

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний університет «Львівська політехніка»

ЛИТВИН ВАСИЛЬ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 519.7:004.89

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОБУДОВИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ
АДАПТИВНИХ ОНТОЛОГІЙ**

Спеціальність 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення
обчислювальних машин і систем

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»,
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Львів

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор, лауреат
Державної премії України в галузі науки і техніки
Пасічник Володимир Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри інформаційних систем та мереж

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Романишин Юрій Михайлович
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри електронних засобів інформаційно-
комп'ютерних технологій

доктор технічних наук, професор
Бідюк Петро Іванович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», професор кафедри
математичних методів системного аналізу

доктор технічних наук, професор
Філатов Валентин Олександрович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри штучного інтелекту

Захист відбудеться 8 червня 2012р. о 13.00 год. на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка»
(79013, м. Львів-13, вул. С.Бандери, 12)

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету
«Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий « 3 » травня 2012 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., професор

Р.А. Бунь

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Наукові дослідження в області розроблення і запровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень полягають у створенні математичних моделей, методів та засобів побудови автоматизованих інформаційних систем, які орієнтовані на ті сфери діяльності людини, що вимагають логічного міркування, певної майстерності та досвіду, тобто базуються на знаннях. На думку фахівців з розроблення інформаційних програмних комплексів, клас прикладних задач, для розв'язування яких необхідні такі системи, є наймасовішим. До них належать задачі прийняття рішення у таких предметних областях, як діагностування захворювань та технічних неполадок; планування та моніторинг діяльності; прогнозування та класифікація явищ; опрацювання природномовних текстів (квасиреферування, квазіанотування) тощо.

Основною компонентою інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень є база знань, що формується відповідно до предметної області на яку зорієнтоване функціонування цієї системи. Традиційні методи інженерії знань (отримання знань від експерта, інтелектуальний аналіз даних, машинне навчання тощо) не ґрунтуються на системі вивірених та загальноприйнятих стандартів, тому побудовані на їхній основі бази знань з часом втрачають свою функціональність через низьку ефективність їх функціонування. Як стандарт інженерії знань використовують онтологічний інжиніринг, у результаті застосування якого отримують онтологію бази знань. Онтологія – це детальна формалізація деякої області знань подана за допомогою концептуальної схеми. Така схема складається з ієрархічної структури понять, зв'язків між ними, теорем та обмежень, які є прийнятні у певній предметній області.

Використання онтологій у складі баз знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень допомагає вирішити низку проблем методологічного та технологічного характеру, які виникають під час розроблення таких систем. Зокрема для України характерні проблеми полягають у відсутності концептуальної цілісності й узгодженості окремих прийомів та методів інженерії знань; нестачі кваліфікованих фахівців у цій галузі; жорсткості розроблених програмних засобів та їх низькій адаптивній здатності; складності впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що зумовлено психологічними аспектами. Все це свідчить та підтверджує актуальність проблематики досліджень використання онтологій у процесі побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Наукові дослідження в напрямі використання онтологій під час розроблення та функціонування інформаційних систем, зокрема інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, почалися в кінці минулого століття та інтенсивно розвиваються. Основні теоретичні засади формальних математичних моделей онтологій розроблено у роботах Т.Грубера, Дж.Солтона, А.Гомес-Переса, які запропонували онтологію розглядати як тривимірний кортеж; у працях Н.Гуаріно, П. Фолтса, М.Шамбарда наведено методики побудови онтологій та їх можливі шляхи розвитку; проблему автоматизованої побудови онтологій висвітлено у роботах Д.Челюска, М.Варгас-Вера, Т.Ватсона, П.Льюїса, К.Блашке; Дж.Сова ввів поняття концептуального графа, а М.Монтес-Гомес використав його для подання онтологій; використання онтологій під час функціонування прикладних інформаційних систем описано в роботах Р.Кнаппе, К.Джонса, Е.Кауфмана, Е.Мена, М.Бориса, А.Каллі, І.П.Норенкова, М.Ю.Уварова, Ю.В.Рогущина; проблему побудови інтелектуальних систем на основі онтологій розглянуто у роботах Т. Андреасена, Т.Бернерса-Лі, Д.Хендлера, О.Лазсіла, О.В.Палагіна, А.В.Анісімова, А.Я.Гладуна, зокрема опрацювання української природної мови; використання онтологій у структурі та під час функціонування інформаційних систем проаналізовано у роботах Джос де Брюїна, Д.Фенсела, С.Штаба, Р.Студера, Л.Холінка, М.Кокара, В.Лопеса, П.І.Андона, Л.А.Святогора, О.Г.Дубинського, І.Є.Кураленко, Т.А.Гаврилової, А.С.Клещева, І.Л.Артем'євої; проблему опрацювання природномовних текстів для автоматизованої побудови онтологій досліджено у роботах С.Баррі, Р.Кахліна, Л.В.Найханової, Д.П.Ночевнова, І.В.Совпела, О.І.Боровікової, Ю.А.Загорулько. Аналізуючи роботи загалом, можна зробити висновок, що наукові дослідження в галузі розроблення та використання онтологій під час побудови прикладних інформаційних систем активно розвиваються. Ці факти свідчать про актуальність проблематики побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій як предмету наукових досліджень.

Аналіз основних підходів, методів та засобів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень і напрямів досліджень використання онтологій показує, що у складі таких систем використовуються не всі можливості онтологій, особливо під час моделювання функціональності таких систем, хоча переваги використання онтологій порівняно з іншими методами побудови баз знань очевидні, оскільки саме онтології відображають об'єктивні знання та слугують стандартом інженерії знань. Зокрема, не вирішеними є такі завдання: моделювання процесів прийняття рішень та виведення нових знань на основі онтологій; критерії наповнення онтологій; оцінка новизни знань онтологій тощо.

Підсумовуючи вище наведене, базове наукове протиріччя полягає у невідповідності, з одного боку, традиційних та загальноприйнятих методів побудови баз знань, які не базуються на стандартах інженерії знань, та необхідністю такого стандарту, з іншого боку. Основою верифікованих, повних, несуперечливих, цілісних інформаційних моделей предметних областей, поданих у формі баз знань, повинні бути об'єктивні знання (енциклопедії, підручники, монографії тощо) подані у вигляді онтології. Це протиріччя обумовлює проблему розроблення та запровадження уніфікованих методів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологічного підходу з метою підвищення ефективності як баз знань, так і процесів функціонування таких систем. У дисертаційній роботі подано вирішення цієї проблеми у вигляді теоретично обґрунтованих моделей функціонування та методів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій, суть яких полягає в адаптації баз знань цих систем до специфіки задач відповідної предметної області, а також методів автоматизованої розбудови та оптимізації онтологій, критеріями для яких служать стандарти якості інформаційних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в межах наукового напрямку «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства» визначеного пріоритетним у переліку актуальних проблем Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України, концепції програми інформатизації НАН України, визначеної пріоритетним напрямом, згідно розпорядження № 146 від 27.02.2004 р. та за тематикою наукових досліджень кафедри інформаційних систем і мереж Національного університету «Львівська політехніка», зокрема за темою: ДБ/Бізнес «Моделі та методи побудови інтелектуальних систем бізнес-аналітики на основі інтегрованих інформаційних ресурсів», номер державного реєстру 0110U001102 (автор розробив методологію побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій, що дало змогу підвищити ефективність функціонування інтелектуальних систем бізнес-аналітики).

Окрім того, у роботі використано результати, які отримав автор під час виконання науково-дослідних робіт у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України, а саме: пошукова тема «Розробка інтелектуальної системи автоматизації інформаційного пошуку в мережі Інтернет та в локальних корпоративних базах даних із засобами машинного навчання» (2004), номер державного реєстру 0102U002684 (автор розробив методіку побудови віртуального робочого місця для наукових досліджень, що ґрунтується на застосуванні структури web-порталу, під'єднанні до корпоративних баз даних інституту та використанні технологій інтелектуальних пошукових систем); науково-дослідна робота «Розробка методичних рекомендацій для здійснення автоматизованого документообігу та інформаційного пошуку в мережі Інтернет» (2005), номер державного реєстру 0105U004326 (автор розробив метод оцінювання інформаційної ваги компонентів бази знань на основі семантичних взаємозв'язків між ними; запропоновано новий метод оцінювання подібності текстових документів на основі порівняння їх концептуальних графів, доповнених контекстом з бази знань); пошукова тема «Проектування та реалізація засобів інформаційної безпеки інтранет-порталу та системи автоматизованого документообігу Фізико-механічного інституту» (2006), номер державного реєстру 0106U004815 (автор побудував модель функціонування інтелектуальної інформаційної пошукової системи, яка передбачає динамічну перебудову онтології заданої предметної області та структурну реорганізацію відповідної бази знань, що дає змогу компактно зберігати необхідні знання та розширити сферу використання інтелектуальних пошукових систем а також здійснювати перманентний пошук потрібної інформації); пошукова тема «Розробка методів та засобів визначення інформаційних потреб користувачів пошукового сервера на основі індуктивного виведення» (2007), номер державного реєстру 0107U004062 (автор розробив методи та алгоритми визначення інформаційних потреб користувачів пошукового сервера на основі індуктивного виведення); науково-дослідна робота «Розроблення програмних засобів автоматизованої системи збору та аналізу даних про фізико-механічні властивості матеріалів» (2008–2010), номер державного реєстру 0108U004274 (автор спроектував та розробив структуру сховища даних у галузі фізико-хімічної механіки матеріалів, що зазнають експлуатаційної деградації під дією механічних навантажень у робочих середовищах у вигляді онтології предметної області).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розвиток методів та засобів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, ядром баз знань яких є онтології, та підвищення ефективності функціонування таких систем завдяки адаптації онтологій до специфіки задач предметної області. Метою дисертаційної роботи визначено необхідність виконання таких завдань:

- аналіз специфіки та методів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, шляхом їх класифікації за принципом та простором функціонування, що дасть змогу виділити типи таких систем в залежності від математичного забезпечення їх функціонування;
- розвиток формальної моделі онтології з уведенням додаткових елементів, що дасть змогу використовувати її під час побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень;

- розроблення математичних моделей та методів функціонування різних типів інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, ядром баз знань яких є онтології, для дослідження ефективності таких систем;
- розроблення методів та алгоритмів адаптування онтології до специфіки задач предметної області з метою підвищення ефективності функціонування інтелектуальних систем в межах цієї предметної області;
- розроблення методу автоматизованої розбудови онтологій для скорочення термінів побудови онтологій;
- визначення характеристик якості інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та критеріїв оптимізації онтологій у складі їх баз знань для підвищення показників ефективності функціонування таких систем;
- розроблення єдиного уніфікованого підходу до побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій, що дасть змогу визначити послідовність етапів та їх взаємозв'язок під час проектування таких систем;
- апробація отриманих результатів шляхом розроблення та впровадження прикладних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Об'єктом дослідження є процеси побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Предметом дослідження є методи та засоби побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі онтологічного підходу.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано: теорію множин, теорію графів та методи подання знань для моделювання структури онтології та розроблення процедур її автоматизованої розбудови; теорію формальних систем та функціонального аналізу для побудови моделей функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; методи дискретної оптимізації – для оптимізації змісту та структури онтології; методи системного аналізу, методи об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування – для розроблення прикладних інтелектуальних систем; теорію реляційних баз даних, методи штучного інтелекту, об'єктно-орієнтоване програмування – для програмної реалізації розроблених моделей, методів та алгоритмів функціонування прикладних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає у науковому обґрунтуванні та вирішенні проблеми підвищення ефективності інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень шляхом використання онтологій у цих системах, їх адаптації до специфіки задач предметної області. Отримано такі нові наукові результати:

вперше

- побудовано модель адаптивної онтології як розвиток класичної моделі онтології з уведенням скалярних величин оцінювання важливості понять та відношень онтології, яка, на відміну від прийнятих підходів, дає змогу будувати метрику на базі онтологій, що своєю чергою дало змогу розробити математичне забезпечення функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, ядром баз знань яких є онтології;

- побудовано метрики на основі адаптивної онтології для чотирьох типів інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень залежно від постановки задачі, яку ці системи розв'язують, що, на відміну від інших підходів, дає змогу формалізувати процес функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, ядром бази знань яких є онтології, на основі розроблення відповідного математичного забезпечення;
- розроблено узагальнений підхід до побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі адаптивних онтологій, що дало змогу визначити послідовність етапів розроблення таких систем, їх взаємозв'язок, структурні компоненти та функціональні модулі таких систем;

одержали подальший розвиток

- класифікація інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень за типами задач, які вони розв'язують, з погляду розроблення математичного забезпечення їх функціонування на основі адаптивної онтології, що дало можливість формалізувати процес функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, ядром баз знань яких є онтології;
- метод задання ваг важливостей понять та відношень онтології для семантичних та ознакових задач, що дало змогу адаптувати онтологію до задач, які розв'язує інтелектуальна система підтримки прийняття рішень;
- задачі оптимізації онтологій, окремі з яких зведено до відомих оптимізаційних задач, методи розв'язування яких існують; інші розв'язано чисельними методами, що дало змогу адаптувати структуру та зміст онтології до специфіки предметної області та покращити характеристики якості інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень;
- **удосконалено** шаблони процедур для визначення різних груп відношень, що дало змогу автоматизувати процес розбудови онтологій на основі опрацювання природномовних наукових текстів.

