

РОЗРОБЛЕННЯ ПРЕЦЕДЕНТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ МОСТОВИХ КРАНІВ

© Климчук С.О., 2010

Проаналізовано переваги прецедентів. Запропоновано модель прецеденту і структурну схему СППР діагностики. Розроблено СППР діагностування кранів мостового типу.

Ключові слова: мостовий кран, діагностика, прецедент, система підтримки прийняття рішень.

The advantages of cases are analysed. The model of case and flow diagram of the diagnostics DSS are offered. Diagnostic DSS of the bridge cranes has been developed.

Keywords: bridge crane, diagnosis, case, decision support system.

Вступ

Оцінка технічного стану об'єктів машинобудування підвищеної небезпеки є пріоритетним завданням, яке вимагає застосування науково обґрунтованих методик і сучасної апаратури. Вирішення завдань, пов'язаних з безпечною експлуатацією кранів мостового типу (КМТ), які відпрацювали нормативний ресурс, з кожним роком загострюється, оскільки темпи їх відновлення значно нижчі від темпів зростання кількості кранів, в який закінчився нормативний термін експлуатації. Технічний стан більшості кранів відповідає рівню 70–80-х років минулого століття.

Незважаючи на підвищений інтерес до цієї проблеми учених, нині не набули великого поширення ефективні засоби підтримки прийняття експертних рішень з технічного діагностування КМТ, а публікації з цієї теми мають несистемний характер. У зв'язку з цим результати експертного обстеження зазвичай ґрунтуються на суб'єктивних оцінках і залежать тільки від досвіду і кваліфікації експертів, що виконують діагностику КМТ.

Ціна помилки в завданнях діагностування КМТ може бути непомірно високою, оскільки спричиняє не лише загрозу життю обслуговного персоналу, але і ризик значних економічних втрат, техногенних катастроф і завдання шкоди довкіллю. Своєчасне визначення параметрів технічного стану, виявлення і усунення причин відмов дають змогу взяти максимум заходів для запобігання нештатним ситуаціям. Тому особливої актуальності набуває створення спеціалізованих інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР), які підвищують якість діагностування і можуть використовуватися як тренажерні системи.

Аналіз стану питання

Відомі методи діагностування не охоплюють усього спектра зовнішніх дій, яких зазнають КМТ під час експлуатації. Це зумовлено різними причинами, головними з яких є недосконалість математичних моделей, що зв'язують різні критерії міцності та довговічності з різноманітним навантаженням, а також відсутністю систематизованої інформації про характер і зміни зовнішніх впливних чинників. Опис цього взаємозв'язку за допомогою математичних моделей не здійснений через відсутність формалізації процесів ушкодження і взаємозв'язку їх з кінцевою подією – відмовою підсистеми КМТ. Частка типових діагностичних завдань дуже висока і автоматизація діагностики КМТ дає змогу доповнити або замінити експертів.

Багато ранніх експертних систем моделювали хід ухвалення рішення експертом як суто дедуктивний процес з використанням логічного висновку, оснований на правилах. Проте дедуктивна модель втілює один з найрідкісніших підходів, якого дотримується експерт, вирішуючи проблеми. Висновок за правилами підходить для добре формалізованих вузькоспеціалізованих завдань, для яких існують математичні моделі, придатність яких доведена і які дають змогу

отримати рішення, що не вимагає доказів. Окрім складнощів, пов'язаних зі здобуванням і представленням знань, існує ще і проблема повноти охоплення процесу діагностики набором правил. Коли кількість правил збільшується, а самі правила ускладнюються, досягти несуперечливості стає все важче. Врахування у правилах можливих винятків призводить до надмірного ускладнення правил. Створення системи, основаної на правилах, вимагає таких трудомістких етапів, як отримання, формалізація та узагальнення експертних знань, верифікація системи на коректність і повноту. У продукційних системах не враховується попередній досвід і не розвинене самонавчання, а завдання, для якого немає правил, не може бути вирішене.

Статистичні методи, які використовуються в діагностичних системах, вимагають великого об'єму навчальної вибірки. Малосерійність і конструктивна складність КМТ унеможлиблює (і робить небажаним) проведення великої кількості вимірів діагностичних параметрів. Якщо ж розмір навчальної вибірки малий, статистичні алгоритми не дають змоги розв'язати задачу класифікації з достатньою точністю. Крім того, ці системи не здатні до самонавчання. Теорія вірогідності не дає відповіді на питання, як комбінувати вірогідність з кількісними даними. Призначення вірогідності настання відмови вимагає інформації, якої розробники діагностичних систем не мають.

