

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

(повна назва)

Кафедра

Інформаційних управляючих систем

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження моделей та методів представлення знань
ІТ-проекту інформаційної системи гуманітарного реагування

(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання,

групи УПГІТМ-23-1

Олена ОСТАПЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Управління проектами

в галузі ІТ

(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. каф. ІУС Тетяна БІЛОВА

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

зав. кафедри ІУС



(підпис)

Костянтин ПЕТРОВ

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Інформаційних управляючих систем


Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Управління проектами в галузі інформаційних технологій
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри 

(підпис)

“ 21 ” квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Остапенко Олені Олексіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження моделей та методів представлення знань
ІТ-проєкту інформаційної системи гуманітарного реагування

затверджена наказом по університету від “ 28 ” березня 2025 р. № 235Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії “ 4 ” червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи : науково-технічна література, відкриті публікації, звіти про виконання ІТ-проєктів, БД гуманітарних організацій (ReliefWeb, OCHA, ACAPS і т.ін), геопросторові данні (UN-GIS, OpenStreetMap), стандарти управління проектами (PMBOK, PRINCE2), стандарти інформаційної безпеки (ISO 27001)

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі виявлення особливостей ІТ-проєктів гуманітарного реагування, аналіз моделей представлення знань та можливості їх використання в управлінні ІТ-проєктами, обґрунтування вибору моделей для представлення знань ІТ-проєкту гуманітарного реагування, розробка гібридної моделі представлення знань, реалізація гібридної моделі у вигляді інформаційної технології підтримки прийняття рішень в гуманітарному реагуванні, визначення структури інформаційної технології, визначення джерел для заповнення бази знань, розробка нечітких онтологій ІТ-проєкту і процесів гуманітарного реагування, формування системи нечіткого виведення, експериментальне дослідження розробленої моделі

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження	21.04.2025 – 24.04.2025	Виконано
2	Аналіз існуючих моделей представлення знань	25.04.2025 – 28.04.25	Виконано
3	Змістовна постановка задачі дослідження	29.04.2025 – 30.04.25	Виконано
4	Розробка гібридної моделі представлення знань ІТ-проектів систем гуманітарного реагування	1.05.2025 – 8.05.25	Виконано
5	Розробка інформаційної технології підтримки прийняття рішень в управлінні ІТ-проектами	9.05.2025 – 14.05.25	Виконано
6	Експериментальне дослідження розробленої гібридної моделі	15.05.2025 – 18.05.25	Виконано
7	Аналіз результатів експерименту	19.05.2025 – 20.05.25	Виконано
8	Формування висновків	21.05.2025 – 22.05.25	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	23.05.2025 – 28.05.25	Виконано
10	Перевірка роботи на плагіат	29.05.2025	Виконано
11	Попередній захист роботи	2.06.2025	Виконано
12	Захист кваліфікаційної роботи	4.06.2025	Виконано

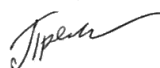
Дата видачі завдання 21 квітня 2025 р.



Здобувач _____

(підпис)

Керівник роботи _____



(підпис)

доц. каф. ІУС Тетяна БІЛОВА _____

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 86 с., 15 рис., 10 табл., 1 дод., 37 джерел.

ГУМАНІТАРНЕ РЕАГУВАННЯ, ІТ-ПРОЄКТ, МЕТОД МІРКУВАНЬ НА ПРЕЦЕДЕНТАХ, ОНТОЛОГІЯ, НЕЧІТКА ЛОГІКА, СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є процеси представлення та використання знань для управління ІТ-проєктами інформаційних систем гуманітарного реагування.

Метою дослідження є розробка знання-орієнтованих моделей та методів ефективного прийняття рішень в умовах невизначеності в межах управління ІТ-проєктом інформаційних систем гуманітарного реагування.

Методи дослідження – методи аналізу та синтезу для виявлення основних понять та проблем предметної області, метод міркувань на прецедентах, онтологія та нечітке виведення для розробки гібридної моделі представлення знань, експеримент, моделювання та розрахунок для практичної частини роботи.

В ході виконання роботи розроблена гібридна модель представлення знань, що базується на попередньому досвіді прийняття рішень та структурованому представленні знань у вигляді онтології з додаванням нечітких елементів. Запропонований метод міркувань на гібридній моделі поповнює знайдене рішення прецеденту додатковими знаннями з онтології.

Наукова новизна роботи полягає в адаптації методу прецедентів к особливостям предметної області за рахунок поєднання з онтологічним представленням знань та врахуванням фактору невизначеності шляхом введення в онтологію нечітких елементів.

ABSTRACT

Master's thesis: 86 pages, 15 figures, 10 tables, 1 appendix, 37 sources.

CASE-BASED REASONING, DECISION SUPPORT SYSTEM, FUZZY LOGIC, HUMANITARIAN RESPONSE, IT-PROJECT, ONTOLOGY.

The object of research of the qualification work is the processes of representation and use of knowledge for the management of IT projects of information systems for humanitarian response.

The purpose of the study is to develop knowledge-based models and methods for effective decision-making under conditions of uncertainty within the management of IT projects of information systems for humanitarian response.

Research methods - methods of analysis and synthesis to identify the main concepts and problems of the subject area, the method of reasoning on precedents, ontology and fuzzy inference to develop a hybrid model of knowledge representation, experiment, modeling and calculation for the practical part of the work.

In the course of the work, a hybrid model of knowledge representation based on previous decision-making experience and a structured representation of knowledge in the form of an ontology with the addition of fuzzy elements was developed. The proposed method of reasoning on the hybrid model supplements the found solution of the precedent with additional knowledge from the ontology.

The scientific novelty of the work lies in the adaptation of the precedent method to the peculiarities of the subject area by combining of knowledge and taking into account the uncertainty factor by introducing fuzzy elements into the ontology.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	8
Вступ.....	9
1 Огляд та аналіз моделей представлення знань в ІТ-проєктах	11
1.1 Особливості та проблеми представлення знань в рамках виконання ІТ-проєктів гуманітарного реагування	11
1.2 Аналіз моделей представлення знань в процесі виконання ІТ-проєктів	15
1.3 Аналіз досліджень в галузі управління ІТ-проєктами, пов'язаних з проблемами представлення знань	20
1.4 Аналіз існуючих програмних засобів управління ІТ-проєктами, що реалізують інтелектуальні можливості представлення та обробки знань	24
1.5 Постановка задачі дослідження.....	25
2 Розробка гібридної моделі представлення знань для управління ІТ-проєктом.....	28
2.1 Прецедентна модель та метод міркувань на прецедентах	28
2.2 Онтологічна модель та методи встановлення семантичної близькості при представленні знань у вигляді онтологій	31
2.3 Нечітка логіка та системи нечіткого виведення	34
2.4 Нечітка онтологічна модель представлення знань	38
2.5 Гібридна модель представлення знань для управління ІТ-проєктами.....	40
3 Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень В управлінні ІТ- проєктом.....	44
3.1 Розробка структури інформаційної технології	44
3.2 Розробка онтології предметної області.....	49

3.3 Реалізація методу міркувань на розробленій гібридній моделі представлення знань	54
4 Експериментальне дослідження розробленої гібридної моделі представлення знань	57
4.1 Опис системи нечіткого виведення.....	57
4.2 Опис проведеного експерименту.....	63
4.3 Аналіз результатів експерименту та перспективи подальших досліджень	67
Висновки	70
Перелік джерел посилання	72
Додаток А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	77

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БД – база даних

ІС – інформаційна система

ІТ – інформаційна технологія

ПЗ – програмне забезпечення

СППР – система підтримки прийняття рішень

СУБД – система управління базами даних

СBR – Case-Based Reasoning, метод міркувань на прецедентах

FLS – Fuzzy Logic System, система нечіткого виведення

ВСТУП

Згідно оцінки [1], внаслідок військових дій в 2025 році гуманітарної допомоги потребують 12,7 мільйонів населення України. Підвищені вимоги до швидкості реагування на виклики надзвичайних ситуацій потребують розробки ефективних інформаційних систем (ІС), які засновані на моделях представлення знань, отриманих з накопиченого досвіду вирішення подібних проблем.

Швидкість розробки та реалізації стає найбільш важливим критерієм для ІС гуманітарного реагування, тому актуальним є розробка комплексного підходу до накопичення та представлення знань, який дозволить інтегрувати інформацію з різних джерел та представляти її у вигляді, придатному для прийняття рішень. Використання сучасних технологій і методів представлення знань дозволить знизити час на розробку таких критично важливих систем, які направлені на надання допомоги під час надзвичайних ситуацій, тим самим зберегти життя та покращити умови існування постраждалих.

Планування та реалізація надання гуманітарної допомоги є складним багатоетапним процесом, який відбувається в умовах жорстких часових обмежень та невизначеності. Важливою задачею є розробка та впровадження ІТ-продуктів для гуманітарного реагування у вигляді систем підтримки прийняття рішень (СППР), що підтримують усі стадії прийняття рішень в рамках аналітичного моделювання потреб населення в гуманітарній допомозі [2]. Такі системи не продукують рішення, їх призначення – взаємодія між даними, процедурами їх обробки, моделями прийняття рішень та відповідальною особою з метою надання допоміжної інформації в рамках вирішення неструктурованих або слабоструктурованих задач.

Використання СППР, що базується на знання-орієнтованих моделях даних та методах їх обробки, підвищить якість прийняття рішень в умовах невизначеності за рахунок використання попереднього досвіду вирішення

подібних задач. Для обробки великих обсягів інформації та оперативного реагування на потреби населення постраждалих від катастроф районів необхідна СППР, що базується на формалізованому представленні знань та простих процедурах логічного виведення.

Також виникає потреба в ефективних засобах підтримки ІТ-проектів інформаційних систем гуманітарного реагування з метою в короткі строки та при мінімальних затратах отримати програмний продукт, здатний ефективно виконувати свої функції [3]. Вирішити поставлену задачу можна шляхом уніфікації всіх етапів розробки, спираючись на гнучкі та здатні до адаптації моделі представлення знань та методи їх накопичення та постійної перевірки на адекватність.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАНЬ В ІТ-ПРОЄКТАХ

1.1 Особливості та проблеми представлення знань в рамках виконання ІТ-проєктів гуманітарного реагування

Розробка ІС гуманітарного реагування є складним неформалізованим процесом. Практично кожний етап проєкту такого рівня може значно відрізнятись від стандартного підходу к реалізації більшості проєктів розробки ІС. В якості особливостей управління проєктом можна визначити важливу соціальну значимість, різноманітність факторів, які слід враховувати, підвищені вимоги до надійності та швидкості реалізації, відповідальність за рішення, що приймаються [4].

Класифікувати ІС гуманітарного реагування можна за декількома признаками. За призначенням виділяються наступні системи:

- системи реєстрації, пошуку та управління даними (автоматизовані системи реєстрації гуманітарної допомоги, системи реєстрації постраждалих, оцінювання та обліку ресурсів та інше);
- аналітичні системи та СППР (відомчі системи, портали органів влади, системи попередження надзвичайних ситуацій та інше);
- системи розповсюдження інформації та комунікації (системи оповіщення про небезпеку, веб-портали пошуку житла для переселенців, портали волонтерів та інше).

За територіальною ознакою ІС гуманітарного реагування можна класифікувати наступним чином:

- локальні – для функціонування в межах населеного пункту;
- регіональні – призначені для оперативного реагування в межах одного регіону/району/області;
- державні – об'єднують локальні та/або регіональні системи в єдину систему оперативного прийняття рішень на рівні держави;

– міжнародні – для координації діяльності міжнародних гуманітарних організацій (ООН, Червоного Хреста та інших).

Також можна умовно розділити такі системи на дві групи:

– універсальні системи гуманітарного реагування – охоплюють всі аспекти надання гуманітарної допомоги;

– кластерні системи гуманітарного реагування – пов’язані з певним кластером гуманітарного реагування [1] (наприклад, продовольча безпека чи вода, санітарія та гігієна).

За типом надзвичайних ситуацій системи гуманітарного реагування поділяються на:

- системи реагування в умовах природних катастроф;
- системи реагування в умовах збройних конфліктів;
- системи реагування в умовах епідемій.

Предметну область систем гуманітарного реагування можна представити наступними концептами (рисунок 1.1) [4]:

- Загроза, яка призводить до потреби в гуманітарному реагуванні;
- Територія, на якій відбулася Загроза;
- Наслідки, до яких призвела Загроза;
- Об’єкти надання допомоги – групи населення, які мають потребу у гуманітарній допомозі.



Рисунок 1.1 – Об’єктна модель предметної області гуманітарного реагування

В результаті аналізу поточної ситуації система повинна виробити рішення щодо надання Гуманітарної допомоги, її видів, обсягів, логістичних маршрутів, а також визначити Суб'єкти надання допомоги – профільні служби, органи державного управління та місцевого самоврядування, волонтерські організації, благодійні фонди та ін.

Виконання ІТ-проектів розробки ІС гуманітарного реагування має наступні особливості:

- швидке розгортання – розробка проводиться в обмежені терміни з метою оперативно підтримати розгортання гуманітарних операцій та відстежувати динамічні зміни в ситуаціях, що потребують гуманітарної допомоги;

- складні умови виконання – обмеженість ресурсів та складність фінансування, пошкодження інфраструктури, нестабільність безпекової ситуації;

- складність визначення пріоритету введення в експлуатацію окремих компонентів системи та додавання нового функціоналу;

- необхідність інтеграції з відомчими системами, державними реєстрами, інформаційними системами благодійних та волонтерських організацій, у тому числі міжнародних, що потребує консолідації знань, представлених у різних форматах;

- необхідність забезпечення критично важливих функцій пред'являє підвищені вимоги до забезпечення надійності, стійкості до збоїв, безпеки та конфіденційності;

- необхідність ретельного дослідження потреб користувача та залучення кінцевих користувачів (урядовців, представників благодійних та волонтерських організацій, громадських активістів, представників різних груп населення) до процесу розробки системи;

- етичні проблеми, пов'язані з визначенням пріоритетності допомоги в умовах обмежень на ресурси;

- направленість на довгострокову перспективу, масштабованість та

подальша підтримка системи.

Врахування розглянутих вище особливостей є критично важливим для успішного виконання ІТ-проєкта. Вимога до швидкості розробки систем гуманітарного реагування вимагає перш за все врахування попереднього досвіду в двох аспектах:

- використання попереднього досвіду розробки подібних проєктів;
- використання попереднього досвіду представлення знань для прийняття рішень в подібних системах.

Вирішення питання представлення та управління знаннями в рамках виконання ІТ-проєктів є ефективним способом подолати більшість вищезазначених проблем.

До ІТ-продуктів для гуманітарного реагування відносяться системи підтримки прийняття рішень (СППР) [2]. На стадії використання таких систем основна задача – ефективно обробити інформацію та оперативно представити особі, що приймає рішення, варіанти дій з прогнозованою оцінкою їх якості.

Це одна важлива проблема полягає у тому, що процес управління ІТ-проєктом є слабо формалізованим, при прийнятті рішень на різних стадіях доводиться враховувати велику кількість невизначених або суперечливих параметрів. Невизначеність є постійною складовою ІТ-проєкту та може проявлятися в наступних аспектах:

- недостатність інформації по проблемі, за якої потрібно прийняти рішення;
- неможливість передбачити реакцію стейкхолдерів на прийняте рішення;
- недостатнє розуміння членами команди ІТ-проєкту цілей проєкту та своєї ролі у проєкту.

Слід очікувати, що використання знання-орієнтованих моделей для підтримки прийняття рішень при виконанні ІТ-проєкту ІС гуманітарного реагування дозволить врахувати як досвід попередніх рішень, так і концептуальні та семантичні зв'язки між поняттями предметної області, що

підвищить ефективність рішень та скоротить час на їх приймання та реалізацію.