Наукове значення результатів, отриманих у дисертаційній роботі, полягає у розробленні нової методики побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологічного підходу. Автор застосував принципово відмінне поняття адаптивної онтології, яке ґрунтується на введенні ваг важливості понять та відношень у структуру онтологій. Це дало змогу за рахунок налаштування цих ваг адаптувати базу знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень до задач, які вона розв'язує та побудувати математичне та програмне забезпечення функціонування таких систем. Розроблені методи та засоби дали можливість будувати ефективні інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, що ґрунтуються на об'єктивних знаннях, які містяться у енциклопедіях, підручниках, монографіях тощо.

Практичне значення одержаних результатів. Практичну цінність отриманих наукових результатів дисертаційної роботи підтверджує те, що завдяки використанню адаптивних онтологій підвищується ефективність інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Зокрема, практично цінними є такі результати:

- врахування в моделі адаптивної онтології ваг важливості понять та відношень дало змогу налаштувати базу знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень до специфіки предметної області та підвищити ефективність розв'язування задач, які у ній виникають;
- розроблено метод та процедури задання ваг важливості понять та відношень на всю онтологію, завдяки чому адаптовано базу знань до задач, які розв'язує інтелектуальна система підтримки прийняття рішень, оптимізовано зміст та структуру онтологій;
- застосування процедур автоматизованої розбудови та оптимізації онтологій забезпечує кероване (на підставі критеріїв цілісності, швидкодії та повноти) автоматизоване генерування онтологій за допомогою природномовних текстів, що суттєво розширює сферу використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, оскільки дає змогу зменшити часові та фінансові затрати на їх реалізацію;
- розроблено узагальнений підхід до побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, ядром баз знань яких є адаптивні онтології, що дало змогу визначити етапи та послідовність практичних кроків реалізації таких систем;
- встановлено характеристики якості інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, ядром баз знань яких є онтології, на основі стандарту ISO 9126, що дало можливість на спільній методологічній базі дослідити ефективність процесів функціонування таких систем.

Результати дисертаційної роботи, зокрема: використання онтологій під час функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; налаштування ваг важливості понять та відношень онтологій; адаптація онтологій до задач, які розв'язує інтелектуальна система підтримки прийняття рішень – використано у низці проектів інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, побудованих на засадах онтологічного інжинірингу. Їх упроваджено під час розроблення інформаційно-аналітичної системи «Тур» збору та опрацювання інформації у сфері туризму для Чернівецької обласної державної адміністрації (м. Чернівці), віртуального автоматизованого робочого місця наукового працівника у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України (м. Львів), інформаційно-аналітичної системи діагностування ревматологічних захворювань для Львівського національного медичного університету ім. Д.Галицького (5-та міська клінічна поліклініка) (м. Львів), інформаційно-аналітичної системи визначення груп банківських ризиків у Львівському інституті банківської справи Університету банківської справи Національного банку України (м. Львів), системи онтологічного опрацювання даних для ТзОВ «Константа-Код» (м. Львів) та ПП «Екостатус-Хуст» (м. Хуст), а також під час виконання науково-дослідних робіт за держбюджетною тематикою у Національному університеті «Львівська політехніка», що підтверджено відповідними актами впровадження.

За результатами досліджень розроблено методичне забезпечення, яке використовують у навчальному процесі в Національному університеті «Львівська політехніка» під час викладання дисциплін бакалаврського та магістерського рівнів, зокрема у курсах «Інтелектуальні системи», «Технології менеджменту знань», «Програмні засоби штучного інтелекту», «Методи та засоби інженерії даних та знань». Окремі результати дисертаційної роботи використано у підручнику та трьох навчальних посібниках з грифом Міністерства освіти та науки України.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, подані у дисертації, одержані здобувачем особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: [2] – розроблено функціональні моделі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що базуються на онтологіях; [3] – описано інформаційні технології на основі онтологій та засоби побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; [4] – розроблено метод визначення семантичної відстані між текстовими документами; [8] – розроблено математичну модель інтелектуального агента в просторі ознак на основі адаптивних онтологій; [10] – розроблено математичне забезпечення функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій; [11] – розроблено математичну модель пошуку релевантних прецедентів на основі адаптивних онтологій; [13] – розроблено математичну модель віртуальної редакційної колегії; [14] – розроблено метод оцінки новизни знань на основі онтологій; [15] – побудовано метод автоматизованої розбудови онтологій; [16] – обґрунтовано об’єктний підхід до подання знань; [19] – описано класи інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що базуються на онтологіях; [20] – розроблено метод визначення ваг понять онтології бази знань; [21] – описано використання онтологій у різних типах інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; [22] – розроблено метод автоматизованого реферування текстових документів з використанням онтологій; [23] – розроблено метод анотування подій на основі онтологій; [25] – описано використання онтологій у чотирьох класах інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; [27] – побудовано модель інтелектуального агента у туристичній сфері на основі онтологій; [28] – розроблено метод реферування текстових документів на основі онтологій; [29] – побудовано модель інтелектуального агента у галузі матеріалознавства на основі онтологій; [32] – розроблено агентну систему, керовану онтологією; [33] – розширено функціональність інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для координації наукових досліджень; [34] – розроблено модель метапошукової системи на основі адаптивних онтологій; [35] – формалізовано використання онтологій у глобальній системі World Wide Web; [36] – описано використання онтологій під час аналізу та структуризації науково-технічної інформації; [37] – визначено підходи досліджень лексичних інновацій; [38] – описано використання онтологій для консолідації даних; [39] – розроблено метод зважування міри TF-IDF для реферування текстових документів; [42] – побудовано модель пошуку релевантного прецедента; [43] – розроблено метод пошуку релевантних прецедентів; [44] – розроблено засоби інтеграції даних, [45] – розроблено модель динамічної онтології; [46] – розроблено метод визначення новизни повідомлень; [48] – описано використання онтологій в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень; [49] – формалізовано поведінку раціонального агента на основі адаптивних онтологій; [50] – описано використання онтологій для реферування текстових документів; [51] – обґрунтовано використання мереж Петрі для моделювання поведінки інтелектуальних агентів; [52] – розроблено алгоритм реферування на основі онтологій; [53] – розроблено математичне забезпечення розвитку базової онтології; [54] – визначено загальний підхід до проектування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі адаптивних

онтологій; [55] – розроблено алгоритм функціонування глід-систем; [56] – розглянуто типи інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в межах онтологічного підходу та їх проектування; [57] – обґрунтовано використання онтологій в галузі матеріалознавства; [58] – побудовано метрики для окремих типів інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; [59] – описано використання онтологій під час процесу діагностики трубопроводів; [62] – розроблено підсистему реферування текстових документів; [63] – формалізовано метод класифікації текстових документів на основі онтологій.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних, українських та міжвузівських конференціях та семінарах, зокрема: VIIth International Conference «Perspective Technologies and Methods in MEMS Design» (Lviv – Polyana, May 11-14, 2011); XII International Workshop «Computational Problems of Electrical Engineering» (Kostryna, September 5-7, 2011); International Conference «Signal Modelling Control» (Lodz, June 27-29, 2011); 4th International Conference «Internet – Education – Science» (Baku-Vinnytsia-Veliko Turnovo, September 28 – October 16, 2004); XI, XII та XIII Міжнародних конференціях «Системний аналіз та інформаційні технології» SAIT 2009, SAIT 2010, SAIT 2011 (Київ, НТУУ «КПІ», 26-30 травня 2009; 25-29 травня 2010; 23-28 травня 2011); VI, VII Міжнародних наукових конференціях «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» ISDMCI'2010, ISDMCI'2011 (Євпаторія, 17-21 травня 2010; 16-20 травня 2011); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» MPZIS-2008 (Дніпропетровськ, 12-14 листопада 2008); I, III, IV, V, VI Міжнародних конференціях «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» CSIT'2006, CSIT'2008, CSIT'2009, CSIT'2010, CSIT'2011 (Львів, 28-30 вересня 2006, 25-27 вересня 2008, 15-16 жовтня 2009, 14-16 жовтня 2010, 16-19 листопада 2011); II Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» MINTT-2010 (Херсон, 25-27 травня 2010), Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми інформаційних технологій, економіки та права» (Чернівці, 23-24 лютого 2011); I Міжнародній науково-технічній конференції «Обчислювальний інтелект» (Черкаси, 10-13 травня 2011); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Наука і соціальні проблеми суспільства: інформатизація та інформаційні технології» (Харків, 24-25 травня 2011); I, II, III Міжнародній конференції молодих науковців «Комп'ютерні науки та інженерія» CSE-2006, CSE-2007, CSE-2009 (Львів, 11-13 жовтня 2006; 4-6 жовтня 2007; 14-16 травня 2009); II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Системний аналіз. Інформатика. Управління» SAIU-2011 (Запоріжжя, 10-11 березня 2011).

Результати дисертаційних досліджень регулярно доповідалися на наукових семінарах кафедри «Інформаційні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка» (2003р.-2011р.).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 79 наукових праць, з них 3 монографії (1 одноосібна), 1 підручник із грифом МОН України, 4 навчальні посібники, з яких 3 із грифом МОН України, 40 наукових статей, з них 36 опубліковано у фахових наукових виданнях, що відповідають вимозі ДАК МОНмолодьспорту України щодо кількості публікацій в одному виданні. За результатами дисертаційних досліджень зроблено та опубліковано 27 доповідей на науково-технічних конференціях міжнародного та державного рівнів.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел з 317 назв на 35 сторінках та 6 додатків на 97 сторінках. Загальний обсяг дисертації 430 сторінок, з них 270 сторінок основного тексту, 73 рисунки, 18 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання досліджень, показано зв'язок із науковими програмами, планами, темами, розкрито наукову новизну. Розглянуто практичну цінність, реалізацію та впровадження результатів роботи. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі** подано загальний огляд проблематики побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР), зокрема їх баз знань (БЗ), а також сфери використання онтологій, методологій їх побудови та мов опису. Визначено специфіку застосування онтологій у складі БЗ ІСППР, сформульовано основні принципи та способи вирішення проблеми досліджень. На підставі аналізу предметної галузі штучного інтелекту, вивчення та узагальнення інформації з наукових джерел досліджено сучасну ситуацію у напрямі побудови ІСППР за допомогою онтологічного підходу як способу підвищення ефективності таких систем. Це дало змогу сформулювати основну проблему, яка полягає у невідповідності між загальноприйнятими методами побудови БЗ (отримання знань від експерта, інтелектуальний аналіз даних) та онтологічним підходом, який базується на використанні об'єктивних знань, тобто таких, які містяться у енциклопедіях, словниках, підручниках, монографіях та в інших наукових виданнях. Зважаючи на це наукова проблема полягає у розробленні математичних моделей функціонування та методів побудови ІСППР, які ґрунтуються на онтологічному підході.

ІСППР – програмний комплекс, призначений для допомоги користувачу приймати рішення щодо розв'язування задач у певній предметній області (ПО) на підставі знань про цю область. ІСППР має характерні риси, які є важливими з точки зору моделювання процесу функціонування:

- містить систему знань про ПО, яка подана у вигляді моделі ПО;
- володіє механізмами міркувань, якими є метапроцедури, що використовують знання з метою вироблення рішень;
- володіє процедурами інтелектуального аналізу даних, тобто можливістю машинного навчання.

Функціонування ІСППР – це постійний процес прийняття рішень на основі аналізу поточних ситуацій. Типова схема функціонування ІСППР складається з таких трьох кроків: 1) планування цілеспрямованих дій та прийняття рішень, тобто аналіз можливих дій і вибір тієї дії, яка найкраще узгоджується з метою системи; 2) зворотна інтерпретація прийнятого рішення, тобто формування робочого алгоритму для отримання реакції системи; 3) реалізація реакції системи, наслідком чого є зміна зовнішньої ситуації та внутрішнього стану системи. Основною компонентою ІСППР є БЗ, призначення якої полягає у зберіганні, впорядкуванні та керуванні інформацією про ПО та задачі, які в ній виникають. Найважливіший параметр БЗ – якість та повнота знань про ПО, яку вона задає. Якість БЗ залежить від структури та формату знань, способу їх подання. Для широкого впровадження будь-якої технології чи методики необхідний чіткий і аргументований стандарт. У галузі розроблення БЗ таким стандартом стають онтології, як спосіб формального подання знань. Онтологія – це знання, формально відображені на основі концептуалізації. Формально онтологія складається з понять (термінів, концептів), організованих у таксономію, відношень між поняттями, а також пов'язаних з ними аксіом і правил виведення.

Враховуючи вище наведене, під *формальною моделлю онтології* O розуміють:

$$O = \langle C, R, F \rangle, \quad (1)$$

де C – скінченна множина понять (концептів, термінів) ПО, яку задає онтологія O ; $R: C \rightarrow C$ – скінченна множина відношень між поняттями (термінами, концептами) заданої ПО; F – скінченна множина функцій інтерпретації (аксіоматизація, обмеження), заданих на поняттях чи відношеннях онтології O .

