

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО
СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ**

*д.т.н., проф. Михайленко В.М., к.т.н., доц. Терентьєв О.О,
асп. Єременко Б.М.*

Київський національний університет будівництва і архітектури

В сучасних умовах на конструкції будівель діють різноманітні навантаження, технологічні засоби та природні явища. В результаті цього впливу відбувається зниження їх експлуатаційних якостей. Відновлення та реконструкція таких будівель вимагає обстеження їх технічного стану. Оцінка технічного стану будівельних конструкцій представляється у визначенні ступеню пошкодження, категорії технічного стану і можливості їх подальшої експлуатації за функціональним призначенням. Відповідно до основних пунктів “Методичних рекомендацій з питань обстежень частин будівель та їх конструкцій”, спеціалістам необхідно обстежити стан елементів конструкцій, виявити дефектні та аварійні конструкції [1,2].

Досвідчені спеціалісти можуть визначати причину виникнення дефектів та категорію технічного стану конструктивних елементів, якому характерний даний дефект, без застосування математичного апарату будівельної механіки. Наприклад: “Якщо тріщина в стіні *вертикальна*, та проходить *через усю конструкцію*, та напрям розкриття *донизу*, та ширина розкриття *велика*, та ґрунти *слабкі*, тоді причина – *нерівномірне осідання фундаменту*”. При прийнятті рішень використовують лінгвістичні правила, особисті знання і досвід діагностування в різних умовах експлуатації. Як наслідок – оцінки технічного стану будівельних конструкцій і прогнози розвитку їх руйнування часто мають суб’єктивний характер і потребують значних витрат часу.

Створення інформаційної технології оцінки технічного стану будівельних конструкцій, значною мірою підвищить якість обстеження будівель, прискорить та зменшить трудомісткість роботи по обробці результатів обстежень у відповідності до нормати-

вних документів [1]. Одним із потужних методів обробки таких експертних знань є теорія нечітких множин. Даний підхід дає можливість будувати системи діагностування будівель та споруд на базі експертних висловлювань про залежність ступеня пошкодження конструкцій від виявлених дефектів та пошкоджень. Серед багатьох застосувань зазначених технологій – інтелектуальні методи діагностування на базі накопичених знань експертів і поточних відомостей про стан об'єктів будівництва. Значну роль при цьому відіграють засоби нечіткої математики. Серед найпоширеніших методів інтелектуальних інформаційних технологій виділяють: нечіткі системи, гібридні мережі, експертні системи [3-5].

Оцінкою технічного стану конструктивних елементів будівель за допомогою використання інтелектуальних інформаційних технологій займається ряд спеціалізованих організацій. Та, незважаючи на великий обсяг проведених робіт з обстеження пошкоджених будівельних конструкцій, на теперішній час, відсутня єдина інформаційна технологія діагностування їх дефектів та пошкоджень [3,6]. Такий стан пояснюється високою складністю задачі діагностування, при вирішенні якої необхідно враховувати вплив великої кількості різноманітних факторів.

Саме тому, **мета роботи** полягає в розробці інформаційної технології оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій на основі нечітких моделей. Для вирішення даної задачі розглянемо структурну схему діагностування технічного стану будівель та їх конструктивних елементів, що представлена на рисунку 1.

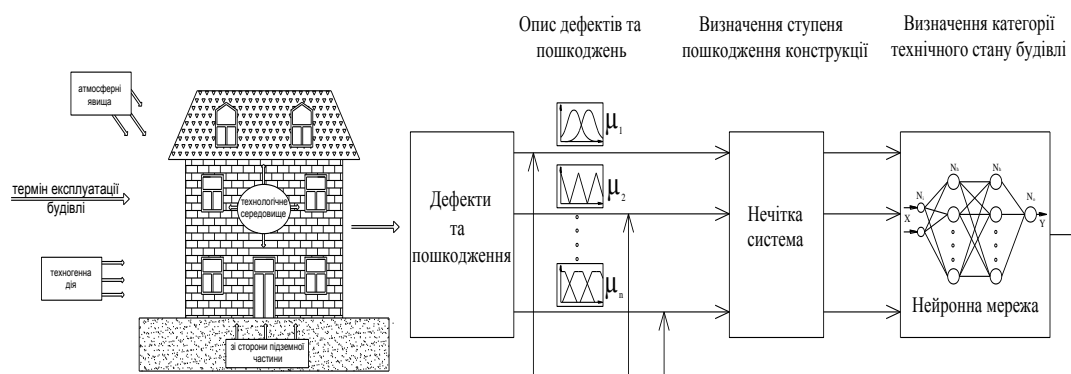


Рисунок 1. Структурна схема діагностування технічного стану будівель та їх конструктивних елементів