1.2 Аналіз моделей представлення знань в процесі виконання ІТ-проектів

Проблема використання попереднього досвіду в процесі прийняття рішень в управлінні ІТ-проектами пов'язана зі складністю побудови моделі відповідної предметної області. Як правило, попередній досвід може бути представлений у різних форматах, тому задача ідентифікації поточної ситуації є багатокритеріальною та складно вирішується. Тому рішенням проблеми може стати використання знання-орієнтованих моделей, розширених процедурами концептуального збагачення та логічного висновку.

Модель знань представляє знання, необхідні для прийняття рішень в певній предметній області, за допомогою певного формального апарату, який здійснює коректний опис існуючих залежності та надає інструменти пошуку та аналізу для прийняття рішень.

Розглянемо основні моделі представлення знань для розробки ІТ-проектів. Умовно розділимо існуючі моделі на наступні групи [5]:

- прецедентна модель – представляє минулий досвід прийняття рішень у вигляді прецеденту, що містить опис ситуації та відповідне їй рішення;
- онтологічна модель – відображує основні концепції предметної області та зв'язки між ними;
- продукційна модель – представляє знання у вигляді правил виведення вигляду «ЯКЩО... ТО»;
- фреймова модель – містить структуровані об'єкти з атрибутами та значеннями;
- семантичні мережі – знання представляються у вигляді графа, де

вершини – це поняття предметної області, а ребра – зв'язки між ними.

Прецедентна модель заснована на використанні попереднього досвіду у вигляді структурованого опису ситуації та пов'язаного з нею рішення. Метод міркувань на прецедентах (Case-Based Reasoning – CBR) дозволяє на етапі вилучення підібрати найближчий до поточної ситуації прецедент з бази прецедентів [6]. В якості критерію відбору найчастіше використовується прості Евклідова або Матхгеттенська метрики, також добре себе зарекомендував метод k-середніх [7-9]. Відібрані прецеденти можуть бути адаптовані до поточної ситуації автоматично або з залученням експерта. Прецеденти можуть бути корисні при розрахунку ризиків проєкту, оцінки вартості та тривалості проєкту, виявлення та усунення проблем, що виникають в рамках виконання проєкту, а також для навчання нових учасників проєкту.

Онтологія представляє основні концепти предметної області у вигляді ієрархії відношень між концептами і їх атрибутами, а також аксіом та правил виведення [10,11]. Кожна онтологія відображує певний погляд на предметну область і призначена для вирішення специфічних задач. Онтології забезпечують основу для ефективнішого обміну інформацією, інтеграції даних та прийняття рішень, що може значно підвищити ефективність відповідних систем. При управлінні проєктами онтології можуть бути використані для ведення словника проєкту з метою забезпечення узгодженості термінології, підтримки семантичного пошуку та навігації по документації проєкту, забезпечення інтеоперабельності між різними інструментами та системами.

Продукційні моделі, засновані на правилах, використовуються для автоматизації розподілу завдань між командою проєкту з врахуванням пріоритетів, перевірки відповідності системи, що розробляється, заданим вимогам та стандартам, забезпечення консистентності та узгодженості проєкту.

Фреймові моделі зазвичай використовуються при деталізації завдань на проєкті. Фрейм може містити передумови виконання завдання, ролі виконавців, дії в рамках виконання, терміни виконання та результати. Також

фреймові моделі добре зарекомендували себе при розробці вимог до системи та вирішення задач розподілення ресурсів на етапи виконання проєкта.

Семантичні мережі допомагають візуалізувати зв'язки між різними компонентами проєкту, такими як вимоги, етапи розробки, ризики, компоненти системи, що розроблюється. Також мережа допомагає виявити приховані залежності та закономірності в процесі розробки.

В таблиці 1.1 представлено переваги та недоліки використання розглянутих моделей для представлення знань в ІТ-проєктах

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз моделей представлення знань в ІТ-проєктах

Вид моделі	Особливості використання в ІТ-проєктах	
	Переваги	Недоліки
1	2	3
Прецедентна	<p>Врахування попереднього досвіду при прийнятті рішень.</p> <p>Простота побудови моделей.</p> <p>Немає необхідності проводити складний аналіз предметної області.</p> <p>Прості процедури додавання нових прецедентів та їх модифікації.</p>	<p>Складність опису ситуації за допомогою обмеженої кількості параметрів.</p> <p>Залежність від якості та повноти бази прецедентів.</p> <p>Обмежена придатність, коли не виконується умова регулярності.</p> <p>Суттєве зниження ефективності в умовах невизначеності.</p>
Онтологічна	<p>Формалізація зв'язків між основними поняттями предметної області.</p> <p>Відкритість для збагачення знань, гнучкість.</p> <p>Спільна термінологія та структура даних, що полегшує інтеграцію інформації з різних джерел та систем.</p>	<p>Відсутність однозначної інтерпретації основних понять в різних методологіях проєктування.</p> <p>Складність вибору мір подоби для пошуку та збагачення онтологій.</p> <p>Проблеми використання в умовах неповної інформації про поточну ситуацію.</p> <p>Необхідність постійної підтримки та оновлення.</p>

Кінець таблиці 1.1

1	2	3
Продукційна	Представлення знань у формі, наближеній до природної мови. Прості процедури додавання та модифікації правил. Автоматичне виведення на основі заданих правил.	Складність управління великою кількістю правил. Можливість виникнення конфліктів між правилами. Обмежена виразність для представлення складних семантичних зв'язків.
Нечітка продукційна (системи нечіткого виведення)	Обробка невизначеності. Використання лінгвістичних змінних. Моделювання складних зв'язків. Гнучкість та адаптивність. Інтерпретованість нечітких продукційних правил.	Складність розробки. Залежність від суб'єктивної експертної оцінки. Відсутність стандартів розробки систем нечіткого виведення. Складність налагодження та тестування, обчислювальні витрати.
Фреймова	Структуроване представлення знань полегшує їх організацію та розуміння. Можливість представлення складних об'єктів з багатьма атрибутами. Підтримка спадкування, що дозволяє повторно використовувати знання та уникати надмірності.	Обмежена виразність для представлення складних логічних зв'язків. Непридатність для обробки нечіткої або неповної інформації. Відсутність ефективних методів управління великою кількістю фреймів та взаємозв'язками між ними.
Семантична мережа	Візуалізація зв'язків. Можливість виявлення різних видів зв'язків (таксономічних, асоціативних, причинно-наслідкових). Виведення нових знань.	Обчислювальна складність при великих розмірах мережі. Проблеми з однозначністю та узгодженістю. Відсутність ефективних методів управління при великих обсягах мережі.

На основі таблиці 1.1 можна зробити висновок, що для представлення знань в рамках управління ІТ-проектами недостатньо використовувати одну модель. Доцільно поєднати декілька моделей, зокрема прецедентну модель та онтологічну модель, що дозволить нівелювати недоліки кожної з цих моделей

та комплексно вирішити проблеми накопичення та використання попереднього досвіду, адаптування до змін а також інтеграції знань з різних джерел та формального опису предметної області. Для подолання невизначеності пропонується розширити онтологію нечіткими знаннями та процедурами нечіткого виведення [12].

Необхідність використання попереднього досвіду прийняття рішень в управлінні IT-проєктами визначає застосування методу аналогій – припускається, що рішення в майбутньому аналогічні тим, що приймалися в минулому. Для пошуку аналогічної до поточної ситуації слід використовувати CBR, який дозволяє вирішувати нову задачу завдяки адаптації накопиченого досвіду розв'язання подібних задач, тобто використовувати підхід до пошуку рішень «за аналогією». Цей метод добре зарекомендував себе в різних областях людської діяльності, особливо у тих, що є погано вивченими.

Підвищити ефективність CBR планується за рахунок абстрагування та узагальнення. Абстрагування реалізується за допомогою онтологічного представлення знань про предметну область у вигляді основних концептів, атрибутів та зв'язків між ними, а узагальнення робиться за рахунок процедур логічного висновку, що дозволяє врахувати загальні властивості та ознаки рішень, що приймаються.

Центральним елементом моделі прдставлення знань повинна бути база прецедентів, що містить інформацію про попередній досвід розробки ІС гуманітарного реагування та процедури відбору подібних до поточної ситуації рішень з можливістю їх адаптації. Такий досвід, як правило, представлено у вигляді прецедентів, що мають різноманітну структуру та зберігаються у сховищах різного формату. Це можуть бути онтології, побудовані різними експертами, або бази прецедентів, представлених у параметричному вигляді, дерева рішень, графові моделі та таке інше.

1.3 Аналіз досліджень в галузі управління ІТ-проектами, пов'язаних з проблемами представлення знань

Дослідження щодо адаптації знання-орієнтованих моделей для представлення знань в ІТ-проектах можна умовно розділити на три групи:

- використання попереднього досвіду вирішення проблем в ході управління ІТ-проектом за допомогою CBR;
- розробка та адаптація онтологічних моделей до особливостей предметної області;
- розширення можливостей представлення знань засобами нечіткої логіки.

Для систематизації знань предметній області гуманітарного реагування використовується CBR [7], який дозволяє накопичувати досвід про прийнятті рішення і повторно його використовувати в майбутньому без залучення складних процедур добування знань та опитування експертів.

Велика розмірність, динамічність та невизначеність параметрів поточної ситуації при управлінні ІТ-проектами обмежує використання традиційного CBR для прийняття рішень в ході їх виконання. Для пристосування під особливості предметної області в [6, 9] пропонується модифікація методу. Динамічність пропонується описувати за допомогою темпоральних прецедентів, що враховують часовий фактор. Темпоральні прецеденти дозволяють відобразити динамічність процесів гуманітарного реагування та представляють поточну ситуацію як результат попередніх рішень, але вони ускладнюють етап адаптації прецедентів у випадках неповної інформації.

Онтологічне представлення прецеденту та процедур збагачення [4, 13] базується на поповненні параметрів поточної ситуації завдяки пошуку по онтології, але не вирішує проблему суперечності даних. Поєднання класичного CBR з онтологічним підходом розширяє його можливості з урахуванням концептуальних понять предметної області, таких як об'єкти,

атрибути и логічні зв'язки між об'єктами. Використання онтологій дозволяє спростити інтеграцію, пошук і повторне використання інформації. Але процедури гібридного методу суттєво залежать від особливостей конкретної предметної області.

В [14] розглядаються проблеми представлення знань предметної області для застосування CBR та Rule-Based Reasoning. Використання онтологій дозволяє підвищити якість рішень за рахунок використання подвійного джерела знань: предметної області та історичних випадків.

В рамках розробки онтологій найкритичнішим є питання узгодження термінів і створення глосарію предметної області управління проектами. Дослідження синтаксичних і семантичних подібностей і розбіжностей термінів чотирьох найвідоміших стандартів управління проектами (PMBOK, APM, IAPM, PRINCE2) [15] показало, що є потреба у вдосконаленні цієї термінології для більшої послідовності, гармонізації та стандартизації в цій галузі. В основі дослідження лежать вже відомі системи понять та термінології, такі як глосарії, таксономії та онтології.

На рисунку 1.2 відображена запропонована багаторівнева структура онтології управління проектами. Щоб забезпечити ідентифікацію онтологічних компонентів у багаторівневій архітектурі, онтології, які належать до певного рівня загальності, мають назву, пов'язану з їхнім розташуванням у ньому. Структура містить п'ять рівнів та пов'язані з ними концепти: NFRs означає нефункціональні вимоги, FRs – функціональні вимоги, MEval – вимірювання й оцінку, а PEvent – окремі події.

Розроблений в [15] інструмент для отримання синтаксичних частот шляхом зіставлення основних термінів і синонімів є неповним, його можна визначити лише як основу для подальших досліджень. Також в роботі відмічається, що в процесі розробки онтологій та визначення основних концептів головна роль відводиться людині-експерту, без нього неможливо розрішити проблеми семантичної коректності та повноти онтології на будь-якому рівні.

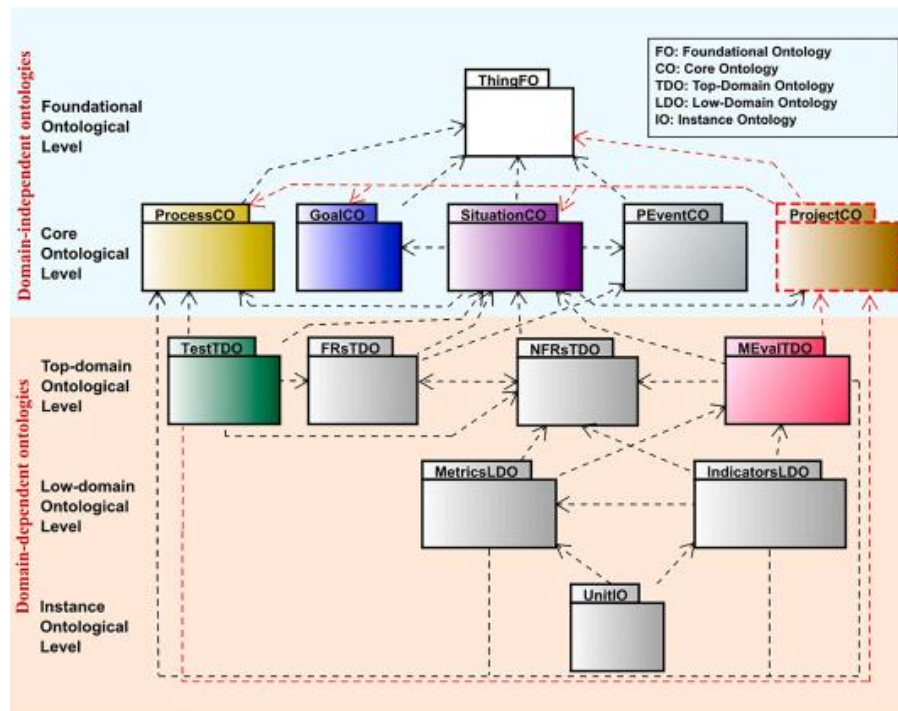


Рисунок 1.2 – Багаторівнева структура онтології управління проектами,
взято з [15]

Для узгодженості рішень в умовах ризику в [16] запропоновано онтологічну модель ситуаційного управління проектами на базі Scrum. Визначається модель ситуації, де параметрами є нечіткі значення ефективності, ситуаційні цілі та фактори впливу. Онтологію може бути використано для виявлення параметрів і суттєвих факторів для визначення ситуації, взаємозв'язків між факторами та ступеня їхнього взаємовпливу.

Системи нечіткого виведення застосовуються в управлінні проектами з метою подолання невизначеності ситуацій, як для загальної оцінки проекту, так і для прийняття рішень на різних його стадіях. Вплив системи управління знаннями на успішність реалізації проектів досліджується в [17] на основі економіко-математичної моделі, що базується на нечіткому логічному виведенні за алгоритмом Мамдані. Міркування на запропонованій моделі містить етапи:

- визначення основних метрик, що мають найбільший вплив на характеристики проекту;

- формування лінгвістичних змінних, що відповідають метрикам;
- опис функцій належності термів лінгвістичних змінних;
- формування бази правил нечіткого виведення;
- реалізація системи нечіткого виведення для оцінки впливу системи управління знаннями на успіх проєкту;
- проведення експерименту та аналіз отриманих результатів.

Запропонований в [18] метод розрахунку основних властивостей або параметрів проєкту, прогнозування термінів його виконання з можливістю врахування форс-мажорних ситуацій, заснований на теорії мережного планування та управління та нечіткій логіці для розв'язання задачі нечіткої оптимізації, дозволяє оцінити різні варіанти виконання проєкту та вибрати найефективніший за обраними критеріями.