Нейронні мережі здатні успішно і доволі швидко вирішувати завдання класифікації. Проблеми з нейронними мережами полягають у необхідності використання тренувальної вибірки і істотних часових витрат для навчання мережі із заданою точністю. Крім того, виникає проблема, пов'язана з розробленням оптимальної топології мережі, орієнтованої на область діагностики КМТ. Нейронні мережі також не здатні пояснювати отримане рішення.

Замість того, щоб вирішувати завдання технічної діагностики кожного разу знову, експерт (ОПР – особа, що приймає рішення) аналізує ситуацію загалом і згадує, які рішення приймалися раніше в подібних ситуаціях. Потім він або безпосередньо використовує ці рішення, або, в разі необхідності, адаптує їх до обставин, що змінилися для конкретної проблеми. Моделювання такого підходу до вирішення проблем, основаного на досвіді минулих ситуацій, привело до появи технології логічного висновку, що ґрунтується на прецедентах (англійською: Case – Based Reasoning, або CBR). У більшості енциклопедичних джерел прецедент визначається як випадок, що був раніше і слугує прикладом для наступних випадків подібного роду. Такі методи міркувань охоплюють чотири основні етапи, що утворюють так званий цикл міркування на основі прецедентів, або CBR -цикл [1].

Перевагами міркувань на основі прецедентів у завданні діагностики КМТ можна вважати такі:

- Основним джерелом знань про завдання є досвід, а не теорія.
- Можливість використання бази даних статистики обстежень КМТ, накопиченої за час експлуатації, без інтенсивного залучення експертів.
- Скорочення часу пошуку рішення за рахунок використання вже наявного рішення для подібного завдання.
- Недопущення повторного отримання помилкового рішення.
- Спрощення процесу здобуття знань (в протилежність продукційним системам). У CBR-системі діагностики КМТ здобуття знань відбувається завдяки формальному опису випадків з практики.
- Пояснення одержаного рішення (на противагу системам, основаним на нейронних мережах). CBR-система може пояснити отримане рішення, демонструючи успішний прецедент(-и) з відображенням показників схожості і міркувань, що використовувалися при адаптації прецеденту до нової ситуації. Таке пояснення є ефективнішим, ніж пояснення, що видаються системами, основаними на правилах, які іноді видають дуже довгі послідовності міркувань, а самі правила ОПР можуть здаватися неочевидними або занадто складними.
- Самонавчання у процесі роботи. Причому навчання відбувається тільки в певних напрямках, які реально відзначаються на практиці (це перешкоджає надлишковості бази знань).
- Відсутність необхідності у формалізації усіх наявних знань з діагностики, оскільки можна обмежитися обліком тільки істотних діагностичних параметрів КМТ.

- Отримання рішень за допомогою адаптації прецедентів дає змогу зменшити обсяг обчислень, знижуючи навантаження на СППР.

Мета і завдання дослідження

Мета статті – розроблення СППР технічної діагностики КМТ за параметрами метало-конструкції і випробувань.

Побудова прецедентної СППР передбачає вирішення таких завдань:

- вибір форми подання знань і структури прецеденту;
- розроблення методу пошуку прецедентів;
- розроблення структурної схеми СППР;
- програмна реалізація СППР.

Вибір форми подання знань і структури прецеденту

У завданні технічної діагностики КМТ прецедент (case) поданий у вигляді набору параметрів з конкретними значеннями і рішення:

$$\text{Case}(x_1, x_2, \dots, x_n, R), \quad (1)$$

де x_1, \dots, x_n – діагностичні параметри КМТ ($x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$), R – діагноз і рекомендації ОПР, n – кількість параметрів прецеденту, а X_1, \dots, X_n – межі допустимих значень відповідних параметрів прецеденту.

Прецедент (1) діагностики є описом поточного технічного стану КМТ в сукупності з детальною вказівкою щодо робіт, які виконують в результаті діагностики, і передбачає такі основні компоненти (рис. 1):

- діагностичні параметри КМТ;
- діагноз;
- рекомендації щодо застосування рішення.