Будь-яка будівля складається з певних конструктивних елементів (фундаменти, зовнішні і внутрішні стіни, перекриття, дах, покрівля). На вхід нейронечіткої системи подається інформація про існуючі пошкодження конструктивних елементів, що виявлені експертами при обстеженні. У відповідності з принципом лінгвістичності вхідних і вихідних змінних, який застосовується в медичній діагностиці, дефекти та пошкодження конструкції, що діагностується (*вхідні змінні*) і ступінь пошкодження конструкції (*вихідна змінна*), розглядаються як лінгвістичні змінні та оцінюються нечіткими термами. За допомогою функцій належності, кожен з термів, якими оцінюються лінгвістичні змінні, можна формалізувати нечіткими множинами на відповідному інтервалі значень.

Для визначення ступеня пошкодження конструкції, що діагностується, в таблиці 1 наведено приклад формалізації виявлених дефектів та пошкоджень залізобетонних плит перекриття лінгвістичними змінними. Для представлення термів у формі нечітких множин на базі статистичної обробки експертних знань та парних порівняннях будуються функції належностей.

В даній роботі використовуються наступні моделі функції належності, що представляється в параметричній формі:

- *трикутна* – потребує трьох параметрів, в якості яких виступають координати максимуму та мінімумів;
- *дзвінкоподібна* – потребує двох параметрів, в якості яких виступають координата максимуму та коефіцієнт концентрації.

Досвід моделювання [7] показав, що вищезазначені функції належності, забезпечують достатню гнучкість в представленні нечіткої інформації.

Таблиця 1

Приклад формалізації дефектів та пошкоджень залізобетонних плит перекриття лінгвістичними змінними

Дефекти та пошкодження	Інтервали значень	Терми для лінгвістичної оцінки
x_1 – вид тріщини	[0, 90] градусів	повздовжні (пв); поперечні (п); похилі (пох); усадочні (у)
x_2 – ширина розкриття	[0, 30] мм	дрібна (д); розвинута (р); велика (в)
x_3 – зони розповсюдження	[0, 1] у. о	розтягнута (р); стиснута (с)
x_4 – довжина тріщини	[0.1, 2] м	коротка (к); середня (с); довга (д)
x_5 – місце розташування	[0, 1] у. о	біля опор (бо); вздовж арматури (ва); в полках плит (пп); в швах між плитами (шп);
x_6 – зміщення плит одна відносно одної	[0, 1] у. о	немає (н); незначне (нз); суттєве (с)
x_7 – вишколи бетонного шару	[0, 1] у. о	в розтягнутій зоні (рз); у стиснутій зоні (сз); в зоні анкерування напруженої арматури (за); під закладними деталями (зд);
x_8 – оголення робочої арматури	[0, 1] у. о	немає (н); незначне (нз); суттєве (с)
x_9 – прогин плит	[0, 1] у. о	немає (н); незначне (нз); суттєве (с)
x_{10} – сліди замокання або промерзання	[0, 1] у. о	немає (н); незначне (нз); суттєве (с)
x_{11} – лущення поверхні бетону	[0, 1] у. о	немає (н); є (є)

На рисунках 2, 3 надані функції належності дефектів залізобетонних плит перекриття нейронечіткої моделі діагностування, що використовувались при моделюванні у програмному середовищі математичного пакету *MATLAB*.

Функція належності лінгвістичної змінної *ширина розкриття тріщини* (рис.2) в плиті описана за допомогою трикутного розподілу і оцінюється такими термами: дрібна (д); розвинута (р); велика (в). Функція належності лінгвістичної змінної *місце розташування тріщини* (рис.3) в плиті описана за допомогою нормального розподілу і оцінюється такими термами: біля опор (бо); вздовж арматури (ва); в полках плит (пп); в швах між плитами (шп).

В таблиці 2. представлено приклад нечіткої бази знань дефектів та пошкоджень залізобетонних плит перекриття. Кожен стовпчик X_i таблиці відповідає визначеним термам лінгвістичних змінних, що описують виявлені дефекти та пошкодження; стовпчик St – *ступінь пошкодження конструктивного елемента будівлі*, що оцінюється термами: задовільний (З); граничний з непридатним до нормальної експлуатації (Зд); непридатний до нормальної експлуатації (Н); аварійний (А). Кожен рядок таблиці відповідає одному правилу.

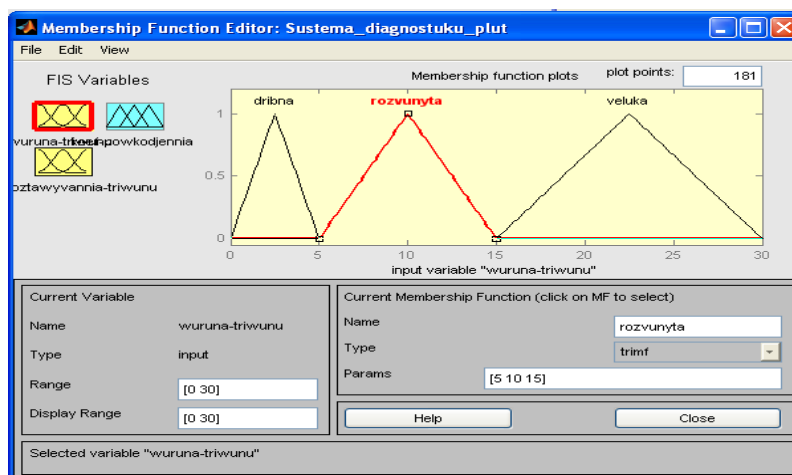


Рисунок 2. Функція належності лінгвістичної змінної (ширина розкриття тріщини)

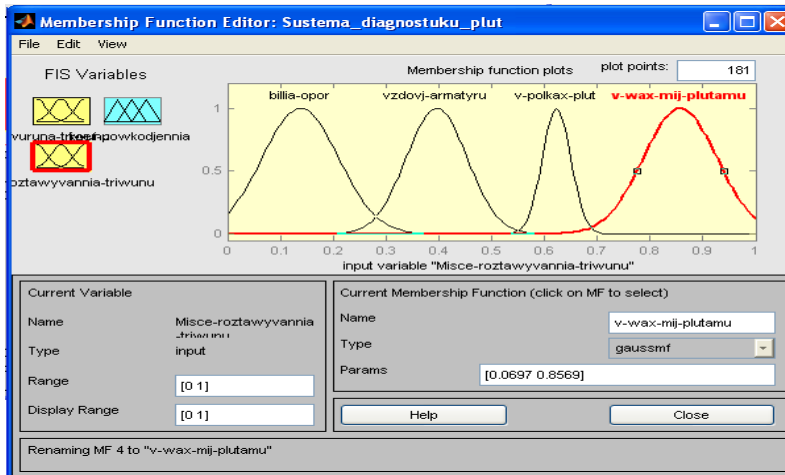


Рисунок 3. Функція належності лінгвістичної змінної *і* (місце розташування тріщини)

Нечітка база знань для конструкції, що діагностується, складається з сукупності нечітких правил <Якщо–тоді>, які відображають взаємозв'язок між вхідними та вихідними змінними. Зв'язок між лінгвістичними змінними всередині одного правила здійснюється із залученням логічної операції *ТА*. В межах однієї бази знань лінгвістичні правила-рядки пов'язані логічною операцією *АБО*.

Таблиця 2

Приклад нечіткої бази знань дефектів та пошкоджень залізобетонних плит перекриття

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	St
1	пв	д	-	к	п п	н	-	н	н	н	н	З
2	п	д	-	к	ш п	н	р з	н	н	н з	н	З
3	по х	д	с	с	б о	н	з д	н	н	н	є	З
4	у	д	-	к	п п	н	з д	н	н	н	є	З
5	пв	р	р	с	в а	нз	р з	н з	н	н	н	Зд
6	пв	д	с	с	п п	н	-	н з	нз	н з	є	Зд
7	п	р	с	с	в	нз	сз	н	нз	н	є	Зд

					а		з		з			
8	п	д	р	д	б о	нз	за	н	нз	с	є	Зд
9	по х	р	р	д	п п	н	р з	с	нз	н	н	Зд
10	пв	в	р	д	в а	нз	р з	с	нз	с	с	Н
11	п	в	с	с	п п	с	за	н	с	н	є	Н
12	по х	р	р	д	б о	с	з д	с	с	н з	н	Н
13	п	р	р	д	в а	с	за	с	с	н	н	Н
14	пв	в	р	д	п п	с	р з	с	с	с	є	А
15	п	в	р	д	б о	с	за	с	с	с	є	А

Примітка: Знаком “-” позначені змінні, що можуть приймати довільні значення без порушення істинності відповідного правила, функції належності цих змінних можна вилучити з логічних рівнянь.

Моделювання на основі нечіткої бази знань здійснюється через нечіткий логічний висновок, математична модель якого будується на основі лінгвістичних оцінок X_i та логічних операцій ТА/АБО. Нижче наведено математичну модель діагностування технічного стану залізобетонних плит перекриття, ступінь пошкодження яких характеризується як задовільний:

$$\begin{aligned} & \mu^3(st) = \mu^{n6}(x_1) \cap \mu^d(x_2) \cap \mu^k(x_4) \cap \mu^{nn}(x_5) \cap \mu^h(x_6) \cap \mu^h(x_8) \cap \mu^h(x_9) \cap \\ & \quad \cap \mu^h(x_{10}) \cap \mu^h(x_{11}) \cup \\ & \cup \mu^n(x_1) \cap \mu^d(x_2) \cap \mu^k(x_4) \cap \mu^{nn}(x_5) \cap \mu^h(x_6) \cap \mu^{p3}(x_7) \cap \mu^h(x_8) \cap \\ & \quad \cap \mu^h(x_9) \cap \mu^{h3}(x_{10}) \cap \mu^h(x_{11}) \cup \\ & \cup \mu^{nox}(x_1) \cap \mu^d(x_2) \cap \mu^c(x_3) \cap \mu^c(x_4) \cap \mu^{b0}(x_5) \cap \mu^h(x_6) \cap \mu^{3d}(x_7) \cap \quad \text{де } \mu^{ai}(x_i) \text{ – ступінь} \\ & \quad \cap \mu^h(x_8) \cap \mu^h(x_9) \cap \mu^h(x_{10}) \cap \mu^e(x_{11}) \cup \\ & \cup \mu^y(x_1) \cap \mu^d(x_2) \cap \mu^k(x_4) \cap \mu^{nn}(x_5) \cap \mu^h(x_6) \cap \mu^{3d}(x_7) \cap \\ & \quad \cap \mu^h(x_8) \cap \mu^h(x_9) \cap \mu^h(x_{10}) \cap \mu^e(x_{11}), \end{aligned}$$

Належності лінгвістичної змінної x_i до нечіткого терма $a_i^k = (\overline{1, m})$, $t = \overline{1, k}$, $i = \overline{1, n}$.

Аналогічно, на основі нечітких логічних рівнянь, розраховуються ступені належності інших діагнозів при фіксованих значеннях оцінок дефектів та пошкоджень. Ступінь пошкодження по конструктивному елементу, що діагностується, обирається як терм із множини {З, Зд, Н, А} з максимальним ступенем належності. Отримані коефіцієнти пошкодження поступають на вхід нейронної мережі прямого поширення і складають навчальну вибірку. На виході даної мережі отримується числове значення, що характеризує категорію технічного стану будівлі. Нейронну мережу, що застосовується в описаній технології оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій реалізовано в програмному середовищі *MATLAB*, в спеціальному пакеті *Fuzzy Logic Toolbox*, який містить засоби для проектування, моделювання і навчання різноманітних гібридних мереж.

ВИСНОВКИ

1. На основі проведеної формалізації вихідної інформації та процесу діагностики побудовано базу знань дефектів та пошкоджень залізобетонних плит перекриття, інформаційним забезпеченням якої може бути статистична база експертних знань.

2. На прикладі побудованої бази знань показано принцип моделювання нечіткого логічного висновку про ступінь пошкодження елементів будівельних конструкцій і формування навчальної вибірки для нейронної мережі, що застосовується в запропонованій інформаційній технології.

Подальший розвиток в даному напрямку передбачає розширення бази знань для діагностики тріщин цегляних та бетонних конструкцій будівель.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – Київ, 2003. – 144 с.
2. Ремнев В.В. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / В.В. Ремнев, А.С. Морозов, Г.П. Тонких. – Москва: Маршрут, 2005. – 196 с.
3. Ротштейн А.П. Діагностика на базі нечітких відношень в умовах невизначеності / Ротштейн А.П. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. – 275 с.
4. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / Ротштейн А.П. – Винница: УНІВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
5. Єременко Б.М. Огляд та аналіз методів і моделей діагностування об'єктів будівництва / Б.М.Єременко // Теорія і практика будівництва. – 2012. – Вип. 9. – С. 43-46.
6. Панкевич О.Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань / О.Д. Панкевич, С.Д. Штовба – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. – 108 с.
7. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов // М.: Горячая линия. – Телеком, 2001. – 382 с.