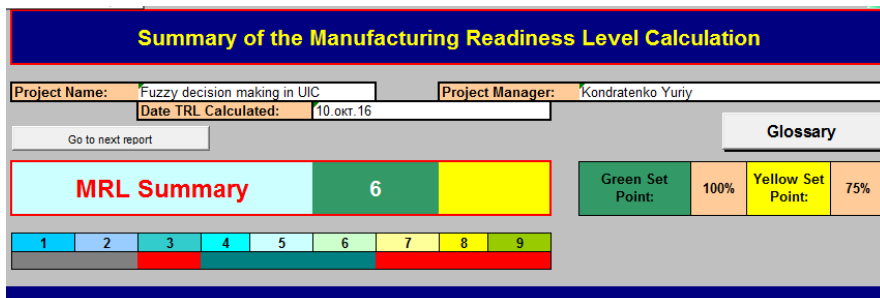


Рис. Б6. Загальна оцінка готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження (ІЗТ1-3, 10.10.2016)

Останній етап самооцінювання полягав у визначенні готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» на 20.09.2017 та перевірці відповідності до поставлених вимог (Додаток А). На рис. Б7 наведено результати оцінки готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC», станом на 20.09.2017.

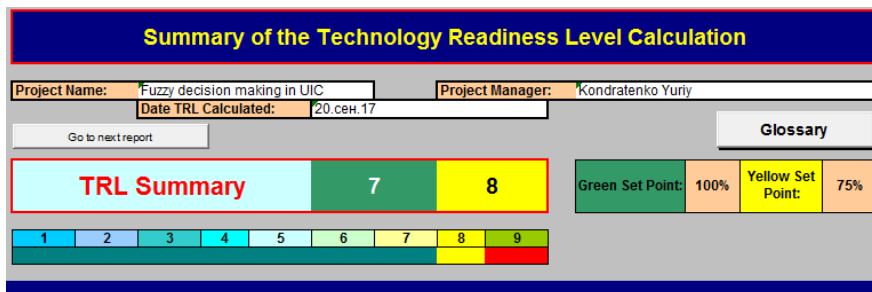


Рис. Б7. Загальна оцінка готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» (ІЗТ1-3, 20.09.2017)

В таблиці Б4 наведено основні завершені та впроваджені в ІЗТ1-3 технологічні процеси відповідно до оціненого рівня готовності TRL(7,8).

Таблиця Б4. Опис завершених технологічних процесів (TRL)

Рівень	Назва TRL	Опис TRL
7	Демонстрація прототипу системи в операційному середовищі.	Синтез та тестування роботи технології нечіткої обробки та прийняття рішень для вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією у web-орієнтовному середовищі, зокрема, в розроблених інструментальних засобах (ІЗТ1-3). Перевірка цілісності і захищеності технології та її компонентів.
↓	↓	↓
8	Актуальна технологія/система завершена і підлягає тестуванню та демонстрації.	Тестування технології «Fuzzy Decision Making in UIC» для розробки нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією за допомогою розроблених інструментальних засобів (ІЗТ1-3). Демонстрація технології, СППР та інструментальних засобів проводиться на реальних прикладах та успішних коопераціях.

На рис. Б8 представлено оцінку готовності запропонованої технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження, станом на 20.09.2017.

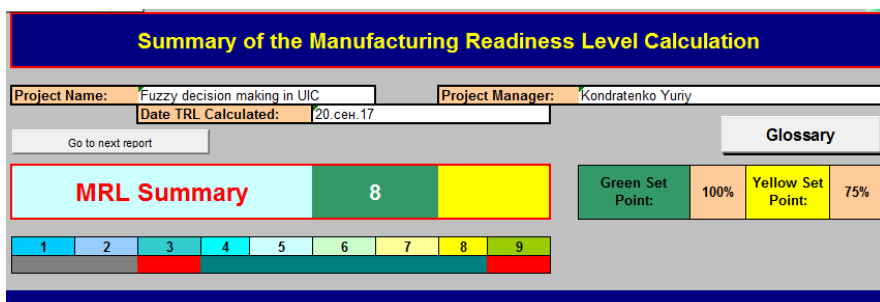


Рис. Б8. Загальна оцінка готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження (ІЗТ1-3, 20.09.2017)

Вимоги до самооцінювання полягали у визначенні готовності технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до впровадження в

розроблені інструментальні засоби для розробки нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією. З рис. Б7,8 та таблиці Б4 видно, що відповідна технологія повністю готова до впровадження в розроблені інструментальні засоби (ІЗТ1-3) для подальшого використання в реальних умовах. Результуюча оцінка TRL(7,8) та MRL(8) показує відповідність технології «Fuzzy Decision Making in UIC» до поставлених вимог.

Вимоги до експертного оцінювання полягають у визначенні готовності та якості розроблених ПЗ, зокрема, web-орієнтовних інструментальних засобів для розробки нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією. В якості критеріїв оцінки були обрані наступні показники:

- швидкодія (Q_1);
- зручність та простота (Q_2);
- відмовостійкість (Q_3);
- універсальність (Q_4);
- масштабованість (Q_5);
- структурна організація (Q_6).

Експерти розташували відповідні критерії в порядку їх пріоритетності (таблиця Б5). Для оцінювання критеріїв застосовано 6-ти бальну шкалу оцінок. За методом простого ранжування розраховано ваги всіх критеріїв (таблиця Б5).

Таблиця Б5. Визначення ваг критеріїв за методом простого ранжування

Критерій	Пріоритет	Загальна кількість балів	Кількість балів для j-го критерію	Вага j-го критерію
Q_1	1	6	6	0,28
Q_2	2	5	5	0,24
Q_3	3-4	7	3,5	0,17
Q_4	3-4	7	3,5	0,17
Q_5	5	2	2	0,09
Q_6	6	1	1	0,05
$\sum_{j=1}^6 Q_j$			21	1

Кожному з експертів запропоновано оцінити за відповідними критеріями розроблені інструментальні засоби (ІЗТ1-3) для проектування нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією (таблиця Б6). Для оцінювання застосовано 10-ти бальну шкалу оцінок. Інструментальному засобу першого типу (ІЗТ1) відповідає рішення E_1 , ІЗТ2 – E_2 , ІЗТ3 – E_3 .

Таблиця Б6. Експертні оцінки інструментальних засобів

Експерт 1							Експерт 2						
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6		Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
E_1	9	8	10	8	10	8	E_1	8	9	7	8	9	10
E_2	8	7	9	9	10	7	E_2	8	8	8	9	10	9
E_3	1 0	9	6	7	8	10	E_3	7	9	10	9	7	8
Експерт 3							Експерт 4						
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6		Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
E_1	7	8	10	9	7	8	E_1	1 0	8	7	8	8	9
E_2	8	8	9	9	6	9	E_2	8	9	6	9	8	9
E_3	9	9	8	8	5	10	E_3	8	7	6	10	7	10
Експерт 5							Експерт 6						
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6		Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
E_1	9	8	8	10	8	8	E_1	8	10	9	8	10	8
E_2	9	9	7	8	10	9	E_2	7	9	9	8	9	10
E_3	1 0	10	5	10	9	8	E_3	9	10	7	10	8	9

За допомогою, наприклад, лінійної згортки глобальний критерій $Q(E_i)$ подається у вигляді лінійної комбінації компонентів векторного критерію якості з ваговими коефіцієнтами λ_j , основне призначення яких – врахування відносної важливості критеріїв [1,2].

$$Q(E_i) = \sum_{j=1}^n \lambda_j Q_j(E_i) \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; \lambda_j > 0; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1. \quad (\text{Б1})$$

Так, наприклад, оцінка інструментальному засобу першого типу (ІЗТ1) Експерта 1 за формулою (Б1) розраховується наступним чином:

$$Q(E_1) = 0,28 \cdot 9 + 0,24 \cdot 8 + 0,17 \cdot 10 + 0,17 \cdot 8 + 0,09 \cdot 10 + 0,05 \cdot 8 = 8,8.$$

Розрахунки експертного оцінювання (Б1) інструментальних засобів (ІЗТ1-3) по критеріям Q_1, Q_2, \dots, Q_6 представлені в таблиці Б7

Таблиця Б7. Результати експертного оцінювання інструментальних засобів (ІЗТ1-3) методом лінійної згортки

Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Експерт 6						
$Q(E_1)$	8,8	$Q(E_1)$	8,26	$Q(E_1)$	8,14	$Q(E_1)$	8,44	$Q(E_1)$	8,62	$Q(E_1)$	8,83
$Q(E_2)$	8,23	$Q(E_2)$	8,4	$Q(E_2)$	8,21	$Q(E_2)$	8,12	$Q(E_2)$	8,58	$Q(E_2)$	8,32
$Q(E_3)$	8,39	$Q(E_3)$	8,38	$Q(E_3)$	8,35	$Q(E_3)$	7,77	$Q(E_3)$	8,96	$Q(E_3)$	8,98

За формулою середнього арифметичного (всі експерти компетентні і рівнозначні) розраховуємо загальну оцінку кожного з інструментальних засобів (ІЗТ1-3). Отже:

– інструментальний засіб першого типу (ІЗТ1) – $Q_G(E_1) = 8,52$;

– інструментальний засіб другого типу (ІЗТ2) – $Q_G(E_2) = 8,31$;

– інструментальний засіб третього типу (ІЗТ3) – $Q_G(E_3) = 8,47$.

В нашому випадку немає необхідності обирати найкращий інструментальний засіб, оскільки вони мають різне призначення і ефективні в різних задачах і ситуаціях по-різному. Метою відповідного експертного оцінювання було визначення рівня готовності та якості розроблених інструментальних засобів. З результатів видно, що всі вони мають оцінку вище 8 за 10-ти бальною шкалою. Це доводить їх готовність, високу якість та відповідність поставленим вимогам. Крім того результати самооцінки TR1(7,8) та MRL(8) підтверджують результати експертного оцінювання.

ДОДАТОК В. ВЕРИФІКАЦІЯ СППР

Під верифікацією (ПЗ, інструментального засобу, СППР, експертної системи) слід розуміти перевірку відповідності результатів окремих етапів розробки програмної системи вимогам і обмеженням, сформульованим для них на попередніх етапах [58,69].

Перед початком **першого етапу** розробки інструментальних засобів для проектування нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією висувалися наступні вимоги:

1. Динамічність (можливість додавання, зміни, видалення) вхідних змінних (координат) СППР;
2. Необмеженість кількості лінгвістичних змінних (ЛЗ) та лінгвістичних термів (ЛТ);
3. Наявність трикутних форм функцій належності (ФН) для опису лінгвістичних змінних;
4. Графічне відображення ЛТ.

По завершенню першого етапу відбулася процедура верифікації для кожного з інструментальних засобів.

Розглянемо процедуру верифікації нечіткої СППР для вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією з використанням **інструментального засобу (ІЗТ1)**. На рис. В1 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ1) вимогам 1 і 2 (частина перша).

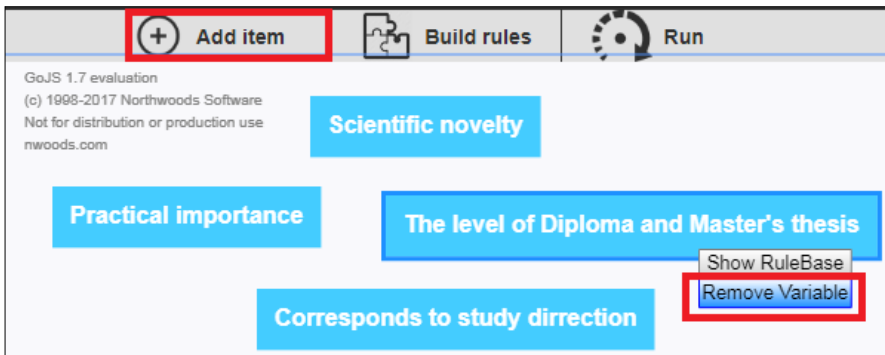


Рис. В1. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ1) до вимог 1 і 2 (частина перша)

З рис. В1 видно, що нечітка СППР наділена динамічністю (можливість додавання, зміни, видалення) вхідних змінних (вимога 1) та необмеженістю кількості ЛЗ (вимога 2, частина перша).