База прецедентів (БП) СППР містить інформацію про кожен діагностичний параметр, що використовується для опису прецедентів. Крім того, БП для СППР має такі налаштування (рис. 1):

- ваги параметрів, що визначають їхню важливість для опису прецедентів;
- поріг схожості нової ситуації з прецедентами із БП;
- значення, що обмежує кількість прецедентів.

Треба підкреслити, що БП сформована з використанням [3], а також:

- досвіду, накопиченого експертами-діагностами;
- аналізу звітів з діагностики КМТ;
- правил [4];
- методики експертного обстеження [5].

Розроблення методу пошуку прецедентів

До прецеденту діагностики КМТ можуть входити такі параметри: залишковий прогин у вертикальній площині, викривлення балок і ферм у плані, скручування балок і ферм, наявність металу з ударною в'язкістю, різниця діагоналей поперечного перерізу ферми, корозія, розшарування металу, тріщини, стан приводів, стан деталей і вузлів механізмів крана, стан вантажозахоплювального пристрою, стан шляху крана, стан приладів безпеки.

Кожному параметру КМТ призначають вагу, що враховує його відносну цінність φ_i . На наступному етапі визначають ступінь відмінності поточного стану КМТ від прецедентів з БП системи і вибирають їх з метою визначення можливих діагностичних рішень.

Для ідентифікації і відбору прецеденту використано метод пошуку найближчого сусіда [6]. Ефективність методу найближчого сусіда багато в чому залежить від вибору метрики (міри схожості). На жаль, метод найближчого сусіда не дає чітких рекомендацій щодо випадку, коли є декілька прецедентів, рівновіддалених від поточної ситуації, а також неефективний у разі зашумленості початкових даних і їхньої неповноти. Для усунення вищезгаданих недоліків існують різні модифікації цього методу [7].