Розширення відомих методологій управління проєктами PERT та CPM за рахунок використання нечітких трикутних чисел [19] дозволяє оцінити час виконання проєкту в умовах невизначеності деяких параметрів. Розроблену в [20] структуру експертної системи для управління бізнес-процесами ІТ-компанії побудовано на основі нечіткої логіки з використанням комбінованої моделі семантичної мережі та правил імплікації.

Нечітка система [21] визначає пріоритетність завдань розробки проєкту на основі аналізу метрик готовності, дозволу та складності.

Поєднання онтологічної моделі з нечіткою логікою [22] дозволяє керувати нечіткою та семантично збагаченою інформацією та забезпечувати ефективне розпізнавання знань.

Додавання нечіткості в онтологію предметної області дозволяє знизити багатокритеріальність задачі при колективному прийнятті рішень [23]. Важливо додати до онтології інструменти, які дозволять команді проєкту ефективно керувати великими обсягами інформації, з якою їм доводиться мати справу в реальних ситуаціях, з можливістю зниження кількості параметрів, що описують процес прийняття рішень.

Доцільними є подальші дослідження в напрямку поєднання цих

концепцій при представленні знань в рамках управління IT-проєктами.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що методи та процедури вибору моделей та методів, що дозволять періодично накопичувати існуючий досвід в рамках виконання IT-проєкту ІС гуманітарного реагування, залишаються недостатньо розробленими. Тому проблему даного дослідження слід сформулювати як проблему ефективного накопичення знань в даній предметній області з урахуванням попереднього досвіду реагування на гуманітарні кризи.

1.4 Аналіз існуючих програмних засобів управління IT-проєктами, що реалізують інтелектуальні можливості представлення та обробки знань

Серед найбільш відомих засобів управління IT-проєктами, які реалізують інтелектуальні концепції представлення знань, можна виділити наступні [3]:

- Asana project management – виконує задачі автоматизації завдань, прогнозування ризиків, формування рекомендацій щодо оптимізації виконання задач [24];

- Forecast – призначено для розподіленої розробки проєктів, має інтелектуальні засоби, що дозволяють прогнозувати час виконання проєкту, оцінювати бюджет та прибуток від його виконання, а також планувати щоденні завдання на основі аналізу навичок та компетентносней членів команди [25];

- Monday.com – автоматизує повторювальні завдання, оптимізує процеси на основі даних про продуктивність команди, прогнозує результати проєкту на основі історичних даних [26];

- Artage Risk Burndown Tool (RBd) – інтелектуальний інструмент для

управління ризиками проєкту, прогнозування його критичних точок;

- ProjectLibre AI Cloud – інтелектуальний інструмент автоматизації створення плану проєкту за простим описом користувача [27].

Можна виділити такі спільні ознаки для приведених вище програмних засобів:

- інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для всіх членів команди проєкту;
- автоматизація рутинних завдань планування, розподілу ресурсів, відстеження виконання проєкту, створення звітності;
- аналіз та прогнозування ризиків, проблемних ситуацій, вузьких міст та залежностей між завданнями;
- інтелектуальна допомога для прийняття обґрунтованих рішень;
- налаштування для покращення співпраці та спілкування команди проєкту.

До недоліків існуючих програмних засобів відноситься:

- низька ефективність при обробці складних, неструктурованих даних та непередбачених ситуацій;
- висока залежність від якості та обсягу даних, які використовуються для побудови бази знань про проєкт;
- необхідність в кваліфікованих фахівцях для побудови та налаштування бази знань;
- постійна підтримка актуальності бази знань.

1.5 Постановка задачі дослідження

На етапі використання ІТ-продукту для гуманітарного реагування при ідентифікації нової ситуації, особливо в умовах невизначеності, потрібно проаналізувати множину наявних представлень та обрати ті прецеденти, що найбільш відповідають поточної проблемі за певним критерієм. Складність

вибору такого критерію визначається унікальністю ситуацій, що виникають в при реалізації ІТ-проектів, невизначеністю цілей та задач, обмеженнями в часі, ресурсах та можливостях, необхідністю координації дій команди розробки, узгодження зі стейхолдерами та ін.

Таким чином, проблему дослідження можна сформулювати як відсутність комплексного підходу до представлення знань при розробці ІТ-проектів в сфері гуманітарного реагування, які враховували би попередній досвід та адаптували би його до поточних завдань проекту.

Наукова новизна дослідження полягає в адаптації методу прецедентів до особливостей управління ІТ-проектами шляхом удосконалення методу в частині використання попереднього досвіду, отриманого з різних джерел, за рахунок поєднання з онтологічним представленням знань в предметній області та врахування фактору невизначеності шляхом введення в онтологію нечітких елементів.

Практична новизна міститься в використанні попереднього досвіду розробки ІТ-проектів гуманітарного реагування, що дозволить врахувати фактор невизначеності та швидко приймати рішення на основі знання-орієнтованих моделей та методів.

Об'єктом дослідження є процеси представлення та використання знань на стадії виконання ІТ-проекту ІС гуманітарного реагування.

Предметом дослідження є знання-орієнтовані моделі та методи підтримки прийняття рішень в межах стадії виконання ІТ-проекту ІС гуманітарного реагування.

Метою дослідження є розробка знання-орієнтованих моделей та методів ефективного прийняття рішень в умовах невизначеності в межах управління ІТ-проектом ІС гуманітарного реагування.

В рамках поставленої мети були сформульовані наступні задачі дослідження:

– визначення особливостей прийняття рішень при управлінні ІТ-проектом ІС гуманітарного реагування;

- порівняльний аналіз існуючих знання-орієнтованих моделей та методів, виявлення їх переваг, недоліків та можливостей використання для представлення та добичі знань в даній предметній області;

- обґрунтування вибору моделі нечіткого онтологічного представлення знань та методу прецедентів для вирішення поставлених задач;

- розробка гібридної моделі представлення знань, що поєднує прецедентне представлення попереднього досвіду, отриманого з різних джерел, з онтологією предметній області з додаванням нечітких елементів;

- реалізація гібридної моделі у вигляді інформаційної технології;

- розробка методу міркувань на гібридній моделі;

- експериментальна перевірка інформаційної технології на початковому наборі даних, аналіз результатів експерименту;

- формування висновків, рекомендацій по використанню результатів дослідження та визначення перспектив майбутніх досліджень.

Для аналізу процесів прийняття рішень в управлінні ІТ-проєктами та для дослідження знання-орієнтованих моделей та методів використовується методи аналізу та синтезу. Для розробки представлення знань про процеси управління ІТ-проєктами використовуються в процесі абстракції – онтологічний підхід, для узагальнення – методи нечіткого логічного висновку. Для пошуку аналогічних випадків у минулому використовується метод міркувань на прецедентах. Для виконання практичної частини роботи використовується експеримент, моделювання та розрахунок.

2 РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЄКТОМ

2.1 Прецедентна модель та метод міркувань на прецедентах

В основі методу міркувань на прецедентах лежить емпіричне правило, яке передбачає, що подібні проблеми зазвичай мають подібні рішення. CBR зберігає інформацію про минулий досвід у вигляді прецеденту та застосовує його при розв’язанні нових проблемних ситуацій. Багато модифікацій методу дозволяють обрати найбільш ефективну версію CBR для конкретної предметної області.

Прецедентна модель, що лежить в основі методу, є знання орієнтованою та легко інтерпретується. Традиційний CBR-метод [28] дозволяє представити знання про предметну область у вигляді кортежу:

$$case = \langle situation, solution, result \rangle,$$

де *situation* – ситуація у минулому, що зберігається у прецеденті;

solution – рішення, що було прийнято в минулому в умовах описаної ситуації;

result – результат застосування рішення.

Ситуація, як правило, описується перерахуванням її параметрів. Параметричне представлення прецеденту найбільш розповсюджене, бо більшість наборів даних повністю або частково можна представити саме таким чином. Також обробка набору параметрів потребує менших витрат на підтримку та супроводження у порівнянні з іншими представленнями прецеденту.

Процес міркувань на прецедентах є циклічним та складається з наступних етапів (рисунок 2.1):

– Retrieve – пошук прецедентів в базі, які є найближчими до поточної

До переваг CBR-методу відносять ефективність завдяки повторному використанню знань, можливість навчання, адаптація до різних ситуацій та контекстів, простота побудови без необхідності аналізувати існуючі залежності, інтуїтивний підхід до представлення знань. До недоліків CBR відносять залежність від якості та повноти бази прецедентів, уповільнення пошуку при збільшенні кількості прецедентів, складність вибору критерію подібності, необхідність відстеження актуальності рішень, що містяться у прецедентах.

Використання CBR в процесі прийняття рішень може бути ефективним на різних етапах управління IT-проектами та для представлення знань про предметну область гуманітарного реагування. Наприклад, прецедентна модель може бути застосована для таких задач:

- оцінка ризиків проекту з використанням досвіду проектів, що вже завершилися;
- планування проекту на основі інформації про тривалість, бюджет, наявні ресурси та досвід команди;
- для пошуку рішення у разі виникнення проблем при інтеграції різних систем, помилок розробки програмного забезпечення, визначення причин низької продуктивності БД та інших.

Незважаючи на певні обмеження, метод міркувань на прецедентах є ефективним інструментом для управління IT-проектами. Але слід відмітити, що більшість модифікацій CBR-методу засновано саме на параметричному представленні, що добре працює з обробкою кількісних даних. Для роботи з категорійними або змішаними даними складніше визначати вагові коефіцієнти параметрів при розрахунку міри близькості прецедентів. Параметричне представлення також значно обмежує ефективність використання CBR у випадках, коли приймати рішення доводиться в умовах невизначеності.

Для представлення більш складних зв'язків між поняттями предметної області доцільно використовувати онтологічну структуру прецеденту [30]. Онтологічне представлення є явною специфікацією концептуалізації, воно

дозволяє створювати модель з використанням понять, за допомогою яких експерти аналізують інформацію.

2.2 Онтологічна модель та методи встановлення семантичної близькості при представленні знань у вигляді онтологій

Онтологічна модель забезпечує інтеграцію інформації з різних джерел для вирішення задач пошуку. Онтологія представляє основні концепти предметної області у вигляді ієрархії відношень між концептами і їх атрибутами, а також аксіом та правилами виведення. Основне призначення онтології – вирішення специфічних задач в конкретній предметній області, таких як її систематизація, виділення множини понять для рішення основних задач з метою підвищення достовірності рішень, що приймаються.

Формально онтологія представляється у вигляді кортежу:

$$O = \langle C, R, F \rangle,$$

де C – множина концептів предметної області;

R – множина відношень між концептами;

F – множина функції відображення, заданих на концептах та відношеннях.

Онтологічна модель, як правило, може мати декілька рівнів:

– метаонтологічний – оперує концептами та відношеннями, які не залежать від предметної області, такими як об'єкт, властивість, процес, алгоритм і таке інше;

– онтологія предметної області – містить концепти та відношення між ними для вирішення конкретних задач, що не залежать від методів їх вирішення;

– онтологія задач – містить поняття, що описують методи перетворення

відображають перетворення об'єктів предметної області в процесі вирішення задач.

Оцінювання близькості понять в онтології ускладнюється тим, що семантична близькість містить в собі багато аспектів подібності. Міри близькості використовують різні характеристики онтологічних термів, що порівнюються, такі як їх властивості (атрибути і відношення з іншими термами), їх взаємне розташування та інше. Вибір міри семантичної близькості пов'язаних концептів є складною задачею, що суттєво залежить від особливостей предметної області.

Розглянемо основні підходи до визначення ступеню зв'язку між онтологіями [31, 32]. Міри, які засновані на ієрархічних структурах IS-A, дозволяють оцінити два поняття по положенню вершин, що відповідають цим поняттям. Найпростіша міра визначається як довжина критичного шляху – чим він менший, тим вони ближчі:

$$S(c_1, c_2) = \log \frac{2N}{d(c_1, c_2)},$$

де N – глибина дерева онтології;

$d(c_1, c_2)$ – довжина найкоротшого шляху між відповідними вершинами.

Перевагою ієрархічних мір є простота формування та використання, але вони не враховують такі особливості шляху, як, наприклад, кількість загальних вершин-предків та кількість перегинів.

Міри, що оцінюють неієрархічні відносини, основані на обчисленні близькості екземплярів відносно відношень. Припускається, що якщо два поняття мають між собою певне відношення через третє поняття, то вони ближче між собою, ніж два інші поняття, не зв'язані спільним відношенням з іншим поняттям. Для перевірки зв'язків через усі відношення використовується рекурсія. Перевагою таких реляційних мір є врахування більш складних, ніж ієрархічні, зв'язків між концептами онтології. До недоліків слід віднести необхідність завдання глибини рекурсії при

розрахунках, яку складно оцінити заздалегідь.

Атрибутивна міра оцінює близькість значень загальних атрибутів екземплярів. Атрибути розглядаються як відношення, що задані на певному діапазоні. Наприклад, цілі чи дійсні числа, строки, значення з певної множини та інше. Для кількісних ознак в якості міри близькості використовується інверсію різниці, що пронормована максимальним значенням атрибуту, для якісних – нормована редакторська відстань, яка визначає, скільки символів слід додати, видалити або замінити, щоб отримати із однієї лексеми іншу. Перевагою використання атрибутивних мір є можливість визначення близькості для екземплярів, в якості недоліка визначається складність визначення критерію близькості як для кількісних, так і для якісних ознак.

Для усування недоліків розглянутих мір близькості використовуються гібридні міри, що є результатом згортки інших мір [31]. Наприклад, гібридна міра близькості, що використовує адитивну згортку:

$$S(c_1, c_2) = \sum_{i=1}^n \omega_i S_i(c_1, c_2), \quad (2.1)$$

де $S_i(c_1, c_2)$ – міра близькості по i -му критерію;

ω_i – ваговий коефіцієнт i -го критерія, $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$;

n – кількість критеріїв, якщо використовувати ієрархічну, неієрархічну та атрибутивну міру, то $n = 3$.

Для підвищення ваги мір з більшим значенням для оцінки близькості і нівелювання малозначущих мір можна використовувати модифікований критерій (2.1) з сігмоїдальною функцією:

$$S(c_1, c_2) = \sum_{i=1}^n \omega_i \text{sig}(S_i(c_1, c_2)),$$

де $\text{sig}(x) = \frac{1}{1+e^{-ax}}$, $a > 0$.

Гібридна міра близькості може бути використана на етапі вилучення прецеденту в CBR у разі недостачі параметрів і організації додаткового

пошуку по онтології. Далі на стадії адаптації прецеденту до поточної ситуації проводиться збагачення онтології, що містить обраний прецедент.

Концептуальне збагачення передбачає вилучення додаткових концепцій з інших онтологій у разі неповного опису поточної ситуації. Аксиоматичне збагачення передбачає розширення онтології аксіомами та правилами логічного висновку, зокрема нечіткими знаннями [9].

Онтології можуть бути використані в управлінні ІТ-проєктами для вирішення наступних задач:

- опис динамічної предметної області процесів гуманітарного реагування, моделювання гуманітарних криз та процесів надання допомоги при розробці ІС;
- інтеграція знань, отриманих з різних джерел (урядові організації, служби порятунку, волонтери, благодійні фонди, соціальні мережі та ін.;
- створення єдиного джерела знань для співпраці стейкхолдерів проєкту;
- забезпечення узгодженості термінології ІТ-проєкту.

2.3 Нечітка логіка та системи нечіткого виведення

Нечітка логіка дозволяє створювати та обробляти знання в умовах невизначеності та виконувати міркування у випадках, коли . На відміну від чітких множин, ступень належності елементу до яких можна чітко визначити як 0 – не належить, 1 – належить, в нечіткому представленні функція належності кожного елемента до нечіткої множини приймає деяке значення з проміжку $[0, 1]$.