На рис. В2 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ1) другій частині вимоги 2 (необмеженість кількості ЛТ).

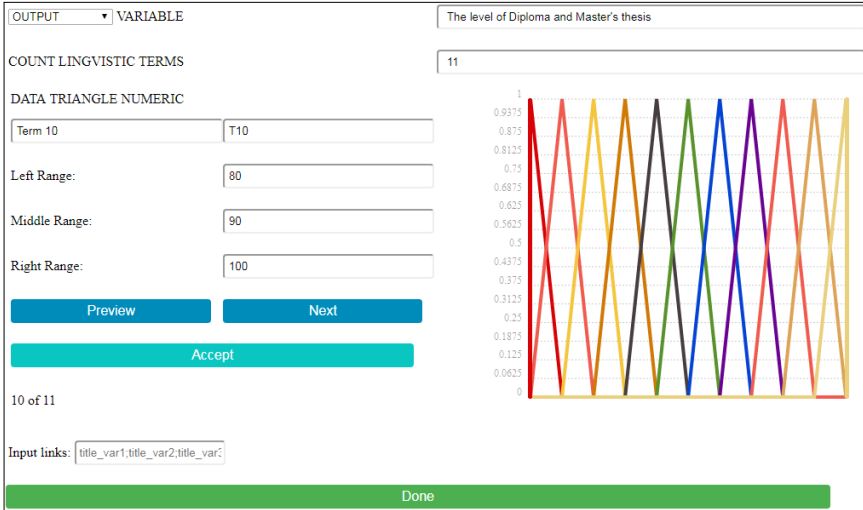


Рис. В2. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ1) до другої частини вимоги 2

На рис. В3 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ1) вимогам 3 і 4.

З рис. В3 видно, що нечітка СППР має можливість формування трикутних форм ФН для опису ЛЗ (вимога 3) та графічне відображення ЛТ (вимога 4).

Розглянемо процедуру верифікації нечіткої СППР для вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією з використанням **інструментального засобу (ІЗТ2)**. На рис. В4 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ2) вимогам 1 і 2 (частина перша).

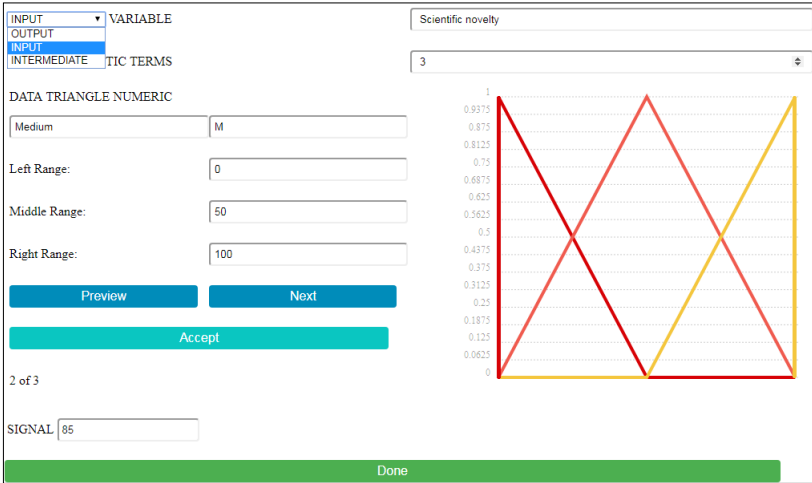


Рис. В3. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ1) до вимог 3 і 4

Manage variables

Add variable

Элементы 21–23 из 23.

ID	Designation	Variable name	Terms count	Terms	Default value
21	y2	Students level of professional orientation	5	[{"value":"Low","A":"0","B":"10","C":"30","isLeft":1,"isRight":0}, {"value":"Low medium","A":"10","B":"30","C":"50","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"Medium","A":"30","B":"50","C":"70","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"Medium high","A":"50","B":"70","C":"90","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"High","A":"70","B":"90","C":"100","isLeft":0,"isRight":1}]	1
22	y5	Rate of potential experience exchange	5	[{"value":"Low","A":"0","B":"10","C":"30","isLeft":1,"isRight":0}, {"value":"Low medium","A":"10","B":"30","C":"50","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"Medium","A":"30","B":"50","C":"70","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"Medium high","A":"50","B":"70","C":"90","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"High","A":"70","B":"90","C":"100","isLeft":0,"isRight":1}]	1
23	y1	The level of Diploma and Master's thesis	5	[{"value":"L","A":"0","B":"20","C":"40","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"LM","A":"20","B":"40","C":"60","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"M","A":"40","B":"60","C":"80","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"HM","A":"60","B":"80","C":"100","isLeft":0,"isRight":0}, {"value":"H","A":"80","B":"100","C":"120","isLeft":0,"isRight":0}]	80

Перейти к странице: 1 2 3

Рис. В4. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ2) до вимог 1 і 2 (частина перша)

На рис. В5 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ2) вимозі 2 (друга частина) та вимогам 3 і 4.

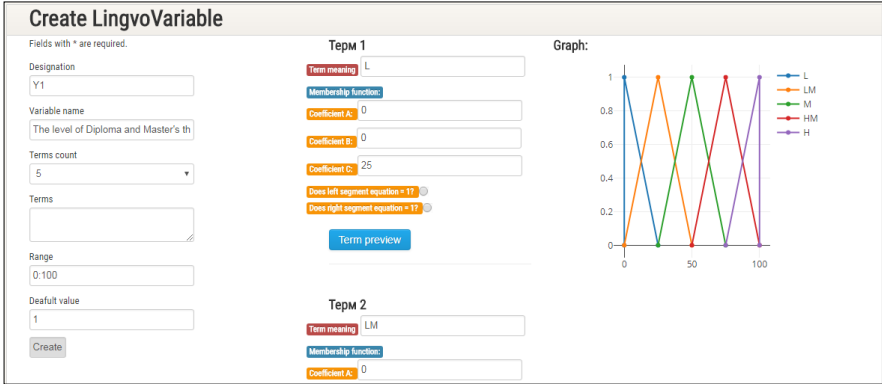


Рис. В5. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ2) до вимоги 2 (частина друга), 3 і 4

Розглянемо процедуру верифікації нечіткої СППР для вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією з використанням інструментального засобу (ІЗТ3). На рис. В6 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ2) вимогам 1 (частина перша: можливість додавання, зміни вхідних змінних), 3 і 4.

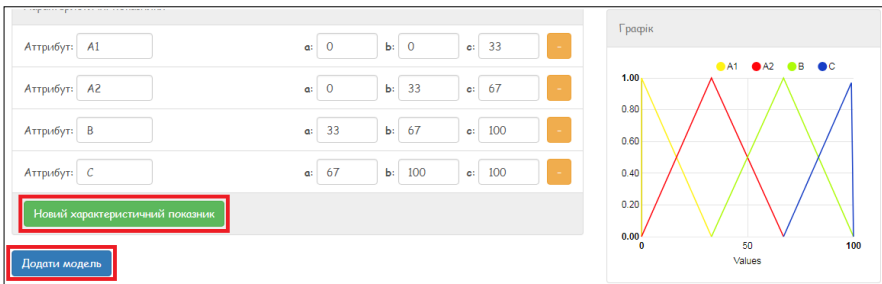


Рис. В6. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ3) до вимог 1 (частина перша), 3 і 4

На рис. В7 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ3) вимогам 1 (друга частина: можливість видалення вхідних змінних) та 2.

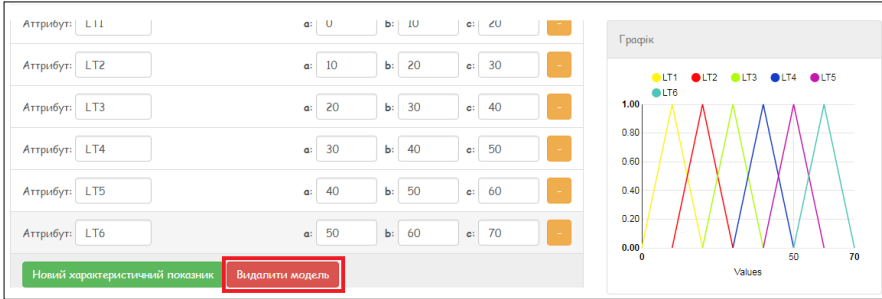


Рис. В7. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ3) до вимог 1 (частина друга) та 2

Перед початком **другого етапу** розробки інструментальних засобів для проектування нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією висувалися наступні вимоги:

5. Формування баз знань (БЗ) з нечіткими правилами продукційного типу;

6. Повнота та несуперечливість правил в БЗ.

По завершенню другого етапу відбулася процедура верифікації для кожного з інструментальних засобів.

Розглянемо процедуру верифікації нечіткої СППР для вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією з використанням **інструментального засобу (ІЗТ1)**. На рис. В8 наведено відповідність розробленої СППР (ІЗТ1) вимогам 5 і 6.

Scientific novelty	Practical importance	The level of Diploma and Master's thesis
L	L	L ▼
L	M	L ▼
L	H	M ▼
M	L	L ▼
M	M	M ▼
M	H	H ▼
H	L	M ▼
H	M	H ▼
H	H	▼

Accept

Рис. В8. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ1) до вимог 5 і 6

З рис. В8 видно, що БЗ повна (сформовано всі 9 правил) і несуперечлива (відсутні 2 і більше правил з однаковими антецедентами).

Розглянемо процедуру верифікації нечіткої СППР для вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією з використанням **інструментального засобу (ІЗТ2)**. На рис. В9 наведено відповідність розробленої СППР (ІЗТ2) вимогам 5 і 6.

Manage rules base

Add rule

Елементи 1–10 из 13

ID	DSS	Subsystem	Antecedent	Consequent	
1					
2	2	1	(x1:Low;x2:Low)	(y1:Low)	🗑️ ⚙️ ✖️
3	2	1	(x1:Low;x2:Medium)	(y1:Low)	🗑️ ⚙️ ✖️
4	2	1	(x1:Low;x2:High)	(y1:Medium)	🗑️ ⚙️ ✖️
5	2	1	(x1:Medium;x2:Low)	(y1:Low)	🗑️ ⚙️ ✖️
6	2	1	(x1:Medium;x2:Medium)	(y1:Medium)	🗑️ ⚙️ ✖️
7	2	1	(x1:Medium;x2:High)	(y1:High)	🗑️ ⚙️ ✖️
8	2	1	(x1:High;x2:Low)	(y1:Medium)	🗑️ ⚙️ ✖️
9	2	1	(x1:High;x2:Medium)	(y1:High)	🗑️ ⚙️ ✖️
10	3	1	(x1:High;x2:High)	(y1:High)	🗑️ ⚙️ ✖️

Рис. В9. Верифікація розробленої нечіткої СППР (ІЗТ2) до вимог 5 і 6

З рис. В9 видно, що БЗ розроблена на основі нечітких правил продукційного типу, повна (сформовано всі 9 правил) і несуперечлива (відсутні 2 і більше правил з однаковими антецедентами).

Розглянемо процедуру верифікації нечіткої СППР для вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією з використанням **інструментального засобу (ІЗТ3)**. На рис. В10 наведено відповідність розробленої СППР (ІЗТ3) вимогам 5 і 6.

