

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

О.Д. Панкевич, С.Д. Штовба

Нечітка логіка – це формальний математичний апарат представлення та використання знань у вигляді природно-мовних висловлювань на основі нечітких множин [1,2]. Спроби застосування теорії нечітких множин в будівництві розпочалися в 80-х роках. Це роботи з прогнозування надійності та живучості кам'яних будівель в сейсмічних районах, з оцінки ступеня пошкоджень землетрусами будівель та споруд, з оптимізації конструкцій, які працюють в агресивному середовищі та інші. Сьогодні нечітка логіка стає популярним математичним апаратом моделювання в будівництві. Метою статті є демонстрація можливості розробки діагностичних моделей в будівництві на основі теорії нечітких множин з використанням систем нечіткого висновку.

Однією з важливих задач діагностування дефектів будівельних конструкцій (тріщин, прогинів, сколів тощо) є визначення причини їх появи за зовнішніми ознаками. Кількість можливих діагностичних вирішень завжди є кінцевою, що дозволяє розглядати задачу визначення причини появи дефекту як задачу розпізнавання образів. В цьому випадку в якості образу буде виступати технічний об'єкт, що діагностується, в якості класів – можливі причини виникнення дефекту, в якості інформаційних ознак – вектор параметрів стану.

З математичної точки діагностування дефекту будівельної конструкції відповідає відображенню типу

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \rightarrow d \in D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\},$$

де X – множина параметрів стану конструкції, що діагностується;
 D – множина причин появи дефекту.

При прийнятті діагностичних рішень в реальних умовах необхідно враховувати десятки параметрів стану, які, як правило, мають різномірний характер: вони можуть бути кількісними (розмір тріщини, ширина швів цегляної кладки, товщина захисного шару бетону і т.п.); якісними (місце розташування дефекту – верхня частина, нижня частина і т.п, тип конструкції – несуча, самонесуча тощо); бінарними (наявність вимощення – є / немає). Задача ускладнюється ще й тим, що відсутні аналітичні залежності, які пов'язують параметри стану та діагностичні рішення. Зауважимо, що висококваліфіковані експерти-діагности в змозі визначити причини появи дефектів спираючись лише на власний досвід та теоретичні знання. При діагностуванні експерти часто приймають рішення на основі природно-мовних правил типу «Якщо – Тоді», які по суті являють собою лінгвістичну модель розпізнавання образів.

Процес перетворення лінгвістичної моделі розпізнавання образів в математичну пропонується здійснювати за допомогою апарату нечіткої логіки. Залучення апарату нечіткої логіки, на відміну від традиційних методів математичного моделювання, дозволяє без суттєвих труднощів використовувати доступну експертну лінгвістичну інформацію. В системах діагностування, що засновані на нечіткій логіці, визначення діагнозу здійснюється шляхом логічного висновку по нечіткій базі знань. Нечітка база знань являє собою сукупність лінгвістичних знань – правил типу:

$$\text{Якщо } x_1 = a \text{ та } x_2 = b \text{ та } x_3 = c, \text{ тоді } D = d, \quad (1)$$

де a, b, c, d – слова або словосполучення природної мови.

Правила, що входять в нечітку базу знань, являють собою концентрацію досвіду експерта та його розуміння зв'язку «входи - вихід». Особливістю нечіткого логічного висновку є

можливість встановлення діагнозу для випадку, коли в базі знань відсутній прецедент. Іншими словами, можливо по правилу з нечіткої бази знань (1) формально відповісти на питання: «Яким буде D , якщо $X_1 = \text{більше } a \text{ та } X_2 = \text{менше за } b \text{ та } X_3 = \text{трохи більше за } c$?». Спеціально розроблені методи [3-5] дозволяють проводити нечіткий логічний висновок при якісних (лінгвістичних), кількісних та бінарних параметрах стану об'єкту, який діагностуємо.

Для побудови нечіткої моделі необхідно:

- представити зв'язок між інформаційними ознаками та класами у вигляді ієрархічного дерева нечіткого логічного висновку;
- представити параметри стану та класи у вигляді лінгвістичних змінних;
- формалізувати нечіткими базами знань природно-мовні експертні висловлювання про взаємозв'язок між ознаками та класами;
- згенерувати навчаючу вибірку та провести настройку нечіткої моделі.