Розрізняють три типи онтологій: предметно-орієнтовані (Domain-oriented), орієнтовані на прикладну задачу (Task-oriented) та загальні онтології (Top-level). Предметно-орієнтовані онтології містять таксономію понять, додаткові відношення, екземпляри класів і різні види обмежень (аксіом). Аксіоми встановлюють семантичні обмеження для системи відношень. Мета онтології задач – зробити знання доступними для повторного використання. Онтології задач визначають ступінь використання знань у процесі логічного виведення. Загальна онтологія описує категорії – поняття верхнього рівня.

Для побудови онтологій використовують відомі чотири моделі подання знань: фрейми для подання понять, семантичні мережі для подання відношень, логіка предикатів другого порядку для подання аксіом та продукційні правила для побудови правил виведення. Семантичну мережу фреймів (концептів) називають концептуальним графом (КГ).

Модель онтології (1) задає лише експліцитні знання. З теорії ІСППР відомо, що ефективність ІСППР на пряму залежить від поєднання експліцитних та імпліцитних знань. Отже цю модель необхідно розвинути з метою відображення в ній неявних (імпліцитних) знань, якими володіє експерт або користувач системи. У свою чергу такий розвиток моделі забезпечить якісне функціонування ІСППР, оскільки ядром такої БЗ є онтологія. Для процесу прийняття рішень розробляють мову запитів до онтології, наприклад SPARQL. Однак онтології містять кілька десятків тисяч понять і пам'ятати їх всіх фізично неможливо. Альтернативою до мови запитів є метрики. Запропоновано будувати такі метрики на основі онтологій.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [1-3, 64-67].

У другому розділі здійснено класифікацію ІСППР з точки зору використання онтологій у складі таких систем, введено поняття адаптивної онтології, розроблено математичне забезпечення функціонування ІСППР на основі адаптивної отології.

Сучасні дослідження побудови ІСППР ведуться у двох напрямках:

- ІСППР класифікації (виведення за прецедентами, англ. Case-Based Reasoning);
- ІСППР планування діяльності (пошук стану мети у просторі станів).

Вибір ІСППР залежить від типу задачі. Метод виведення за прецедентами ефективний, коли основним джерелом знань про задачу є досвід, а не теорія; рішення не є унікальними для конкретної ситуації, а можуть використовуватись в інших випадках; мета розв'язування задачі – отримати не гарантований правильний розв'язок, а найкращий серед можливих. Виведення, основане на прецедентах, є методом побудови ІСППР, які приймають рішення щодо проблеми або ситуації за результатами пошуку аналогій, що зберігаються в базі класів. З математичного погляду поточна ситуація S належить до класу $Class_k$ серед множини N класів $Class = \{Class_1, Class_2, \dots, Class_N\}$, якщо відстань від S до цього класу є найменшою, тобто

$$Class_k = \underset{i}{\operatorname{arg\,min}} d(Class_i, S), i = \overline{1, N}. \quad (2)$$

ІСППР планування діяльності має досягти стану мети. Насамперед потрібно розробити план досягнення цього стану всіма можливими альтернативними способами. Процес планування ґрунтується на принципі декомпозиції. Задача планування ZP містить три складові: множину станів St , множину дій A , множину станів мети $Goal$, тобто

$$ZP = \langle St, A, Goal \rangle. \quad (3)$$

Для ефективного планування діяльності ІСППР повинна вміти оцінювати стани та дії. Як бачимо, для обох типів ІСППР необхідна метрика. У першому випадку для оцінювання близькості класу, у другому – для визначення релевантності станів та дій. Від способу побудови цієї метрики безпосередньо залежить ефективність функціонування ІСППР.

Проаналізувавши типи задач, для яких використовують онтології, робимо висновок, що всі задачі можна поділити на два підтипи. Перший тип задач, для яких суттєво, які значення приймають властивості понять. Сюди належать задачі діагностики захворювань, розпізнавання образів, класифікації явищ на підставі зібраних даних тощо. Такі задачі назвемо ознаковими. Для іншого типу задач не є істотним значення понять, швидше їх семантика або частотність вживання понять у тексті і т.д. До таких задач можна зарахувати кластеризацію інформаційних ресурсів, класифікацію текстів згідно з УДК, інтелектуальні пошукові системи, квазіреферування та квазіанотування текстових документів. Задачі такого типу назвемо семантичними. У результаті отримаємо поділ ІСППР за двома вимірами (напрямом розвитку та простором функціонування), як зображено на рис 1. У кожній чверті перераховано задачі, які потрапляють у відповідний тип.

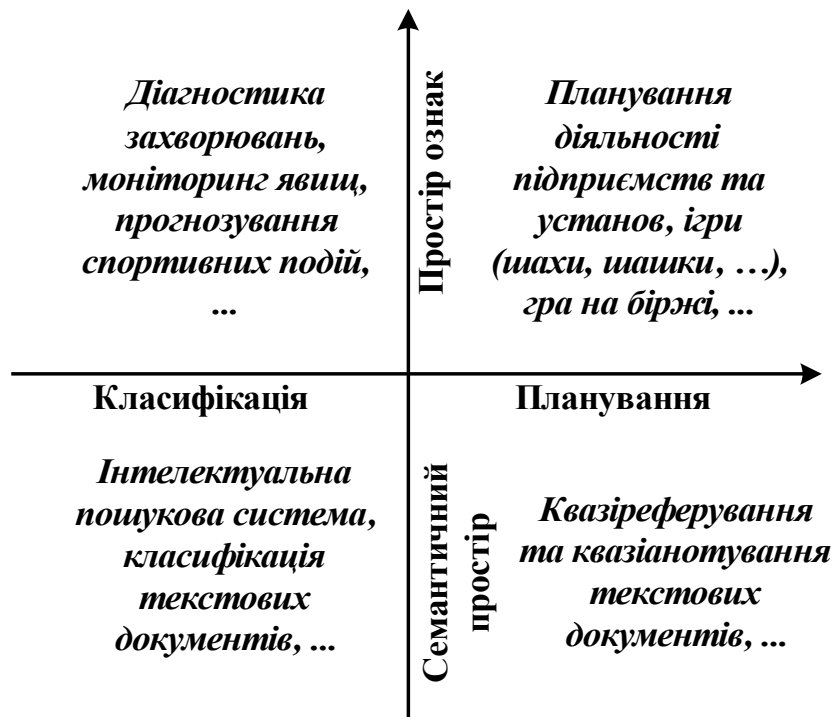


Рис.1. Типи задач, для розв'язування яких використовують ІСППР

Для ефективного функціонування ІСППР необхідно побудувати метрику, на основі якої можна визначати релевантність станів чи класів. Побудова такої метрики прямо залежить від типу задач: семантичні вони чи ознакові. Отже, загалом виділяють чотири різні типи задач, які розв'язують за допомогою ІСППР. Зріз за напрямом досліджень потребує двох різних функціональних моделей (пошук класу та планування діяльності), зріз за типом задачі – використання різного роду метрик для їх розв'язування та оцінювання якості отриманих розв'язків. Розглянемо всі ці типи задач, насамперед ввівши поняття адаптивної онтології (АО).

Ефективність адаптації онтології БЗ до особливостей ПО визначають елементи її структури та механізми її адаптації через самонавчання під час експлуатації. Одним з підходів до реалізації таких механізмів є автоматизоване зважування понять БЗ та семантичних зв'язків між ними під час самонавчання. Цю роль виконують ваги важливості понять та зв'язків. Вага важливості поняття (зв'язку) – це числова міра, котра характеризує значущість певного поняття (зв'язку) у конкретній ПО і динамічно змінюється за певними правилами під час експлуатації системи. Запропоновано розширити модель онтології (1), ввівши в її формальний опис ваги важливості понять та відношень. Таку онтологію визначено як:

$$\hat{O} = \langle \hat{C}, \hat{R}, F \rangle, \quad (4)$$

де $\hat{C} = \langle C, W \rangle$, $\hat{R} = \langle R, L \rangle$, своєю чергою W – вага важливості понять C , L – вага важливості відношень R .

Визначену у такий спосіб онтологію названо адаптивною, тобто такою, що адаптується до ПО за модифікації допомогою задання ваг важливості понять та зв'язків між ними. Така онтологія однозначно подається у вигляді зваженого КГ. Тому метрику побудовано на таких графах.

Переваги моделі (4) над (1) полягають у: 1) можливості будувати метрики на основі онтології; 2) можливості адаптувати базу знань ІСППР до потреб користувача; 3) можливості задати важливість знань з точки зору експерта ПО; 4) АО на відміну від звичайної онтології відображає не лише експліцитні (явні) знання, а й імпліцитні (неявні, приховані); 5) методи інтелектуального аналізу даних (дерева рішень, байєсівські мережі, k -найближчих сусідів) є окремим випадком АО в залежності від правил задання ваг важливості понять та відношень. З точки зору побудови БЗ ІСППР отримуємо такий підхід – експерту або користувачу системи надається готова БЗ, ядром якої є онтологія, а їх задача зводиться лише у налаштуванні цієї БЗ під себе шляхом задання ваг важливості її елементів.

Побудовано метрику у семантичному та ознаковому просторі на основі АО для задач класифікації. Потім цю метрику розвинено для задач планування діяльності. Очевидно, що залежно від класу ваги понять різні. Тобто насправді W – вектор вимірності кількості класів $W = (W_1, W_2, \dots, W_N)$. Надалі розглянуто лише один клас, тобто нижній індекс опущено.

Процес функціонування ІСППР для задач класифікації полягає у тому, що деяку поточну ситуацію S відносять до класу $ZClass: S \rightarrow Class$. Для цього знаходять відстані між поточною ситуацією та окремими класами $d_i = d(S, Class_i)$. Ситуація S належить до того класу, відстань до якого є найменшою. Пропонується виконувати те рішення, яке відповідає цьому класу. Здебільшого методи класифікації зводяться до індукції дерев рішень (ДР) або до алгоритму найближчого сусіда, доповненого, можливо, знаннями про ПО. Що стосується адаптації і використання знайденого розв'язку, ця задача все ще залишається недостатньо формалізованою й істотно залежною від ПО. Запропоновано для класифікації використовувати АО, тобто проектувати класи та поточну ситуацію на онтологію ПО; ввести в межах онтології ПО метрику, за допомогою якої шукати необхідну відстань.

Для семантичних задач запропоновано визначати відстань між класом і ситуацією як відстань між «найважливішим» поняттям класу та поточної ситуації. Оскільки АО подається у вигляді зваженого КГ, то таке поняття названо центром ваг відповідного зваженого КГ. Якщо C_{class}^j – центр ваг класу, C_s^k – центр ваг поточної ситуації, то відстань між таким класом та поточною ситуацією визначається як $d(Class, S) = d(C_{class}^j, C_s^k)$.

З математичного погляду: центром ваг КГ є поняття, середня відстань від якого до всіх інших понять найменша. Очевидно, що визначена у такий спосіб відстань залежатиме від того, як ми задамо відстань між двома суміжними вершинами КГ. Запропоновано визначати відстань між вершинами, що з'єднані зв'язком, як

$$d_{ij} = \frac{Q}{L_{ij}(W_i + W_j)}, \quad (5)$$

де W_i та W_j – ваги важливості вершин C_i та C_j відповідно; L_{ij} – вага важливості зв'язку між вершинами; Q – константа, яка залежить від конкретної онтології. Прийнято, що $L_{ii} = \infty$, тоді $d_{ii} = 0$.

Надалі знайдено центри ваг відповідних КГ. Центр ваг – це вершина КГ, для якої середня відстань \bar{d}_i найменша: $\bar{d}_i = \min_i \bar{d}_i$. Середня відстань \bar{d}_i для вершини C_i обчислюється за формулою:

$$\bar{d}_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}^*}{n-1}, \quad (6)$$

де n – кількість вершин графу; d_{ij}^* – найкоротший шлях між вершинами C_i та C_j , який знаходять за допомогою відомих алгоритмів, наприклад, Флойда-Уоршалла, Форда, Дейкстри. Пропонована відстань задовольняє три аксіоми метрики.

Далі побудовано метрику для задач класифікації в просторі ознак. Нехай множина класів $\mathbf{Class} = \{Class_1, Class_2, \dots, Class_N\}$ описується характеристиками (властивостями) $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$. D_i – домен властивості x_i ; w_i – вага важливості властивості x_i класу $Class_i$. Значення властивості x_i позначатимемо $z_i = z(x_i)$. Отже, $Class_i \leftrightarrow X_i = \{x_{i_1} = z_{i_1}, x_{i_2} = z_{i_2}, \dots, x_{i_k} = z_{i_k}\}$, де $z_{i_j} \in D_{i_j}$. Тоді відстань між класом $Class_i$ та поточною ситуацією S визначається як:

$$d_i = \mathbf{e} \varphi \left(z_{i_j}, z_{i_j}^S \right), \quad (7)$$

де z_{i_j} – значення властивості x_{i_j} класу $Class_i$; $z_{i_j}^S$ – значення властивості x_{i_j} поточної ситуації S ; \bar{I}_i – множина індексів найважливіших властивостей класу $Class_i$, $\bar{I}_i = \bar{I}_{i1} \cap \bar{I}_{i2} \cap \dots \cap \bar{I}_{iN_i}$, N_i – кількість властивостей, які треба розглянути, щоб

прийняти рішення стосовно належності S до класу $Class_i$, $\bar{I}_{i1} = \underset{0}{\text{M}} \underset{0}{\text{H}} i_{s1} \Big| i_{s1} = \arg \max_{i \in \bar{I}_i} w_{i_j}^b \vartheta_{i_j}$,

$\bar{I}_{i2} = \underset{0}{\text{M}} \underset{0}{\text{H}} i_{s2} \Big| i_{s2} = \arg \max_{i \in \bar{I}_i / i_{s1}} w_{i_j}^b \vartheta_{i_j}$, ... Функцією $\varphi(\xi, \eta)$ можна вибрати будь-яку відому

метрику (наприклад, евклідову, манхеттенську, Лемінга, Журавльова тощо) в межах розв'язання окремої задачі, залежно від того, які дані використовуються (кількісні, якісні, змішані).