База знань

1	x1: L ▾	x2: L ▾	y: L ▾	⊖
2	x1: L ▾	x2: M ▾	y: L ▾	⊖
3	x1: L ▾	x2: H ▾	y: M ▾	⊖
4	x1: M ▾	x2: L ▾	y: L ▾	⊖
5	x1: M ▾	x2: M ▾	y: M ▾	⊖
6	x1: M ▾	x2: H ▾	y: H ▾	⊖
7	x1: H ▾	x2: L ▾	y: M ▾	⊖
8	x1: H ▾	x2: M ▾	y: H ▾	⊖
9	x1: H ▾	x2: H ▾	y: H ▾	⊖

Рис. В10. Верифікація розробленої СППР (ІЗТ3) до вимог 5 і 6

З рис. В10 видно, що БЗ відповідає вимогам 5 і 6.

Перед початком **третього етапу** розробки інструментальних засобів для проектування нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією висувалися окремо наступні вимоги до **інструментального засобу (ІЗТ1)**:

7. Ієрархічна організація підсистем нечіткої СППР;
8. Механізм логічного виведення – дискретний.

По завершенню третього етапу відбулася процедура верифікації для **інструментального засобу (ІЗТ1)**. На рис. В11 наведено відповідність розробленої СППР (ІЗТ1) вимогам 7 і 8.

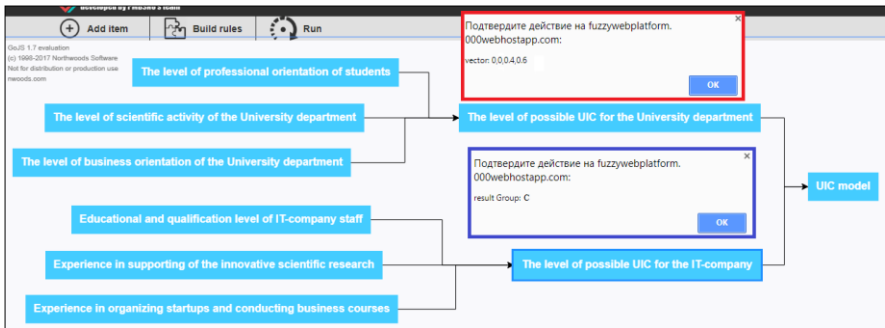


Рис. В11. Верифікація розробленої СППР (ІЗТ1) до вимог 7 і 8

Вимоги до **інструментального засобу (ІЗТ2)**:

9. Ієрархічна організація підсистем нечіткої СППР;
10. Механізм логічного виведення – неперервний.

На рис. В12 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ2) вимогам 9 і 10.

Input data	OUTPUT Level of cooperation
<p>Level of qualification work</p> <p>Level of scientific novelty (range 0:100): <input type="text" value="10"/></p> <p>Compliance for majoring (range 0:20): <input type="text" value="15"/></p> <p>Practical importance (range 0:100): <input type="text" value="60"/></p>	<p>40,7</p>
<p>Level of students professional orientation</p> <p>Students IT-experience level (range 0:100): <input type="text" value="75"/></p> <p>Level of cooperation between students and companies (range 0:100): <input type="text" value="80"/></p> <p>success in study (range 60:100): <input type="text" value="75"/></p>	
<p>Department's level of science activity</p> <p>Innovation projects level (range 0:100): <input type="text" value="20"/></p> <p>Level of scientific publication (range 0:100): <input type="text" value="40"/></p> <p>Count of scientific publications (range 0:100): <input type="text" value="45"/></p>	

Рис. В12. Верифікація розробленої СППР (ІЗТ2) до вимог 9 і 10

Вимоги до інструментального засобу (ІЗТ3):

11. Однорівнева організація підсистем нечіткої СППР;
12. Механізм логічного виведення – дискретний.

На рис. В13 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ3) вимозі 11. Структура СППР є однорівневою і складається з 3-х вхідних лінгвістичних змінних та однієї вихідної.

На рис. В14 наведено відповідність розробленої нечіткої СППР (ІЗТ3) вимозі 12. Механізм логічного виведення СППР є дискретним, крім того в СППР передбачено вибір t-норми.

Вхідні/Вихідні лінгвістичні змінні

The level of professional orientation of students 1

Ім'я:

Змінна:

Характеристичні показники:

Атрибут: a: b: c:

Атрибут: a: b: c:

The level of scientific activity of the University department 2

Ім'я:

Змінна:

Характеристичні показники:

Атрибут: a: b: c:

The level of business orientation of the University department 3

Ім'я:

Змінна:

Характеристичні показники:

Атрибут: a: b: c:

UIC model for the University department Результат

Ім'я:

Змінна:

Характеристичні показники:

Атрибут: a: b: c:

Атрибут: a: b: c:

Графік

Графік

Графік

Графік

Рис. В13. Верифікація розробленої СППР (ІЗТЗ) до вимоги 11

База знань/матриця знань

База знань

1 x1: L x2: L x3: L y: A1

2 x1: L x2: L x3: M y: A1

3 x1: L x2: L x3: H y: A2

4 x1: L x2: M x3: L y: A2

5 x1: L x2: M x3: M y: A2

Матриця знань

Для A1:

2 x1:L x2:L x3:M

Для A2:

3 x1:L x2:L x3:H

4 x1:L x2:M x3:L

5 x1:L x2:M x3:M

MINMAX PRODMAX MEANMAX

Введіть ваші вхідні параметри:

x1: 15 x2: 30 x3: 20

$M_{11}(15, 30, 20) = (0.7 \cdot 0.4 \cdot 0.4) = 0.4 = 0.4$

$M_{12}(15, 30, 20) = (0.7 \cdot 0.4 \cdot 0.6) \cdot (0.7 \cdot 0.6 \cdot 0.6) = 0.4 \cdot 0 \cdot 0.4 = 0.4$

$M_{21}(15, 30, 20) = (0.7 \cdot 0.6 \cdot 0.6) = 0.6 = 0.6$

$M_{22}(15, 30, 20) = (0.7 \cdot 0.4 \cdot 0) = 0 = 0$

Результат: 0.6 B

Рис. В14. Верифікація розробленої СППР (ІЗТ3) до вимоги 12

Одним з формальних методів верифікації є анкетування [74], перелік питань якого пов'язаний з можливостями та характеристиками СППР. В таблиці В1 представлено форму-шаблон (верифікаційну форму) у вигляді анкети з переліком можливих питань, що стосуються СППР та ІЗТ1-3. Результати анкетування визначають ступінь верифікації.

Таблиця В1. Форма-шаблон для верифікації розроблених СППР за допомогою інструментальних засобів (ІЗТ1-3)

	СППР (ІЗТ1)	СППР (ІЗТ2)	СППР (ІЗТ3)
1. СППР web-орієнтовна?			
2. Чи зручний інтерфейс розробки СППР?			
3. Наявність автоматичної генерації antecedentів правил БЗ?			
4. Можливість реконфігурації?			
5. Наявність інших форм ФН?			
6. Можливість додаткового налаштування параметрів механізму логічного виведення?			
7. Доцільність впровадження нейромереж?			
8. Цілісність СППР?			

ДОДАТОК Г. ПРОЦЕДУРА РОЗГОРТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НЕЧІТКОЇ СППР

Перед початком розробки інструментальних засобів (ІЗТ1-ІЗТ3, див. Додаток А) за поставленими вимогами було проведено аналіз існуючих аналогічних систем, зокрема, їх принцип роботи, середовище розробки, процедура розгортання. Це дало змогу зробити висновок, що відомі аналогічні програмні продукти для створення нечітких СППР є орієнтованими лише для однієї операційної системи, а саме ОС Windows-сімейства. Такими програмними продуктами є MATLAB та fuzzyTECH [113].

В процесі формування концепції прототипу інструментальних засобів було прийнято рішення, щодо створення web-орієнтованого додатку. Це дає змогу, незалежно від операційної системи пристрою, користуватися продуктом та його функціоналом. В результаті такий підхід надає системі гнучкості та можливості користувачу використовувати її лише за умови доступу до мережі Інтернет.

Оскільки інструментальні засоби різнотипного призначення (ІЗТ1-ІЗТ3) повинні розгортатися в мережі Інтернет з швидким доступом до розробки СППР для вибору моделі кооперації, то постало питання, щодо вибору моделі їх роботи.

В основному можна виділити наступні моделі:

1. **Клієнт-серверна.** При такій моделі існує сервер (виконує всі операції рівня моделювання та розрахунків), а також клієнт (виконує відображення усіх сутностей та керуючих елементів на панелі інструментів).

2. **Скриптова.** Така модель надає можливість виконувати усі розрахунки безпосередньо на web-сторінці.

Розглянемо переваги та недоліки кожної моделі [82].

Переваги клієнт-серверної моделі.

Дана модель дозволяє розділи обов'язки між відображенням та розрахунками. Крім того такий підхід надає можливість легко змінювати (редагувати/створювати) функціонал системи загалом без зміни html-сторінки, достатньо лише змінити виконуючий код серверної частини.

Недоліки клієнт-серверної моделі.

Відповідна модель вимагає коштів за використання місця на сервері, що надається хостингом. Тарифи залежать від кількості

виконаних запитів на день.

Переваги скриптової моделі.

Дана модель містить виконуючий код разом із html-сторінкою і надає можливість виконувати усі функції з поточного «контейнеру». Такий підхід не вимагає місця на серверній частині та дозволяє розгорнути систему на безкоштовному хостингу та швидко приступити до її використання.

Недоліки скриптової моделі.

Відповідальність за виконання та відображення функціоналу системи лежить на html-сторінці. Така модель ускладнює керування та підтримку усієї системи загалом та з часом буде вимагати спрощувати та розбивати на блоки скриптів.

Процедура розгортання інструментального засобу (ІЗТІ).

В результаті аналізу моделей роботи web-додатків було прийнято рішення розробити прототип інструментального засобу на основі скриптової моделі. Хоча така модель і ускладнює процес розробки, але головною перевагою є те, що не вимагає коштів для розгортання системи і надає можливість використати безкоштовний хостинг для розгортання, тестування на налаштування.

ІЗТІ має унікальний дизайн логотипу та кольорової схеми, розроблений із використанням наступних інструментів для створення web-орієнтовних продуктів.

Мова програмування HTML5.

HTML5 є новим стандартом HTML. Цей термін представляє дві різні концепції:

– це нова версія мови HTML, з новими елементами, атрибутами і поведінкою;

– це великий стек технологій, які надають більшого різноманіття та потужності web-сайтам та додаткам.

Відповідна мова програмування HTML5 спроектована для використання всіма розробниками Open Web. Семантика: дозволяє описати якомога точніше з чого складається ваш контент. Зв'язок: дозволяє вам взаємодіяти з сервером новим та інноваційним шляхом. Оффлайн та сховище: надає можливість web-сторінкам зберігати дані на стороні клієнта локально та оперувати оффлайном ефективніше. Мультимедіа: робить відео та аудіо першокласними доповненнями Open Web. 2D/3D графіка та ефекти: дозволяє велику кількість презентаційних варіантів. Ефективність та інтеграція: надає

більшу оптимізацію швидкості та кращого використання потужностей комп'ютера. Доступ до пристрою: дозволяє використання різноманітних пристроїв вводу/виводу. Стили: Дозволяє авторам створювати більш складні і витончені теми [83].

Мова розмітки даних CSS3.

CSS 3 дозволяє значно розширити можливості верстки сайтів, без застосування сторонніх технологій. Більш привабливий дизайн сайтів з використанням мінімально необхідного коду - ось результат, одержаний за допомогою CSS 3. Так само як і HTML 5, CSS 3 підтримується сучасними браузерами частково, але протягом найближчих років очікується повна підтримка браузерами HTML 5 і CSS 3.

Переваги використання HTML 5 і CSS 3. Отримання сучасного, привабливого, зручного і функціонального сайту, що ефективно виконує свої завдання - ось основна мета, яка ставиться при розробці сайтів. Веб-програмування з використанням HTML 5 і CSS 3 допомагає в досягненні цієї мети.