Задача настройки моделі являє собою пошук таких вагових коефіцієнтів правил та параметрів функцій належностей лінгвістичних термів, які забезпечують найменшу розбіжність між експериментальними даними та результатами моделювання. Для розв'язання складної нелінійної задачі оптимізації, що виникає на етапі настройки моделі, часто використовують генетичні алгоритми. В основу генетичних алгоритмів покладена імітація еволюційних процесів, що відбуваються в живій природі. Генетичні алгоритми дозволяють значно ефективніше за звичайні методи математичного програмування розв'язувати задачі оптимізації такого типу. Нещодавно були розроблені методи настройки систем нечіткого логічного висновку [4,5], що значно розширюють сферу його практичного застосування.

Викладений метод створення математичної моделі діагностування дефектів будівельних конструкцій був покладений в розробку моделі та автоматизованої системи підтримки прийняття рішень при діагностуванні тріщин цегляних конструкцій будівель.

Причини виникнення тріщин у цегляних конструкціях класифіковано в такий спосіб: d_1 – перевантаження статичне; d_2 – перевантаження динамічне; d_3 – особливе перевантаження; d_4 – дефекти фундаментів чи основи; d_5 – температурний вплив; d_6 – властивості матеріалу або порушення технології виконання робіт. Наведена класифікація відповідає максимальній глибині діагностування на етапі візуального огляду.

Для визначення причин виникнення тріщини використовується інформація про такі параметри стану об'єкта: x_1 – тип конструкції; x_2 – умови роботи конструкції; x_3 – товщина горизонтальних швів; x_4 – відхилення при заповненні швів; x_5 – система перев'язки; x_6 – наявність непередбачених отворів; x_7 – дефекти армування; x_8 – кривизна конструкції; x_9 – перевищення допустимого відхилення від вертикалі; x_{10} – зволоження кладки; x_{11} – лушення кладки; x_{12} – вивітрювання кладки; x_{13} – вилуговування кладки; x_{14} – викришування кладки; x_{15} – місцеположення тріщини; x_{16} – вид тріщини; x_{17} – напрямлення розкриття; x_{18} – ширина тріщини; x_{19} – довжина тріщини; x_{20} – наслідок пожежі; x_{21} – інформація про землетруси, вибухи; x_{22} – наявність динамічного навантаження; x_{23} – сколювання під перемичкою; x_{24} – глибина тріщини; x_{25} – зсув підпірної стіни або стіни підвалу; x_{26} – аварії систем водо- та теплозабезпечення; x_{27} – наявність організованих водостоків, вимощення, вертикального планування; x_{28} – наявність слабких, просадочних ґрунтів, ґрунтів, що здимаються, територій, що підроблюються; неоднорідності ґрунту; x_{29} – наявність води у підвалі; x_{30} – наявність поблизу ємнісних споруд; x_{31} – наявність поблизу об'єктів, що будуються (вже прибудовані), або знос будівлі, що впритул примикає до існуючої; x_{32} – зміщення балок, перемичок в процесі експлуатації; x_{33} – необхідність улаштування осадкового шва; x_{34} – наявність осадкового шва; x_{35} – невраховані в проекті навантаження; x_{36} – наявність механічних ушкоджень, що призводять до зменшення розрахункового перерізу; x_{37} – обпирання балок та прогонів перекриття без необхідних конструктивних заходів; x_{38} – недостатня величина обпирання балок і плит; x_{39} – необхідність улаштування температурного шва; x_{40} – наявність температурного шва; x_{41} – виконання робіт в зимовий період; x_{42} – застосування різномірних матеріалів, та матеріалу не за призначенням.