Для ІСППР планування діяльності отримано наступну модель. Нехай $v(St(i))$ оцінка стану $St(i)$. a_{ij}^k – перехід із стану $St(i)$ у стан $St(j)$, з використанням альтернативи α_k ; $v(a_{ij}^k)$ – оцінка дії a_{ij}^k . Стан мети $Goal$ визначається тим, що деяка підмножина ознак X має досягати певних значень $z(x, Goal) \forall x \in X$.

Будь-який стан $St(i)$ задається певною множиною ознак Y_i , які набувають значень $z(y, St(i)) \forall y \in Y_i$. Для оцінювання стану $St(i)$ необхідно здійснити відображення ψ множини ознак та їх значень стану $St(i)$ в множину ознак та значень стану $Goal$ за допомогою правил онтології БЗ (SWRL), тобто $\psi : Y_i \times \mathcal{Q} \rightarrow X$. Тоді оцінка стану $v(St(i))$ обчислюється

$$v(St(i)) = d(St(i), Goal) = \underset{x \in X_w}{\text{e}} \varphi(z(\psi(x), St(i)), z(x, Goal)), \quad (8)$$

де X_w – множина ознак з найбільшими вагами в АО, функція φ така сама, як у (7). Очевидно, що чим менша оцінка стану, тим стан кращий. Потужність множини $|X_w|$ визначає користувач системи.

Для вибору дій ІСППР спиратимемось на раціональність поведінки користувача, тобто на прагненні мінімізувати витрати ресурсів для досягнення стану мети. Кожна дія a_{ij}^k визначається витратами ресурсів g_{ij}^k (ціна переходу зі стану в стан), де $k = 1, 2, \dots, n_i$. n_i – кількість альтернатив α_k для здійснення переходу a_{ij} . Наприклад, в задачі модернізації трубопроводів кожна з альтернатив характеризується витратами ресурсів та терміном експлуатації. Інформація про альтернативи та витрати ресурсів зберігається в онтології. Відомості про значення ознак та вигаш від переходу в стан (терміни експлуатування тощо) містяться в базі даних. Очевидно, що можуть з'являтися нові альтернативи, тому ІСППР містить модуль поповнення онтології.

Оцінка дії прямо пропорційна до витрати ресурсів, тобто $v(a_{ij}^k) = E \varphi g_{ij}^k$, де E – скалярна величина. Загалом рішення стосовно вибору дії на основі альтернатив виконуємо згідно з формулою:

$$o_i(a_{ij}^k) = \delta \left(v(a_{ij}^k), v(St(j)) \right). \quad (9)$$

Після оцінки дій та станів задача вибору шляху в просторі станів зводиться до задачі динамічного програмування:

$$St(j) = a(St(i), o_i), \theta(St(0), \bar{o}) \cup \max(\min). \quad (10)$$

Використовуючи методи, придатні для розв'язування таких задач, знаходимо розв'язок у вигляді шляху переходу з початкового у кінцевий стан.

Для семантичних задач планування діяльності про стан мети *Goal* наперед щось важко сказати. Наприклад, для задачі квазіреферування текстових документів станом мети є кінцевий квазіреферат, однак ми лише можемо уявляти, як приблизно він має виглядати. Оцінка стану в такій задачі збігається з оцінкою важливості семантичної одиниці (слово, лексема, речення), залежно від задачі. Запропоновано для таких задач будувати метрику на основі зважування міри TF-IDF онтологією ПО. Тобто

$$v(St) = (TF-IDF) \cdot W. \quad (11)$$

Така оцінка має істотні переваги порівняно з іншими, оскільки у ній одночасно враховується як частотний аналіз вживання термінів у тексті (TF-IDF), так і специфіка ПО, до якої належить тематика цього тексту. Новий стан для задач квазіреферування полягає в додаванні у квазіреферат нових речень.

Результатами розділу є класифікація ІСППР та розроблення математичного забезпечення їх функціонування на основі АО.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [1, 2, 5-9, 11, 19, 21, 24, 25, 41-43, 48, 49, 51, 54, 58, 60].

У третьому розділі розроблено метод та процедури автоматизованої розбудови онтології, наведено класифікацію відношень між концептами, розроблено метод задання ваг важливості понять та відношень, тобто навчання АО.

Для того, щоб вручну побудувати повну зв'язану онтологію для певної ПО необхідно затратити достатньо багато часу та ресурсів. Це пояснюється тим, що прикладні онтології повинні містити десятки тисяч елементів, щоб бути придатними для розв'язування широкого кола задач, які виникають у цих ПО. Ручна побудова онтології – це довгий рутинний процес, який до того ж, вимагає ґрунтовних знань ПО та розуміння принципів побудови онтологій. Тому активно розвиваються методи та алгоритми автоматизованої побудови онтології. Розроблено математичне забезпечення процесу автоматизації побудови онтології, а точніше, її розбудови, оскільки прийнято, що базові терміни та відношення між ними людина-експерт апіорі ввела в онтологію вручну. Таку початкову онтологію називатимемо базовою і позначатимемо $O_{base} = \langle C_b, R_b, F_b \rangle$. Тобто побудова онтології починається з моменту, коли в ній вже є якісь дані. Тому такий процес названо розбудовою базової онтології. Формально:

$$\chi : O_{base} \rightarrow O. \quad (12)$$

Онтологія – це мова науки. Мова науки, як структуроване наукове знання, задає багат шарове ієрархічне утворення, в якому виділяють такі блоки: терміносистема; номенклатура; засоби та правила формування понятійного апарату і термінів. Отже, щоб побудувати онтологію, необхідно побудувати її терміносистему O_T та номенклатуру O_N . Базова онтологія обов'язково містить частину терміносистеми, тобто $O_{base} \supseteq O_T \cap \mathbb{N}$. Енциклопедії, термінологічні та тлумачні словники, на підставі яких будують терміносистему ПО, як правило, мають чітку структуру і складаються із словникових статей. Досліджено їх структуру з метою розпізнавання понять і відношень між ними. Процес побудови номенклатури складніший. Якщо в словниках терміни вже виокремлені, то в наукових текстах (підручники, монографії тощо) їх необхідно виділяти, вести пошук властивостей понять і відношень між поняттями. Отже, потрібна технологія природномовного опрацювання наукового тексту.

Нехай задана множина назв відношень $V = \{v_1, v_2, \dots, v_s\}$. Тоді відношення задається як відображення із C в C , використовуючи елемент множини V : $R: C \times C \rightarrow C$. Тобто відношення r_i – триплет вигляду:

$$r_i = \langle C_{i_1}, v_{i_j}, C_{i_2} \rangle. \quad (13)$$

Оскільки онтологія формує таксономію понять, то, використовуючи, термінологію об'єктно-орієнтованого підходу, кожне поняття являє собою клас. Запропоновано поняття визначити як клас з такою структурою:

$$C = \langle N, R^X, R^Y, S, D, A, Ob \rangle, \quad (14)$$

де N – ім'я поняття; R^X – множина відношень, в яких клас C є доменом (областю визначення); R^Y – множина відношень, в яких клас C є множиною значень; S – суперкласи C ; D – підкласи C ; A – аксіоми визначення C , Ob – екземпляри C .

Отже, розбудовуючи базову онтологію O_{base} , необхідно будувати триплети r_i та нові поняття C , які задаються структурою (14). У цю структуру входить набір аксіом A , однак автоматизовано побудувати такий набір аксіом дуже складно (принаймні автор не знає жодної такої спроби). Тому поки що такий процес виконують вручну. Відношення ієрархії IS-A та агрегації є вертикальними, їх позначають R^V . Всі інші відношення є горизонтальними і позначають R^H . Очевидно, що $R^V \cap R^H = R$, $R^V \cup R^H = \mathbb{N}$.

Для опрацювання природномовних текстів з метою розбудови онтології використано готові парсери, а саме Link Grammar Parser. Розроблено шаблони відношень для шести груп: 1) ієрархія, 2) агрегація, 3) функціональні, 4) семіотичні, 5) тотожності, 6) кореляції. На основі цих шаблонів здійснюється пошук відповідних відношень у тексті. Для аналізу наукового тексту використано вже побудовану онтологію, тому такий метод розбудови онтології названо рекурсивним.

Для задання ваг важливості відношень для семантичних задач використано дослідження, які провели датські вчені Кнаппе, Бульшков та Андреасен. Вони визначили такі значення ваг відношень: $L_1 = 0,9$; $L_2 = 0,8$; $L_3 = 0,3$; $L_4 = 0,2$. Для відношення тотожності прийнято, що $L_5 = 1$. Відношення кореляції зустрічається лише в ознакових задачах. Для ознакових задач, виходимо із евристики, що поняття, які знаходяться нижче за ієрархією є важливішими, оскільки вони приймають конкретні значення. Виходячи із цього, вважаємо, що $L_1 = L_2 = 1,1$, ваги інших аналогічні як для семантичних задач. Відношення кореляції є двостороннім зв'язком. Його вага дорівнює модулю кореляції між ознаками: $L_6 = |r_{ij}|$.

Методи задання ваг важливості понять є такими:

- експертні оцінки;
- частота вживання понять у наукових текстах;
- за допомогою інтелектуального аналізу даних ПО, в якій функціонує ІСППР.

Для семантичних задач запропоновано такий метод обчислення ваг понять (класів):

1. Повна вага W_j^i класу онтології дорівнює сумі власної ваги Wo_j^i , ваги підкласів Ws_j^i та ваги суміжних класів Wn_j^i (класів, зв'язаних з досліджуваним класом не IS-A зв'язком): $W_j^i = Wo_j^i + Ws_j^i + Wn_j^i$, де $Ws_j^i = \sum_k Wc_k^{i+1} \psi L_{jk}$ – вага k підкласів j -го класу i -го рівня, причому для кореневого класу рівень $i = 0$; $Wc_k^{i+1} = Wo_k^{i+1} + Ws_k^{i+1}$ – вага класу C_k^{i+1} ; L_{jk} – вага зв'язку між класами C_j^i та C_k^{i+1} .

2. У момент внесення на $(i+1)$ -й рівень нового підкласу йому присвоюється власна вага Wo_j^{i+1} , що дорівнює половині власної ваги класу вищого i -го рівня: $Wo_j^{i+1} = \frac{Wo_j^i}{2}$. Вага класу Wc_j^i та усіх батьківських класів аж до кореневого збільшується на величину ваги новоствореного підкласу, тобто: $Wc_j^m = Wc_j^m + Wo_j^{i+1}, \forall m \downarrow i$.

3. Під час встановлення зв'язку між поняттями k_1 та k_2 між відповідними вершинами графа онтології з'являється ребро, а до ваги суміжних класів Wn_1 додається вага Wc_2 і навпаки – до Wn_2 додається вага нового суміжного до нього класу Wc_1 так, що $Wn_j = \sum_k Wc_k \psi L_{jk}$. Повторне встановлення зв'язків призводить до появи кратних ребер у графі.

4. Кратність ребер відображає частоту виявлення U пари семантично пов'язаних понять $L_{i+1} = U \psi L_i$. Кратні ребра після перерахунку не збільшують валентності вершини.

5. Вага екземпляра БЗ дорівнює повній вазі його класу.

Визначена модель онтології БЗ дає змогу розраховувати ваги своїх елементів у процесі їх додавання, вилучення і використання під час експлуатації системи, завдяки чому реалізує механізм адаптації до заданої користувачем ПО.

Зауважимо, що насправді ваги важливості понять є векторними величинами розмірності кількості класів або задач, визначених у конкретній ПО. Так, якщо розглядається задача класифікації текстових документів, то в межах онтології має описуватись кілька різних тематик і ваги важливості понять напряду залежать від тематики. Нехай онтологія \hat{O} описує m тематик ПО – Th_1, Th_2, \dots, Th_m , тоді ваги понять – це вектор, елементами якого є значення ваг важливості понять залежно від номеру тематики, тобто $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$.

Розроблено метод визначення ваг понять для ознакових задач за допомогою інтелектуального аналізу даних, а саме на основі побудови ДР. Як відомо ознакові задачі класифікації можуть використовувати ДР. Популярність ДР пов'язана з наочністю і зрозумілістю. Однак для них існує проблема значущості. Річ у тому, що окремим вузлам на кожному новому побудованому рівні дерева відповідає все менша і менша кількість записів даних – дерево ділить дані на велику кількість окремих випадків, тому воно не даватиме статистично обґрунтованих рішень. Крім того, ДР видають ефективні результати тільки у разі незалежних ознак. Пропонуємо використовувати ДР для визначення ваг базових термінів, які задають деякий клас, а потім на основі онтології розвинути отримані ваги на всю онтологію для відповідного класу. Тоді для визначення класу, до якого відносять ситуацію S за формулою (7), взято значення тих n понять, які для цього класу мають найбільші ваги.