За рахунок відмови від використання великої кількості зображень, що формують деякі елементи дизайну сторінки, такі як закруглені кути, тіні, градієнти, сторінки сайту завантажуються значно швидше. Це допомагає створити позитивне враження про сайт у відвідувачів.

За рахунок використання HTML 5 і CSS 3 відтворення на сайті анімації, відео, аудіо виконується без необхідності підключення додаткових розширень до браузера. На відміну від flash-елементів, дані технології добре взаємодіють з пошуковими системами і не перешкоджають пошуковому просуванню сайтів.

Мова програмування JavaScript (з використанням ООП парадигми).

JavaScript має низку властивостей об'єктно-орієнтованої мови, але завдяки концепції прототипів підтримка об'єктів в ній відрізняється від традиційних мов ООП. Крім того, JavaScript має ряд властивостей, притаманних функціональним мовам, - функції як об'єкти першого класу, об'єкти як списки, каррінг, анонімні функції, замикання (closures), що додає мові додаткову гнучкість.

JavaScript має С-подібний синтаксис, але в порівнянні з мовою С має такі відмінності:

- об'єкти, з можливістю інтроспекції і динамічної зміни типу через механізм прототипів;
- функції, як об'єкти першого класу;
- обробка винятків;
- автоматичне приведення типів;
- автоматичне прибирання сміття;
- анонімні функції.

JavaScript містить декілька вбудованих об'єктів: Global, Object, Error, Function, Array, String, Boolean, Number, Math, Date, RegExp. Крім того, JavaScript містить набір вбудованих операцій, які не обов'язково є функціями або методами, а також набір вбудованих операторів, що управляють логікою виконання програм. Синтаксис JavaScript в основному відповідає синтаксису мови Java (тобто, зрештою, успадкований від C), але спрощений порівняно з ним, щоб зробити мову сценаріїв легкою для вивчення. Семантика мови схожа з семантикою мови Self [74].

Фреймворки GoJS Framework та Chartist Framework.

Відповідні фреймворки призначені для покращення виведення і візуалізації графічних об'єктів.

Процедура розгортання інструментального засобу (ІЗТ2).

В результаті аналізу моделей роботи web-додатків було прийнято рішення розробити прототип інструментального засобу на основі клієнт-серверної моделі. Це обумовлено особливостями призначення та застосування СППР з неперервним логічним виведенням (процедура дефазифікації), оскільки велика кількість розрахунків повинна виконуватися на серверній частині.

ІЗТ2 розроблений із використанням наступних інструментів для створення і розгортання web-орієнтовних продуктів.

Мова програмування PHP.

Мова PHP – це широко використовувана мова сценаріїв загального призначення з відкритим вихідним кодом. Синтаксис мови бере початок з C, Java і Perl. PHP досить простий для вивчення. Перевагою PHP є надання web-розробникам можливості швидкого створення динамічних web-сторінок. Значною відзнакою PHP від будь-якого коду, що виконується на стороні клієнта, наприклад, JavaScript, є те, що PHP-скрипти виконуються на стороні сервера. Ви навіть можете конфігурувати свій сервер таким чином, щоб HTML-

файли оброблялися процесором PHP, так що клієнти навіть не зможуть дізнатися, чи отримують вони звичайний HTML-файл або результат виконання скрипта.

Існують три основні області, де використовується PHP.

1. Створення скриптів для виконання на стороні сервера. PHP найбільш широко використовується саме таким чином. Все, що Вам знадобиться, це парсер PHP (у вигляді програми CGI або серверного модуля), web-сервер і браузер. Щоб Ви могли переглядати результати виконання PHP-скриптів в браузері, вам потрібен працюючий web-сервер і встановлений PHP.

2. Створення скриптів для виконання в командному рядку. Ви можете створити PHP-скрипт, здатний запускатися незалежно від web-сервера та браузера. Все, що Вам буде потрібно - парсер PHP. Такий спосіб використання PHP ідеально підходить для скриптів, які повинні виконуватися регулярно, наприклад, за допомогою утиліти cron (на платформах Unix або Linux) або за допомогою планувальника завдань (Task Scheduler) на платформах Windows. Ці скрипти також можуть бути використані в задачах простої обробки текстів.

3. Створення додатків GUI (графічних інтерфейсів), що виконуються на стороні клієнта. Можливо, PHP є не найкращим мовою для створення подібних додатків, але, якщо Ви добре знаєте PHP і хотіли б використати деякі його можливості у своїх клієнт-додатках, ви можете використовувати PHP-GTK для створення таких додатків.

PHP доступний для більшості операційних систем, включаючи Linux, багато модифікації Unix (такі, як HP-UX, Solaris і OpenBSD), Microsoft Windows, Mac OS X, RISC OS, та багатьох інших. Існує навіть версія PHP для OS / 2.

Також в PHP включена підтримка більшості сучасних веб-сервер, таких, як Apache, Microsoft Internet Information Server (IIS), Personal Web Server, серверів Netscape і iPlanet, сервера O'Reilly Website Pro, Caudium, Xitami, OmniHTTPd та багатьох інших. Для більшості серверів PHP поставляється в якості модуля, для інших, що підтримують стандарт CGI, PHP може функціонувати як процесор CGI.

Web-сервер Nginx.

Даний web-сервер і поштовий проксі-сервер працює на Unix-подібних операційних системах (тестувалася збірка і робота на

FreeBSD, OpenBSD, Linux, Solaris, Mac OS X, AIX і HP-UX). Починаючи з версії 0.7.52 з'явилася експериментальна бінарна збірка під Microsoft Windows. Nginx позиціонується виробником як простий, швидкий і надійний сервер, не переобтяжений функціями. Застосування Nginx доцільно перш за все для статичних web-сайтів і як проксі-сервера для динамічних сайтів [58].

Web-сервер Apache.

Відповідний web-сервер з відкритим початковим кодом, що вирізняється широкими можливостями конфігурації та належним рівнем підтримки. Для його успішного розгортання потрібне чітке налаштування, але це водночас забезпечує високу контрольованість web-сервера. Зазвичай сервери Apache працюють під управлінням Linux або BSD, але вони також можуть працювати й у Windows.

Фреймворк Yii – це високопродуктивний веб-фреймворк, написаний на PHP, реалізує парадигму «модель-вид-контролер», вирізняється високою продуктивністю та наступними можливостями: інтерфейси DAO та Active Record для роботи з базами даних (PDO); підтримка інтернаціоналізації; кешування сторінок та окремих фрагментів; перехоплення та обробка помилок; введення та валідація веб-форм; аутентифікація та авторизація; використання AJAX та інтеграція з jQuery; генерація базового PHP-коду для CRUD-операцій (скафолдінг); підтримка тем оформлення для їх легкої зміни; підключення сторонніх бібліотек; міграції бази даних; автоматизоване тестування; підтримка REST.

Бібліотека JQuery.

Дана бібліотека працює з Java-скриптами та спеціалізується на взаємодії JavaScript і HTML. Бібліотеку використовують для роботи з HTML документами. На рівні з CSS, яка відокремлює візуалізацію сторінки від будови HTML, jQuery відділяє поведінку від структури HTML. Дана бібліотека активно використовується програмістами в різних сферах [69].

Набір інструментів Bootstrap.

Bootstrap – це безкоштовний набір інструментів з відкритим кодом, який призначений для створення web-сайтів і web-додатків, містить шаблони CSS та HTML для типографіки, форм, кнопок, навігації та інших компонентів інтерфейсу, а також додаткові розширення JavaScript. Він спрощує розробку динамічних web-сайтів і web-додатків.

Мова програмування JavaScript (JS)

Найчастіше використовується для створення сценаріїв web-сторінок, що надає можливість на стороні клієнта (пристрої кінцевого користувача) взаємодіяти з користувачем, керувати браузером, асинхронно обмінюватися даними з сервером, змінювати структуру та зовнішній вигляд web-сторінки.

JS класифікують як прототипну, скриптову мову програмування з динамічною типізацією. Окрім прототипної, JavaScript також частково підтримує інші парадигми програмування (імперативну та частково функціональну) і деякі відповідні архітектурні властивості, зокрема: динамічна та слабка типізація, автоматичне керування пам'яттю, прототипне наслідування, функції як об'єкти першого класу.

Мова JavaScript використовується для:

– написання сценаріїв web-сторінок для надання їм інтерактивності;

– створення односторінкових додатків

(ReactJS, AngularJS, Vue.js) ;

– програмування на стороні сервера (Node.js);

– стаціонарних додатків (Electron, NW.js);

– мобільних додатків (React Native, Cordova);

– сценаріїв в прикладному ПЗ (наприклад, Adobe Creative Suite).

Процедура розгортання інструментального засобу (ІЗТЗ).

В результаті аналізу моделей роботи web-додатків було прийнято рішення розробити прототип інструментального засобу на основі скриптової моделі. Це обумовлено тим, що нечіткі СППР, які розробляються за допомогою відповідного засобу, мають просту однорівневу структуру з нескладними функціональними зв'язками та дискретним логічним виведенням. В такому випадку «простота» інструментального засобу дає перевагу ЛПР та експерту у швидкодії проектування, розгортання та отримання результатів СППР в порівнянні з іншими інструментами. Таким чином доцільним є використання скриптової моделі розгортання ІЗТЗ, де всі розрахунки виконуються на єдиному скриптовому «контейнері».

ІЗТЗ розроблений із використанням наступних інструментів для створення і розгортання web-орієнтовних продуктів.

Фреймворк VueJS.

Відповідний фреймворк відносять до JavaScript-

фреймворків, що використовує шаблон MVVM для створення інтерфейсів користувача на основі моделей даних, через реактивне зв'язування даних [74].

Vue використовує синтаксис шаблонів на основі HTML, що дозволяє декларативно зв'язувати рендеринг DOM з основними екземплярами даних в Vue. Всі Vue шаблони валідні HTML, і можуть бути розпарсені браузерами та HTML парсерами. Всередині Vue компілює шаблони в рендерингові функції віртуального DOM. В поєднанні з реактивною системою, Vue здатний розумно обчислити кількість компонентів для ре-рендингу та застосувати мінімальну кількість маніпуляцій з DOM, коли стан додатку зміниться.

В Vue існує можливість використовувати синтаксис шаблонів або напряму писати рендерингові функції використовуючи JSX. Для того, щоб це зробити просто замініть шаблон на рендерингову функцію [82].

Одна із найвиразніших особливостей Vue – це ненав'язлива реактивна система. Це робить керування станами дуже простим та інтуїтивним. Vue надає оптимізований ре-рендеринг з коробки без потреби робити що-небудь додатково. Кожен компонент слідкує за своїми реактивними залежностями під час рендерингу, тому система знає точно коли має відбутися ре-рендеринг, і які компоненти потрібно ре-рендерити.

Vue надає різноманітні шляхи для застосування ефектів переходу, коли елемент додають, оновлюють або видаляють з DOM. Наприклад:

- автоматичне застосування класів для CSS переходів та анімацій;
- інтегрування сторонніх бібліотек для CSS анімацій, таких як `Animate.css`;
- використовувати JavaScript для прямих маніпуляцій з DOM під час переходів;
- інтегрування сторонніх JavaScript бібліотек анімацій, таких як `Velocity.js`.

Vue сам по собі не включає роутингу, та є `vue-router` пакет, який вирішує це питання. Він підтримує зв'язування вкладених шляхів з вкладеними компонентами і пропонує деталізований контроль над переходами. Vue дозволяє створення додатків за допомогою компонентів. Якщо додати `vue-router` до цього, все що потрібно

зробити це зв'язати компоненти з роутами і дозволити vue-router вирішувати де їх рендерити [83].

Окрім фреймворку VueJS при розробці та розгортанні ІЗТЗ використовувались бібліотека *JQuery* та мова програмування *HTML5*.