Для подолання невизначеності певних параметрів при розробці інформаційних систем вводяться поняття множини лінгвістичних змінних $V^L = \{V_i^L\}$, які ставляться у відповідність властивостям нечітких концептів або нечітких відношень. Лінгвістична змінна представляється кортежом:

$$V_i^L = \langle \beta(V_i^L), T_{V_i^L}, U, G, M \rangle, \quad (2.2)$$

де $\beta(V_i^L)$ – ім'я лінгвістичної змінної;

$T_{V_i^L}$ – множина значень лінгвістичної змінної (терм-множина), кожне з яких є нечіткою величиною $A_{V_i^L}^k$, $T_{V_i^L} = \{A_{V_i^L}^k\}$;

U – універсальна множина для лінгвістичної змінної;

G – нечітке правило, що породжує терми нечіткої змінної;

M – семантичне правило, яке ставить у відповідність кожній нечіткій змінній її значення.

Наприклад, лінгвістична змінна V_1^L представляється так:

$$\beta(V_1^L) = \text{“Resource Availability”},$$

$$T_{V_1^L} = \{\text{“Very Low”, “Low”, “Medium”, “High”, “Very High”}\}.$$

Універсум для лінгвістичної змінної визначимо як $U = [0,100]$ %. На рисунку 2.2 визначено функції належності термів лінгвістичної змінної “Resource Availability”.

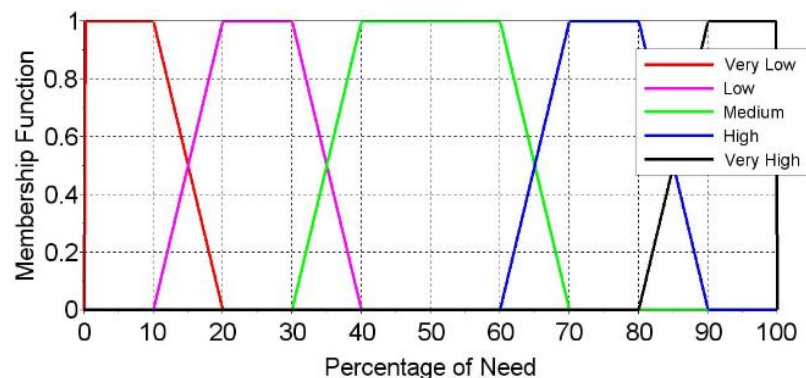


Рисунок 2.2 – Функції належності термів лінгвістичної змінної “Resource Availability”

Для міркувань в умовах невизначеності використовуються нечіткі

продукційні правила, що представляються наступними конструкціями:

$$\text{Rule}_j: \text{IF } X_1 = A_1^j \text{ AND } X_2 = A_2^j \text{ AND } \dots \text{ AND } X_n = A_n^j \text{ THEN } Y_j = B_k^j (F_j), \quad (2.3)$$

де Rule_j – j -те правило, $j \in \mathbb{N}, j \in [1, m]$;

$X_1, X_2, \dots, X_n \in V^L$ – вхідні лінгвістичні змінні, $j \in \mathbb{N}$;

$Y_j \in V^L$ – вихідна лінгвістична змінна;

$A_1^j \in T_{V_1^L}, A_2^j \in T_{V_2^L}, \dots, A_n^j \in T_{V_n^L}, B_k^j \in T_{V_k^L}$ – елементи нечітких множин

для відповідних лінгвістичних змінних;

F_j – ваговий коефіцієнт j -го правила, $F_j \in [0, 1]$, за замовченням $F_j = 1$.

Процедура нечіткого виведення за нечіткими продукційними правилами (2.3) складається з наступних фаз:

– фазифікація вхідних змінних – перетворення чітких значень вхідних змінних до нечіткого значення лінгвістичних змінних у відповідності зі значеннями функцій належності терм-множин;

– агрегування передумов в нечітких продукційних правилах – для кожного правила визначається ступень істинності передумов, логічна кон'юнкція може бути обчисленою за формулою: обчислюється за правилом алгебраїчного добутку:

$$\mu(A_1 \cap A_2) = \mu(A_1) \cdot \mu(A_2),$$

де $\mu(A_1), \mu(A_2)$ – функції належності терм-множин A_1, A_2 відповідно;

– акумулювання висновків нечітких продукційних правил – знаходження функцій належності для вихідних змінних. Значення висновків усіх правил представляються у вигляді нечітких множин B_1, B_2, \dots, B_k , k – кількість нечітких продукційних правил в базі правил. Підсумкові функції належності для кожної вихідної лінгвістичної змінної знаходяться як

об'єднання нечітких множин, наприклад, за правилом алгебраїчної суми:

$$\mu(B_1 \cup B_2) = \mu(B_1) + \mu(B_2) - \mu(B_1) \cdot \mu(B_2),$$

де $\mu(B_1), \mu(B_2)$ – функції належності терм-множин B_1, B_2 відповідно, в результаті отримаємо сукупність нечітких множин B'_1, B'_2, \dots, B'_q , q – кількість вихідних лінгвістичних змінних в системі нечітких продукційних правил;

– дефазифікація вихідної змінної – отримання чітких значень для кожної вихідної лінгвістичної змінної.

В управлінні ІТ-проектами системи нечіткого виведення можуть бути використані для вирішення наступних задач підтримки прийняття рішень:

- визначення пріоритетних потреб населення в умовах обмеження ресурсів та часу на надання допомоги;
- оцінка ризиків доступності ресурсів;
- оцінка ризиків виконання проєкту на початкових стадіях;
- корегування бюджету, термінів виконання, планів та інших параметрів проєкту у випадку надзвичайних ситуацій;
- оцінка ефективності роботи команди проєкту;
- виявлення суперечливих інтересів стейкхолдерів, формування функційних та нефункційних вимог.

В якості переваг використання систем нечіткого виведення визначається імітація міркувань людини, адаптивність до неточних даних, а також гнучкість, прозорість та інтерпретованість нечітких продукційних правил. З іншого боку, розробка систем нечіткого виведення пов'язана з такими проблемами, як необхідність залучення експертів, складність формування функцій належності та продукційних правил, відсутність стандартів та обчислювальні витрати на проведення нечіткого виведення.

2.4 Нечітка онтологічна модель представлення знань

Онтологічна модель представляє основні концепти предметної області та взаємозв'язки між ними у вигляді чіткої концепції. Але в сфері управління ІТ-проектами не завжди можна обмежитися концептуальним формалізмом для формування основних понять і визначення взаємозв'язків. Класична логіка не може адекватно відобразити процес міркувань, якщо інформація нечітка.

Засобом відображення нечіткості та неоднозначності понять є включення в онтологію нечіткої логіки. Нечітка онтологія є розширенням онтологічної моделі шляхом включення нечітких концептів, їх властивостей, відношень та екземплярів, які мають ступінь належності до певного класу. Концепції в нечітких онтологіях можуть мати розмиті межі. Наприклад, концепція "висока продуктивність" не має чіткого визначення, оскільки це поняття може варіюватися в широких межах та залежати від множини різних факторів.

Нечітка онтологія представляється у вигляді кортежу:

$$O^f = \langle C^f, I, P^f, F^f, Rule \rangle,$$

де C^f – множина нечітких концептів;

I – множина екземплярів, для кожного з яких існує відображення в нечіткі концепти $C^f: I \rightarrow [0,1]$, $E^f = C^f \cup I$, E^f – множина всіх нечітких об'єктів онтології;

P^f – множина нечітких властивостей концептів;

F^f – множина нечітких таксономічних та нетаксономічних відношень,
 $F^f: E^f \rightarrow [0,1]$;

$Rule$ – множина нечітких продукційних правил (2.3).

Для задач пошуку по нечіткій онтології можна використовувати різні міри подоби. Наприклад, міру нечіткої атрибутивної близькості Заде [33] для

нечітких кількісних ознак $\tilde{I}_i(x_k), \tilde{I}_j(x_k), x_k \in E^f$:

$$AS_f(\tilde{I}_i, \tilde{I}_j) = \min(\max(1 - \mu_{\tilde{I}_i}(x_k), \mu_{\tilde{I}_j}(x_k)), \max(\mu_{\tilde{I}_i}(x_k), 1 - \mu_{\tilde{I}_j}(x_k))), \quad (2.4)$$

В задачах управління проектами нечіткі онтології можуть бути використані для вирішення таких задач:

- формування та аналіз нечітких або суперечливих функційних вимог;
- оцінка ризиків, коли точні данні відсутні, а експертна оцінка вартісно затратна та суб'єктивна;
- вибір проектної методології, технологій та проектних рішень в умовах розмитості критеріїв;
- моніторинг стану проекту та його основних показників.

До переваг використання нечітких онтологій слід віднести:

- розширення повноти представлення знань за рахунок введення нечітких елементів в онтологію;
- можливість обробки поганоstrukturованих та складних даних;
- підтримка прийняття рішень в умовах невизначеності;
- дискретизація інформації за рахунок введення лінгвістичних змінних.

Широке застосування нечітких онтологій обмежується такими недоліками:

- складність побудови, оновлення та модифікації нечітких онтологій;
- складність визначення мір нечіткої подуби для проведення пошуку на нечіткій онтології;
- відсутність ефективних програмних засобів та технологій роботи з нечіткими онтологіями;
- обчислювальна складність операцій нечіткого виведення;
- складність інтерпретації отриманих за допомогою нечіткого виведення результатів.

2.5 Гібридна модель представлення знань для управління ІТ-проектами

Для представлення знань в процесі виконання ІТ проєктів гуманітарного реагування пропонується використовувати гібридну модель, яка поєднує переваги методу міркувань на прецедентах, багатовимірну онтологічну модель з додаванням нечітких елементів та правила нечіткого виведення.

Представимо гібридну модель у вигляді кортежу

$$M^H = \langle Case, O^L, R^H, V^L, Rule \rangle, \quad (2.5)$$

де $Case$ – множина прецедентів, що представляє відображення параметрів ситуації в рішення;

O^L – онтологічна модель рівня L , $L \in \{Fundamental, Core, Upper\ domain, Lower\ domain, Operational\}$ (див. рис. 1.2);

R^H – множина відношень між елементами гібридної моделі;

V^L – множина лінгвістичних змінних (2.2), які ставляться у відповідність нечітким елементам онтології;

$Rule$ – множина нечітких продукційних правил (2.3).

Одним з основних компонентів моделі (2.5) є база прецедентів. Кожен прецедент зберігає попередній досвід у вигляді відображення параметричного представлення ситуації, що сталося в минулому, в відповідне їй рішення:

$$case_i = \left(\langle pr_{i1}, \dots, pr_{in} \rangle; \langle sol_{i1}, \dots, sol_{im} \rangle; f_i : \langle pr_{i1}, \dots, pr_{in} \rangle \rightarrow \langle sol_{i1}, \dots, sol_{im} \rangle \right), \quad (2.6)$$

де $pr_{ik}, k \in \mathbb{N}, i \in [1, k]$ – набір параметрів різних типів, що характеризує ситуацію у минулому;

$sol_{ij}, j \in \mathbb{N}, j \in [1, m]$ – складові рішення, що можуть бути представлені у вигляді пари $\langle parameter, value \rangle$.

Онтологічна компонента моделі (2.5) представляється кортежем:

$$O^L = \langle C, R, F, P, E, A \rangle,$$

де $C = \{c_n \mid n \in \mathbb{N}, n \in [1, |C|]\}$ – множина концептів онтології відповідного рівня, що складається з множини чітких (C') та нечітких (C^f) елементів:
 $C = \{C'\} \cup \{C^f\}$;

$R = \{(c_i, c_j, rt_n) \mid rt \in RT, c_i, c_j \in C\}$, де RT – множина відношень між концептами, що складається з множини чітких (RT') та нечітких (RT^f) елементів: $RT = \{RT'\} \cup \{RT^f\}$, $rt_k^f: (c_i, c_j) \rightarrow [0,1]$ або $rt_k^f: (c_i, c_j) \rightarrow V_k^L$;

$F: C \times R$ – множина функцій інтерпретації, які задаються відповідностями між C та R , складається з множини чітких (F') та нечітких (F^f) елементів:
 $F = \{F'\} \cup \{F^f\}$, $f_k^f: (c_i, rt_j) \rightarrow [0,1]$ або $f_k^f: (c_i, rt_j) \rightarrow V_k^L$;

P – множина властивостей концептів та відношень:

$$P = \{(p_i, e_j) \mid p_i \in P, e_j \in C \cup R\};$$

E – множина екземплярів;

A – множина аксіом виведення.

Множина відношень між елементами моделі (2.5) містить три складових:

$$R^H = \{R_{CSC}^F\} \cup \{R_{CSC}\} \cup \{R_{ASR}\}, \{R_{CSC}^F\} \cap \{R_{CSC}\} \cap \{R_{ASR}\} = \emptyset,$$

де R_{CSC}^F – нечіткі відношення між елементами багатовимірної онтологічної моделі;

R_{CSC} – чіткі відношення між елементами моделі;

R_{ASR} – асоціативні відношення зв'язку між прецедентом та отологією.

Відношення між прецедентом та елементами онтології в свою чергу

представляються у вигляді об'єднання множин:

$$R_{ASR} = \{R_{ASR}^{pr}\} \cup \{R_{ASR}^{sol}\},$$

де R_{ASR}^{pr} – відображення параметрів прецедентів во властивості концептів (або відношень) онтології;

R_{ASR}^{sol} – відображення властивостей концептів (відношень) в рішення прецеденту.

Відношення відображення описуються таким чином:

$$R_{ASR}^{pr}: pr_i \xrightarrow{p_k} c_j, \quad (2.7)$$

$$R_{ASR}^{sol}: c_j \xrightarrow{p_k} sol_i, \quad (2.8)$$

де c_j – концепт онтології,

p_k – властивість відповідного концепту.

Для адаптації нечітких відображень при отриманні в процесі нечіткого виведення нових оцінок невизначеності після проведення дефазифікації для кожного нечіткого відображення буде розраховуватися:

$$f_i = f_i + \frac{f_i^{def-f}}{Na+1}, \quad (2.9)$$

де f_i – функція відображення для нечітких елементів онтології;

f_i^{def} – результат дефазифікації обчислення вихідної змінної при нечіткому виведенні;

Na – кількість оновлень нечіткого значення.

Введення функції оновлення для нечітких елементів (2.19) в гібридну модель (2.5) дозволить гнучко адаптувати знання до зміни ситуації та підтримувати модель в актуальному стані.

Розроблена гібридна модель представлення знань (2.5) дозволяє гнучко представляти знання про управління ІТ-проєктами з врахуванням таких особливостей проєктів в сфері гуманітарного реагування, як невизначеність, багатокритеріальність, суперечливість та слабка формалізація вимог. Введення нечітких елементів в онтологію та процедур нечіткого виведення дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень в умовах неповної інформації.

3 ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ ІТ-ПРОЄКТОМ

3.1 Розробка структури інформаційної технології

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в процесі управління ІТ-проектами поєднує дані, моделі та інструменти аналізу для надання інформації, необхідної для прийняття обґрунтованих рішень в ході виконання ІТ-проекту.

Інформаційна технологія містить наступні компоненти:

- база прецедентів;
- багаторівнева онтологія предметної області з введенням нечітких елементів;
- система нечіткого виведення;
- модуль міркувань на гібридній моделі.

Структура СППР, що реалізує інформаційну технологію, представлена на рисунку 3.1.