Вершини (ознаки) окремої гілки ДР розміщені на k рівнях. Очевидно, що чим вищий рівень, тим більш значуща ознака, яка міститься на цьому рівні. Крім того, запропоновано ці ваги нормувати, щоб їх сума для кожного класу (гілки ДР) дорівнювала 1.

Розглянуто два способи визначення ваг базових ознак, які задовольняють описані вище два припущення.

1 спосіб. Арифметичні ваги. Визначаються як відношення різниці $(k+1)$ рівня дерева та рівня, на якому міститься ознака, до суми всіх рівнів гілки, тобто:

$$w_i = \frac{k+1-i}{e^{\sum_{j=1}^k j}} = \frac{2(k+1-i)}{(1+k)k}. \quad (15)$$

2 спосіб. Геометричні ваги:

$$w_i = \frac{2^{k-i}}{2^k - 1}. \quad (16)$$

Отримані ваги названо вагами базових понять, множину таких ваг позначено W_B . Ці ваги розвинуто на всю онтологію ПО, використовуючи таксономію понять онтології, відношення між поняттями та їх інтерпретацію. Математично (формально) цей процес записано у вигляді:

$$W_B \text{ s } \hat{Q} \rightarrow W. \quad (17)$$

Розвинення ваг на всю онтологію залежить від визначення (аксіоматизації) класів, їх ієрархії (вертикальних зв'язків) та горизонтальних зв'язків.

Для ознакових задач пропонуємо такий метод визначення ваг понять на всю онтологію. Спочатку ваги всіх ознак дорівнюють 0. Для ознак, які беруть участь у ДР, для відповідного класу до початкової ваги додаємо вагу, отриману на основі ДР. Всі інші обчислюємо для онтології відповідної задачі згідно формули:

$$W_j = \mathbf{e}_{R^x} L_{ij} \mathcal{W}_i + \mathbf{e}_{R^y} \frac{W_k}{L_{jk}}. \quad (18)$$

У загальному випадку (18) є системою лінійних алгебраїчних рівнянь. Однак, в окремих випадках, (18) є послідовністю лінійних співвідношень.

Стосовно визначення значущих ознак для задач класифікації, ДР є окремим випадком АО, якщо в онтології не існує горизонтальних зв'язків. Для задач планування діяльності АО трансформується у байєсівську мережу, якщо ваги важливості ознак та відношень визначати згідно з теоремою Байєса.

Результатами розділу є розроблення методу автоматизованої розбудови та навчання адаптивних онтологій.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [1, 2, 6, 15-17, 33, 37, 45, 53, 67].

У четвертому розділі розроблено метод та процедури оптимізації онтологій, критеріями яких є стандарти якості інформаційних систем та уніфікований підхід до розроблення ІСППР на основі АО.

Автоматизована розбудова онтології призводить до виникнення деяких недоліків у її структурі та змісті, невідповідності її наповнення інформаційним потребам користувача. Тому такі системи необхідно «укомплектувати» набором процедур оптимізації онтології.

Критерії оптимізації сформовано відповідно до стандарту якості ISO 9126. Згідно до цього стандарту характеристиками якості є:

1. *Функціональна придатність* ІСППР залежить від повноти та належної побудови онтології, наскільки точно вона описує специфіку ПО та задач, які у ній виникають. Своєю чергою, повнота онтологій залежить від вміння давати правильні відповіді на запити до неї, а це залежить від того, чи вміє система оцінювати новизну знань, що пропонується додавати до онтології. Мірою якості функціональної придатності буде відсоток нетривіальних (ненульових) правильних

відповідей на запити до онтології, тобто $\chi_1 = \frac{N_q^p}{N_q} \cdot 100\%$. Визначення функціональної

придатності є однією з базових характеристик ІСППР.

2. *Коректність (або достовірність)* функціонування ІСППР – це відсоток достовірно розв'язаних задач ІСППР. Це основна характеристика якості ІСППР і вона залежить не тільки від якості БЗ, але й від моделі функціонування таких

систем, тобто, у нашому випадку, від побудованої метрики. Отже, $\chi_2 = \frac{N_z^p}{N_z} \cdot 100\%$.

3. *Використовуваність ресурсів (або ресурсна економічність)* у стандартах відображається зайнятістю ресурсів центрального процесора, оперативної, зовнішньої та віртуальної пам'яті, каналів введення-виведення, терміналів і каналів зв'язку. Для покращення цієї характеристики розглядають оптимізаційну задачу, критерієм якої є мінімізація фізичного об'єму пам'яті, що займає онтологія. З іншого боку, очевидно, що онтологія займає найменший об'єм пам'яті, якщо в ній немає жодного поняття. Тому введено певну порогову величин на займаний онтологією об'єм пам'яті.

4. *Практичність* – важкоформалізоване поняття, яке визначає функціональну придатність і корисність застосування ІСППР для певних користувачів. У цю групу показників входять субхарактеристики, які з різних аспектів відображають функціональну зрозумілість, зручність освоєння, системну ефективність і простоту використання ІСППР. Така придатність ґрунтується на цілісності онтології, тобто відсутності в її тілі взаємозаперечувальних тверджень та дублювання, а також на збалансованості ПО, яка полягає у рівномірному поданні її окремих підрозділів в онтології.

5. *Супроводжуваність* ІСППР відображається зручністю та ефективністю виправлення, удосконалення або адаптації структури та змісту онтології БЗ залежно від змін у зовнішньому середовищі застосування, а також у вимогах і функціональних специфікаціях замовника.

6. *Мобільність* характеризується тривалістю і трудомісткістю інсталяції ІСППР, адаптації та заміщення у разі перенесення на інші апаратні та операційні платформи. Критерієм мобільності є швидкодія, яка виражається часом відгуку ІСППР на зовнішнє звертання (час реакції на зміну параметрів зовнішнього середовища, до яких чутлива система).

Зважаючи на вище наведені критерії, метод оптимізації онтології передбачає задачу оптимізації її структури та змісту: 1) усунення паралельних ребер, дублювання вершин з однаковими параметрами та інших особливостей структури графу онтології, які можуть порушити її цілісність і знижують ефективність функціонування ІСППР (задача оптимізації структури онтології); 2) оптимізація змістової частини онтології з метою збільшення її швидкодії та інформаційної насиченості за заданих обмежень на фізичний об'єм пам'яті системи. Розв'язування цих задач рознесено у часі, причому, щоб зберегти цілісність онтології, спершу виконують її структурну перевірку, і лише потім – оптимізацію змістової частини послідовною редуцією її графу до виконання вимог вибраних критеріїв через максимізацію суми ваг вершин та ребер такого графу.

В основу задачі мінімізації структури графу онтології покладено типову оптимізаційну задачу теорії графів про відшукання мінімального кістяка, яка полягає у пошуку кістяка мінімальної ваги у зваженому графі. Задачу забезпечення узгодженості в структурі графу ефективно розв'язується методом резолюцій. Задача оптимізації змісту зводиться до оберненої задачі про наплічник. Нехай онтологія складається з n елементів загальним об'ємом пам'яті M . У ролі «наплічника» виступає певна задана частка об'єму, наприклад $N = 0,14M$, до якої слід віднести найменш цінні елементи (поняття з мінімальною вагою важливості та максимальним об'ємом) для подальшого їх вилучення. Тоді необхідно максимізувати:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{W_i} x_i \rightarrow \max, \text{ таких елементів, для яких } \sum_{i=1}^n m_i x_i \leq N, \text{ де}$$

$$\begin{aligned} m_i &\in [0, 1], \text{ якщо поняття } C_i \text{ залишається,} \\ m_i &\in [0, 1], \text{ якщо поняття } C_i \text{ вилучається,} \end{aligned}$$

m_i – об'єм пам'яті, який займає елемент C_i . Для розв'язування цієї задачі використано жадібний алгоритм.

Підводячи підсумок проведених досліджень, отримуємо, що загалом процес побудови ІСППР на основі онтологій складається із таких етапів (див. рис. 2): побудувати базову онтологію; задати початкові ваги понять цієї онтології (наприклад, одним із методів інтелектуального аналізу даних); якщо необхідно, то розбудувати та оптимізувати онтологію; розвинути ваги на всю онтологію; застосувати відповідне математичне забезпечення для отримання рішення.

Результатом розділу є визначення критеріїв оптимізації онтологій, згідно до яких сформульовано оптимізаційні задачі та наведено методи їх розв'язування. Визначено етапи побудови ІСППР, ядром БЗ яких є АО.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [1, 2, 14, 18, 20, 29, 30, 36, 46, 47, 56, 61].

У п'ятому розділі розроблено програмне забезпечення функціонування ІСППР, ядром БЗ яких є онтології та описано побудову таких систем, які призначені для розв'язування задач класифікації.

ІСППР складається з таких компонент: БЗ, ядром якої є АО; база даних (БД), в якій залежно від типу задачі зберігається множина класів та відповідних до них рішень, ваги важливості понять АО, типи відношень та ваги їх важливості, значення

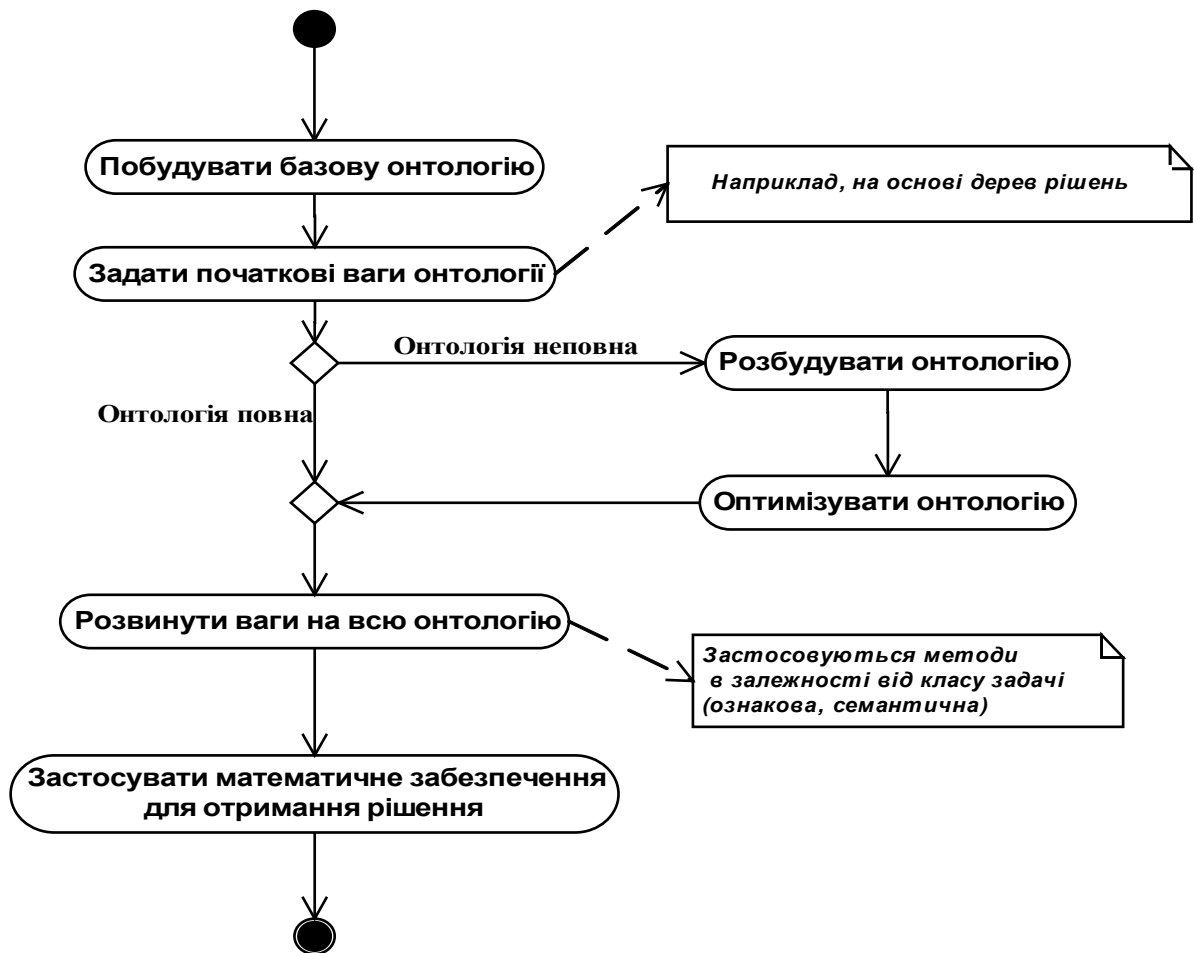


Рис. 2. Діаграма діяльності ІСППР на основі онтологій

ознак, історія значень ознак (для задач планування); модуль керування розв'язуванням задачі (використовує побудовану у розділі 2 метрику залежно від типу задачі); модуль поповнення знань (розбудовує, навчає та оптимізує онтологію). Для реалізації цих компонент обрано такі програмні засоби: для побудови онтології – редактор онтологій Protégé OWL API; для записування правил бази знань – SWRL, який входить як окремий модуль Protégé; для побудови БД – система керування БД MySQL; для побудови модуля керування розв'язуванням задачі та модуля поповнення знань використано мови програмування PHP, Python, Java, C#, залежно від призначення ІСППР.