Процедура розгортання всіх розроблених інструментальних засобів для розробки нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанею є достатньо складною та трудомісткою, оскільки повинна заздалегідь передбачати умови функціонування, принципи масштабування, політику ролей системи та зміни потужностей необхідних розрахунків.

ДОДАТОК Д. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ СППР

Наведемо приклади розробки і застосування нечітких СППР з вибору моделі кооперації між університетом та ІТ-компанією за допомогою розроблених інструментальних засобів (ІЗТ1-3).

Розглянемо, наприклад, розробку нечіткої СППР з вибору моделі доцільної УС співпраці для ІТ-компанії в рамках кооперації з університетом за допомогою **інструментального засобу (ІЗТ1)**, структура якої представлена на рис. Д1.

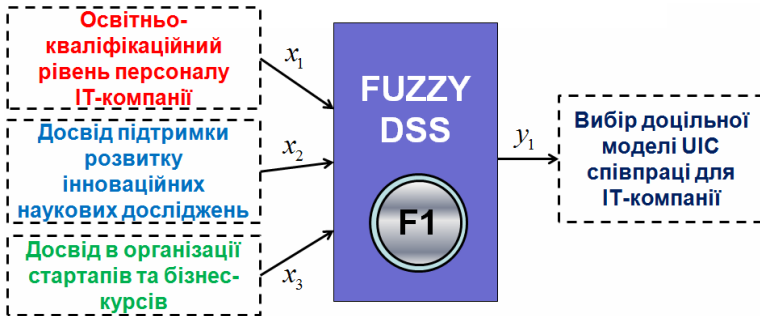


Рис. Д1. Структура нечіткої СППР (ІЗТ1) з вибору доцільної моделі УС співпраці для ІТ-компанії

Вхідні лінгвістичні змінні:

– x_1 – освітньо-кваліфікаційний рівень персоналу ІТ-компанії: діапазон зміни - $[0 100]$, число термів - 3 (“низький” - L, “середній” - M, “високий” - H), форма ФН - трикутна;

– x_2 – досвід підтримки розвитку інноваційних наукових досліджень: діапазон зміни - $[0 100]$, число термів - 3 (“невеликий” - S, “середній” - M, “великий” - B), форма ФН - трикутна;

– x_3 – досвід в організації стартапів та проведення бізнес-курсів: діапазон зміни - $[0 100]$, число термів - 3 (“невеликий” - S, “середній” - M, “великий” - B), форма ФН - трикутна.

Вихідна лінгвістична змінна:

– y – модель доцільної УС співпраці для ІТ-компанії в рамках кооперації з університетом: діапазон зміни - $[0 100]$, число термів - 4 (“модель А1” - A1, “модель А2” - A2, “модель В” - B, “модель С” - C), форма ФН - трикутна.

На рис. Д2 наведено формування ЛЗ та ЛТ, зокрема, для x_1 .

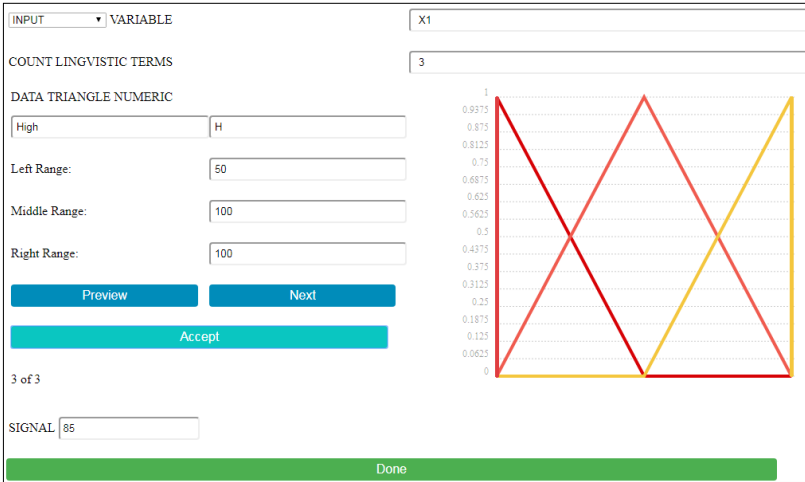


Рис. Д2. Формування ЛЗ та ЛТ для змінної x_1

Для вихідної змінної y необхідно вибрати тип координати та вхідні змінні, зокрема, x_1, x_2, x_3 для залежності $y = f(x_1, x_2, x_3)$ (рис. Д3).

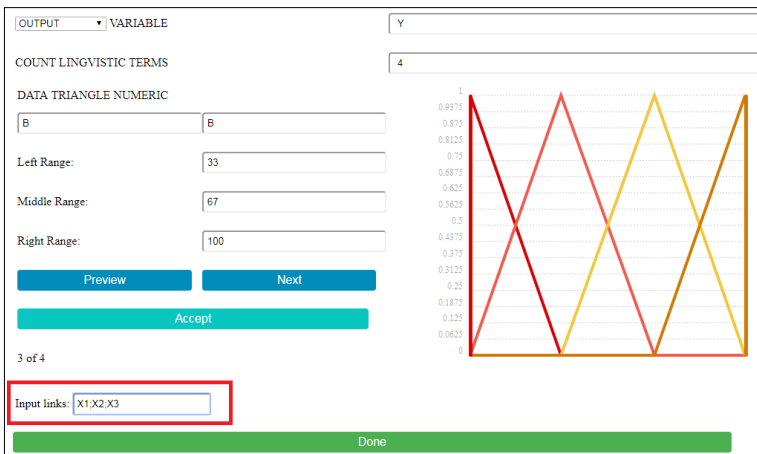


Рис. Д3. Формування ЛЗ та ЛТ для змінної y

На рис. Д4 представлено процедуру формування бази правил для СППР $y = f(x_1, x_2, x_3)$, а також наведено синтезовану структуру системи.

X1	X2	X3	Y
L	S	S	A1 ▾
L	S	M	A1 ▾
L	S	B	A2 ▾
L	M	S	A1 ▾
L	M	M	A2 ▾
L	M	B	A2 ▾
L	B	S	A1 ▾
L	B	M	A2 ▾
L	B	B	B ▾

X1	X2	X3	Y
M	S	S	A2 ▾
M	S	M	A2 ▾
M	S	B	B ▾
M	M	S	B ▾
M	M	M	B ▾
M	M	B	C ▾
M	B	S	A2 ▾
M	B	M	B ▾
M	B	B	B ▾

X1	X2	X3	Y
H	S	S	A1 ▾
H	S	M	A2 ▾
H	S	B	B ▾
H	M	S	A2 ▾
H	M	M	B ▾
H	M	B	C ▾
H	B	S	B ▾
H	B	M	C ▾
H	B	B	C ▾

Accept

Рис. Д4. Формування бази правил для СППР $y = f(x_1, x_2, x_3)$

Результат роботи нечіткої СППР з вибору моделі UIC співпраці для IT-компанії в рамках кооперації з університетом ($y = f(x_1, x_2, x_3)$) при введених користувачем даних, наприклад, $x_1 = 85$, $x_2 = 60$, $x_3 = 70$, представлено на рис. Д5.

Рис. Д5. Результат роботи нечіткої СППР $y = f(x_1, x_2, x_3)$

З результатів роботи розробленої нечіткої СППР за допомогою інструментального засобу (ІЗТ1) видно, що СППР має дискретний логічний вивід, зручна в користуванні, адаптована під сучасні засоби візуалізації, відповідає всім поставленим вимогам.

Розглянемо, наприклад, розробку нечіткої СППР з вибору моделі доцільної UIC співпраці для кафедри університету в рамках

кооперації з ІТ-компанією за допомогою **інструментального засобу (ІЗТ2)**, структура якої представлена на рис. Д6.

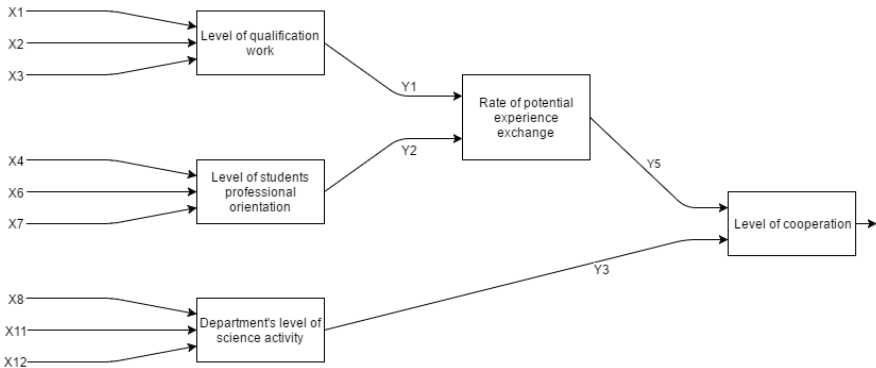


Рис. Д6. Структура нечіткої СППР (ІЗТ2) з вибору доцільної моделі УС співпраці для кафедри університету

Вхідними, проміжними та вихідною змінними є: x_1 - рівень наукової новизни проєктів; x_2 - відповідність напрямку підготовки; x_3 - практична значимість проєктів; x_4 - рівень ІТ-досвіду студентів; x_6 - рівень співпраці студентів з ІТ-компаніями; x_7 - успішність в навчанні; x_8 - рівень інноваційних проєктів; x_{11} - рівень наукових публікацій відділу; x_{12} - кількість наукових публікацій відділу; y_1 - оцінка рівня дипломної / магістерської роботи; y_2 - рівень професійної орієнтації студентів; y_3 - рівень наукової діяльності відділу; y_5 - оцінка потенціалу студентів для обміну досвідом з ІТ-компаніями; y - оцінка рівня кооперації.

На рис. Д7 наведено процедуру формування ЛЗ та ЛТ, зокрема, для x_1 .

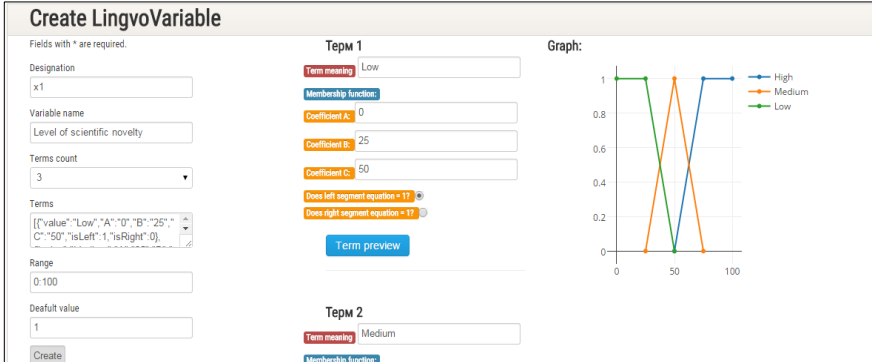


Рис. Д7. Формування ЛЗ та ЛТ для змінної x_1

На рис. Д8 представлено процедуру створення підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ ієрархічної СППР.

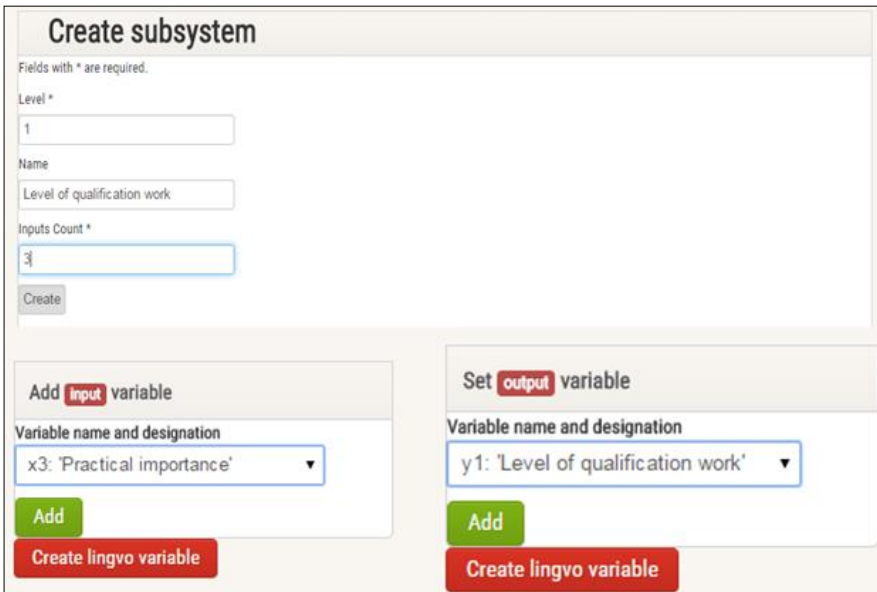


Рис. Д8. Створення підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$ нечіткої СППР

Формування нечітких правил для кожної з підсистем представлено на рис. Д9, зокрема, для підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$.

