

ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЙ

Розглядається підхід до розроблення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологій у складі баз знань таких систем. Здійснено класифікацію таких систем з погляду їх функціонування на основі онтологій. Розроблено математичне забезпечення функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, 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.

Вступ

Наукові дослідження в галузі розроблення і запровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР) 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 (ПО), як діагностування захворювань та технічних неполадок; планування та моніторинг діяльності; прогнозування та класифікація явищ; опрацювання природномовних текстів (квазіреферування, квазіанотування) тощо.

Основною компонентою ІСППР є база знань (БЗ), що формується відповідно до ПО 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 БЗ 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 дета-

льна 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 ПО.

Використання онтологій у складі БЗ ІСППР 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 ІСППР, що зумовлено психологічними аспектами. Все це свідчить та підтверджує актуальність проблематики досліджень використання онтологій у процесі побудови ІСППР.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Наукові дослідження в напрямі використання онтологій під час розроблення та функціонування інформаційних систем, зокрема ІСППР, почалися в кінці минулого століття та інтенсивно розвиваються. Основні теоретичні засади формальних математичних моделей онтологій розроблено у роботах Т. Грубера [1], який запропонував онтологію розглядати як тривимірний кортеж; у працях Н. Гуаріно [2] наведено ме-

тодики побудови онтологій та їх можливі шляхи розвитку; Дж. Сова ввів поняття концептуального графа [3], а М. Монтес-Гомес використав його для подання онтологій [4]. 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 ІСППР на основі онтологій як предмету наукових досліджень.

Аналіз основних підходів, методів та засобів побудови ІСППР 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 БЗ 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.

Ціль роботи

Тут розв'язується задача розроблення та запровадження уніфікованих методів побудови ІСППР з використанням онтологічного підходу з метою підвищення ефективності як БЗ, так і процесів функціонування таких систем.

Напрями розвитку інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень

ІСППР – програмний комплекс, призначений для допомоги користувачу приймати рішення щодо розв'язування задач у певній 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 її моделі; 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.

Основна компонента ІСППР – 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, обме-

ження), заданих на поняттях чи відношеннях онтології O .

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.

Сучасні дослідження побудови ІСППР ведуться у двох напрямках:

1) ІСППР класифікації (виведення за прецедентами, англ. Case-Based Reasoning);

2) 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

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

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 [5].

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. Внаслідок 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.

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).

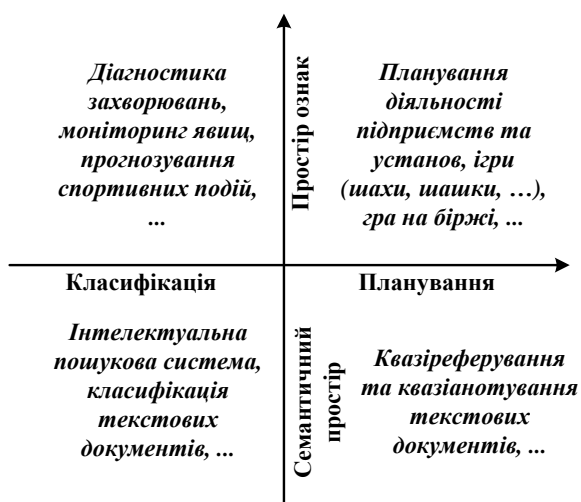


Рис. 1. Типи задач, для розв'язування яких використовують ІСППР

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 числа 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 [6, 7]. 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) можливість будувати метрики на основі онтології;
- 2) можливість адаптувати базу знань ІСППР до потреб користувача;
- 3) можливість 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.

Метрики на основі адаптивних онтологій

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 [5, 8].

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 $L_{ij} = \infty$, тоді $d_{ij} = 0$.

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 графа; 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_l} – 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:

$$d_i = \sum_{i_l \in I_i} \varphi(z_{i_l}, z_{i_l}^S), \quad (7)$$

де z_{i_l} – значення властивості x_{i_l} класу $Class_i$; $z_{i_l}^S$ – значення властивості x_{i_l} поточної ситуації S ; \bar{I}_i – множина індексів найважливіших властивостей класу $Class_i$, $\bar{I}_i = \bar{I}_{i1} \cup \bar{I}_{i2} \cup \dots \cup \bar{I}_{iN_i}$, N_i – кількість властивостей, які треба розглянути, щоб прийняти рішення стосовно належності S до класу $Class_i$, $\bar{I}_{i1} = \left\{ i_{s1} \mid i_{s1} = \arg \max_{i_l \in I_i} w_{i_l} \right\}$, $\bar{I}_{i2} = \left\{ i_{s2} \mid i_{s2} = \arg \max_{i_l \in I_i / i_{s1}} w_{i_l} \right\}$, ... 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) [9].

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 $\psi: Y_i \xrightarrow{O} X$. Тоді оцінка стану $v(St(i))$ обчислюється

$$v(St(i)) = d(St(i), Goal) = \sum_{x \in X_W} \varphi(z(\psi(x), St(i)), z(x, Goal)),$$

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 спиратимемося 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 вираш 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 $v(a_{ij}^k) = E \cdot g_{ij}^k$, де E – скалярна величина. Загалом рішення стосовно вибору дії на основі альтернатив виконуємо згідно з формулою:

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

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

$$St(j) = a(St(i), o_i),$$

$$\Theta(St(0), \vec{o}) \Rightarrow \max(\min).$$

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

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

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.

Апробація метрик

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 ознак, історія значень ознак (для задач планування); модуль керування розв'язуванням задачі (використовує побудовану 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 ранжуються згідно до відстані до еталона.

За ваги, які використовуються під час знаходження відстані, беруть ваги понять онтології, що стосуються тематики, до якої належить еталоном. 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 $Q=50$, отримуємо зважені КГ цих анотацій, які показано на рис. 2.

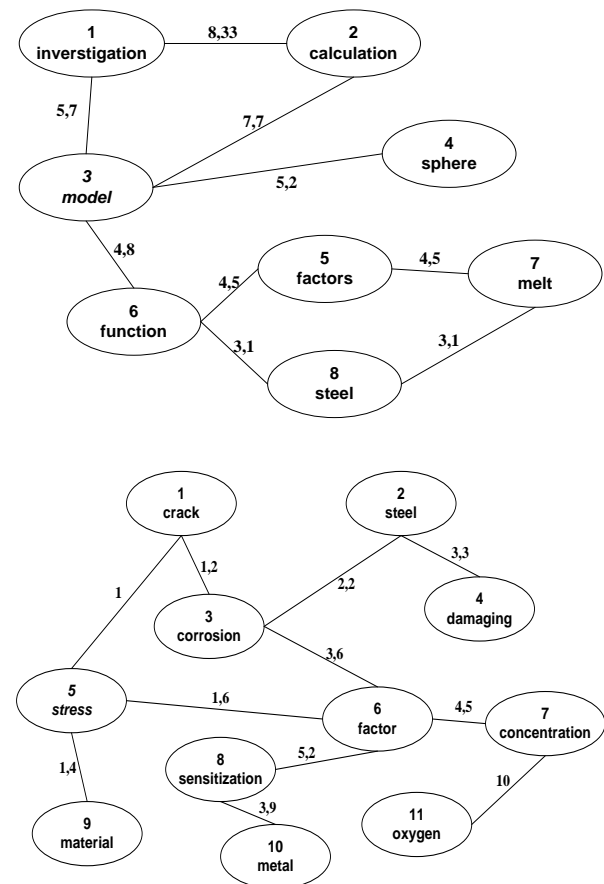


Рис. 2. Зважені концептуальні графи двох анотацій

Зверху понять наведено їх індекси. Використовуючи алгоритм Флойда-Уоршалла та формулу (6), отримуємо, 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 'corrosion' 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.

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:

$$P: St(0) \xrightarrow{G, O} Goal.$$

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 [10].

Раціональність 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 Рете 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:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Theta = \sum_{i=0}^{N-1} o_i(a_{ij}^k) \rightarrow \max, \\ r \geq r_e, \\ \sum_{i=0}^{N-1} g_{ij}^k \leq G, \end{array} \right. \quad (8)$$

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

Задачу (8) 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.

Висновки

Отже у роботі розроблено метод побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологічного підходу та підвищення ефективності таких систем, якого досяг-

нуто завдяки застосуванню розробленого математичного та програмного забезпечення, що ґрунтується на використанні онтологій у цих системах, адаптацією онтологій до специфіки задач предметної області. 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. 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. 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.

1. Gruber T. A translation approach to portable ontologies // Knowledge Acquisition. – 1993. – N 5 (2). – P. 199–220.
2. Guarino N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation // International Journal of Human-Computer Studies. – 1995. – N 43(5-6). – P. 625–640.
3. Sowa J. Conceptual Graphs as a universal knowledge representation // In: Semantic Networks in Artificial Intelligence, Spec. Issue of An International Journal Computers & Mathematics with Applications. (Ed. F. Lehmann). – 1992. – Vol. 23, N 2–5. – P. 75–95.

4. *Montes-y-Gómez M., Gelbukh A., López-López A.* Comparison of Conceptual Graphs [Електронний ресурс] // *Lecture Notes in Artificial Intelligence Vol. 1793.* – Springer-Verlag. – 2000. – Режим доступу до журналу: <http://ccc.inaoep.mx/~mmontesg/publicaciones/2000/ComparisonCG>.
5. *Литвин В.В.* Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень: монографія // Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Національний університет «Львівська політехніка». – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 240 с.
6. *Литвин В.В.* Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології // *Радіоелектроніка, інформатика, управління: наук. журн. / Запорізький національний технічний університет.* – 2009. – № 2(21). – С. 120–126.
7. *Литвин В.В.* Інтелектуальні агенти пошуку релевантних прецедентів на основі адаптивних онтологій // *Математичні машини і системи: наук. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем математичних машин і систем.* – 2011. – № 3. – С. 66–72.
8. *Литвин В.В., Даревич Р.Р., Досин Д.Г.* Пошук релевантних прецедентів на основі адаптивних онтологій // *Штучний інтелект: наук.-техн. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем штучного інтелекту.* – Донецьк. – 2011. – № 3. – С. 388–395.
9. *Shakhovska N., Medykovskyj M., Lytvyn V.* Dataspace Class Algebraic System for Modeling Integrated Processes // *Journal of applied computer science.* – 2012.– Vol. 20, N 1. – P. 69–80.
10. *Dosyn D., Lytvyn V., Yatsenko A.* DP-optimization of steel corrosion protection techniques in the intelligent diagnostic system // *Physicochemical Mechanics of Materials.* – Львів, 2012. – N 9. – P. 329–333.

Одержано 12.03.2013

Про автора:

Литвин Василь Володимирович,
доктор технічних наук,
доцент, доцент кафедри
інформаційних систем та мереж

Місце роботи автора:

Національний університет
«Львівська політехніка»,
79013, м. Львів, вул. Бандери, 12.
Тел.: (032)258 2538.
E-mail: vasy117.lytvyn@gmail.com