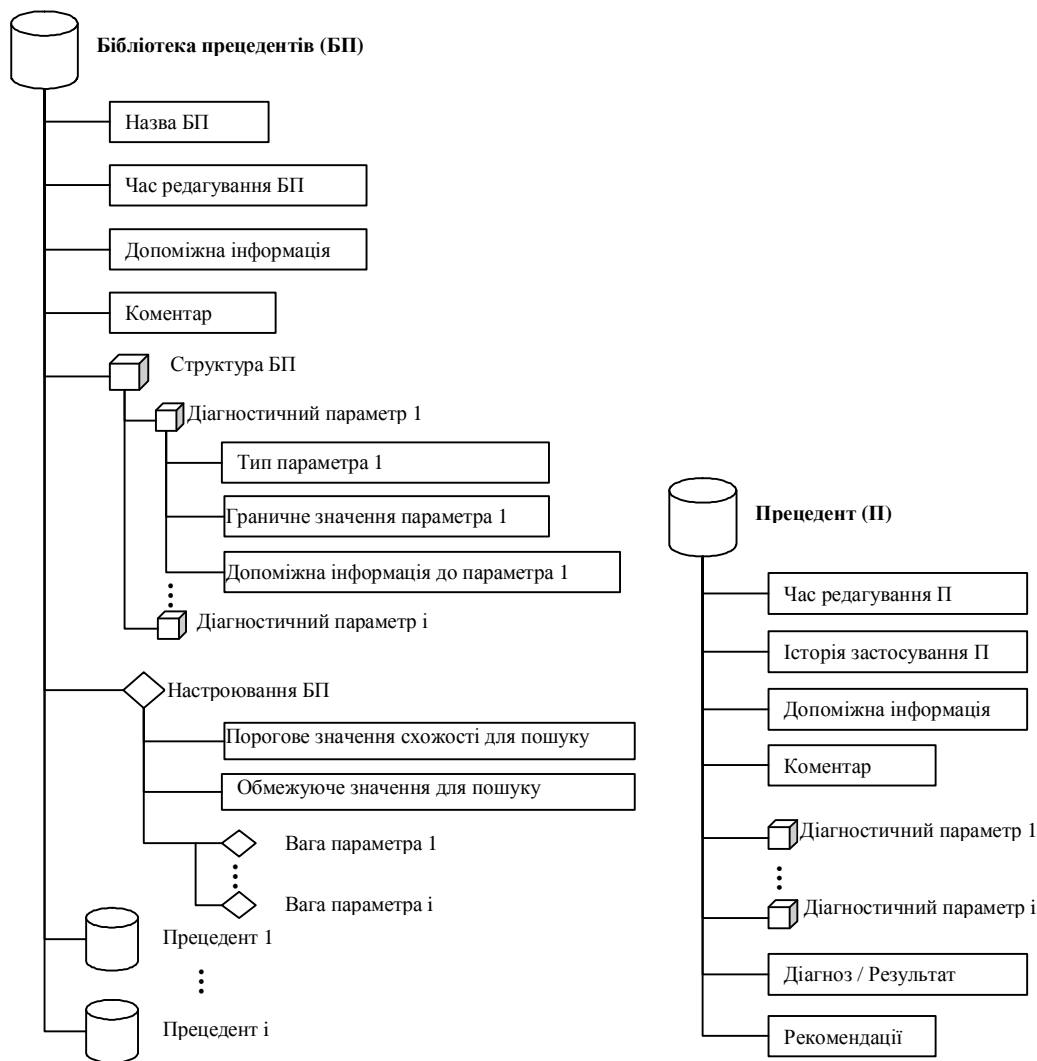


Рис. 1. Структура БП для СППР діагностики КМТ

З урахуванням специфіки систем експертної діагностики КМТ розглянемо модифікований метод найближчого сусіда. Ця модифікація полягає в тому, що вводиться спеціальна величина Q – порогове значення міри відмінності прецедентів (S_j) і поточної ситуації (S_T). Отже, у результаті порівняння вибирається не один-єдиний найближчий сусід (прецедент), а деяка множина W найближчих сусідів, міра відмінності яких менша або дорівнює пороговому значенню $\Delta(S_j, S_T) \leq Q$. Це дає змогу вирішити проблему для випадку, коли є декілька прецедентів, рівновіддалених від поточної ситуації.

У разі відсутності значень параметрів в описі прецедентів вважатимемо, що за цими параметрами прецеденти і поточна ситуація повністю збігаються.

Значення вагового коефіцієнта i -го параметра КМТ φ_i змінюватиметься в інтервалі від 0 до 1. Експерт (ОПР) визначає необхідні, на його думку, значення для вагових коефіцієнтів параметрів КМТ. Для врахування вагових коефіцієнтів параметрів КМТ під час відбору прецедентів з бази даних і обчислені міри відмінності необхідно скоригувати значення параметрів, помноживши їх на відповідний ваговий коефіцієнт ($x_i \cdot \varphi_i$), а також врахувати вагові коефіцієнти під час визначення максимальної відстані $d_{MAX}(x_i^{min} \cdot \varphi_i; x_j^{max} \cdot \varphi_i)$.

Розглянемо метод визначення найближчого сусіда, що враховує вагові коефіцієнти параметрів КМТ. Вхідними параметрами s є значення діагностичних параметрів, що описують поточний стан КМТ, M – непорожня множина БП, ϕ_1, \dots, ϕ_n – вагові коефіцієнти параметрів КМТ,

m – кількість прецедентів у базі прецедентів, Q – порогове значення міри відмінності. Вихідними даними є множина прецедентів W рішень після діагностування технічного стану КМТ, прецеденти за якими мають міру відмінності, що менша або дорівнює пороговому значенню Q . Введемо i, j – допоміжні змінні (параметри циклу). Розглянемо метод розв’язання задачі.

Крок 1. Прийmemo $W = 0, j = 1$ і переходимо до наступного кроку.

Крок 2. Якщо $j \leq m$, вибираємо прецедент діагностики S_j з множини $M (S_j \in M)$ і переходимо до кроку 3, інакше вважатимемо, що усі прецеденти діагностики з бази прецедентів розглянуто й переходимо до кроку 6.