Create rule

DSS *
 Cooperation model ▼

Subsystem *
 1:: Level of qualification work ▼

IF:

Level of scientific novelty:
 Low ▼

Compliance for majoring:
 Low ▼

Practical importance:
 Low ▼

THEN:

Level of qualification work:
 Low ▼
 Low
 Low medium
 Medium
 Medium high
 High

Save

Рис. Д9. Формування бази правил для підсистеми $y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3)$

Результат роботи нечіткої ієрархічної СППР з вибору моделі ІІС співпраці для кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією представлено на рис. Д10.

Input data

Level of qualification work

Level of scientific novelty (range 0:100):

Compliance for majoring (range 0:20):

Practical importance (range 0:100):

Level of students professional orientation

Students IT-experience level (range 0:100):

Level of cooperation between students and companies (range 0:100):

success in study (range 60:100):

Department's level of science activity

Innovation projects level (range 0:100):

Level of scientific publication (range 0:100):

Count of scientific publications (range 0:100):

OUTPUT Level of cooperation

40,7

Рис. Д10. Результат роботи нечіткої ієрархічної СППР

З результатів роботи розробленої нечіткої ієрархічної СППР за допомогою інструментального засобу (ІЗТ2) видно, що СППР має неперервний логічний вивід, ієрархічно структурована, універсальна, відповідає всім поставленим вимогам.

Розглянемо, наприклад, розробку нечіткої СППР з вибору моделі доцільної УІС співпраці для кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією за допомогою **інструментального засобу (ІЗТ3)**, структура якої представлена на рис. Д11.

Вхідні лінгвістичні змінні:

- x_1 – рівень професійної орієнтації студентів: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (L, M, H), форма ФН - трикутна;
- x_2 – рівень наукової діяльності відділу: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (L, M, H), форма ФН - трикутна;
- x_3 – рівень бізнес орієнтації відділу: діапазон зміни - [0 100], число термів - 3 (L, M, H), форма ФН - трикутна.

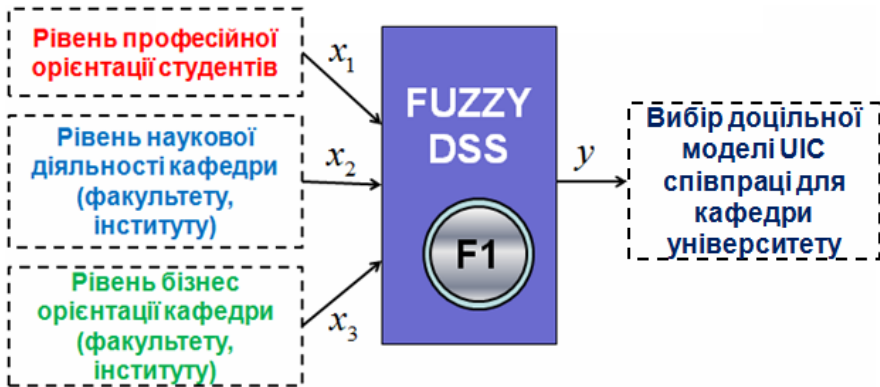


Рис. Д11. Структура нечіткої СППР (ІЗТ3) з вибору доцільної моделі УІС співпраці для кафедри університету

Вихідна лінгвістична змінна:

- y – модель доцільної УІС співпраці для кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією: діапазон зміни - [0 100], число термів - 4 (“модель А1” - А1, “модель А2” - А2, “модель В” - В, “модель С” - С), форма ФН - трикутна.

На рис. Д12 наведено процедуру формування ЛЗ та ЛГ для x_1 .

Вхідні/Вихідні лінгвістичні змінні ▲

Рівень професійної орієнтації студентів 1

Ім'я: Рівень професійної орієнтації студентів

Змінна: x1

Характеристичні показники:

Атрибут: L	a: 0	b: 0	c: 50	-
Атрибут: M	a: 0	b: 50	c: 100	-
Атрибут: H	a: 50	b: 100	c: 100	-

Новий характеристичний показник Видалити модель

Рис. Д12. Формування ЛЗ та ЛТ для змінної x_1

На рис. Д13 наведено моделі трикутних чисел ЛТ для вихідної ЛЗ y .

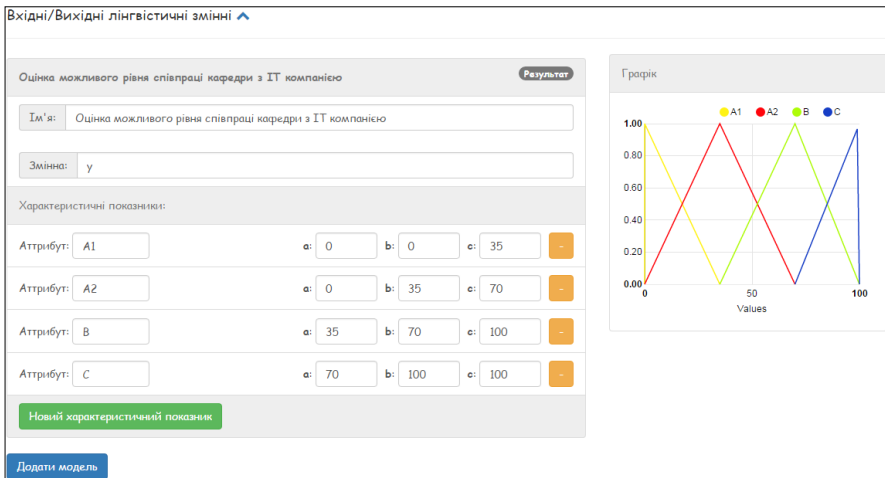


Рис. Д13. Формування ЛЗ та ЛТ для змінної y

Процедура формування БП та її автоматичної трансформації в матрицю знань представлено на рис. Д14.

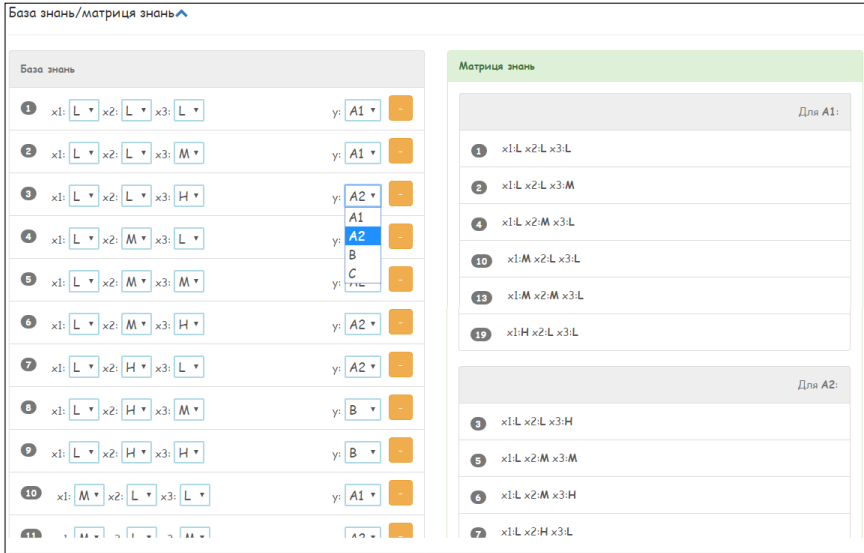


Рис. Д14. Формування БП та її трансформація в матрицю знань

Результат роботи нечіткої однорівневої СППР з вибору моделі UIC співпраці для кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією представлено на рис. Д15.

25	x1: Н	x2: Н	x3: L	y: B	-
26	x1: Н	x2: Н	x3: M	y: C	-
27	x1: Н	x2: Н	x3: Н	y: C	-

[Додати правило](#)

21	x1:Н x2:L x3:Н
24	x1:Н x2:M x3:Н
26	x1:Н x2:Н x3:M
27	x1:Н x2:Н x3:Н

MINMAX PRODMAX MEANMAX

Введіть ваші вхідні параметри:

x1: 15 x2: 60 x3: 80

$M_{\cup}(15, 60, 80) = (0.7 \cup 0.4) \wedge (0.7 \cup 0.8 \cup 0) \wedge (0.3 \cup 0.4) \wedge (0.3 \cup 0.8 \cup 0) \wedge (0 \cup 0 \cup 0) = 0 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0 = 0$
 $M_{\cup}(15, 60, 80) = (0.7 \cup 0.6) \wedge (0.7 \cup 0.8 \cup 0.4) \wedge (0.7 \cup 0.8 \cup 0.6) \wedge (0.7 \cup 0.2 \cup 0) \wedge (0.3 \cup 0.4) \wedge (0.3 \cup 0.6) \wedge (0.3 \cup 0.8 \cup 0.4) \wedge (0 \cup 0 \cup 0.4) = 0 \wedge 0.4 \wedge 0.6 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0.3 \wedge 0 = 0.6$
 $M_{\cup}(15, 60, 80) = (0.7 \cup 0.2 \cup 0.4) \wedge (0.7 \cup 0.2 \cup 0.6) \wedge (0.3 \cup 0.8 \cup 0.6) \wedge (0.3 \cup 0.2 \cup 0) \wedge (0.3 \cup 0.2 \cup 0.4) \wedge (0 \cup 0.8 \cup 0) \wedge (0 \cup 0.8 \cup 0.4) \wedge (0 \cup 0.2 \cup 0) = 0.2 \wedge 0.2 \wedge 0.3 \wedge 0 \wedge 0.2 \wedge 0 \wedge 0 = 0.3$
 $M_{\cup}(15, 60, 80) = (0.3 \cup 0.2 \cup 0.6) \wedge (0 \cup 0 \cup 0.6) \wedge (0 \cup 0.8 \cup 0.6) \wedge (0 \cup 0.2 \cup 0.4) \wedge (0 \cup 0.2 \cup 0.6) = 0.2 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0 = 0.2$

Результат: 0.6 — **Model A2**

[Клік щоб оновити](#)

Рис. Д15. Результат роботи розробленої нечіткої СППР з вибору моделі ІІС співпраці для кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією

З результатів роботи розробленої нечіткої СППР за допомогою інструментального засобу (ІЗТЗ) видно, що СППР має дискретний логічний вивід, автоматичну генерацію матриці знань на основі сформованої БП, можливість вибору різнотипних t-норм для параметричного налаштування, відповідає всім поставленим вимогам.

ДОДАТОК Е. МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ SUPERDECISION ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ В КОНТЕКСТІ ВИБОРУ МОДЕЛІ КООПЕРАЦІЇ МІЖ УНІВЕРСИТЕТАМИ ТА ІТ-ПІДПРИЄМСТВАМИ

Ефективність застосування готових десктопних рішень (інструментальних засобів) в якості СППР базується на наступних припущеннях:

- для її працездатності не потрібно доступу до Інтернету;
- може повноцінно функціонувати в будь-яких операційних системах завдяки наявності механізму віртуалізації;
- безкоштовність в разі використання ПЗ з відкритим кодом або, як мінімум на термін ознайомлення для пропріетарного ПО;
- оперативність введення потенційного експерта в процес дослідження / моделювання завдяки мінімальним технологічного та термінологічного «порогів»;
- відсутність тимчасових і матеріальних витрат на розробку;
- можливість звернення за консультацією до товариства (у разі open source ПО) або в службу підтримки (для пропріетарного програмного забезпечення).