Розроблено ІСППР для семантичних задач, а саме інтелектуальну пошукову систему (ІПС) та ІСППР класифікації текстових документів. Пошукову систему називають інтелектуальною, якщо вона здійснює пошук на основі контексту. Таку систему можна вважати ІСППР класифікації. Справді, текстова одиниця, згідно з якою ведеться пошук (речення, фраза, словосполучення тощо), є поточною ситуацією, яку називатимемо еталоном. Знайдені текстові документи будуть класами, які рангуються згідно до відстані до еталона.

За ваги, які використовуються під час знаходження відстані, беруть ваги понять онтології, що стосуються тематики, до якої належить еталон. Ефективність такого функціонування ІПС покажемо на прикладі аналізу анотацій наукових статей. Розглянемо дві анотації статей із журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів».

1. The correlation between diffractometric investigations and calculations, based on the model of rigid spheres, allowed us to make prediction of the change of the surface tension and to evaluate the steel wettability by extremum of a continuous function of structural melt factor. The influence of stainless steel elements laser doped into the surface on structural factors of melts Pb and Li Pb was investigated.

2. The damaging of power plant equipment, made of stainless austenitic steels is considered. It has been found that initiation of intergranular stress corrosion cracks in the weld region of the welded joints made of this steel is caused by interaction of 3 factors – the determined degree of basic metal sensitization, high service stress, that is higher than the material yield strength and the increased oxygen concentration in the heat carrier.

Значення ваг понять та зв'язків взято із розробленої онтології матеріалознавства на основі частотного методу. Користуючись формулою (5), в якій прийнято, що $Q=50$, отримаємо зважені КГ цих анотацій, які наведено на рис. 3.

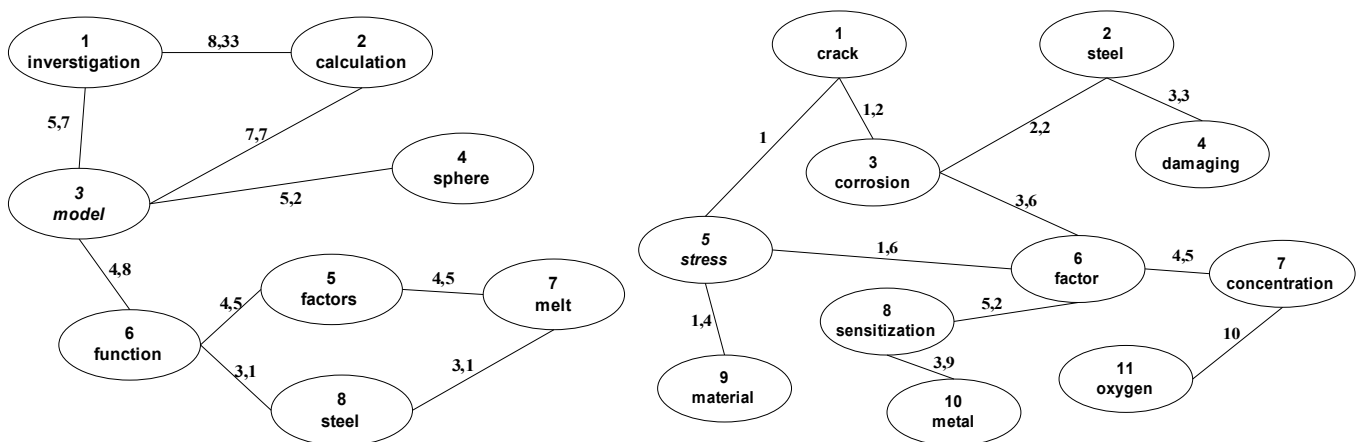


Рис. 3. Зважені концептуальні графи двох анотацій

Зверху понять наведено їх індекси. Використовуючи алгоритм Флойда-Уоршалла та формулу (6), отримаємо, що центрами ваг відповідних КГ є: $C^1 = \{3\} = \{\text{'model'}\}$ для якого $\bar{d}_3 = 7,37$ та $C^2 = \{5\} = \{\text{'stress'}\}$ для якого $\bar{d}_5 = 5,8$. Нехай пошук здійснюємо за словом 'corrosion', тобто це поняття вважаємо центром ваг поточної ситуації, а знайдені центри ваг анотацій – центрами ваг відповідних класів. Оскільки поняття 'corrosion' входить у 2-гу анотацію, то відстань до цієї анотації дорівнює відстані між 'corrosion' та центром ваг цієї анотації: $d(\text{Pr}_2, S) = d(C^3, C^5) = 2,2$. Для першої анотації відстань необхідно шукати за онтологією. Згідно онтології матеріалознавства, шлях від 'corrosion' до 'model' такий: 'corrosion'-'physical_process'-'process'-'model'. Враховуючи ваги понять та ваги зв'язків (перші два ієрархічні, третій функціональний), отримаємо: $d(\text{Pr}_1, S) = 4,6$. Аналогічно можна знайти відстані до інших анотацій від ключового слова 'corrosion'.

Розроблений метод не є альтернативою пошуку релевантної інформації за ключовими словами, а його доповненням. Якщо пошук за ключовими словами не дає бажаних рішень, то тоді використовуємо розроблений пошук за контекстом на основі онтології ПО. Оскільки онтологія задає наукові знання, то такий пошук має сенс лише для наукової інформації. Так у нашому випадку результатом пошуку за ключовим словом 'cognition' була б лише друга анотація. Використовуючи розроблений метод, пропонуємо користувачу також переглянути статтю, якій відповідає перша анотація. Відстань до наведеної першої анотації є найменшою серед всіх анотацій розглянутого номеру журналу.

Задача класифікації текстових документів формулюється таким чином: існує множина текстів $T = \{T_1, T_2, \dots, T_M\}$, множина N рубрик, які виступають як класи $\mathbf{Class} = \{Class_1, Class_2, \dots, Class_N\}$. Кожна рубрика подається деяким описом (онтологією O) з певною внутрішньою структурою та власними вагами понять. Процедура класифікації f текстів $T_i \in T$ полягає у виконанні певних процедур, на основі яких роблять висновок про відповідність T_i одній із структур $Class_j$, що означає віднесення T_i до класу $Class_j$ або висновок про неможливість класифікації T_i . У нашому випадку елементами множини T є електронні версії текстових документів. Отже, загальну модель класифікації текстових документів подано у вигляді: $f: T \rightarrow \mathcal{Q} \rightarrow \mathbf{Class}$.

Результати тестування показали, що за допомогою розробленої інтелектуальної системи рубрикування текстових документів на основі АО 87% файлів прокласифіковано правильно, що на 10% більше, ніж за допомогою відомого байєсівського класифікатора, тобто $\chi_2 = 87\%$.

Для ознакових задач розроблено ІСППР діагностування ревматологічних захворювань. Як класи взято сім захворювань: $\text{Class} = \{ \text{'Ревматоїдний артрит (РА)'} , \text{'Деформуючий остеоартроз (ДО)'} , \text{'Системний червоний вовчак (СЧВ)'} , \text{'Анкілозуючий спондиліт (АС)'} , \text{'Гостра ревматична лихоманка (ГРЛ)'} , \text{'Подагричний артрит (ПА)'} , \text{'Системна склеродермія (СС)'} \}$. Для задання ваг онтології побудовано відповідне ДР. Згідно цього ДР, підтверджується діагностування захворювання на РА, якщо в пацієнта наявні ознаки: 1) *ранкова скутість у суглобах*; 2) *поліартрит суглобів кистей рук*; 3) *довколосуглобовий остеопороз*. Згідно (15) ваги цих ознак будуть: $W_1 = \frac{1}{2}$, $W_2 = \frac{1}{3}$, $W_3 = \frac{1}{6}$.

Використовуючи онтологію ревматологічних захворювань задачі діагностики РА та формулу (18) для ознаки *Ерозивний артрит* отримуємо вагу $W_4 = 0,33 \cdot 0,8 + 0,17 : 0,9 = 0,45$, яка більша за ваги W_2 та W_3 . Вважаючи, що для діагностики необхідно перевірити три ознаки, отримуємо, що для діагностики захворювання РА необхідно перевірити *ранкову скутість у суглобах*, *поліартрит суглобів кистей рук та ерозивний артрит*. Для захворювань ПА та СС ознаки отримані після перерахунку ваг за онтологією, порівняно з ДР не змінилися. Для інших захворювань змінилися в одній або двох позиціях. Перевірка реальних захворювань показала, що використання ДР правильно класифікує захворювання у 64% випадках, а класифікація згідно з онтологією ревматології – у 71% випадках, тобто $\chi_2 = 71\%$.

Результатом розділу є визначення компонент ІСППР та програмних засобів їх реалізації, а також апробація побудованих ІСППР на основі АО, які призначено для розв'язування задач класифікації.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [1, 2, 4, 10, 12, 26, 32, 34, 35, 40, 55, 63].

У шостому розділі описано прикладні ІСППР планування діяльності, функціонування яких ґрунтується на розроблених моделях, методах та алгоритмах.

Для семантичних задач розроблено ІСППР квазіреферування текстових документів. Для відбору речень для квазіреферату за основу взято відомий алгоритм просторового рангування, модифікований з врахуванням ваг термінів тематики (див. формулу (11)), які зберігаються в онтології ПО. Обсяг одержаних квазірефератів для 20 текстових документів – від 3 до 6 речень; у двох випадках обсяг – 7 речень. Експеримент дає такі висновки. В одержаних квазірефератах мало надлишкової інформації. Речення у квазірефератах містять, як правило, основну інформацію вхідного тексту, тобто відповідають визначенню головного речення. Кількість головних речень, як правило, не перевищує 25% всіх речень цього тексту: коефіцієнт стиснення, що менший за 4, одержаний тільки для дуже коротких текстів. 3 квазіреферати з 20 отримали низьку оцінку за параметром «зв'язність», тобто ці квазіреферати мають вигляд штучних об'єднань речень, які стосуються однієї теми, ніж тексту.

Для ознакових задач розроблено ІСППР планування діяльності діагностики та модернізації трубопроводу. Нехай ІСППР перебуває в стані $St(0)$, наявний деякий матеріальний ресурс G . Перед ІСППР стоїть завдання P – перейти у деякий цільовий стан $Goal$, використовуючи цей ресурс та знання ПО, що зберігаються в її онтології: $P: St(0) \xrightarrow{\mathcal{S}} Goal$. Для оцінювання станів використано термін експлуатації трубопроводу (r), а для дій – витрату ресурсів g на перехід зі стану в стан. Тоді формула (9) для вибору альтернатив спрощується, а саме: $o(a_{ij}^k) = \frac{r_j^k}{g_{ij}^k}$, де g_{ij}^k – витрати ресурсів на перехід зі стану $St(i)$ в стан $St(j)$, використовуючи альтернативу α_k , r_j^k – термін експлуатації в стані $St(j)$, за альтернативою α_k . Так для обробки труби необхідно розв'язати три підзадачі (*підготовка, покриття, захист*), першу з яких ділять ще на чотири підзадачі (*розкриття поверхні труби, зняття захисного покриття, знежирення, ґрунтування*). Для розв'язування кожної підзадачі використовують альтернативні рішення. Для підзадачі *зняття захисного покриття* можна вибрати одну із трьох альтернатив: механічне, хімічне, термічне. Вся ця інформація зберігається в онтології матеріалознавства.

Рациональність планування діяльності формулюється так: як при мінімальних затратах максимально продовжити ресурс трубопроводу, беручи до уваги, що: 1) основним обмежувальним ресурс-фактором слугує електрохімічна корозія труби; 2) заданий орієнтовний економічний ефект, який отримує користувач ІСППР від експлуатації трубопроводу та можливі втрати від припинення експлуатації; 3) затрати на протикорозійний захист відомі і визначаються технологією такого захисту; 4) орієнтовні терміни безаварійної експлуатації трубопроводу за відомих (заданих) вжитих заходів з його протикорозійного захисту відомі з експертних оцінок, нормативів, даних неруйнівного контролю та технічної діагностики. Так для підзадачі покриття використано таке правило: *ЯКЩО ((Настав термін відновлення покриття) АБО (Настала подія пошкодження покриття) АБО (Вимірювані параметри перевищують встановлений раніше допустимий поріг)) І (Наявні ресурси для оновлення покриття) ТО (Виконати заміну покриття)*. База знань деталізує це правило через систему уточнювальних продукційних правил, побудовану відповідно до Rete алгоритму. Для ІСППР важливою є інформація, яка дає змогу досягнути успіху у вирішенні цієї проблеми, тобто: інформація про нові види протикорозійного захисту, що дають подовжені терміни безаварійної експлуатації; інформація про уточнену оцінку ресурсу трубопроводу; інформація про ефективніші технології нанесення покриттів. Для пошуку цієї інформації проаналізовано анотації наукових статей журналу «Фізика-хімічна механіка матеріалів» за останні десять років. Окремі анотації записані в розробленій онтології за допомогою SWRL-правил. Загалом отримано таку модель задачі:

$$\begin{aligned}
 \max_{\theta} & \sum_{i=0}^{N-1} o_i(a_{ij}^k) \rightarrow \max, \\
 r & \leq r_e, \\
 \sum_{i=0}^{N-1} g_{ij}^k & \leq G,
 \end{aligned} \tag{19}$$

де $r = \min_j r_j$, r_e – бажаний термін експлуатації.

Задачу (19) можна розв'язати методом функціональних рівнянь, який придатний для розв'язування задач динамічного програмування. Використання АО в складі БЗ ІСППР, дає змогу звести задачу планування діяльності до задачі динамічного програмування. У розділі продемонстровано функціонування ІСППР планування діяльності з використанням АО.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [1-3, 13, 22, 23, 27, 28, 31, 38, 39, 44, 50, 52, 57, 59, 62].