Крок 3. Розраховуємо відстань між вибраним прецедентом S_j і поточним станом КМТ S_T з урахуванням вагових коефіцієнтів параметрів КМТ:

$$d_{S_j, S_T} = \left\{ \sum_{i=1}^n j_i \cdot [sim(x_i^{S_j}, x_i^{S_T})]^b \right\}^{\frac{1}{b}},$$

де $sim(x_i^{S_j}, x_i^{S_T})$ – функція розбіжності (метрика), b – коефіцієнт, що визначає метрику ($b = 1$ – манхетенська метрика, $b = 2$ – евклідова метрика). У разі відсутності значення параметра $x_i^{S_T}$ в описі поточного стану КМТ S_T розрахунок відстані d_{S_j, S_T} виконуємо, припустивши

$$x_i^{S_T} = x_i^{\min} + \frac{x_i^{\max} - x_i^{\min}}{2}. \text{ Далі переходимо до наступного кроку.}$$

Крок 4. На цьому кроці обчислюємо ступінь розбіжності $\Delta(S_j, S_T) = \frac{d_{S_j, S_T}}{d_{\max}}$ (під час розрахунку d_{\max} враховуються вагові коефіцієнти параметрів КМТ) і переходимо до кроку 5.

Крок 5. Якщо $\Delta(S_j, S_T) \leq Q$, то такий прецедент S_j і відповідне йому рішення відносно діагностики додаємо до результативної множини W , тобто вибираємо такий прецедент з бази прецедентів. Приймаємо $j = j + 1$ і переходимо до кроку 6.

Крок 6. Якщо $W=0$, то прецеденти діагностики для поточного КМТ не знайдені. Необхідно збільшити порогове значення Q і перейти до кроку 1. Інакше прецеденти діагностики для поточного КМТ успішно вибрані.

Крок 7. У результаті знайдені прецеденти діагностики КМТ становлять множину W можливих варіантів діагностування КМТ і можуть бути упорядковані за зменшенням значень їхнього ступеня відмінності з поточним КМТ.

Структурна схема СППР технічної діагностики КМТ на основі прецедентів наведена на рис. 2.

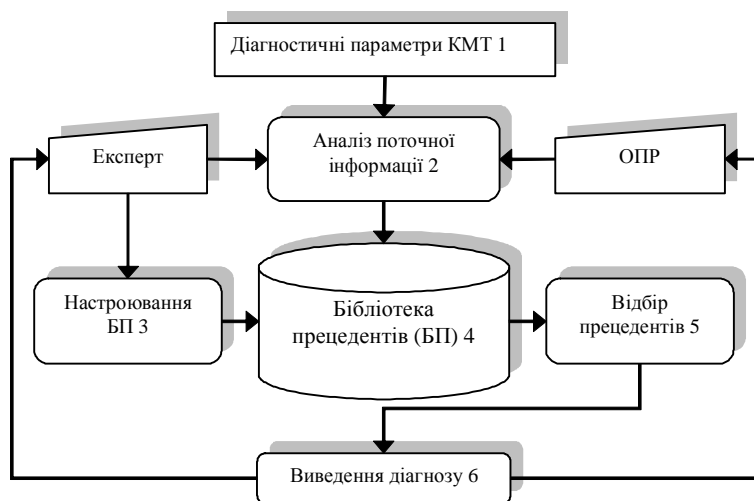


Рис. 2. Структурна схема СППР технічної діагностики КМТ

Основними функціональними компонентами СППР є:

- блок 1 отримання діагностичних параметрів КМТ від експертів, системи контролерів, оперативної БД;
- блок 2 аналізу поточного стану КМТ, призначений для попередньої обробки інформації про стан об'єкта;
- експерт через блок 3 налаштування БП здійснює формування структури БП, завантаження БП, збереження БП і т.п.;
- блок бібліотеки прецедентів 4, що вже відзначались при діагностиці КМТ, або заданих експертом на основі його власного досвіду;
- блок 5 пошуку рішення, що реалізує відбір прецедентів для діагностики;
- блок 6 виведення результатів, який здійснює виведення діагнозу і рекомендацій ОПР.

Програмна реалізація СППР

Відповідно до запропонованої структурної схеми за допомогою програми myCBR [8] була розроблена СППР діагностування металоконструкцій і оцінки проходження випробувань КМТ. Як початковий базовий набір прецедентів використовується каталог ситуацій, складений за даними зі звітів технічної діагностики КМТ ТОВ “Інженерний центр промислової безпеки” (м. Луганськ) і експертно-діагностичної науково-дослідної лабораторії “Вантажопідйомні машини і промислові спорудження” ВНУ ім. В. Даля.