Все вище перелічене задовольняє велику кількість інструментальних засобів, дослідження можливостей застосування яких наведено в таблицях 5.4–5.7, тому для вибору моделі кооперації між ВУЗами та ІТ-підприємствами було запропоновано десктопних ПО SuperDecision з вільним ключем (на 180 днів, в разі реєстрації) і безкоштовним продовженням ключа, як один із класичних програмних реалізацій популярного і ефективного методу аналізу ієрархій (АНР), в якому (ПО) є можливість нівелювати деякі обмеження по застосуванні цього методу.

Відповідно до МАІ (АНР) розробляється метод оцінки впливу рівня на сусідній верхній рівень за допомогою композиції відповідного внеску (пріоритетів) елементів нижнього рівня стосовно елемента верхнього рівня. Ця композиція може поширюватися нагору по ієрархії. Кожен елемент ієрархії функціонально може належати до кількох інших різних ієрархій. Елемент може бути керуючої компонентою на деякому рівні однієї ієрархії або може просто бути

елементом, що розкриває функції нижнього або вищого порядку в іншій ієрархії. У нашому випадку, об'єкт дослідження може бути представлений у вигляді наступної ієрархії (див. рисунок Е1).

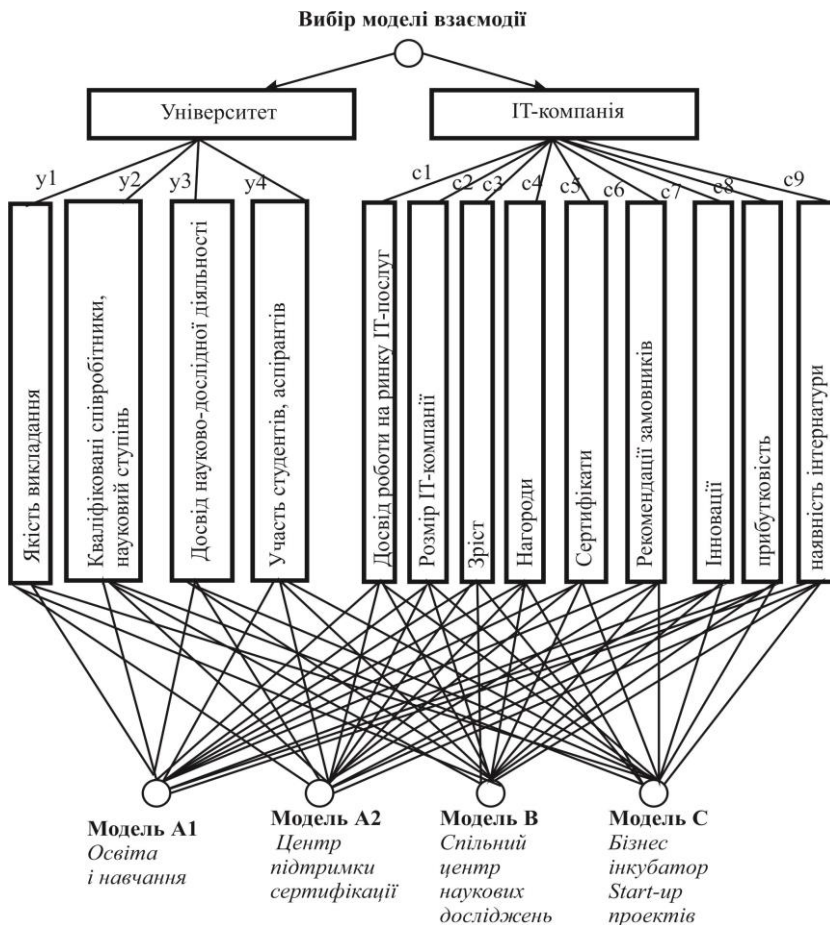


Рис. Е1. Трьохрівнева ієрархія для вибору моделі кооперації між ВУЗами та ІТ-підприємствами

Послідовність і основні результати моделювання за допомогою інструментального засобу SuperDecision укрупнено наведені на рисунках Е2, Е2А, Е2Б, Е3 та Е4.

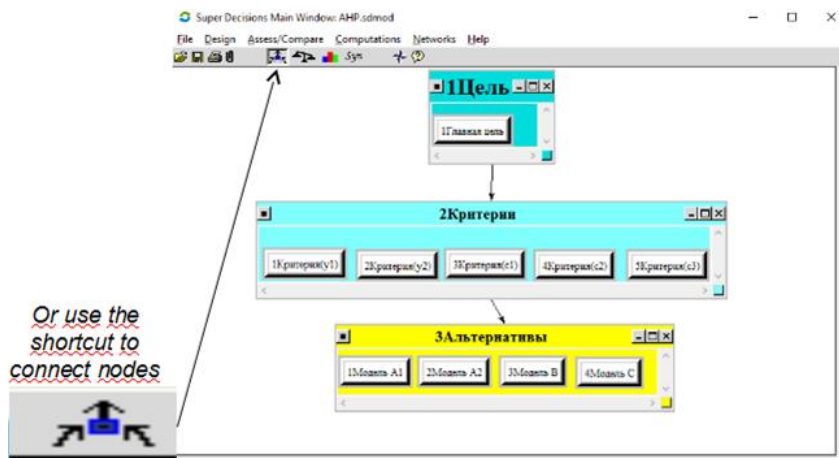


Рис. Е2. Побудова ієрархії в Superdecisions

Використовуйте команду Design> Node Connexions з команди меню для підключення вузла мети до критеріїв:

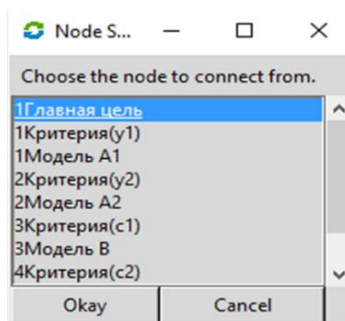


Рис.Е2.А – Вибір вузла «1Главная цель»

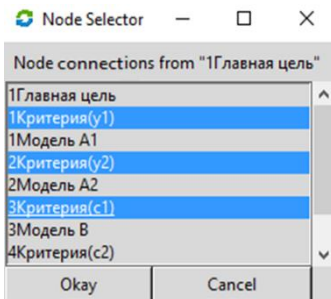


Рис.Е2.А – Взаємозв’язок «1Главная цель» та критеріїв

Існує 5 можливих способів введення оцінок; судження, внесені в один режим, з’являтимуться як еквівалентне рішення у будь-якому іншому режимі.

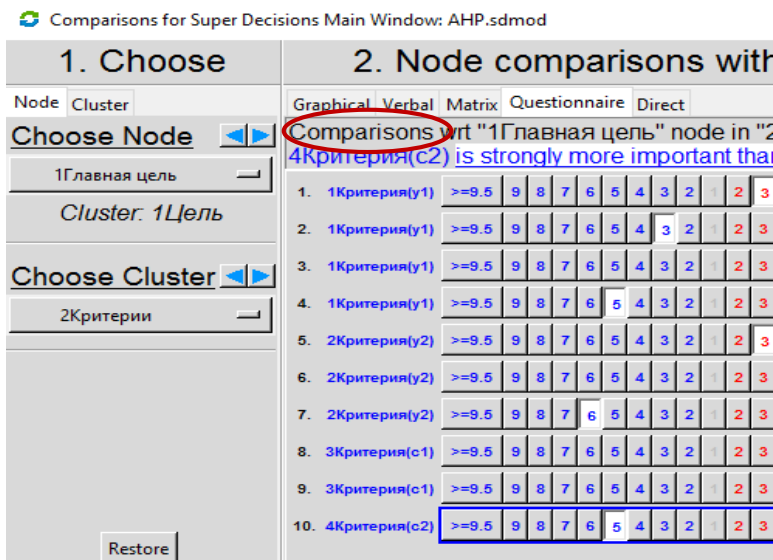


Рис. Е3. Режим порівняння/оцінки

- Виберіть вкладку, яка вказує на те, чи порівнюють вузли чи кластери (порівняння кластерів неможливі в ієрархіях).

- Вибір для батьківського вузла порівняння. Селектор для кластера, що містить вузли, зв'язані з батьківським, для порівняння щодо нього

- Кнопка Restore поверне оригінальні судження для вибраної групи порівняння під час перегляду порівнянь

Також для підвищення адекватності представлення об'єкту інструментальний засіб надає механізм оцінки узгодженості матриці порівнянь (що було і є вузьким місцем АНР) і дозволяє внести виправлення в режимі корекції матриці попарних порівнянь на основі отриманих оціночних значень узгодженості. Для цього необхідно виконати наступні дії, доступні тільки в режимі Matrix:

1. Натисніть кнопку «Inconsistency» (Невідповідність) у верхньому лівому куті матриці.

2. Виберіть «Basic Inconsistency Report» (Основний звіт про непогодженість);

3. Натисніть лівою кнопкою миші на Current або Best Value, щоб повернутися до матриці й ввести нове значення. Ви можете використовувати пропоноване значення або значення між ним і вихідним значенням або залишити його як є, і перейти до номера 2 найбільш суперечливого судження й змінити це і т.д.

Rank	Row	Col	Current Val	Best Val	Old Inconsist.	New Inconsist.	% Improvement
1.	2Критерия(y2)	3Критерия(c1)	3.000003	4.908008	0.433449	0.146728	66.15 %
2.	3Критерия(c1)	5Критерия(c3)	4.000000	3.430190	0.433449	0.184875	57.35 %
3.	2Критерия(y2)	5Критерия(c3)	6.000000	1.214210	0.433449	0.264127	39.06 %
4.	1Критерия(y1)	2Критерия(y2)	1.402780	1.284410	0.433449	0.405381	6.48 %
5.	1Критерия(y1)	5Критерия(c3)	5.000000	1.005500	0.433449	0.408379	5.78 %
6.	1Критерия(y1)	4Критерия(c2)	4.000000	2.101965	0.433449	0.429512	0.91 %
7.	1Критерия(y1)	3Критерия(c1)	3.000000	1.274375	0.433449	0.435708	-0.52 %
8.	4Критерия(c2)	5Критерия(c3)	5.000000	4.376929	0.433449	0.437149	-0.85 %
9.	2Критерия(y2)	4Критерия(c2)	5.000000	2.136723	0.433449	0.442058	-1.99 %

Рис. Е4. Поліпшення погодженості

Таким чином, завдяки застосуванню ПЗ Superdecisions з'явилася можливість ефективно (особливо з погляду на часові та матеріальні витрати) проводити аналіз та вибір серед альтернатив за обраними критеріями з різною природою оцінки. Крім того, є додатковий механізм корегування результатів, якщо було виявлено недостатню погодженість.

ABSTRACT

UDC 378:004

Kondratenko Yu. P., Kondratenko G. V., Sidenko E. V., Illiashenko O. O., Uzun D. D., Uzun Yu. O., Kharchenko V. S. / Kondratenko Yu. P., Kharchenko V. S. (Editors). Університетсько-індустріальна кооперація. Інтелектуальна знання-орієнтована система прийняття рішень. University industry cooperation. Intellectual knowledge-based decision making system. Requirements, algorithms, verification and application, Volume 2. – Ministry of Education and Science of Ukraine, Petro Mohyla Black Sea National University, National Aerospace University “KhAI”, 2017. - 297 p.