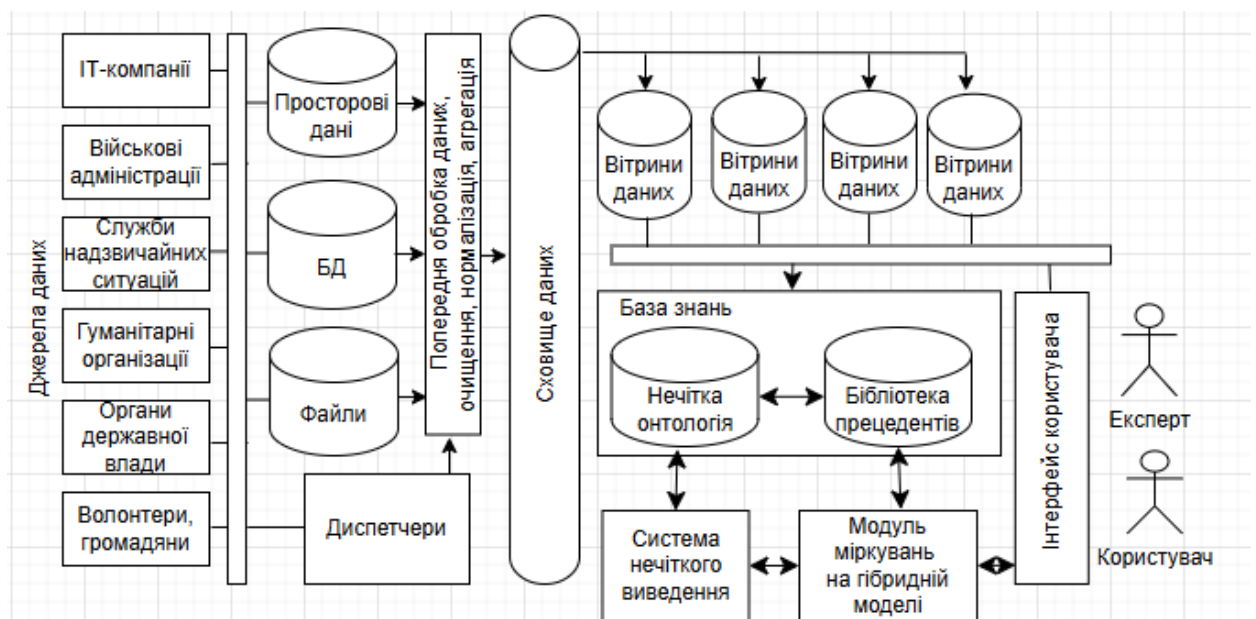


Рисунок 3.1 – Структура СППР управління ІТ-проектами

Процес попереднього наповнення моделі даними та організація регулярного поповнення бази актуальними даними відбувається автоматизовано на основі даних, що надходять з різних джерел.

В таблиці 3.1 розглянуто джерела даних для створення бази прецедентів та онтології предметної області.

Таблиця 3.1 – Джерела даних для формування бази прецедентів та онтології предметної області

Джерело даних	Інформація	Використання	Проблеми використання
1	2	3	4
Звіти про проекти	Цілі, обсяг проекту, технології, проблеми, ризики, прийняті рішення та їх результати	Прецеденти ІТ-проекту, онтології ІТ-проекту	Неоднорідність форматів, неповна інформація, конфіденційність та обмежений доступ
Звіти про оцінку потреб постраждалого населення	Типи допомоги, необхідні ресурси, географічні особливості та демографічні дані	Прецеденти гуманітарного реагування	Складність визначення параметрів, що описують ситуацію, неактуальність інформації
Фінансові звіти	Бюджет проектів, витрати, джерела фінансування та розподіл коштів	Прецеденти ІТ-проекту	Конфіденційність та обмежений доступ, відсутність стандартизації
Установчі документи організацій	Політики щодо захисту даних, етичні норми, стандарти якості	Онтологія ІТ-проекту	Складність вилучення концептів, неоднорідність форматів
Інтерв'ю з менеджерами ІТ-проектів	Типові проблеми, ризики, технології прийняття рішень	Нечіткі елементи онтології ІТ-проектів	Неявні знання; суб'єктивність та упередженість; конфлікт інтерпретацій

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Інтерв'ю з фахівцями (ДСНС, логісти, медики, фахівці з безпеки та ін.)	Специфіка надання гуманітарної допомоги, проблеми та потреби в інформації	Нечіткі елементи онтології гуманітарного реагування	Неявні знання, складність формалізації, конфлікт інтерпретацій
Інтерв'ю з користувачами ІТ-систем	Досвід користування, проблеми та пропозиції щодо покращення	Онтологія ІС гуманітарного реагування	Суб'єктивність та упередженість, складність формалізації
.БД гуманітарних організацій (ReliefWeb, OCHA, ACAPS і т.ін)	Характеристики гуманітарних криз, наслідки та рішення, що були прийняті, з оцінкою їх результатів	Прецеденти та онтологія гуманітарного реагування	Різні формати та структури даних, проблеми з якістю даних, проблеми з доступом
Геопросторові данні UN-GIS, OpenStreetMap	Карти, супутникові знімки, данні про населення, зони ризику	Онтологія гуманітарного реагування	Неоднорідність джерел даних, надмірність даних
Стандарти управління проектами (PMBOK, PRINCE2), інформаційної безпеки (ISO 27001)	Основні поняття та концепції управління проектами, принципи забезпечення безпеки	Онтологія ІТ-проектів	Трудомісткість визначення концептів, суперечливість понять у різних стандартах
Дані з систем управління проектами (Jira, Trello, Asana)	Дані про завдання, їхній статус, виконавців, терміни, проблеми	Прецеденти ІТ-проектів	Складність інтеграції, великі обсяги, відсутність історичних даних

Кінець таблиці 3.1

1	2	3	4
Системи контролю версій (Git)	Дані про зміни в коді, документації, що можуть вказувати на складність, ризики або зміни вимог	Прецеденти ІТ-проектів	Складність інтеграції, великі обсяги, технічні обмеження систем
Системи моніторингу та логування	Продуктивність системи, помилки, час простою, технічні ризики	Прецеденти ІТ-проектів	Складність інтеграції, великі обсяги, технічні обмеження систем
Системи зворотного зв'язку та підтримки	Запити користувачів, повідомлення про помилки, проблеми з використанням системи	Онтологія ІС гуманітарного реагування	Складність інтеграції, великі обсяги, складність вилучення концепції
Моніторинг соціальних мереж	Виявлення потреб, проблем, настроїв населення та операційних викликів	Онтологія гуманітарного реагування	Великі обсяги, мовний бар'єр та сленг, шум та нерелевантна інформація, низька достовірність
Платформи краудсорсингу	Пошкодження інфраструктури, потреби в допомозі, місцезнаходження постраждалих	Онтологія гуманітарного реагування	Складність вилучення концептів, надмірність та суперечливість інформації

Процес створення та поповнення бази знань повинен бути попередньо спланований та відбуватися ітераційно, з забезпеченням постійних процедур підтримки бази знань в актуальному стані.

Основні етапи збору та інтеграції даних для створення бази знань, заснованої на гібридній моделі, представлено в таблиці 3.2.

Таблиці 3.2 – Етапи збору та інтеграції даних

№	Етап	Особливості	
		База прецедентів	Нечітка онтологія
1	2	4	5
1.	Визначення цілей та обсягу	Визначення типів прецедентів, ключових атрибутів для кожного типу	Визначення меж онтології, формулювання основних концептів та відносин, попередня оцінка нечіткості елементів онтології,
2.	Ідентифікація та вибір джерел даних	Пріоритетність джерел даних, що дозволяють отримати повні кейси, в яких міститься опис проблеми, дії та наслідків.	Пріоритетність джерел даних, що дозволяють отримати експертні оцінки, лінгвістичні описи та дані з невизначеністю
3.	Збір даних	Скрипти та API для вилучення готових кейсів з Jira та Git, NLP для вилучення кейсів з звітів про проекти, протоколів зустрічей, звітів про інциденти, експертне опитування, зфокусоване на конкретних кейсах з минулого.	Скрипти та API для структурованих даних, NLP для вилучення ключових сутностей та відносин з напівструктурованих звітів, експертне опитування для виявлення неявних знань, суб'єктивних оцінок та функцій належності
4.	Попередня обробка та очищення	Фільтрація даних, заповнення пропусків в параметрах прецедентів, узгодження термінології, забезпечення консистентності в межах кожного прецеденту	Фільтрація даних, заповнення пропущених даних за рахунок нечіткого виведення, забезпечення семантичної узгодженості концептів, фазифікація

Кінець таблиці 3.2

1	2	3	4
5.	Інтеграція даних	Усунення суперечностей, переведення у визначений формат прецеденту	Комбінування фрагментів, агрегування суперечливих концептів, визначення лінгвістичних змінних та їх термів
6.	Формалізація знань	Формування бази прецедентів, визначення відношень між параметрами прецедентів та нечіткою онтологією	Визначення функцій належності, нечітких аксіом та правил, побудова нечіткої онтології в Fuzzy OWL, визначення відношень з параметрами прецедентів
7.	Валідація та верифікація	Перевірка прецедентів на повноту, точність та релевантність, експертна оцінка, тестування	Перевірка на консистентність та несуперечливість нечітких правил, експертна оцінка, тестування
8.	Підтримка та оновлення	Розробка процедур поповнення прецедентами, що відображують прийняті нові рішення, підтримка в актуальному стані	Розробка процедур автоматичного оновлення, експертна оцінка, підтримка актуальності, накопичення нечіткості в процесі використання (2.19)

3.2 Розробка онтології предметної області

Ядром інформаційної технології є багаторівнева онтологія предметної області (рисунок 3.2), яка містить три основні складові:

- онтологія предметної області процесів гуманітарного реагування;
- онтологія ІС гуманітарного реагування;
- онтологія ІТ-проєкта ІС гуманітарного реагування.

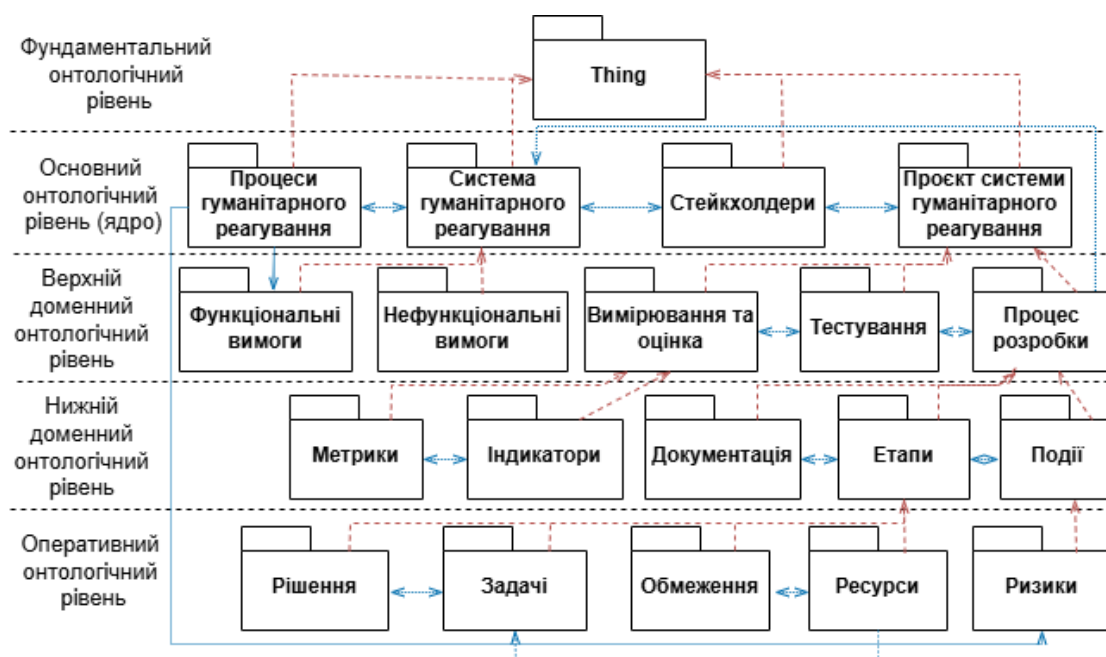


Рисунок 3.2 – Багаторівнева онтологія предметної області

Для створення онтології використовувався відкритий фреймворк Protégé [34] та плагін FuzzyOWL2 [35].

В таблиці 3.3 представлено основні концепти онтології процесів гуманітарного реагування.

Таблиця 3.3 – Опис основних концептів онтології процесів гуманітарного реагування

Концепт	Опис концепту	Приклади концептів-нащадків
1	2	3
Humanitarian Aid Cluster	Кластер гуманітарного реагування, визначається в [1]	Food security and livelihoods, Water, sanitation and hygiene, Coordination and common services
Emergency situation	Надзвичайні ситуації, що можуть призвести до потреби в гуманітарному реагуванні	Natural disaster Technological disasters Armed conflicts
Consequences	Загрози, які несуть в собі надзвичайні ситуації, визначають характер допомоги	Natural threats Organizational threats Man-made threats

Кінець таблиці 3.3

1	2	3
Humanitarian aid providers	Суб'єкти надання гуманітарної допомоги	State Emergency Service Volunteer organizations
Resource	Ресурси для надання гуманітарної допомоги	Livelihoods, Protective equipment, Transportation, Medical supplies
Humanitarian aid facilities	Об'єкти надання гуманітарної допомоги	Civilians, Workers, Organizations
Location	Місцезнаходження та особливості районів, що потребують допомоги	Relie, Infrastructure, Administrative unit
Time	Час, коли відбувались надзвичайні ситуації / надання допомоги	Period, Date

Фрагмент розробленої онтології процесів гуманітарного реагування наведено на рисунку 3.2.

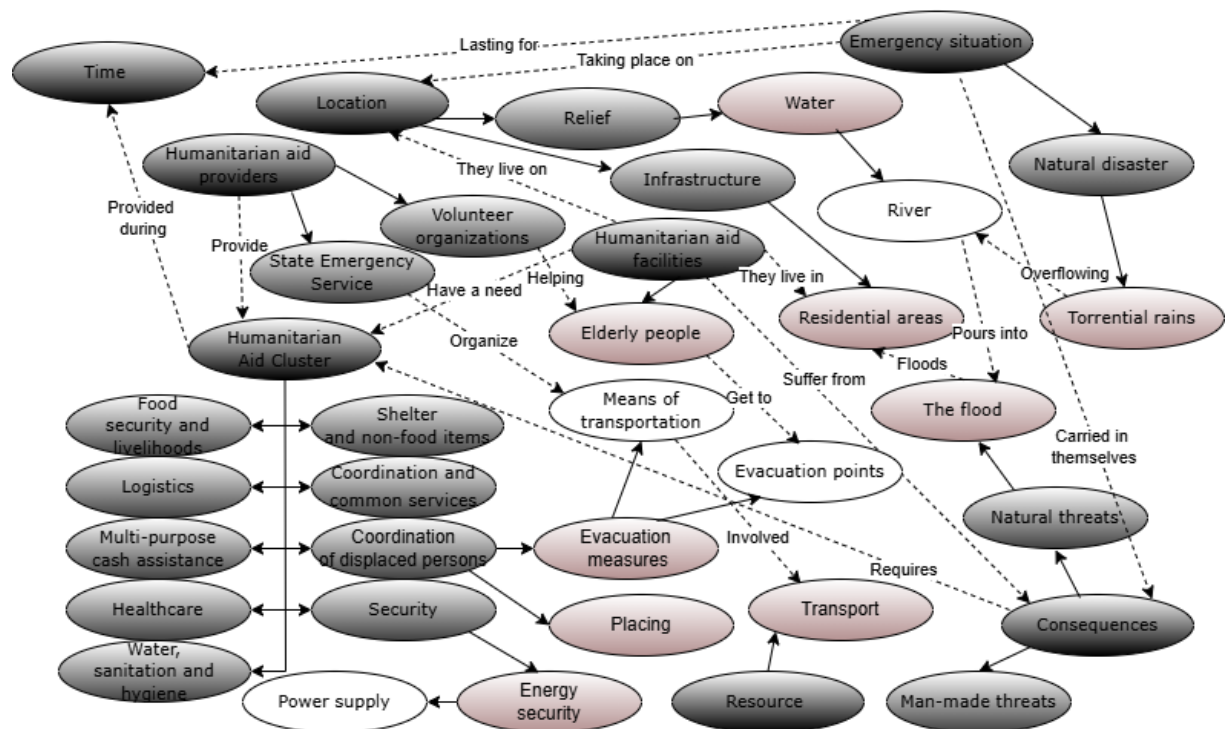


Рисунок 3.2 – Фрагмент розробленої онтології процесів гуманітарного реагування

Фрагмент онтології з нечіткими зв'язками представлено на рисунку 3.3, де представлено два види нечіткості:

– класифікація концептів (концепт Coordination of displaced persons має чітке таксономічне відношення з концептом Evacuation та нечітке таксономічне відношення з функцією належності 0,5 з Water supply);

– нетаксономічні відношення (відношення Requires між концептами Logistics disruption та Delivery of means є нечітким та характеризується функцією належності, що дорівнює 0,7).