На рис. 3 реалізована структура прецеденту: визначено типи діагностичних параметрів, їхні граничні обмеження і значення за замовчуванням.

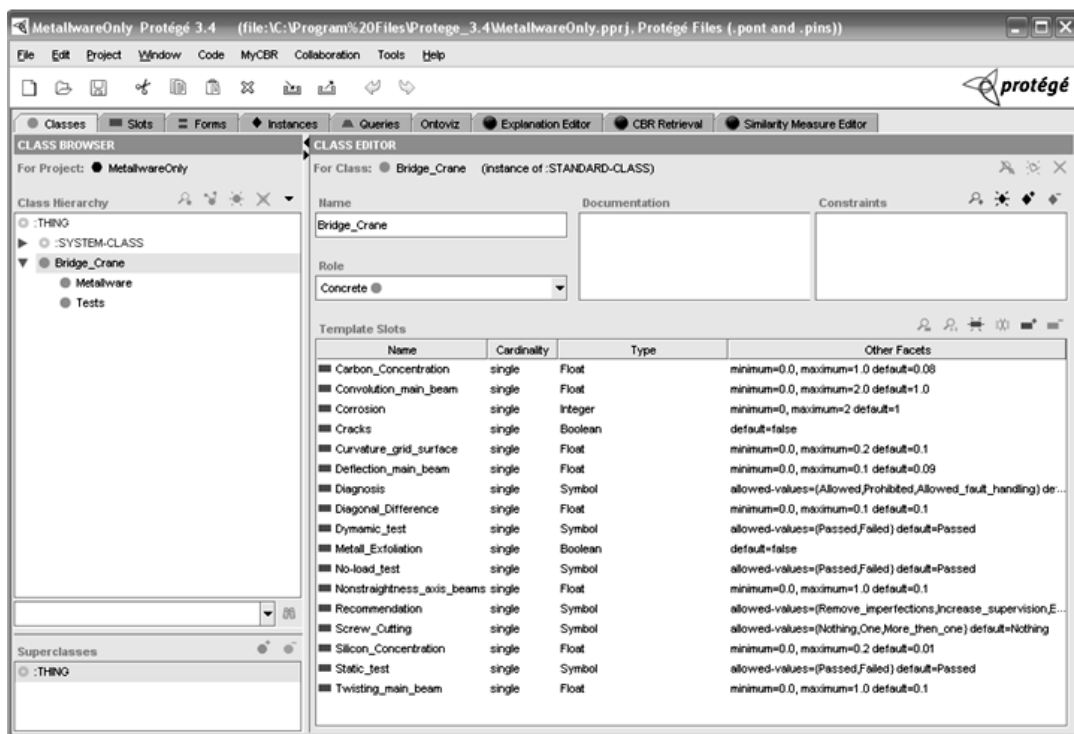


Рис. 3. Структура прецеденту

СППР дає змогу задавати локальні метрики подібності для значень кожного діагностичного параметра, ваги параметрів і глобальну метрику подібності для прецедента загалом. Це означає, що, якщо прецедент складається з n параметрів, подібність між запитом q і прецедентом c обчислюється за формулою:

$$Sim(q, c) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot sim_i(q_i, c_i),$$

де sim_i і w_i визначають локальну метрику подібності та вагу параметра i відповідно, а Sim визначає глобальну метрику подібності. Окрім зваженої суми як глобальної метрики, можна

використовувати також метрику Евкліда, максимум і мінімум. Програма дає змогу визначати власні метрики подібності на мові Jython.

Далі визначаються метрики подібності для кожного параметра. На рис. 4 наведена як приклад метрика подібності для параметра “Рекомендації” (Recommendation), який має тип “список”. На рис. 5 наведена як приклад метрика подібності для числового параметра “Вигнутість головних балок” (Convolution_main_beam).