The theoretical bases, methods, algorithms, software tools and recommendations of using knowledge-oriented decision making system for choosing cooperation models of universities and IT companies are presented. Recommendations of using existing tools for such a choice are formulated. The book materials have been prepared according TEMPUS CABRIOLET project, "Model-Oriented Approach and Intelligent Knowledge-Based System for Evolvable Academia-Industri Cooperative in ELEctronic and CompuTer Engineering" (544497-TEMPUS-1-2013-1-UK-TEMPUS-JPHES).

For university students studying in the areas of information technology and starting practical activities, university specialists and IT industry, which will take part in organizing and increasing the efficiency of university-industrial cooperation, as well as for teachers who have classes on appropriate courses.

Bibliography - 214 titles, drawings - 178, tables - 49

© Kondratenko Y. P., Kondratenko. G. V., Sidenko I. V., Illiashenko O. O., Uzun D. D., Uzun Y. O., Kharchenko V. S.

© Petro Mohyla Black Sea National university

© National aerospace university n. a. N. E. Zhukovsky “KhAI”

This work is subject to copyright. All rights are reserved by the authors, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms, or in any other physical way, and transmission or information storage and retrieval, electronic adaptation, computer software, or by similar or dissimilar methodology now known or hereafter developed.

CONTENTS

LIST OF ABBREVIATIONS..... 3

INTRODUCTION..... 4

CHAPTER 1. FUZZY SYSTEM OF EVALUATION OF IT-COMPANIES FOR THE SELECTION OF THE RATIONAL MODEL OF THE RATIONAL MODEL OF UIC 8

1.1 Main tasks and directions of implementation of integrated models of academic and industrial consortia 8

1.2 General characteristics of the model-oriented approach to the organization of consortia and activities in the field of IT engineering..... 10

1.3 Prospects for the development of intelligent decision support systems in the model-oriented operation of the UIC 14

1.4 Features and urgency of the problem of cooperation within the UIC 15

1.5 Analysis of existing methods and approaches to assess the possible level of cooperation between the university and the IT company 20

1.6 Structural construction and analysis of design features of decision support systems based on fuzzy logic inference 28

1.7 Analysis of factors and parameters that influence the efficiency of decision-making processes in fuzzy DSS 39

1.8 Features of synthesis and structural organization of the basic rules of fuzzy decision making models 53

1.9 Factors and performance indicators of UIC partners as input signals for fuzzy DSS..... 57

1.10 Comparative analysis of one-level and hierarchical systems on fuzzy logic for decision-making processes..... 60

1.11 Fuzzy system of choosing the appropriate UIC model for cooperation of the university department in cooperation with the IT company 63

CHAPTER 2. FUZZY SYSTEM OF EVALUATION OF IT-COMPANIES FOR THE SELECTION OF THE RATIONAL MODEL OF THE RATIONAL MODEL OF UIC 82

2.1 Hierarchical system of choosing the appropriate UIC model for collaboration with the IT company 82

2.2 Synthesis and analysis of subsystems of a fuzzy hierarchically organized system of choosing the appropriate UIC model for collaboration with an IT company 83

CHAPTER 3. MAGNETOMODUAL INFANT SYSTEM FOR SELECTION OF THE RATIONAL MODEL OF THE RATIONAL MODEL OF UIC..... 90

3.1 The structure of the hierarchically organized system of decision-making support on fuzzy logic for increasing the efficiency of the UIC in IT-engineering	90
3.2 Synthesis and analysis of hierarchically-organized DSS on fuzzy logic for increasing the efficiency of UIC in IT engineering	92
3.3 Analysis of existing approaches and methods for correction of rules of fuzzy model models in interactive and automatic modes	99
3.4 Automatic correction of the basic rules of fuzzy DSS taking into account the features of multicriteria decision-making tasks in UIC	108
3.5 Analysis of the features of information technologies for correction of basic rules of fuzzy decision making models	109
3.6 Mechanism of realization of the method of two-stage correction of basic rules of fuzzy models DSS	115
3.7 Features of the application of the method of two-stage correction of base rules for choosing a model of partnership cooperation within UIC	118
CHAPTER 4. ALGORITHMS AND SOFTWARE OF DSS FOR SELECTION OF RATIONAL MODEL OF UNIVERSITY-INDUSTRIAL COOPERATION	123
4.1 The interface and features of languages and programming environments for the software implementation of the DSS	123
4.2 Diagrams of information technology for the development of hierarchically-organized DSS for choosing a model of cooperation within UIC.....	130
4.3 Modeling, testing and analysis of the results of the DSS for choosing a model of cooperation within UIC	134
4.4 Web-oriented synthesis of fuzzy DSS based on the tool of first type	138
4.5 Web-oriented synthesis of fuzzy DSS based on the tool of second type ...	141
4.6 Web-oriented synthesis of fuzzy DSS based on the tool of third type	143
4.7 Web-oriented synthesis of fuzzy DSS based on the tool of fourth type	150
4.8 Web-oriented synthesis of fuzzy DSS based on the tool of fifth type	164
4.9 Web-oriented synthesis of fuzzy DSS based on the tool of sixth type	176
CHAPTER 5. TOOL-ORIENTED MULTI-CRITERIA CHOICE OF MODEL OF UNIVERSITY-INDUSTRIAL COOPERATION.....	189
5.1 Principles for assessing the interaction of university and industrial teams..	189
5.2 The choice of the analysis method and the choice of the model of university-industrial cooperation	193
5.3 The choice of the method of analysis and the choice of the model of university-industrial cooperation.....	200
5.4 Analysing and using of tools for evaluation and choice of the model of university-industrial cooperation	206

CONCLUSIONS.....	216
REFERENCES.....	217
ANNEX A. Requirements to intellectual fuzzy DSS.....	238
ANNEX B. Requirements to self and expert assessment of DSS.....	248
ANNEX C. Verification of DSS.....	257
ANNEX D. DSS deployment procedure.....	267
ANNEX E. Examples of DSS application.....	276
ANNEX F. Methodology for using SuperDecision tools to study the peculiarities of hierarchy analysis in the context of choosing a model for cooperation between Academia and IT-enterprises.....	286
ABSTRACT	291
CONTENTS.....	292

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. НЕЧІТКА СИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ	8
1.1 Основні задачі і напрямки імплементації інтегрованих моделей академічно-промислових консорціумів.....	8
1.2 Загальна характеристика модель-орієнтованого підходу до організації консорціумів та їх діяльності в області ІТ-інженерії.....	10
1.3 Перспективи розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в модель-орієнтованому функціонуванні АПК...	14
1.4 Особливості та актуальність проблеми співпраці в рамках АПК.....	15
1.5 Аналіз існуючих методів та підходів до оцінки можливого рівня співпраці між університетом та ІТ-компанією.....	20
1.6 Структурна побудова та аналіз особливостей проектування систем підтримки прийняття рішень на основі нечіткого логічного виведення...	28
1.7 Аналіз факторів та параметрів, що впливають на ефективність процесів прийняття рішень в нечітких СППР.....	39
1.8 Особливості синтезу та структурна організація баз правил нечітких моделей прийняття рішень.....	53
1.9 Фактори та показники діяльності партнерів АПК, як вхідні сигнали нечіткої СППР.....	57
1.10 Порівняльний аналіз однорівневих та ієрархічних систем на нечіткій логіці для задач прийняття рішень.....	60
1.11 Нечітка система вибору доцільної моделі УС співпраці для кафедри університету в рамках кооперації з ІТ-компанією.....	63
РОЗДІЛ 2. НЕЧІТКА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ІТ-КОМПАНІЙ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ	82
2.1 Ієрархічна система вибору доцільної моделі УС співпраці для ІТ- компанії.....	82
2.2 Синтез та аналіз підсистем нечіткої ієрархічно-організованої системи вибору доцільної моделі УС співпраці для ІТ-компанії.....	83
РОЗДІЛ 3. БАГАТОМОДУЛЬНА НЕЧІТКА СИСТЕМА ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ	90

3.1 Структура ієрархічно-організованої системи підтримки прийняття рішень на нечіткій логіці для підвищення ефективності АПК в області ІТ-інженерії.....	90
3.2 Синтез і аналіз ієрархічно-організованої СППР на нечіткій логіці для підвищення ефективності АПК в області ІТ-інженерії.....	92
3.3 Аналіз існуючих підходів та методів корекції баз правил нечітких моделей в інтерактивних та автоматичних режимах.....	99
3.4 Автоматична корекція баз правил нечітких СППР з врахуванням особливостей багатокритерійних задач прийняття рішень в АПК.....	108
3.5 Аналіз особливостей інформаційних технологій для корекції баз правил нечітких моделей прийняття рішень.....	109
3.6 Механізм реалізації методу двокаскадної корекції баз правил нечітких моделей СППР.....	115
3.7 Особливості застосування методу двокаскадної корекції баз правил для вибору моделі партнерської співпраці в рамках АПК.....	118
РОЗДІЛ 4. АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИБОРУ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ	123
4.1 Інтерфейс та характеристика мов і середовищ програмування для програмної реалізації СППР.....	123
4.2 Діаграми інформаційної технології розробки ієрархічно-організованої СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК.....	130
4.3 Моделювання, тестування та аналіз результатів роботи СППР для вибору моделі співпраці в рамках АПК.....	134
4.4 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу першого типу.....	138
4.5 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу другого типу.....	141
4.6 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу третього типу.....	143
4.7 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу четвертого типу.....	150
4.8 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу п'ятого типу.....	164
4.9 Web-орієнтовний синтез нечіткої СППР на основі інструментального засобу шостого типу.....	176
РОЗДІЛ 5. ІНСТРУМЕНТАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНОЇ КООПЕРАЦІЇ.....	189

5.1 Принципи оцінювання взаємодії університетських і індустріальних команд.....	189
5.2 Методи інструментально-орієнтованого оцінювання й вибору моделей взаємодії університетських і індустріальних команд.....	193
5.3 Вибір методу аналізу й вибору моделі кооперації між університетами й ІТ-підприємствами.....	200
5.4 Аналіз і використання інструментальних засобів для оцінювання й вибору моделі університетсько-індустріальної кооперації.....	206
ВИСНОВКИ.....	216
ЛІТЕРАТУРА.....	217
ДОДАТОК А. Вимоги до інтелектуальної нечіткої СППР.....	238
ДОДАТОК Б. Вимоги до самооцінювання та експертного оцінювання...	248
ДОДАТОК В. Процедура та форми-шаблони для верифікації СППР.....	257
ДОДАТОК Г. Процедура розгортання інтелектуальної нечіткої СППР...	267
ДОДАТОК Д. Приклади застосування СППР.....	276
ДОДАТОК Е. Методика застосування інструментальних засобів SuperDecision для вивчення особливостей застосування методу аналізу ієрархій в контексті вибору моделі кооперації між університетами та ІТ-підприємствами	286
ABSTRACT	291
CONTENTS.....	292

*Кондратенко Юрій Пантелійович
Кондратенко Галина Володимирівна
Сіденко Євген Вікторович
та інші*

**УНІВЕРСИТЕТСЬКО-ІНДУСТРІАЛЬНА КООПЕРАЦІЯ.
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ. ВИМОГИ, АЛГОРИТМИ, ВЕРИФІКАЦІЯ І
ЗАСТОСУВАННЯ
(українською мовою)**

Том 2

Під редакцією
*Кондратенка Ю.П.,
Харченка В.С.*

Комп'ютерна верстка
*Ілляшенко О.О.
Узун Ю.О.*

Зв. план, 2017

Підписаний до друку 7.12.2017 Формат 60x84 1/16.
Папір офс. Офс. друк. Гарнітура Times New Roman
Обл.вид. 9,50. Умов. друк. арк. 18,75. Наклад 175 прим.
Замовлення 2/12/17

Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17 <http://www.khai.edu>

Випускаючий редактор: ФОП Голембовська О.О.

Видавець: ТОВ «Видавництво «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36-а,
тел.: +38 044 360 22 66 www.yuston.com.ua

Свідцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 497 від 09.09.2015 р.