У додатку наведено фрагменти програмних кодів, в яких реалізовано розроблені методи та алгоритми побудови ІСППР, а також акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему – побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологічного підходу та підвищення ефективності таких систем, якого досягнуто завдяки застосуванню розробленого математичного та програмного забезпечення, що ґрунтується на використанні онтологій у цих системах, адаптацією онтологій до специфіки задач предметної області. Під час виконання роботи одержано такі результати.

1. Проаналізовано проблему функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Обґрунтовано актуальність вирішення проблеми підвищення ефективності цих систем завдяки використанню онтологій, що дало змогу виділити не вирішені раніше проблеми з розроблення методів та засобів використання онтологій у складі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.
2. Модифіковано структуру традиційних онтологій шляхом введення в їх структуру ваг важливості понять та відношень. Це дало змогу, завдяки налаштуванню цих ваг, адаптувати онтологію до специфіки задач предметної області та до потреб користувача системи. Така модель онтології задає не лише експліцитні, а й імпліцитні знання, що дає змогу під час процесу прийняття рішень використовувати набутий інтелектуальною системою досвід та здійснювати процес навчання таких систем.

3. Розроблено математичне забезпечення функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі адаптивної онтології, що дало змогу формалізувати процес прийняття рішень такою системою. Побудована семантична метрика на основі адаптивної онтології, на відміну від інших метрик, враховує причинно-наслідкові залежності між поняттями, а не лише їх таксономію. Для ознакових задач розроблене математичне забезпечення ґрунтується на автоматизованому визначенні множини властивостей понять, згідно до значень яких здійснюється процес підтримки прийняття рішень.
4. Отримав подальший розвиток процес автоматизованої розбудови адаптивної онтології на основі шаблонів груп відношень, які застосовують до наукових текстів після їх опрацювання парсерами. Це дало можливість в напіваавтоматизованому режимі (аксіоми необхідно писати вручну) вносити нові поняття та відношення в онтологію. У свою чергу, це суттєво розширює сферу використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, оскільки дає змогу зменшити часові та фінансові затрати на їх реалізацію.
5. Розроблено метод навчання адаптивної онтології, який полягає у налаштуванні ваг важливості її понять та відношень. Суть методу полягає у заданні ваг важливості базових понять онтології та їх розвиненням на всю онтологію для семантичних та ознакових задач, що уможливило автоматизоване налаштування онтології до специфіки предметної області та задач, які розв'язують в її межах.
6. Розроблено метод оптимізації адаптивної онтології на основі критеріїв стандарту якості інформаційних систем, який полягає у періодичному її доповненні новими поняттями та зв'язками з вилученням тих елементів, семантичне значення яких для системи найменше. В методі також враховано необхідність виявлення і усунення суперечності та надлишковості під час наповнення онтології, що відповідає критерію її цілісності. Завдяки цьому в складі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень можна використовувати онтологію, адаптовану до предметної області.
7. Розроблено уніфікований метод побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі адаптивної онтології, що дало змогу визначити архітектуру таких систем, структурні компоненти та функціональні модулі. Такий процес побудови складається із наступних етапів: побудова базової онтології; задання початкових ваг понять цієї онтології; розбудова та оптимізація онтології; розвинення ваг на всю онтологію; застосування математичного забезпечення для отримання рішення.
8. Розроблено програмне забезпечення функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, яке ґрунтується на побудованих моделях, методах та алгоритмах, що дало можливість реалізувати окремі компоненти та функціональні модулі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, ядром баз знань яких є онтологія.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Литвин В. В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень: монографія / В. В. Литвин; Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Національний університет «Львівська політехніка». – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 240 с.
2. Інтелектуальні системи, базовані на онтологіях: монографія // Д. Г. Досин, В. В. Литвин, Ю. В. Нікольський, В. В. Пасічник; Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». – Львів : «Цивілізація», 2009. – 414 с.
3. Застосування інформаційних технологій для координації наукових досліджень: монографія / Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, В. В. Литвин, Л. С. Мельничок; Національна академія наук України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка. – Львів : «СПОЛОМ», 2008. – 240 с.
4. Даревич Р. Р. Оцінка подібності текстових документів на основі визначення інформаційної ваги елементів бази знань / Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, В. В. Литвин, З. Т. Назарчук // Штучний інтелект: наук.-техн. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем штучного інтелекту. – Донецьк, 2006. – № 3. – С. 500–509.
5. Литвин В. В. Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології / В. В. Литвин // Радіоелектроніка, інформатика, управління : наук. журн. / Запорізький національний технічний університет. – 2009. – №2(21). – С. 120–126.
6. Литвин В. В. Моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологічного підходу / В. В. Литвин // Радіоелектроніка, інформатика, управління : наук. журн. / Запорізький національний технічний університет. – 2011. – №2(25). – С. 93–101.
7. Литвин В. В. Інтелектуальні агенти пошуку релевантних прецедентів на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин // Математичні машини і системи : наук. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем математичних машин і систем. – Київ, 2011. – №3. – С. 66–72.
8. Литвин В. В. Проектування інтелектуальних агентів прийняття рішень в просторі ознак з використанням онтологічного підходу / В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, Н. В. Шкутяк // Штучний інтелект: наук.-техн. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем штучного інтелекту. – Донецьк, 2010. – № 4. – С. 398–403.
9. Литвин В. В. Спосіб введення метрики для визначення відстані між текстовими документами / В. В. Литвин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2008. – № 621. – С. 162–171.
10. Литвин В. В. Метод класифікації текстових документів з використанням онтологічного підходу / В. В. Литвин, І. О. Бобик, А. С. Мельник // Вісник ТНТУ : наук. журн. / Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя. – 2011. – Том 17. – № 2. – С. 208–215.
11. Литвин В. В. Пошук релевантних прецедентів на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин // Штучний інтелект: наук.-техн. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем штучного інтелекту. – Донецьк. – 2011. – № 3. – С. 388–395.

12. Литвин В. В. Метод оцінювання подібності текстових документів доповнених контекстом з онтології / В. В. Литвин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2008. – № 610. – С. 191–197.
13. Досин Д. Г. E-ditorial – віртуалізація роботи редакційної колегії фахового періодичного видання / Д. Г. Досин, В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, О. І. Мриглод, Н. В. Шкутяк // Проблеми програмування : наук. журн. / Національна академія наук України; Інститут програмних систем. – Київ, 2010. – № 2-3. – С. 457–464.
14. Литвин В. В. Оцінка новизни знань під час автоматичної розбудови онтологій / В. В. Литвин, А. С. Мельник, В. Я. Крайовський // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2011. – № 699. – С. 343–353.
15. Литвин В. В. Метод автоматичної розбудови адаптивної онтології / В. В. Литвин, Д. І. Угрин // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків, 2011. – № 10. – С. 75–82.
16. Досин Д. Г. Модель представлення знань за допомогою об'єктів для побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / Д. Г. Досин, В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Т. М. Пугач // Штучний інтелект : наук.-техн. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем штучного інтелекту. – Донецьк, 2004. – № 3. – С. 343–349.
17. Литвин В. В. Автоматизація процесу розвитку базової онтології на основі аналізу текстових ресурсів / В. В. Литвин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2010. – № 673. – С. 319–325.
18. Литвин В. В. Задачі оптимізації структури та змісту онтології та методи їх розв'язування / В. В. Литвин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2011. – № 715. – С. 189–200.
19. Литвин В. В. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, А. С. Мельник, А. О. Мазур // Штучний інтелект : наук.-техн. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем штучного інтелекту. – Донецьк, 2011. – № 2. – С. 35–44.
20. Даревич Р. Р. Метод автоматичного визначення інформаційної ваги понять в онтології бази знань / Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, В. В. Литвин // Відбір і обробка інформації : міжвід. зб. наук. праць / НАН України, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка. – Львів, 2005. – Вип. 22(98). – С. 105–111.
21. Крайовський В. Я. Використання адаптивних онтологій в інтелектуальних системах прийняття рішень / В. Я. Крайовський, В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків, 2009. – № 4/3(40). – С. 7–12.
22. Литвин В. В. Метод автоматизованого реферування текстових документів з використанням онтологій / В. В. Литвин, В. А. Гайдін, О. Ю. Пшеничний // Складні системи і процеси : наук. журн. / Запорізький інститут державного та муніципального управління. – 2009. – № 1. – С. 81–87.

23. Литвин В. В. Про задачу автоматизованого анотування події на основі простору даних / В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська // Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: Фізика. Електроніка: зб. наук. праць. – Чернівці, 2008. – № 426. – С. 58–62.
24. Литвин В. В. Моделювання плану поведінки інтелектуального агента на основі мереж Петрі та онтологічного підходу / В. В. Литвин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2009. – № 653. – С. 170–175.
25. Досин Д. Г. Моделювання поведінки інтелектуального агента на основі онтологічного підходу / Д. Г. Досин, В. В. Литвин, Н. В. Шкутяк // Відбір і обробка інформації : міжвід. зб. наук. праць / НАН України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка. – Львів, 2009. – Вип. 31(107). – С. 112-117.
26. Литвин В. В. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень діагностування ревматологічних захворювань на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2011. – № 694. – С. 26–35.
27. Литвин В. В. Моделювання діяльності інтелектуальних агентів в туристичній сфері з використанням онтологічного підходу / В. В. Литвин, Д. І. Угрин // Інформаційні технології : Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків, 2011. – № 2/2(50). – С. 12–16.
28. Крайовський В. Я. Основні підходи до розроблення програмного комплексу автоматичного реферування текстових документів / В. Я. Крайовський, В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська // Інститут проблем моделювання в енергетиці: зб. наук. праць. – Київ, 2009. – Випуск 51. – С. 178–186.
29. Литвин В. В. Методи і засоби побудови онтології інтелектуального агента в галузі матеріалознавства / В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, А. С. Мельник, Н. В. Шкутяк // Відбір і обробка інформації : міжвід. зб. наук. праць / НАН України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка. – Львів, 2011. – Вип. 34(110). – С.129–134.
30. Литвин В. В. Підвищення ефективності функціонування інтелектуальних інформаційних систем з індуктивною компонентою / В. В. Литвин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2003. – № 464. – С. 188–195.
31. Литвин В. В. Інформаційне моделювання процесів служби працевлаштування / В. В. Литвин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія: Інформаційні системи та мережі. – 2003. – № 489. – С. 203–212.
32. Литвин В. В. Використання агентних систем, керованих онтологією, для пошуку інформації в мережі Інтернет / В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2007. – № 589. – С. 164–174.
33. Даревич Р. Р. Віртуальна бібліотека – елемент інтелектуальної системи для координації наукових досліджень / Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин, В. В. Литвин, А. О. Мазур // Штучний інтелект : наук.-техн. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем штучного інтелекту. – Донецьк, 2009. – № 4. – С. 254–262.

34. Литвин В. В. Метод побудови інтелектуальних метапошукових систем на основі адаптації онтології // В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин. – Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2008. – № 616. – С. 151–158.
35. Литвин В. В. Методи пошуку інформації у глобальній системі World Wide Web / В. В. Литвин, А. М. Пелешишин // Автоматизовані системи управління та прилади автоматики : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. – Харків, 2004. – № 127. – С. 61–68.
36. Литвин В. В. Метод побудови інтелектуальних агентів аналізу та структуризації джерел простору даних науково-технічної інформації / В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2008. – № 629. – С. 166–174.
37. Литвин В. В. Інтелектуальна інформаційна система дослідження лексичних інновацій в англomовному євроінтеграційному дискурсі / В. В. Литвин, А. С. Мельник, Г. Б. Буньо // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2008. – № 631. – С. 212–219.
38. Шаховська Н. Б. Інформаційна система реферування множини документів, поданих у різних форматах, базована на онтології / Н. Б. Шаховська, В. В. Литвин, В. Я. Крайовський // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – №672 – 2010. – С. 63–72.
39. Литвин В. В. Реферування текстових документів на основі зважування міри TF-IDF онтологією предметної галузі / В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська, В. Я. Крайовський // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2010. – № 689. – С. 294–302.
40. Литвин В. В. Підхід до побудови інтелектуального агента визначення групи банківського ризику на основі онтології / В. В. Литвин // Актуальні проблеми економіки : наук. економіч. журн. – Київ, 2011. – №7(121). – С. 314–320.
41. Lytvyn V. V. The similarity metric of scientific papers summaries on the basis of adaptive ontologies / V. V. Lytvyn // Proceedings of VIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, Polyana, Ukraine, 11-14 May 2011. – Lviv : IEEE; LPNU, 2011. – P. 162.
42. Lytvyn V. Searching the relevant precedents based on adaptive ontology / V. Lytvyn, N. Shakhovska, V. Pasichnyk, D. Dosyn // Proceedings of XII International Workshop «Computational Problems of Electrical Engineering», Kostryna, Ukraine, 5-7 September 2011. – Lviv : IEEE; LPNU, 2011. – P. 43.
43. Lytvyn V. Intelligent agent on the basis of adaptive ontologies construction [Електронний ресурс] / V. Lytvyn, D. Dosyn, M. Medykovskyj, N. Shakhovska // XIV International Conference «System Modelling and Control», Lodz, Poland, 27-29 June 2011. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – Назва з титул. екрану.
44. Shakhovska N. Dataspace class algebraic system for modeling integrated processes [Електронний ресурс] / N. Shakhovska, V. Lytvyn, J. Lipinski, M. Medykovskyj // XIV International Conference «System Modelling and Control», Lodz, Poland, 27-29 June 2011. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – Назва з титул. екрану.

