

УДК69:002;69.059

*П.Є. Григоровський, к.т.н.;*  
*О.О. Терентьев, к.т.н., НДІБВ, Київ*

## **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ**

### **АНОТАЦІЯ**

На основі проведеного аналізу отримані наступні результати: запропонована інформаційна технологія оцінки технічного стану конструктивних елементів будівель; наведений приклад формалізації дефектів та пошкоджень по залізобетонних плитах перекриття лінгвістичними змінними; побудована база знань дефектів та пошкоджень конструктивних елементів; проведений аналіз дослідження роботи системи нечіткого виведення при діагностиці конструктивних елементів будівлі.

Ключові слова: лінгвістичні змінні, інтелектуальна інформаційна технологія, нечіткі множини, будівля, тріщини, дефекти та пошкодження.

У результаті впливу на будівельні конструкції будівель технологічних засобів, атмосферних явищ, діючих навантажень відбувається зниження їх експлуатаційних якостей. Для контролю за даними процесами проводиться оцінка технічного стану будівельних конструкцій, що представляється у визначенні ступеня пошкодження, категорії технічного стану і можливості подальшої експлуатації їх за прямим функціональним призначенням. Відповідно до основних пунктів "Методичних рекомендацій з питань обстежень частин будівель та їх конструкцій" спеціалісти мають змогу обстежити стан елементів конструкцій для попередження процесу руйнування, виявити дефектні і аварійні конструкції. Оскільки роботи з обробки результатів обстежень потребують наявності відповідних нормативних документів та значних витрат часу, доцільним є створення інформаційної технології оцінки технічного стану будівельних конструкцій, що значною мірою зменшить трудомісткість, прискорить та підвищить якість обстеження будівель.

Для вирішення даної задачі пропонується використання інтелектуальних інформаційних технологій, які поряд з операціями одержання, накопичення, пошуку та управління інформаційними

потоками підтримують процес комп'ютеризації інтелекту спеціалістів з різних галузей знань. Серед багатьох застосувань цих 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 можна виділити: нечіткі системи, гібридні мережі, експертні системи.

У даний час оцінкою технічного стану конструктивних елементів будівель за допомогою використання інтелектуальних інформаційних технологій займається цілий ряд спеціалізованих організацій. Незважаючи на великий обсяг робіт з обстеження пошкоджених будівельних конструкцій, на сьогодні відсутня єдина інформаційна технологія діагностування дефектів та пошкоджень будівель. Це пояснюється високою складністю задачі діагностування, при вирішенні якої необхідно враховувати вплив великої кількості різноманітних факторів.

Досвідчені спеціалісти достатньо легко, без застосування математичного апарату будівельної механіки, визначають причину виникнення дефектів та категорію технічного стану конструктивних елементів, якому характерний даний дефект. При прийнятті рішень використовують лінгвістичні правила.

Наприклад, якщо тріщина в стіні вертикальна, проходить через усю конструкцію, напрям розкриття — донизу, ширина розкриття — велика, ґрунти слабкі, тоді причина — нерівномірне осідання фундаменту.

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.

На рисунку 1. представлена структурна схема діагностування технічного стану будівель та їх конструктивних елементів.

Будь-яка будівля складається зі своїх конструктивних елементів (фундаменти, зовнішні і внутрішні стіни, перекриття, дах, покрівля). На вхід представлені нейронечіткої системи подаються існуючі пошкодження по певних конструктивних елементах, виявлені експертами в ході проведення обстеження. Спираючись на роботи із застосуванням нечіткої логіки в медичній діагностиці, використано принцип лінгвістичності вхідних і вихід-

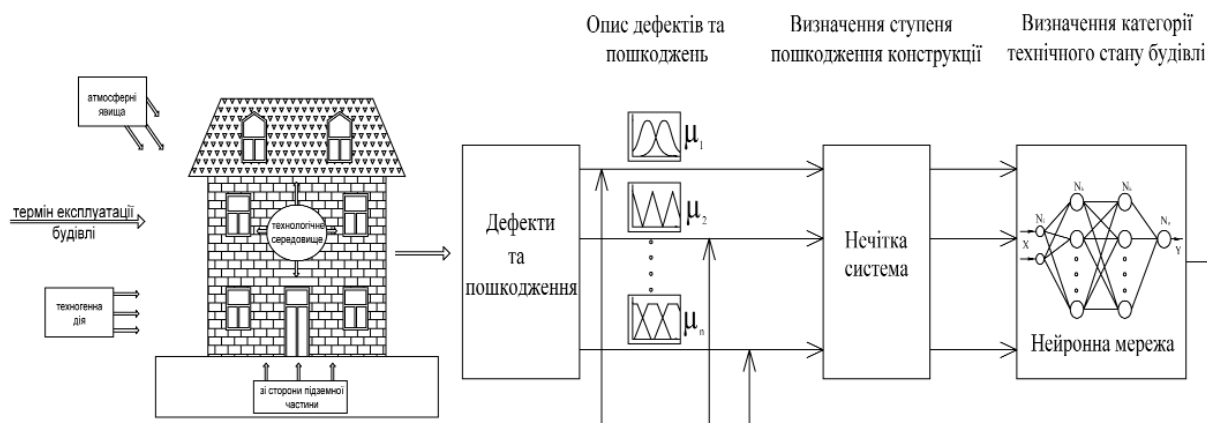


Рис. 1. Структурна схема діагностування технічного стану будівель та їх конструктивних елементів

них змінних. У відповідності з цим принципом вхідні змінні — дефекти та пошкодження конструкції, що діагностується, і вихідна змінна — ступінь пошкодження конструкції — розглядаються як лінгвістичні змінні, які оцінюються нечіткими термами (значення лінгвістичної змінної). За допомогою функцій належності (функції, що дозволяють обчислити ступінь належності довільного елемента універсальної множини до нечіткої множини) кожен з термів, якими оцінюються лінгвістичні змінні, можна формалізувати нечіткими множинами на відповідному інтервалі значень. Це принцип, що ґрунтується на формалізації частинних параметрів стану лінгвістичними змінними в процесі встановлення причин появи тріщин в конструкціях будівель.

Для визначення ступеня пошкодження конст-

рукції, що діагностується, в таблиці 1. наведений приклад формалізації виявлених дефектів та пошкоджень по залізобетонних плитах перекриття лінгвістичними змінними.

Найбільш розповсюджені методи побудови функцій належностей ґрунтуються на статистичній обробці експертної інформації та на парних порівняннях. Ці методи застосовуються переважно при розробці експертних систем, які використовують лише експертні знання.

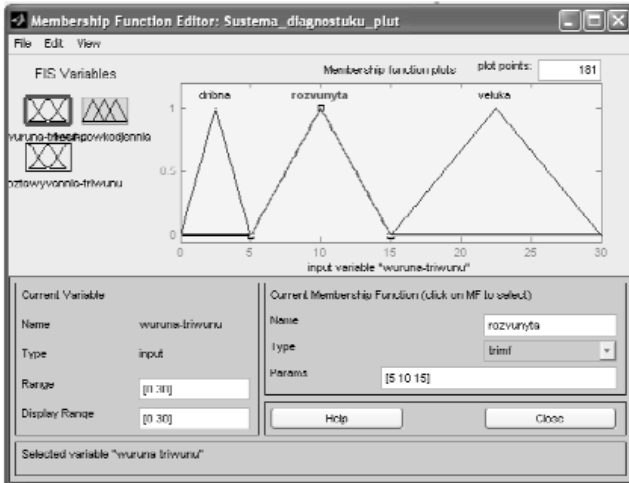
Функції належності зручно представляти в параметричній формі. Зазвичай функція належності має 2, 3 або 4 параметри. Для представлення термів у формі нечітких множин використовуються:

- трикутна модель функції належності, що потребує трьох параметрів, в якості яких виступають координати максимуму та мінімуму;

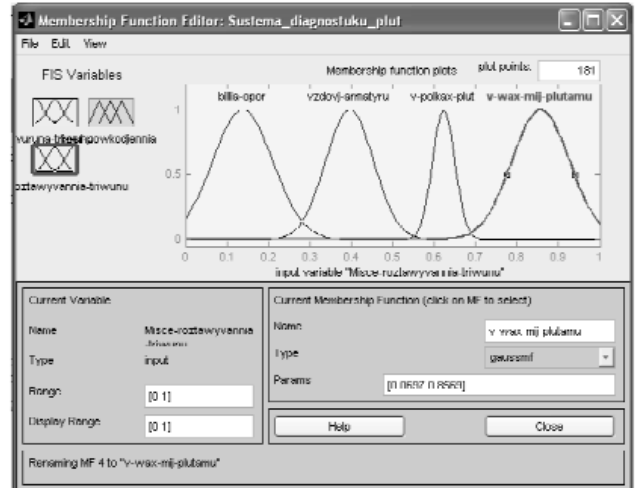
Таблиця 1.

**Приклад формалізації дефектів та пошкоджень залізобетонних плит перекриття лінгвістичними змінними**

Дефекти та пошкодження	Інтервали значень	Терми для лінгвістичної оцінки
$x_1$ – вид тріщини	$[0, 90]$ град.	повздожжні (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 полицях плит (пн); в швах між плитами (шп);
$x_6$ – зміщення плит відносно одна 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)



**Рис. 2.** Функція належності лінгвістичної змінної (ширина розкриття тріщини)



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

— дзвінокоподібна модель функції належності, що потребує двох параметрів, в якості яких виступають координата максимуму та коефіцієнт концентрації.

Оскільки наведені вище функції належності потребують мінімальної кількості параметрів, їх використання забезпечує достатню гнучкість в представленні нечіткої інформації. Параметри функцій належності нечітких термів визначених дефектів та пошкоджень і їх універсами в даній роботі задані експертно.

На рисунках 2 та 3 представлені приклади функцій належності виявлених дефектів залізобетонних плит перекриття нейронечіткої моделі діагностування, які отримані при моделюванні у

програмному середовищі математичного пакета MATLAB.

У даному випадку функція належності лінгвістичної змінної — ширина розкриття тріщини — в плиті описана за допомогою трикутного розподілу і оцінюється такими термами: дрібна (д); розвинута (р); велика (в).

Функція належності лінгвістичної змінної — місце розташування тріщини — в плиті описана за допомогою дзвінокоподібного розподілу і оцінюється такими термами: біля опор (бо); вздовж арматури (ва); в полицях плит (пп); в швах між плитами (шп).

Сукупність нечітких правил <якщо-тоді>, які віддзеркалюють взаємозв'язок між вхідними та

**Таблиця 2.**

**Приклад нечіткої бази знань дефектів та пошкоджень залізобетонних плит перекриття**

№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	St
1	пв	д	-	к	пт	н	-	н	н	н	н	З
2	п	д	-	к	шп	н	рз	н	н	пз	н	З
3	пox	д	с	с	бо	н	зд	н	н	н	с	З
4	у	д	-	к	пт	н	зд	н	н	н	с	З
5	пв	р	р	с	ва	пз	рз	пз	н	н	н	Зд
6	пв	д	с	с	пт	п	-	пз	пз	пз	с	Зд
7	п	р	с	с	ва	пз	сз	пз	пз	пз	с	Зд
8	п	д	р	д	бо	пз	за	н	пз	с	с	Зд
9	пox	р	р	д	пт	н	рз	с	пз	н	н	Зд
10	пв	в	р	д	ва	пз	рз	с	пз	с	с	Н
11	п	в	с	с	пт	с	за	пз	с	пз	с	Н
12	пox	р	р	д	бо	с	зд	с	с	пз	н	Н
13	п	р	р	д	ва	с	за	с	с	н	н	Н
14	пв	в	р	д	пт	с	рз	с	с	с	с	А
15	п	в	р	д	бо	с	за	с	с	с	с	А

$$\begin{aligned} \mu^3(St) = & \mu^{PB}(x_1) \cap \mu^D(x_2) \cap \mu^K(x_4) \cap \mu^{III}(x_5) \cap \mu^H(x_6) \cap \mu^H(x_8) \cap \mu^H(x_9) \cap \\ & \cap \mu^H(x_{10}) \cap \mu^H(x_{11}) \cup \\ & \cup \mu^P(x_1) \cap \mu^D(x_2) \cap \mu^K(x_4) \cap \mu^{III}(x_5) \cap \mu^H(x_6) \cap \mu^{P3}(x_7) \cap \mu^H(x_8) \cap \\ & \cap \mu^H(x_9) \cap \mu^{H3}(x_{10}) \cap \mu^H(x_{11}) \cup \\ & \cup \mu^H(x_1) \cap \mu^D(x_2) \cap \mu^3(x_3) \cap \mu^c(x_4) \cap \mu^{60}(x_5) \cap \mu^H(x_6) \cap \mu^{3D}(x_7) \cap \\ & \cap \mu^H(x_8) \cap \mu^H(x_9) \cap \mu^H(x_{10}) \cap \mu^c(x_{11}) \cup \\ & \cup \mu^y(x_1) \cap \mu^D(x_2) \cap \mu^K(x_4) \cap \mu^{III}(x_5) \cap \mu^H(x_6) \cap \mu^{3D}(x_7) \cap \mu^H(x_8) \cap \\ & \cap \mu^H(x_9) \cap \mu^{H3}(x_{10}) \cap \mu^c(x_{11}), \end{aligned}$$

вихідними змінними для конструкції, що діагностується, складають нечітку базу знань. Надалі представлена база знань для діагностування тріщин цегляних конструкцій будівель, складовими параметрами яких виступають частинні і укрупнені параметри станів.

У таблиці 2 представлений приклад нечіткої бази знань дефектів залізобетонних плит перекриття. Кожен стовпчик  $X_i$  даної таблиці відповідає визначеним термам лінгвістичних змінних, що описують виявлені дефекти та пошкодження; стовпчик St — ступінь пошкодження конструктивного елемента будівлі, що оцінюється термами: задовільний (З); задовільний, межуючи з непридатним до нормальної експлуатації (Зд); непридатний до нормальної експлуатації (Н); аварійний (А).

Кожен рядок даної таблиці відповідає одному правилу. 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. 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. На основі параметрів  $X_i$  та логічних рівнянь ТА/АБО будується система логічного висновку. Розглядаючи правила 1 — 4 нечіткої бази знань (таблиця 2.), нижче наведена математична модель діагностування дефектів залізобетонних плит перекриття, ступінь пошкодження яких характеризується як задовільний [3]:

де  $\mu^{a_i}(x_i)$  — функція належності лінгвістичної змінної  $x_i$  до нечіткого терма

$$a_i^{lt} (l=\overline{1,m}, t=\overline{1,k}, i=\overline{1,n}).$$

На основі нечітких логічних рівнянь розраховуються ступені належності різних діагнозів при фіксованих значеннях дефектів. 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.

#### ВИСНОВКИ

На основі наведеного аналізу отримані наступні результати: запропонована інформаційна технологія оцінки технічного стану конструктивних елементів будівель на основі нечітких множин; наведений приклад формалізації дефектів та пошкоджень по залізобетонних плитах перекриття лінгвістичними змінними; побудована база знань дефектів та пошкоджень конструктивних елементів, що діагностується; проведений аналіз дослідження роботи системи нечіткого виведення при діагностиці конструктивних елементів будівлі.

Проведені дослідження реалізовані в програмному середовищі MATLAB в спеціальному пакеті Fuzzy Logic Toolbox, що містить засоби для проектування, моделювання і навчання різноманітних гібридних мереж.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд.* — Київ, 2003. — 144 с.
2. *Ротштейн А.П. Діагностика на базі нечітких відношень в умовах невизначеності.* — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. — 275 с.
3. *Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети.* — Вінниця: УНІВЕРСУМ — Вінниця, 1999. — 320 с.
4. *Ремнев В.В., Морозов А.С. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.* — Москва: 2005. — 196 с.
5. *Панкевич О.Д., Штовба С.Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань.* — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. — 108 с.

## АННОТАЦІЯ

На основе проведенного анализа получены следующие результаты: предложена информационная технология оценки технического состояния конструктивных элементов зданий; приведен пример формализации дефектов и повреждений по железобетонным плитам перекрытия лингвистическими переменными; построена база знаний дефектов и повреждений конструктивных элементов; проведен анализ и исследование работы системы нечеткого вывода при диагностике конструктивных элементов здания.

Ключевые слова: лингвистические переменные, интеллектуальная информационная технология, нечеткие множества, здание, трещины, дефекты и повреждения.

## ANNOTATION

On the basis of this analysis following results were obtained: the proposed information technology for estimation of technical condition of constructive elements of buildings; is an example of formalization of defects and damage to the reinforced concrete slabs linguistic variables; built knowledge base defects and damage to structural elements; the analysis and study of the operation of the system of fuzzy inference in the diagnostics of structural elements of the building.

Keywords: linguistic variables, intelligent information technology, fuzzy sets, building, cracks, defects and damages.

## УДК 691.327

**А.В. Савйовский, НИИСП, Киев**

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПЛОСКИХ КРЫШ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

## АННОТАЦИЯ

Представлен анализ организационно-технологических особенностей производства работ по модернизации теплоизоляции покрытий существующих гражданских зданий. Рассмотрена структура затрат на выполнение указанных работ.

Ключевые слова: теплоизоляция, структура затрат

Теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций плоских крыш существующих гражданских зданий в своем большинстве не обеспечивают нормативные значения по сопротивлению теплопередаче [1]. В этой связи требуется проведение комплекса работ по модернизации теплоизоляции указанных конструктивов. Проведение этих работ сопряжено с целым рядом особенностей. Это архитектурно-конструктивные особенности зданий, техническое состояние строительных конструкций, теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций, условия производства работ, характеризующиеся зачастую стесненными условиями возведения объектов, условиями эксплуатации объектов и др. Детальный анализ и учет указанных особенностей на стадии проектирования позволит выбрать наиболее рациональные методы производства работ с прогнозируемыми технико-экономическими показателями процесса термомодернизации.

Практически всегда работам по модернизации (замене или дополнению) теплоизоляционных слоев плоских крыш (покрытий) предшествуют работы по разборке (замене) существующего кровельного покрытия.

В общем виде работы по модернизации теплоизоляции покрытий выполняются в следующей технологической последовательности:

– подготовительные работы. Осуществляется комплекс работ по обустройству строительной площадки. Это ограждение участка территории,