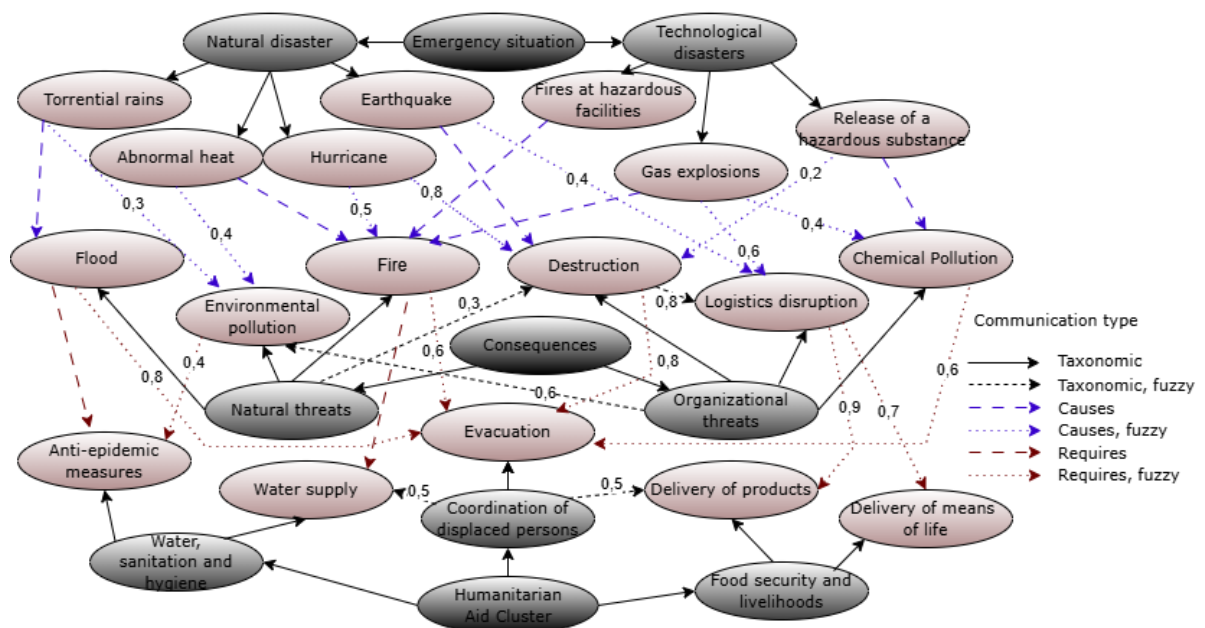


Рисунок 3.3 – Фрагмент онтології з нечіткими елементами

В таблиці 3.4 представлено основні концепти онтології ІТ-проєкту ІС гуманітарного реагування.

Таблиця 3.4 – Опис основних концептів онтології ІТ-проєкту

Концепт	Опис концепту	Приклади концептів-нащадків
1	2	3
Methodology	Сукупність принципів, правил та процедур для виконання проєкту	Agile Methodology, Waterfall Methodology, Hybrid Methodology

Кінець таблиці 3.4

1	2	3
Budget	Фінансовий план проєкту, планові витрати та джерела фінансування, фактичні витрати	Project Budget, Financing Sources, Task Budget, Resource Budget
Schedule	План проєкту, визначення послідовності, тривалості та зв'язків між завданнями проєкту	Project Schedule, Task Schedule, ActualDuration, Planned Duration, Milestone
Project Complexity	Міра складності проєкту, яка визначає стратегії управління, виконання та успіх проєкту	Technical Complexity, Organizational Complexity, Environmental Complexity
Stakeholder	Особа чи група осіб, що є зацікавленою у виконанні проєкту	Customer, Project Manager, Team Member, Supplier, EndUser
Resource	Необхідні для виконання проєкту матеріальні та нематеріальні ресурси	Material Resource (Software, Hardware, License, Infrastructure), Human Resource
Project Phase	Фаза виконання проєкту	Analysis, Coding, Design, Testing
Risk	Заздалегідь невідома подія або умова, яка може негативно вплинути на виконання проєкту	Risk Category, Risk Response Plan, Risk Indicator, Probability Impact Matrix
Issue	Перешкода або подія, яка вже виникла, що негативно впливає на показники проєкту та вимагає негайного вирішення	Technical Issue, Communication Issue, Resource Issue, Conflict Issue
Deliverable	Конкретний вимірюваний продукт або послуга, що передається замовнику в результаті виконання проєкту або його частини	Software Module, Documentation, Test Report, Deployed System

На рисунку 3.5 наведено фрагмент онтології гуманітарного реагування, що пов'язана з оцінкою ризиків. Нечіткими елементами онтології є властивості, пов'язані з лінгвістичними змінними. Наприклад, концепт Budget містить нечітку властивість range, концепт Complexity – нечітку властивість type. Ці властивості заповнюються в результаті нечіткого виведення на етапі

фазифікації.

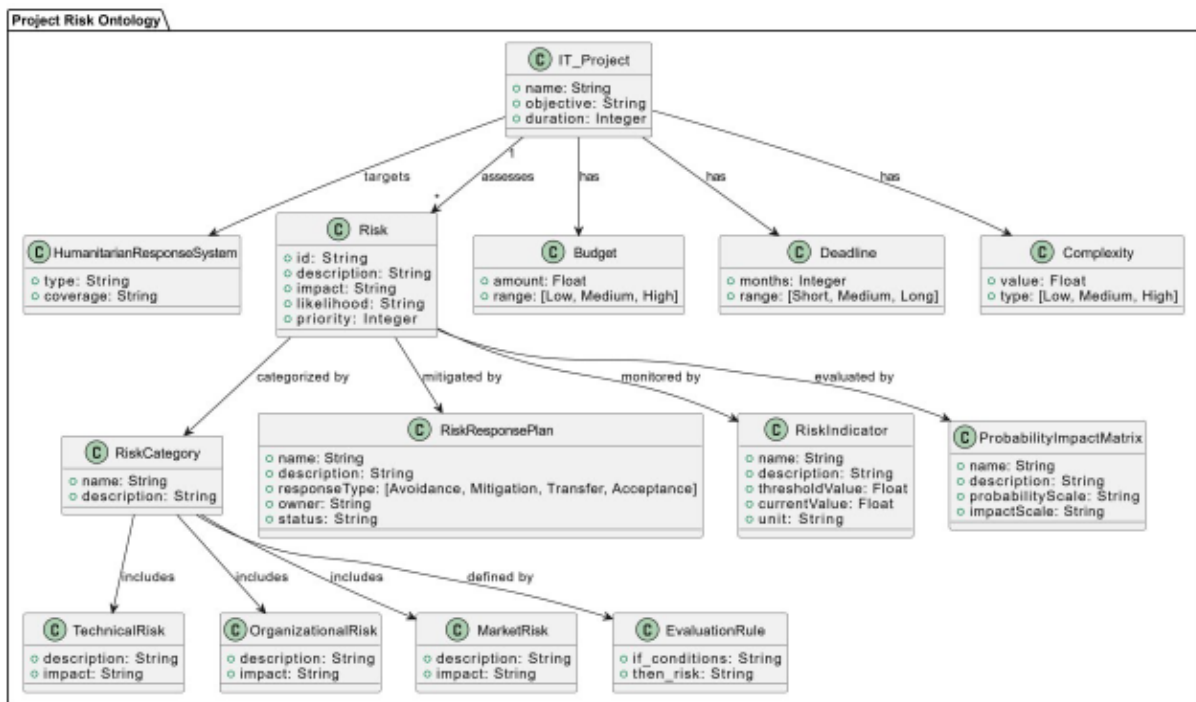


Рисунок 3.4 – Фрагмент онтології проекту ІС гуманітарного реагування, пов'язаний з оцінкою ризиків

3.3 Реалізація методу міркувань на розробленій гібридній моделі представлення знань

Процес міркувань на розробленій гібридній моделі (2.5) складається з таких етапів:

Етап 1. Відображення параметрів поточної ситуації в пошуковий запит, в якому частина параметрів можуть бути невизначеними:

$$q = \langle pr_1^q, pr_2^q, \dots, pr_n^q \rangle, \exists pr_i^q = NA.$$

Етап 2. Вилучення найближчого прецеденту з бази прецедентів (2.6) за критерієм k -середніх [11].

Етап 3. Відображення параметрів найближчого прецеденту в онтологію (2.5) за допомогою відношень (2.7). Результатом відображення є фрагмент онтології:

$$O^q = \langle C^q, R^q, F^q, P^q \rangle, \quad (3.1)$$

де $C^q \subset C$ – підмножина концептів, отриманих в результаті виконання асоціативних відображень (2.7);

$R^q \subset R, (c_i, c_j, rt_k) \in R^q, \forall c_i, c_j \in C^q$ – підмножина відношень між обраними концептами;

$F^q: C^q \times R^q$ – підмножина функцій інтерпретації між обраними концептами та відношеннями;

$P^q \subset P, P^q = \{(p_i, e_j) | p_i \in P^q, e_j \in C^q \cup R^q\}$ – підмножина властивостей концептів та відношень.

Етап 4. Отримання значень властивостей концептів, що відповідають параметрам запиту $pr_i^q = NA$, за рахунок процедур нечіткого виведення за алгоритмом Мамдані.

Етап 5. Збагачення фрагменту онтології (3.1) шляхом побудови транзитивного замикання для усіх концептів $c_i \in C^q$:

$$Tr_i(c_i) = \{c_i = c_i^{(0)}\} \cup \bigcup_{j=1}^L \{C^{(j)} \in C | \exists R_{ISA}(C^{(j-1)}, C^{(j)})\}, \quad (3.2)$$

де $R_{ISA} \in RT$ – таксономічне відношення між концептами; L – максимальна глибина потомків концепту c_i .

Етап 6. Збагачення множини концептів $C^q \cup \bigcup_{i=1}^n Tr_i(c_i)$, $n = |C^q|$, онтології шляхом додавання концептів, що мають нетаксономічні зв'язки з концептами C^q .

Етап 7. Обчислення мір нечіткої атрибутивної близькості для пошуку

відповідних ситуації рішень за критерієм Заде (2.4).

Етап 8. Формування рішення $\langle sol_1, sol_2, \dots, sol_m \rangle$ шляхом виконання відображення (2.8) для отриманого розширеного фрагмента онтології (3.2).

Етап 9. Оновлення значень функцій нечітких відношень гібридної моделі за формулою (2.9).

Етап 10. Адаптація рішення, зберігання його як нового прецеденту.

Результатом виконання міркувань на гібридній моделі є рішення, прийняте на основі аналізу поточної ситуації з урахуванням попереднього досвіду, знань про основні концепти предметної області, відносини між ними та нечітких міркувань.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАНЬ

4.1 Опис системи нечіткого виведення

Для введення нечіткості в модель було розроблено систему правил нечіткого виведення для отримання невідомих параметрів прецедентів та пошуку по онтології.

Розглянемо приклад побудови системи нечіткого виведення для визначення ризику проекту в залежності від його бюджету, строку виконання та складності.

Вхідна змінна Budget (Бюджет) описує фінансові ресурси проекту. Бюджет є одним з ключових показників, що відображує масштаб, складність проекту та потенційні ризики. Шкалу оцінки бюджету проекту визначено від 0 до 1000 тис. у.о.

Функції належності термів лінгвістичної змінної описані в таблиці 4.1. Використання трапецевидних функцій для представлення функцій належності дозволяє врахувати поступовий перехід між рівнями бюджету.

Таблиця 4.1 – Функції належності термів вхідної змінної Budget

Назва терму	Тип функції належності	Параметри, тис. у.о.	Інтерпретація
1	2	3	4
Low	trapmf	[0, 0, 200, 400]	Проекти з невеликим бюджетом, потребують базового планування та контролю, використовує гнучкі технології.
Medium	trapmf	[350, 450, 650, 750]	Проекти з середнім бюджетом, потребують детального планування, управління ризиками, регулярної звітності та налагодження ефективної комунікації.

Кінець таблиці 4.1

1	2	3	4
High	trapmf	[600, 800, 1000, 1000]	Проекти з великим бюджетом, потребують комплексного використання різних методологій, ретельного контролю бюджету та термінів, налагодження ефективної комунікації.

Вхідна змінна **Deadline** (Строк виконання) є критичною характеристикою ІТ-проєкта, тісно пов'язаною з бюджетом. Вона відображує часові рамки виконання проєкту. Діапазон строку виконання може сильно варіюватися, в якості шкали для цієї вхідної змінної обрано тривалість проєкту у місяцях, від 0 до 24.

Функції належності термів лінгвістичної змінної **Deadline** описані в таблиці 4.1. Поступовий перехід між рівнями тривалості проєкту забезпечено за рахунок використання трапецевидних функцій належності.

Таблиця 4.2 – Функції належності термів вхідної змінної **Deadline**

Назва терму	Тип функції належності	Параметри, місяців	Інтерпретація
Short	trapmf	[0, 0, 4, 6]	Короткострокові проєкти, наприклад, невеликі оновлення систем, створення прототипу.
Medium	trapmf	[4, 8, 14, 18]	Середньострокові проєкти, наприклад, розробка систем розповсюдження інформації та комунікації, розробка локальних систем гуманітарного реагування.
Long	trapmf	[16, 20, 24, 24]	Довгострокові проєкти, наприклад, створення системи підтримки прийняття рішень, розробка регіональних та кластерних систем гуманітарного реагування.

Вхідна змінна Complexity (Складність проєкту) є комплексним показником, що оцінює загальний рівень організаційної, технічної та логістичної складності IT-проєкту. Показник узагальнює такі фактори, як кількість функційних та нефункційних вимог, кількість необхідних інтеграцій різних продуктів, новизна технологій, складність архітектури та технічні обмеження проєкту, розмір та кваліфікація команди, кількість стейкхолдерів та наявність конфлікту інтересів, організаційне середовище та зовнішній вплив. Значення Complexity в свою чергу може бути отримано за допомогою нечіткого виведення. Діапазон значень для змінної Complexity нормировано в межах від 0 до 1.

Функції належності термів лінгвістичної змінної Complexity описані в таблиці 4.3. Використання гаусівських функцій належності дозволяє показати м'яке розмиття між категоріями, які є слабо визначеними.