45. Dosyn D. G., Modelling of the intelligent text recognition agents based on dynamic ontology. / D. G. Dosyn, R. R. Darevych, V. V. Lytvyn // Proceedings of the 4th International Conference «Internet – Education – Science – 2004», Baku-Vinnytsia-Veliko Turnovo, September 28 – October 2, 2004. – V. 2. – P. 577–579.
46. Dosyn D. New knowledge evaluation using message model of NLT document / D. Dosyn, R. Darevych, V. Lytvyn, U. Dalyk // Proceedings of the International Conference on Computer Science and Information Technologies, Ukraine, Lviv, 28-30 September 2006. – Lviv : LPNU, 2006. – P. 118–119.
47. Литвин В. В. Оптимізація змісту онтології інтелектуальної метапошукової системи // В. В. Литвин / Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», Львів, 25-27 вересня 2008. – Львів : НУ«ЛП», 2008. – С. 289.
48. Литвин В. В. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, Р. О. Голошук // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем», Дніпропетровськ, 12-14 листопада 2008. – Дніпропетровськ : ДНУ ім. Гончара, 2008. – С.78–79.
49. Литвин В. В. Моделювання діяльності раціонального агента на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, В. Я. Крайовський // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», Львів, 15-16 жовтня 2009. – Львів : НУ«ЛП», 2009. – С. 308–310.
50. Шаховська Н. Б. Використання онтологічного підходу та просторів даних для автоматизованого реферування текстових документів / Н. Б. Шаховська, В. В. Литвин, В. Я. Крайовський // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», Київ, 26-30 травня 2009. – Київ : ІПСА КПІ, 2009. – С.125.
51. Lytvyn V. Modelling of itellectual agent behavioral plan based on Petri nets and ontology approach / V. Lytvyn D. Dosyn, R. Darevych // Proceedings of the Vth International Conference on Computer Science and Information Technologies, Lviv, 28-30 September 2010. – Lviv : LPNU, 2010. – P. 149-150.
52. Крайовський В. Я. Алгоритм реферування документів, поданих у різних форматах, з використанням онтології / В. Я. Крайовський, В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», Київ, 25-29 травня 2010. – Київ : ІПСА КПІ, 2010. – С.505.
53. Литвин В. В. Математичне забезпечення розвитку базової онтології предметної області / В. В. Литвин, Д. Г. Досин, Н. В. Шкутяк // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», Херсон, 25-27 травня 2010. – Херсон : ХДМІ, 2010. – С. 345–348.

54. Литвин В. В. Проектування інтелектуальних агентів на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська, А. С. Мельник, О. Ю. Пшеничний, Ю. В. Ришковець // Матеріали VI міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», Євпаторія, 17-21 травня 2010. – Т. 2. – Херсон : ХНТУ, 2010. – С. 401–404.
55. Литвин В. В. Алгоритми планування в обчислювальних ґрид-системах / В. В. Литвин, А. С. Мельник, О. Ю. Пшеничний, В. Я. Крайовський // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми інформаційних технологій, економіки та права», Чернівці, 23-24 лютого 2011.– Чернівці : ПВНЗ «Буковинський університет», 2011. – С. 61–62.
56. Литвин В. В. Загальний підхід до розроблення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, А. С. Мельник, Р. О. Голощук, М. М. Войчишен, А. Б. Демчук // Матеріали VII міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», Євпаторія, 16-20 травня 2011. – Т. 1. – Херсон : ХНТУ, 2011. – С. 184–188.
57. Литвин В. В. Інформаційна онтологічна модель інтелектуального агента в галузі матеріалознавства / В. В. Литвин, А. С. Мельник, Д. Г. Досин, Р. Р. Даревич, Н. В. Шкутяк, В. М. Білик // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Наука і соціальні проблеми суспільства: інформатизація та інформаційні технології», Харків, 24-25 травня 2011. – Харків : ХНУРЕ, 2011. – С. 193–194.
58. Литвин В. В. Класифікація інтелектуальних агентів з точки зору метризації їх функціонування / В. В. Литвин, Т. М. Басюк, А. С. Мельник // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», Київ, 23-28 травня 2011. – Київ : ІПСА КПІ, 2011. – С. 277.
59. Литвин В. В. Підхід до побудови інтелектуальної системи якості трубопроводів на основі онтології / В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська, М. М. Войчишен, А. Б. Демчук // Матеріали I міжнародної науково-технічної конференції «Обчислювальний інтелект», Черкаси, 10-13 травня 2011. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 305.
60. Lytvyn V. Semantic distance on the basis of adaptive ontologies / V. Lytvyn // Proceedings of the VIth International Conference on Computer Science and Information Technologies, Lviv, 16-19 November 2011. – Lviv : LPNU, 2011. – P. 293–294.
61. Литвин В. В. Методи оптимізації адаптивних онтологій / В. В. Литвин // Комп'ютерні науки та інженерія : Матеріали II міжнародної конференції «Комп'ютерні науки та інженерія», Львів, 4-6 жовтня 2007. – Львів : НУ«ЛП», 2007. – С. 50–52.
62. Крайовський В. Я. Метод реферування множини документів на основі просторів даних та онтологічного опису / В. Я. Крайовський, В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська // Матеріали III міжнародної конференції «Комп'ютерні науки та інженерія», Львів, 14-16 травня 2009. – Львів : НУ«ЛП», 2009. – С.88–90.

63. Литвин В. В. Класифікація текстових документів на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, А. С. Мельник, В. Я. Крайовський // Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «Системний аналіз. Інформатика. Управління», Запоріжжя, 10-11 березня 2011.– Запоріжжя : КПУ, 2011. – С. 123–125.
64. Литвин В. В. Інтелектуальні системи. Моделі та методи побудови / В. В. Литвин, В. В. Пасічник, Ю. В. Яцишин // навчальний посібник з грифом МОНУ. – Київ : Видавництво університету «Україна», 2008. – 536 с.
65. Литвин В. В. Інтелектуальні системи / В. В. Литвин, В. В. Пасічник, Ю. В. Яцишин // підручник з грифом МОНУ. – Львів : «Новий Світ-2000», 2009. – 406 с.
66. Литвин В. В. Проектування інформаційних систем / В. В. Литвин, Н. Б. Шаховська // навчальний посібник з грифом МОНУ. – Львів : «Магнолія-2006», 2011. – 380 с.
67. Литвин В. В. Методи та засоби інженерії даних та знань / В. В. Литвин // навчальний посібник з грифом МОНУ. – Львів : «Магнолія-2006», 2012. – 241 с.

АНОТАЦІЇ

Литвин В.В. Методи та засоби побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень на основі адаптивних онтологій. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – математичне і програмне забезпечення обчислювальних машин і систем. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2012.

У дисертації вирішено важливу науково-прикладну проблему побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР), ядром баз знань яких є онтології. Здійснено класифікацію таких систем з погляду їх функціонування на основі онтологій. Розроблено математичне забезпечення функціонування ІСППР, яке ґрунтується на онтологіях. Для цього введено поняття адаптивної онтології. Модель адаптивної онтології визначено як розвиток класичної моделі додаванням ваг важливості понять та відношень, які зберігаються в онтології. Налаштування таких скалярних величин (ваг важливостей) дозволило адаптувати онтологію до специфіки предметної області та задач, які розв'язуються за допомогою ІСППР. Введені ваги використано під час побудови метрик, на основі яких здійснено моделювання процесу функціонування ІСППР.

Отримав подальший розвиток процес автоматизованої розбудови базової онтології, її оптимізації та навчання. Розроблено рекурсивний метод автоматизованої розбудови онтологій. За критерії оптимізації взято характеристики якості функціонування ІСППР згідно стандарту ISO 9126. Розроблено метод розвинення ваг важливості понять та відношень на всю онтологію на основі задання початкових ваг.

Наведено приклади розроблених ІСППР, функціонування яких ґрунтується на побудованих моделях, методах та алгоритмах.

Ключові слова: інтелектуальна система підтримки прийняття рішень, онтологія, адаптивна онтологія, концептуальний граф, база знань, метрика, якість функціонування інтелектуальних систем, оптимізація онтологій.

Литвин В.В. Методы и средства построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе адаптивных онтологий. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.05.03 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем. – Национальный университет «Львовская политехника», Львов, 2012.

В диссертации решена научно-прикладная проблема построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений, ядром баз знаний которых есть онтологии.

В *первом разделе* рассмотрено основные направления исследований интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) и пути использования онтологий во время построения информационных систем. Описаны модели онтологий, языки описаний и методологии их разработки. Рассмотрены методы представления онтологий на основе формальных моделей представления знаний.

Второй раздел посвящен исследованию использования онтологий в разных классах ИСППР. Показано, что суть эффективного функционирования ИСППР сводится к использованию некоторой метрики. Рассмотрены четыре класса ИСППР как декартово произведение направлений развития таких систем (классификация, планирования деятельности) и пространством их функционирования (семантические, признаковые). Чтобы построить метрику на основе онтологий, расширена классическая модель онтологии путем введения пары скалярных величин, которые характеризуют важность понятий и отношений, которые сохраняются в онтологии в зависимости от предметной области и задачи. Такую модель онтологии названо адаптивной. Построено метрики на основе адаптивной онтологии для четырех классов ИСППР.

В *третьем разделе* разработан метод автоматизированного развития адаптивной онтологии и ее обучение. Построение онтологии есть сложный и рутинный процесс, который требует много времени и ресурсов, поэтому необходимо разработать процедуры ее автоматизированного развития. Для обработки текстов на английском языке использовано систему Link Parser. Автоматизированное развитие онтологии осуществляем путем анализа семантической сети шаблонами зависимостей между понятиями онтологии. Такой метод назван рекурсивным, поскольку для анализа семантических сетей он использует элементы имеющийся онтологии. Также описан процесс обучения адаптивных онтологий, которое состоит в определении весов важности понятий и отношений онтологии. Построены методы исчисления таких весов для семантических и признаковых задач.

Четвертый раздел посвящен вопросу оптимизации адаптивных онтологий. Автоматизированный процесс развития онтологии может быть неэффективной. Поэтому необходимо рассмотреть ряд оптимизационных задач, которые связаны с содержанием и структурой онтологий. Критерием таких задач есть быстродействие системы, полнота онтологий. Показано, что такие задачи можно свести к классическим задачам, для которых известны методы решения, а именно к задаче о рюкзаке, к методу резолюций, к поиску минимального остова. Построен обобщенный унифицированный метод разработки ИСППР на основе адаптивных онтологий.

В *пятом разделе* представлены средства построения ИСППР на основе адаптивных онтологий и прикладные системы для задач классификации. Определена структура адаптивной онтологии и необходимые отношения для ее реализации программным средством Protege. Разработаны прикладные ИСППР такие, как поиск информации за контекстом, классификации текстовых документов и диагностирование ревматологических заболеваний. Показана высшая эффективность функционирования разработанных ИСППР в сопоставлении с другими методами построения таких систем.

Шестой раздел посвящен построению интеллектуальных агентов планирования деятельности на основе адаптивных онтологий. Исследована семантическая задача – квазиреферирования текстовых документов и признаковая задача – диагностика и модернизация трубопроводов. Для разработки онтологии физико-химической механики материалов, которая используется в задаче мониторинга состояния трубопроводов, использован разработанный автоматизированный метод развития онтологий на основе справочников материалов и методы ее оптимизации.

Ключевые слова: интеллектуальная система поддержки принятия решений, онтология, адаптивная онтология, концептуальный граф, база знаний, метрика, качество функционирования интеллектуальных систем, оптимизация онтологий.

Lytvyn V. Methods and tools of building of intelligent decision support systems based on adaptive ontology. – Manuscript.

Thesis for Doctor of Sciences (Engineering) degree in specialty 01.05.03 – mathematical supplying and software of computing machines and systems. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2012.

In the thesis an important scientific and practical problem of building intelligent decision support systems (IDSS) which knowledge base core is an ontology has been solved. Classification of those systems according to its functioning has been done. For each class appropriate mathematical software has been developed. IDSS models which functioning is based on the ontology had been investigated. The concept of adaptive ontology has been introduced. The model of adaptive ontology is considered as development of the classic model by adding importance weights of the concepts and relations that are stored in the ontology. Entering such scalar values (importance weights) allows adopting the ontology to the specific subject area and tasks, which are solved in the IDSS by configuring the entered weights. Further those weights are used to build metrics for search IDSS solutions. Tasks of machine learning of upper ontology and its optimization had been investigated. Recursive method of the automatic development of ontology has been developed. As the optimization criteria the characteristics of IDSS functioning quality has been taken according to [international standard](#) ISO 9126. Methods of re-estimation and propagation on the whole ontology primary established importance weights of concepts and relations have been developed.

Examples of IDSS which functioning is based on the developed models and algorithms have been presented and analysed.

Keywords: intelligent decision support system, ontology, adaptive ontology, conceptual graph, knowledge engineering, metrics, functioning of intelligent systems quality, ontology optimization.