Similarity mode: **i**

Symmetry: symmetric asymmetric **i**

Case Base Values

Query Values	Reset	Remove_imperfecti...	Increase_supervision	Exclude_service	Control_metalware...
Remove imperfections		1.0	0.5	0.9	0.85
Increase supervision		0.5	1.0	0.7	0.8
Exclude service		0.9	0.7	1.0	0.8
Control metalware condition		0.85	0.8	0.8	1.0

Рис. 4. Метрика подібності для параметра “Рекомендації”

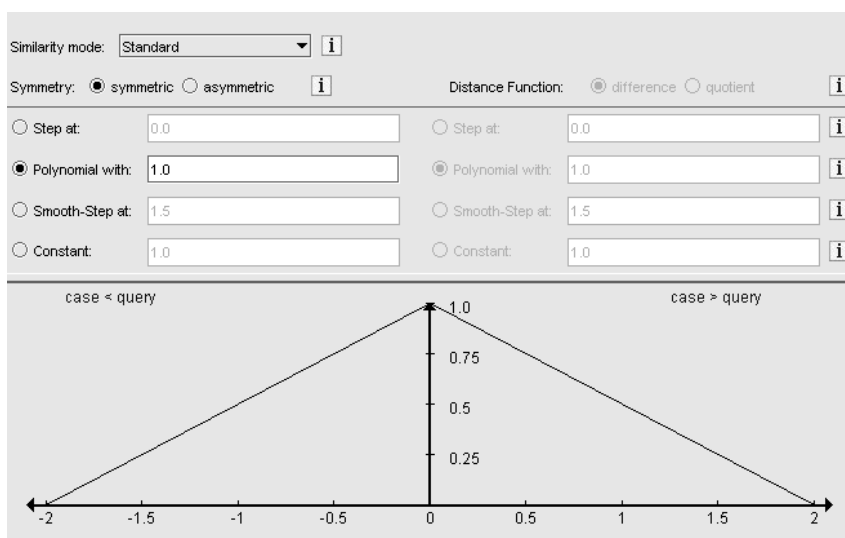


Рис. 5. Метрика подібності для параметра “Вигнутість головних балок”

Protégé 3.4 (file: C:\Program\20Files\Protégé_3.4\MetallwareOnly.pprj, Protégé Files (.pont and .pins))

File Edit Project Window Code MyCBR Collaboration Tools Help

Classes Slots Forms Instances Queries Ontoviz Explanation Editor CBR Retrieval Similarity Measure Editor

Bridge_Crane Retrieve Load Save Clear Reset

Query	Bridge_Crane_24	Bridge_Crane_12	Bridge_Crane_14
Carbon_Concentration	0.56347823	0.006775558	0.73627627
Convolution_main_beam	0.96207595	1.1814339	0.4009155
Corrosion	0	1	1
Cracks	false	1	1
Curvature_grid_surface	0.09925578	0.9104357656	0.08015973843
Deflection_main_beam	0.02872186	0.048575606	0.094115354
Diagnosis	Allowed	1 Prohibited	0 Prohibited
Diagonal_Difference	0.033957906	0.075029984	0.056320786
Dynamic_test	Passed	1 Passed	1 Passed
Metal_Exfoliation	undefined	false	false
Nonstraightness_axis_beams	Passed	Failed	Passed
Recommendation	0.17729509	0.037644148	0.7871155
Screw_Cutting	Nothing	0 Nothing	1 Nothing
Silicon_Concentration	0.11859878	0.005707419	0.019835524
Static_test	Passed	Failed	Failed
Twisting_main_beam	0.8665782	0.14229459	0.6492153

“Cracks” is: Documentation: See also:

QUERY RESULTS

1	Bridge_Crane_24	0.87
2	Bridge_Crane_12	0.87
3	Bridge_Crane_14	0.86
4	Bridge_Crane_26	0.83
5	Bridge_Crane_4	0.82
6	Bridge_Crane_25	0.82
7	Bridge_Crane_16	0.8
8	Bridge_Crane_9	0.8
9	Bridge_Crane_13	0.76
10	Bridge_Crane_21	0.75
11	Bridge_Crane_19	0.75
12	Bridge_Crane_22	0.74
13	Bridge_Crane_1	0.73
14	Bridge_Crane_15	0.72
15	Bridge_Crane_23	0.71
16	Bridge_Crane_10	0.71
17	Bridge_Crane_6	0.71
18	Bridge_Crane_8	0.69
19	Bridge_Crane_20	0.69
20	Bridge_Crane_2	0.69
21	Bridge_Crane_11	0.66
22	Bridge_Crane_7	0.62
23	Bridge_Crane_18	0.62
24	Bridge_Crane_17	0.58
25	Bridge_Crane_5	0.5
26	Bridge_Crane_3	0.49
27	Bridge_Crane_27	0.48