Ієрархічний взаємозв'язок між параметрами стану і причиною виникнення тріщини (D) відповідає таким співвідношенням

$$D = f_D(x_1, x_2, y_1, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, y_3);$$

$$\begin{aligned}
 y_1 &= f_{y_1}(x_3, x_4, x_5, x_6, y_2, x_7, x_8, x_9, x_{10}); & y_2 &= f_{y_2}(x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}); \\
 y_3 &= f_{y_3}(y_1, y_5, x_{20}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, y_6, y_7); \\
 y_4 &= f_{y_4}(x_{25}, x_{26}, y_8, x_{27}, x_{28}, x_{29}, x_{30}, x_{31}, x_{32}); & y_5 &= f_{y_5}(x_{35}, x_{36}, x_{37}, x_{38}); \\
 y_6 &= f_{y_6}(x_{39}, x_{40}); & y_7 &= f_{y_7}(x_{41}, x_{42}); & y_8 &= f_{y_8}(x_{33}, x_{34}),
 \end{aligned}$$

де $f()$ – функціональний зв'язок між вхідними та вихідними змінними;

y_{1-7} – укрупненні параметри, такі як: y_1 – стан конструкції, y_2 – руйнування кладки, y_3 – додаткова інформація, y_4 – можливість деформацій основи, y_5 – можливість статичного перевантаження, y_6 – дотримання вимог до температурного шва, y_7 – можливість порушення технології виробництва та неврахування властивостей матеріалів.

Кожне з цих співвідношень задається нечіткою базою знань. Кожна строка бази знань відповідає одному лінгвістичному правилу типу «Якщо – Тоді». Загальна кількість правил в дев'яти нечітких баз знань дорівнює 151. Терми, що використовуються для оцінки параметрів стану задані нечіткими множинами з дзвіноподібними функціями належності. Цим співвідношенням ставиться у відповідність система нечітких логічних рівнянь, по якій здійснюється визначення причини виникнення конкретної тріщини.

Дана діагностична модель покладена в основу автоматизованої експертної системи підтримки прийняття рішення при визначенні причин появи тріщини в цегляних конструкціях будівлі. Експертна система реалізована на базі програмної оболонки Fuzzy Expert [3]. На рис. 1, 2 представлено головне вікно системи та вікно виведення результатів.