Таблиця 4.3 – Функції належності термів вхідної змінної Complexity

Назва терму	Тип функції належності	Параметри	Інтерпретація
Low	gaussmf	[0,1; 0,2]	Стандартні проєкти: типові задачі, відомі технології, невелика кількість модулів, мінімальна кількість інтеграцій, невелика команда, обмежена кількість стейкхолдерів.
Medium	gaussmf	[0,1; 0,5]	Середня складність: більший обсяг, інтеграція з декількома системами, складніші технології, середня команда, помірні ризики, гібридні підходи до розробки.
High	gaussmf	[0,1; 0,8]	Висока складність: великий обсяг, динамічна зміна вимог, використання нових та/або складних технологій, значна кількість інтеграцій, розподілена команда, високі ризики, багато стейкхолдерів з різними інтересами

На рисунку 4.1 наведено графіки функцій належності термів вхідних

змінних системи нечіткого виведення.

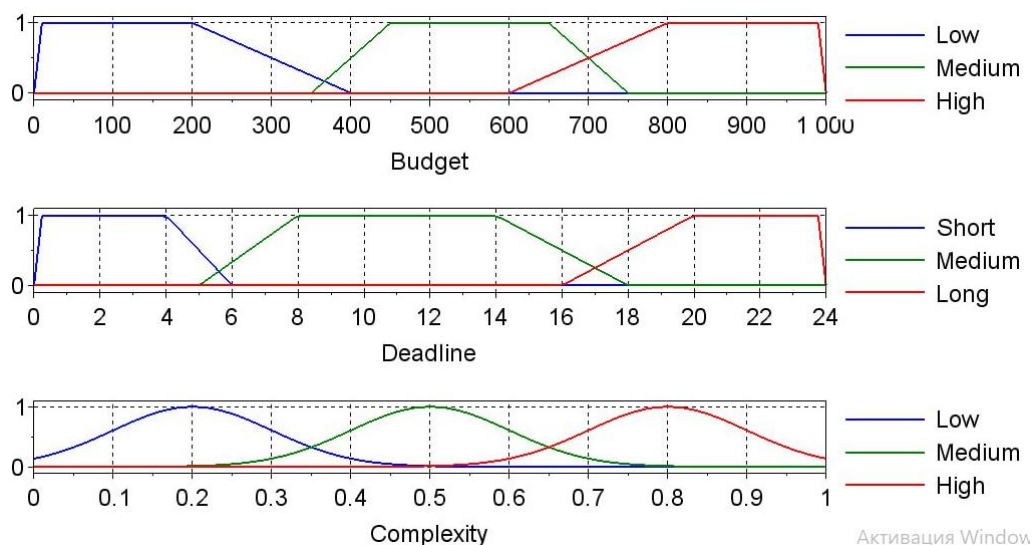


Рисунок 4.1 – Функції належності термів вхідних лінгвістичних змінних

Вихідна лінгвістична змінна Risk (Ризик) оцінює проблеми, які можуть виникнути в ході виконання проєкту, на основі його бюджету, терміну виконання та складності. Шкала вимірювання змінної визначається в відсотках, від 0 до 100. Функції належності термів лінгвістичної змінної Risk описані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Функції належності термів вихідної змінної Risk

Назва терму	Тип функції належності	Параметри, тис. у.е.	Інтерпретація
1	2	3	4
Low	trapmf	[0, 0, 20, 40]	Проєкти з низькою ймовірністю негативних подій, що можуть вплинути на його виконання.
Medium	trapmf	[30, 40, 60, 70]	Проєкти з помірною ймовірністю негативних подій, їх потенційний вплив на проєкт може бути значним, але керованим за умови вжиття відповідних заходів.

Кінець таблиці 4.4

1	2	3	4
High	trapmf	[60, 80, 100, 100]	Проекти з високою ймовірністю негативних подій, які можуть привести до критичних змін бюджету та термінів виконання, або навіть до повної невдачі проєкту.

Графік функцій належності термів вихідної змінної Risk наведено на рисунку 4.2.

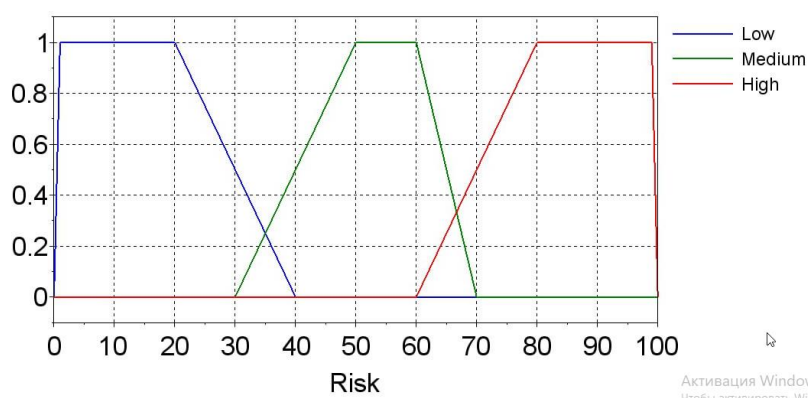


Рисунок 4.2 – Функції належності термів вихідної лінгвістичної змінної

Система нечітких продукційних правил була побудована на основі експертної логіки за наступними принципами:

- при обмеженні бюджету ризик зростає, незважаючи на строк виконання та рівень складності;
- високий бюджет дозволяє знижувати рівень ризику навіть у випадках обмеженого часу виконання проєкту та його високої складності;
- середні значення вхідних змінних призводять до середнього ризику;
- низький бюджет, короткий термін та висока складність призводить до високого ризику.

Розроблені нечіткі продукційні правила представлено на рисунку 4.3.

```

R1: IF {Budget ISN'T Low} AND {Deadline IS Short} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS High} weigh=1.0
R2: IF {Budget IS Low} AND {Deadline IS Short} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS High} weigh=1.0
R3: IF {Budget IS Low} AND {Deadline IS Medium} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS High} weigh=1.0
R4: IF {Budget IS Low} AND {Deadline IS Long} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS Medium} weigh=1.0
R5: IF {Budget IS Medium} AND {Deadline IS Short} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS High} weigh=1.0
R6: IF {Budget IS Medium} AND {Deadline IS Medium} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS Medium} weigh=1.0
R7: IF {Budget IS Medium} AND {Deadline IS Long} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS Low} weigh=1.0
R8: IF {Budget IS High} AND {Deadline IS Short} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS Medium} weigh=1.0
R9: IF {Budget IS High} AND {Deadline IS Medium} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS Low} weigh=1.0
R10: IF {Budget IS High} AND {Deadline IS Long} AND {Complexity IS Low} THEN {Risk IS Low} weigh=1.0
R11: IF {Budget IS Low} AND {Deadline IS Short} AND {Complexity IS High} THEN {Risk IS High} weigh=1.0
R12: IF {Budget IS Medium} AND {Deadline IS Medium} AND {Complexity IS High} THEN {Risk IS High} weigh=1.0
R13: IF {Budget IS High} AND {Deadline IS Long} AND {Complexity IS High} THEN {Risk IS Medium} weigh=1.0
R14: IF {Budget IS Low} AND {Deadline IS Long} AND {Complexity IS High} THEN {Risk IS Medium} weigh=1.0
R15: IF {Budget IS Medium} AND {Deadline IS Short} AND {Complexity IS High} THEN {Risk IS High} weigh=1.0
R16: IF {Budget IS High} AND {Deadline IS Short} AND {Complexity IS High} THEN {Risk IS High} weigh=1.0
R17: IF {Budget IS Medium} AND {Deadline IS Long} AND {Complexity IS High} THEN {Risk IS Medium} weigh=1.0
R18: IF {Budget IS High} AND {Deadline IS Medium} AND {Complexity IS High} THEN {Risk IS Medium} weigh=1.0
R19: IF {Budget IS High} AND {Deadline IS Long} AND {Complexity IS Medium} THEN {Risk IS Medium} weigh=1.0

```

Рисунок 4.3 – Нечіткі продукційні правила системи нечіткого виведення

Для нечіткого виведення використовувалася бібліотека Scikit-Fuzzy мови Python [36]. Для виведення було обрано класичний алгоритм Мамдані. В процесі виведення було встановлено наступні параметри:

- норма диз'юнкції (SNorm): max;
- норма кон'юнкції (TNorm): min;
- імплікація: мінімум;
- агрегація: максимум;
- дефазифікація: метод центроїда.

Поверхні нечіткого виведення приведено на рисунку 4.4.

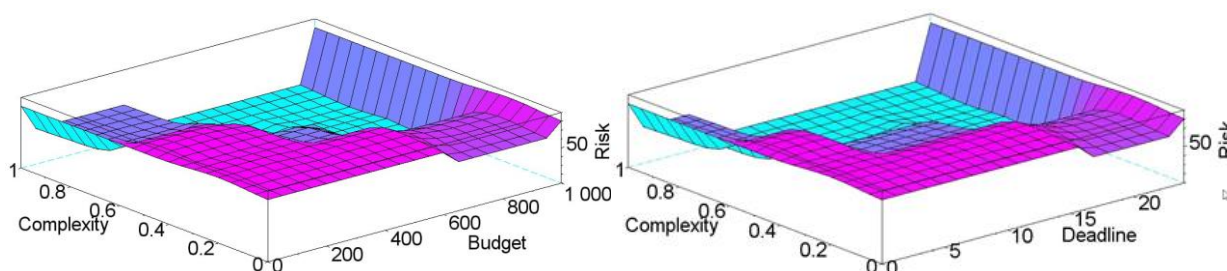


Рисунок 4.4 – Поверхні нечіткого виведення для вихідної змінної Risk

Описана система нечіткого виведення корисна при застосування модифікованого CBR, розширеного розробленою в п. 2.5 гібридною моделлю представлення знань, на ранніх етапах виконання проєкту в умовах неточності та невизначеності, що дозволить подолати суб'єктивність оцінки можливих проблем в ході його виконання.

Слід звернути увагу, що проєкти з бюджетом, вищим за 1000 тис. у.о., та строком виконання понад 24 місяці наведена система нечіткої логіки не описує. Такі обмеження обумовлені специфікою проєктів саме гуманітарного реагування, які потребують швидкої розробки з обмеженим бюджетом. Проєкти, що мають більший строк та бюджет, наприклад, розробка державних систем гуманітарного реагування ІТ-структур та глобальні трансформаційні програми щодо міжнародних систем, потребують більш глибоких та тривалих експертних досліджень для побудови системи нечіткого виведення.

4.2 Опис проведеного експерименту

Для проведення експерименту на основі аналізу минулого досвіду виконання ІТ-проєктів було сформовано 40 прецедентів, що містили опис ситуації, яка сталася в минулому, та прийняте рішення. Структура та приклади прецедентів, пов'язаних з оцінкою ризиків та зменшенням їх впливу на характеристики проєкту, наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Структура та приклади розроблених прецедентів

Параметр	Інтерпретація	Case 1	Case 2	Case 3
1	2	3	4	5
Параметри прецеденту				
Use case identifier	Унікальний номер	Risk-001	Risk-002	Risk-003

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5
Project type	Тип проєкту	Розробка веб-платформи пошуку житла для переміщених осіб	Розробка високонавантаженого мобільного додатку реєстрації пошкодженого майна	Розгортання системи координації допомоги в таборі для переміщених осіб
Budget	Оцінка бюджету	600 тис у.о.	550 тис. у.о.	400 тис. у.о.
Deadline	Термін виконання	12 місяців	8 місяців	6 місяців
Complexity	Оцінка складності проєкту	Середня	Середня	Середня
Project underlying technologies	Технології, що використовуються	React/Node.js	PostgreSQL	Веб-система
Risk phase	Фаза, на якій виник ризик	Фаза розробки функціоналу	Фаза тестування продуктивності	Фаза розгортання
Risk context	Обставини, за яких виник ризик	Постійні запити від замовника на надання нових можливостей	Низька швидкість виконання запитів до БД при високому навантаженні	Відсутність стабільного електропостачання та обмежена доступність інтернет-з'єднання
Identified risk	Детальний опис ризику	Неконтрольоване розширення обсягу проєкту через постійні зміни вимог	Невідповідність системи вимогам продуктивності через неефективну роботу з БД	Неможливість повноцінного функціонування системи через інфраструктурні обмеження

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5
Risk Probability	Оцінка ймовірності виникнення ризику	Високий	Високий	Високий
Risk impact	Оцінка потенційного впливу ризику на цілі проекту	Значний вплив на терміни та бюджет	Критичний вплив на якість продукту та задоволеність користувачів	Значний вплив на швидкість та ефективність координації допомоги
Рішення, що містить прецедент				
Response/ Mitigation Strategies	Заходи для управління ризиком	<ul style="list-style-type: none"> – нові вимоги оцінюються з точки зору впливу на обсяг, терміни та бюджет; – повторні зустрічі з замовниками для чіткого визначення пріоритетів; – фіксовані стринти з чітким обсягом робіт. 	<ul style="list-style-type: none"> – профілювання БД для виявлення вузьких місць; – оптимізація найбільш повільних запитів та додання необхідних індексів; – рефакторинг коду для зменшення кількості звернень до БД; – розглянуто можливість горизонтального масштабування БД 	<ul style="list-style-type: none"> – автономні джерела живлення (генератори, сонячні батареї); – супутникові термінали Starlink; – розроблено спрощену версію системи з мінімальними вимогами до пропускної здатності; – для зменшення залежності від центрального сервера налаштовано локальні сервери.

Кінець таблиці 4.5

1	2	3	4	5
Response	Результат зостосування рішення	Обсяг проєкту стабілізовано, перевищення термінів знижено до 15 % у порівнянні з прогнозованими 40 %, бюджет перевищено на 10 %.	Продуктивність БД підвищено на 40 %, вимоги до продуктивності виконано.	Певні обмеження в функціонуванні системи, але критично важливі функції забезпечуються.

На початку есперименту база прецедентів містила десять прецедентів. Параметри кожного наступного прецеденту розглядалися як поточна ситуація. Знайдене за допомогою різних методів нове рішення порівнювалось з тим рішенням, що містилось у прецеденті, і оцінювалась його якість.

Дослідження проводилося з використанням трьох модифікацій методу міркувань на прецедентах:

- CBR з використанням для оцінки к-середніх [7];
- CBR, розширений онтологічною моделлю [4];
- CBR на основі гібридної моделі, що поєднує онтологію з нечітким висновком (див. п. 2.6).

Експеримент проводився в два етапи. На першому етапі поточна ситуація представлялася як повна, з усіма відомими параметрами. Залежність якості класифікації від кількості прецедентів в базі в умовах визначеності усіх параметрів опису ситуації представлено на рисунку 4.5.

На другому етапі експерименту випадково обиралися один або два параметри прецеденту, які вважалися невизначеними, та відбувався пошук відповідного рішення. Залежність якості класифікації від кількості прецедентів в базі в умовах невизначеності деяких параметрів опису ситуації представлено на рисунку 4.6.

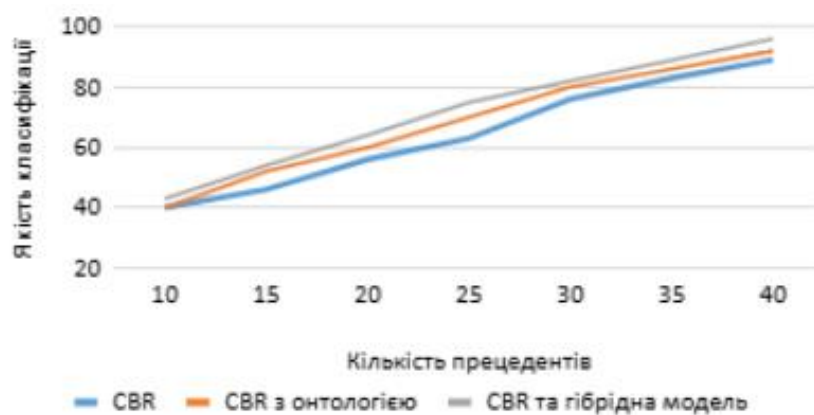


Рисунок 4.5 – Якість класифікації прецедентів в умовах визначеності параметрів

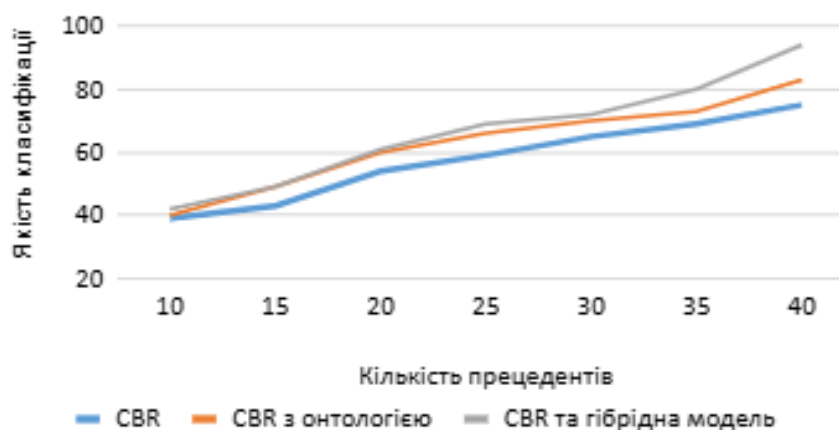


Рисунок 4.6 – Якість класифікації прецедентів в умовах невизначеності параметрів

4.3 Аналіз результатів експерименту та перспективи подальших досліджень

Як бачимо з рисунку 4.5, при класифікації в умовах визначеності кожна наступна модифікація CBR-методу збільшує ефективність класифікації в середньому на 3 %. При заповненні бази в 40 прецедентів якість класифікації класичним CBR становить 89 %, з пошуком по онтології – 92 %, з

використанням гібридної моделі – 96 %.

В умовах невизначеності (рисунок 4.6) якість класифікації класичним CBR знижується до 79 %, з пошуком по онтології – 85 %, з використанням гібридної моделі – 94 %.

Тобто використання гібридної моделі підвищує ефективність пошуку на 6 % в умовах визначеності та на 15 % – в умовах невизначеності у порівнянні з класичним CBR. Додавання нечіткості в онтологічну модель у поєднанні з пошуком на прецедентах дозволяє підвищити якість інформації для прийняття рішень як в умовах повної інформації про ситуацію, так і в умовах неповної або суперечливої інформації.

Подальші дослідження моделей та методів представлення знань планується проводити в наступних напрямках:

- автоматизація заповнення бази прецедентів;
- розробка процедур автоматизованого доповнення онтологій шляхом концептуального, аксіоматичного та реляційного збагачення [4];
- дослідження мір подоби для чітких та нечітких міркувань на онтологіях;
- дослідження та розвиток міри оцінки невизначеності нечітких елементів онтології (2.9).

Розроблена гібридна модель була досліджена для ІТ-проектів, які мають бюджет до 1 млн. у.о. та термін виконання до 24 місяців. Проекти, що мають більший (або агресивний) термін та бюджет, охоплюють загальнодержавні та/або міжнародні ІС гуманітарної допомоги, відрізняються підвищеним рівнем невизначеності та ризиків. В таких умовах проблемою стає не тільки сама невизначеність, але також і її оцінка, тобто побудова функцій належності для термів лінгвістичних змінних. В такому випадку нечіткі онтології недостатні для опису концептів предметної області. Виходом може стати використання нечітких онтологій 2-го типу (type-2 fuzzy ontology) [37], які дозволяють призначати кожному елементу нечіткої множини нечіткий ступінь належності (іншу нечітку множину).

Тобто type-2 fuzzy ontology формально представляє знання таким чином, що концепти, властивості, відношення та екземпляри онтології можуть мати ступені належності, які самі є нечіткими множинами, що дозволить краще відобразити складність, динамічність та багатокрітеріальність управління складними ІТ-проектами. Але цей напрямок розвитку представлення знань є недостатньо дослідженим, відсутні ефективні програмні рішення для роботи з такими онтологіями. Розробка таких онтологій є значно складнішим процесом, ніж нечітких онтологій 1-го типу, а процеси фазифікації, нечіткого виведення та дефазифікації потребують великих обчислювальних витрат, що може суттєво вплинути на продуктивність системи, особливо для великих онтологій.

Незважаючи на недоліки, type-2 fuzzy ontology в перспективі можуть стати ефективним рішенням для представлення знань в надвеликих ІТ-проектах державного або міжнародного рівня.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи виявлено такі особливості ІТ-проектів ІС гуманітарного реагування, як специфічність майже всіх етапів розробки, висока невизначеність в процесі прийняття рішень, обмежений час та бюджет, потреба в швидкому впровадженні та динамічність та суперечливість вимог до системи. Підвищити якість виконання проектів подібного типу можна за рахунок створення бази знань, в основі якій лежить гнучка модель предметної області, що накопичує попередній досвід прийняття рішень.

В результаті аналізу існуючих моделей представлення знань для управління ІТ-проектами було обрано поєднання прецедентного представлення з використанням методу CBR та нечіткої онтології. В якості рішення запропоновано гібридну модель представлення знань, що складається з бази прецедентів, онтології з нечіткими елементами та нечітких продукційних правил. Міркування на гібридній моделі містить пошук найбільш подібного запиту прецеденту і розширення його рішення за допомогою нечіткої онтології та процедур нечіткого виведення.

Гібридна модель реалізована у вигляді інформаційної технології підтримки прийняття рішень, визначено джерела даних для створення бази знань, особливості завантаження та інтеграції даних. Розроблено елементи онтології ІТ-проектів та процесів гуманітарного реагування, реалізовано елементи системи нечіткого виведення.

Для експериментального дослідження було сформовано 40 прецедентів з попереднього досвіду управління проектами. Експеримент підтвердив, що гібридна модель підвищує ефективність міркувань на прецедентах в умовах невизначеності на 15 % у порівнянні з традиційним CBR-методом.

Запропоновані гібридна модель та метод міркувань можуть бути використані як елементи СППР управління ІТ-проектами ІС гуманітарного

реагування. Обмеженнями моделі є застосування в малих, середніх та великих проєктах (регіональних та/або кластерних), надвеликі проєкти державного та міжнародного масштабу потребують додаткових досліджень з оцінки рівня невизначеності їх параметрів.

Результати кваліфікаційної роботи було опубліковано у вигляді двох наукових статей [7, 12] у журналі «АСУ та прилади автоматики», що входить до переліку ВАК наукових видань України категорії Б. Запропонована гібридна модель представлення знань обговорювалась на 9-th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems, яка проходила 15-16 травня 2025 року на базі НТУ ХПІ. Тези доповіді «Fuzzy ontological model of knowledge representation for the humanitarian response», що доповідалися на конференції, плануються до публікації у збірнику конференції, який буде проіндексовано у міжнародній наукометричній базі SCOPUS. Також окремі положення було апробовано на міжнародних та вітчизняних конференціях різного рівня з публікацією тез доповідей [2, 8, 29-31].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ukraine : Summary of the Humanitarian Needs and Response Plan and the Regional Refugee Response Plan (January 2025). New York, 2025. URL: https://www.unocha.org/attachments/d40fd8bc-821a-44b2-a45d-a29713c66bd0/UKR_OCHA_UNHCR_joint_summary_2025_v7.pdf (дата звернення: 02.03.2025).
2. Ostapenko O. A decision support system for humanitarian response // Science of XXI century: development, main theories and achievements: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference, January 26, 2024. Helsinki, Republic of Finland: International Center of Scientific Research. P. 231-233.
3. Сучасні інформаційні технології та системи : монографія / Н. Г. Аксак, Л. Е. Гризун, О. В. Щербаков та ін. ; за заг. ред. д-ра екон. наук, професора В. С. Пономаренка. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. 271 с.
4. Chala O. Ontologically supported case-based reasoning for decision making in humanitarian response processes / O. Chala, T. Bilova, V. Dyomina, I. Pobizhenko, T. Domina // Proceedings of the Modern Data Science Technologies Workshop (MoDaST-2024). Lviv, Ukraine, May 31 - June 1, 2024. Pp. 365-382.
5. Невмержицький О. В. Аналіз сучасних моделей, орієнтованих на знання, та методів прийняття рішень // Управління розвитком складних систем, № 13, 2013. С. 119-125.
6. Білова Т. Г., Дьоміна В. М., Мар'їн С. О., Побіженко І. О. Використання нечіткої логіки для представлення знань темпоральними прецедентами в умовах невизначеності. Системи обробки інформації, № 1(172), 2023. С. 7-12.
7. Білова Т. Г., Дьоміна В.М., Побіженко І.А., Остапенко О.О. Метод міркувань на прецедентах для підтримки прийняття рішень в гуманітарному реагуванні. АСУ та прилади автоматики, № 180, 2024. С. 36–44.

8. Ostapenko O. Comparative analysis of modifications to the case-based reasoning method // Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference. Madrid, Spain. 2023. Pp. 271-274. URL: <https://isg-konf.com/distance-education-as-the-main-problem-of-young-people/> (дата звернення: 29.03.2025).

9. Dyomina V., Bilova T., Pobizhenko I., Chala O., Domina T. Representation of Knowledge by Temporal Cases in Humanitarian Response // Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Volume III: Intelligent Systems Workshop. Kharkiv, Ukraine, April 20-21, 2023. Pp. 126-136. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper10.pdf> (last accessed 29.03.2025).

10. Rawia A., Abu M.-N., L Qadri L., Waidah I. A review clinical decision support system using ontology // International Journal of Advanced Science and Technology, volume 29.6, Special Issue, 2020. Pp. 1530 – 1541.

11. Morente-Molinera J. A., Cabrerizo F.J., Trillo, I.J. Pérez J. R., Herrera-Viedma E. Managing Group Decision Making criteria values using Fuzzy Ontologies // Procedia Computer Science of 8th International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM 2020 and 2021, Chengdu 2021. Pp. 166–173. doi:10.1016/j.procs.2022.01.021.

12. Білова Т. Г., Побіженко І.А., Остапенко О.О. Гібридна модель представлення знань для ІТ-проєкту системи гуманітарного реагування. АСУ та прилади автоматики. 2025. № 184. С. 82-90.

13. Yu F. A Scenario-Driven Fault-Control Decision Support Model for Disaster Preparedness Using Case-Based Reasoning / F. Yu, B. Fan, C. Qin, C. Yao // Natural Hazards Review, Volume 24, 2023. DOI: 10.1061/NHREFO.NHENG-1722.

14. Rawia A., Abu M.-N., L Qadri L., Waidah I. A review clinical decision support system using ontology // International Journal of Advanced Science and Technology, volume 29.6, Special Issue, 2020. Pp. 1530 – 1541.

15. Becker P., Papa M.F., Olsina L. Exploratory study on the syntactic and semantic consistency of terms in project management glossaries to provide

recommendations for a project management ontology // *Science of Computer Programming*, № 235, 2024. DOI:10.1016/j.scico.2024.103094.

16. Прокопенко Т., Ланських Є., Прокопенко В., Підкуйко О., Тарасенко Я. Розробка онтологічної моделі ситуаційного управління проєктами на основі Scrum в ризикових умовах. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 126. DOI:10.15587/1729-4061.2023.292526.

17. Чайковська І. Дослідження впливу системи управління знаннями проєктної діяльності підприємства на успішну реалізацію проєктів із використанням нечіткої логіки. *Innovation and Sustainability*. 2022. № 2. С. 84-99. DOI: 10.31649/ins.2022.2.84.99.

18. Матвієнко О., Закутній С. Нечітка логіка в задачах визначення економічних параметрів виконання проєктів. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1(27). С. 96-108. DOI: org/10.30837/ITSSI.2024.27.096.

19. Mazluma M., Günericpm A.F. PERT and Project Management With Fuzzy Logic Technique an implementation on a business. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2015. № 210. P. 348–357. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.11.378.

20. Dudnyk O., Sokolovska Z. Application of Fuzzy Expert Systems in IT Project Management. *Project Management - New Trends and Applications*. IntechOpen. 2023. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102439>.

21. Kalibatienė D., Miliauskaitė J., Slotkienė A. Ontology and Fuzzy Theory Application in Information Systems: A Bibliometric Analysis. *Informatica*. 2024. Vol. 35, no. 3. P. 557-576. URL: <https://doi.org/10.15388/24-INFOR557>

22. Васильків Н., Дубчак Л., Турченко, І., Мінчук В. Визначення пріоритетності завдань ІТ-проєкту на основі нечіткої логіки. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 2024. № 335 (1). С. 41-46. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-6>.

23. Morente-Molinera J. A., Cabrerizo F.J., Trillo, I.J. Pérez J. R., Herrera-Viedma E. Managing Group Decision Making criteria values using Fuzzy Ontologies // *Procedia Computer Science of 8th International Conference on*

Information Technology and Quantitative Management, ITQM 2020 and 2021, Chengdu 2021. Pp. 166–173. doi:10.1016/j.procs.2022.01.021.

24. Asana : вебсайт. URL: <https://asana.com> (дата звернення: 10.05.2025).

25. Forecas. URL: <https://webcatalog.io/uk/apps/forecast> (дата звернення: 10.05.2025).

26. Monday.com : вебсайт. URL: <https://monday.com> (дата звернення: 10.05.2025).

27. ProjectLibre AI : вебсайт. <https://www.projectlibre.com/projectlibre-ai/> (дата звернення: 10.05.2025).

28. Aamodt A., Plaza E., Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches, AI Communications. IOS Press, 7.1, 1994, Pp. 39-59. DOI: 10.3233/AIC-1994-7104

29. Білова Т. Г., Остапенко О.О. Використання модифікованого методу прецедентів для прийняття рішень в гуманітарному реагуванні. XII наукова конференція «Наукові підсумки 2023 року». Збірка наукових тез. Харків, Х.: Технологічний центр, 2023. С. 74.

30. Bilova T., Ostapenko O. Using ontologies in the case-based reasoning method // Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference "New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions" December 16-18, 2024 Marseille, France. 2024. Pp. 221-223.

31. Bilova T., Ostapenko O. Measures for assessing the proximity of ontological cases in the case-based reasoning method // Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Innovative Solutions in Science: Balancing Theory and Practice» (December 23-25, 2024. San Francisco, USA). European Open Science Space, 2024. Pp. 110-112.

32. Yu F. Ontology-based knowledge management framework: Toward CBR-supported risk response to hydrological cascading disasters / F. Yu, Y. Guo // Handbook of Hydroinformatics. 2022. Volume III: Water Data Management Best Practices. – Pp. 291 - 298. DOI: 10.1016/B978-0-12-821962-1.00016-7.

33. Zadeh I. Fuzzy Logic, Neural Networks and Soft Computing. Communication on the ACM, 1994. 37(3). Pp. 77–84.

34. Protégé : A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems. URL: <https://protege.stanford.edu> (дата звернення: 10.05.2025).

35. Fuzzy Ontology Representation using OWL 2. URL: <https://www.umbertostraccia.it/cs/software/FuzzyOWL/> (дата звернення: 10.05.2025).

36. Scikit-fuzzy 0.5.0. Anaconda.org : вебсайт. URL: <https://anaconda.org/conda-forge/scikit-fuzzy> (дата звернення: 10.05.2025).

37. Ghorbani A., Davoodi F., Zamanifar K. Using type-2 fuzzy ontology to improve semantic interoperability for healthcare and diagnosis of depression. Artificial Intelligence in Medicine, 135. 2023. DOI:10.1016/j.artmed.2022.102452.