Start: 7:12:15
Finish: 7:12:15
Duration: 0,031 sec

Рис. 6. Настроювання параметрів запиту і пошуку прецедентів

Після уточнення усіх необхідних метрик подібності здійснюється відбір прецедентів. Пошук найближчого до розв’язання задачі діагностики прецеденту визначається порівнянням параметрів

поточного запиту (рис. 6) і прецедентів у БП. Перша колонка в списку на рис. 6 є списком діагностичних параметрів. Друга колонка використовується для уточнення параметрів запиту. Також надається можливість сформулювати запит, модифікувавши необхідні параметри прецедентів у БП. Після формування запиту і здійснення пошуку у крайній правій колонці на рис. 6 будуть показані усі прецеденти за зменшенням релевантності з наведенням ступеня подібності кожного прецедента.

Після того, як відібраний відповідний прецедент, може виконуватися його адаптація – модифікація наявного в ньому рішення з метою його відповідності параметрам поточної ситуації і збереження в БП [9, 10]. У СППР адаптація здійснюється у формі конкретизації прецеденту, що передбачає уточнення значень діагностичних параметрів. У разі відсутності необхідності в адаптації виконується збереження вибраного прецеденту без зміни параметрів.

Висновки

1. У ході дослідження було встановлено, що діагностика на основі прецедентів має низку переваг. Цей підхід дає змогу вирішувати недостатньо формалізовані завдання діагностики КМТ, спростити отримання знань від експертів, скоротити час пошуку рішення і реалізувати самонавчання.

2. Запропонована модель прецеденту дає змогу охарактеризувати стан КМТ під час діагностики.

3. Запропонована структурна схема СППР діагностики КМТ. Основними компонентами, які відбивають її функціональні можливості, є база прецедентів, блок її налаштування і отримання прецедентів.

4. Розроблена СППР діагностики металоконструкцій і випробувань КМТ. Програмна реалізація дає змогу вказувати параметри подібності для кожного діагностичного параметра і усього прецеденту загалом, задавати ступінь важливості параметрів. Застосування СППР сприяє зменшенню інформаційного навантаження на ОПР у процесі ухвалення рішень, зниженню впливу чинників суб'єктивності під час аналізу поточної ситуації, скороченню часу, необхідного для ухвалення рішення.

1. Aamodt A. *Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches* / A. Aamodt, E. Plaza // *AI Communications*, Vol. 7, Issue 1, 1994. – p. 39–59. 2. Eremeev A. *Case - based reasoning method for real - time expert diagnostics systems* / A. Eremeev, P. Varshavsky // *International Journal Information Theories & Applications (ITHEA)* 2008, Vol.15, p. 119–125. 3. Ульшин В.О. *Моделі представлення знань експертних систем підтримки прийняття рішень при діагностуванні* / В.О. Ульшин, С.О. Климчук // *Вісник СХУ ім. В. Даля*. – 2009. – №5 (135). – С. 21–25. 4. *Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів: НПАОП 0.00-1.01-07*. – Х.: Форт, 2007. – 256 с. 5. *Методика проведення експертного обстеження (технічного діагностування) кранів мостового типу: ОМД 00120253.001-2005*. – Х.: Форт, 2005. – 157 с. 6. Варшавский П.Р. *Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений* / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // *Искусственный интеллект и принятие решений*. – № 1, 2009. – С. 45–57. 7. Нефедов Л.И. *Метод поиска прецедентов проектов ликвидации чрезвычайных природных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах* / Л.И. Нефедов, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 1, 2010. – С. 50–52. 8. Stahl A. *Rapid Prototyping of CBR Applications with the Open Source Tool myCBR* / A. Stahl, T. Roth – Berghofer // *Proc. of the 9th European Conference on CBR (ECCBR 2008)*. - Trier (Germany) : Springer, 2008. – P. 615–629. 9. Pal S. *Foundations of soft case - based reasoning* / S. Pal, S. Shiu // *John Wiley & Sons, Inc.*, 2004. – 274 p. 10. Anguel F. *Knowledge Management for Fault Diagnosis of Gas Turbines Using Case Based Reasoning* / F. Anguel, M. Sellami // *Communications of the IBIMA*. – 2009. – Vol. 10, number 24, p. 186–190.