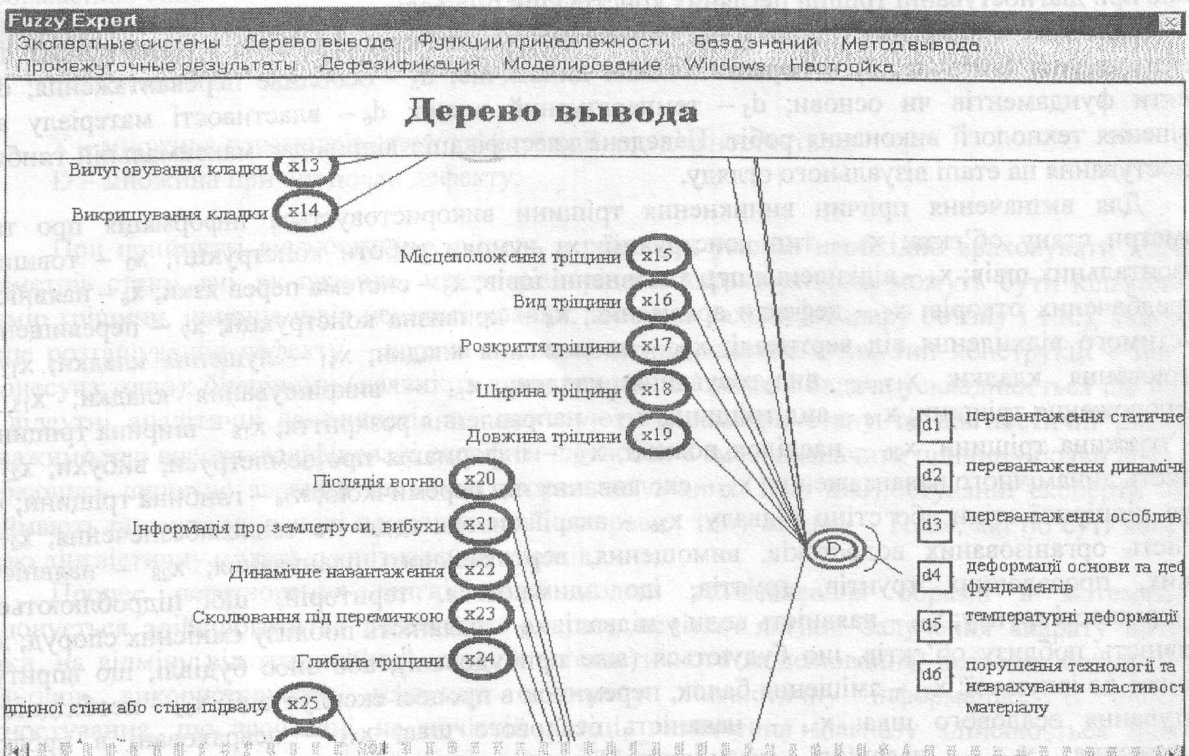


Рис. 1. Головне вікно системи

Система дозволяє проводити ранжирування можливих причин виникнення тріщини цегляної конструкції будівлі на основі аналізу 42-х параметрів стану. Крім цього вона дозволяє будувати однофакторні залежності причини виникнення тріщини від зміни параметрів стану та проводити збір, обробку та зберігання діагностичної інформації.

Навчання нечіткої моделі здійснено генетичним алгоритмом [6]. В результаті навчання

отримані оптимальні значення параметрів функцій належностей лінгвістичних термів та вагових коефіцієнтів правил нечітких баз знань.

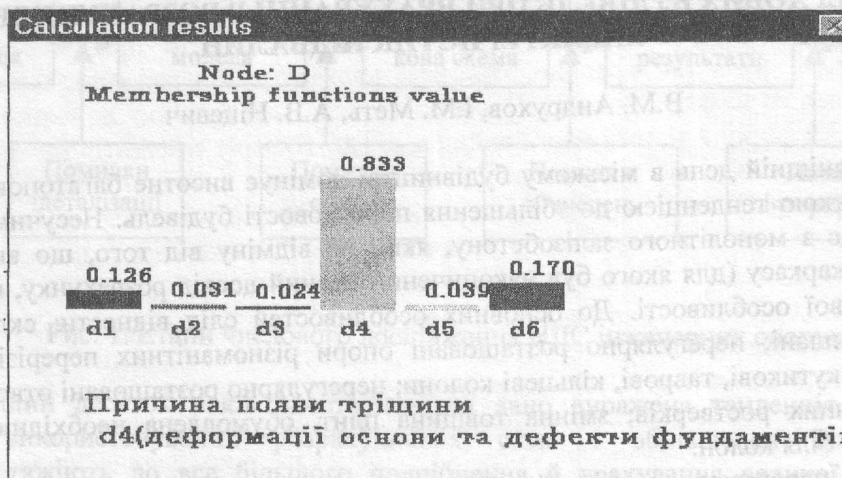


Рис. 2. Вікно результатів діагностування

Після навчання кількість помилкових рішень на навчальній вибірці зменшилася в 4 рази і складає 2 помилки на 55 тріщин. На тестувальній вибірці з 34 тріщин прийнято 2 помилкових рішення. Загалом з 89 тріщин збігання модельного рішення з дійсною причиною виникнення тріщини спостерігалось в 85 випадках, тобто в 95,5 %. В решті випадках дійсній причині відповідало друге за рангом модельне рішення.

Висновки

Викладено підхід до розробки діагностичних моделей в будівництві, на основі теорії нечітких множин і генетичних алгоритмів. Описана автоматизована система визначення причини появи тріщин в цегляних конструкціях будівель є одним з прикладів практичного застосування запропонованої теорії діагностування пошкоджень. Запропонований підхід може бути покладений в основу моделей для діагностування будівельних, механічних, електроенергетичних та інших технічних об'єктів.

Список літератури

1. Zimmerman H.-J. Fuzzy Sets Theory – and Its Applications. 3rd ed. – Kluwer Academic Publisher, 1996. – 435 p.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
3. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНІВЕРСАМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
4. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. – Винница: Континент-ПРИМ, 1996. – 132 с.
5. Fuzzy Diagnostic and Therapeutic Decision Support // Ed. K.-P. Adlassnig. – Vienna: Osterreichische Computer Gesellschaft, 2000. – 187 p.
6. О.Д. Панкевич, С.Д. Штовба Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 108с.

Панкевич Ольга Дмитрівна – к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Штовба Сергій Дмитрович – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету.