

УДК 69.058

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.128548

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ

Григоровський П. Є., Терентьєв О. О., Мікаутадзе Р. І.

*Об'єктом дослідження є інформаційні методи та технології діагностики будівель з використанням інструментарію теорії нечітких множин. Одним з найбільш проблемних місць є відсутність системи інтелектуальних методів діагностування на базі накопичених знань експертів і поточних відомостей про стан будівель. В ході дослідження використовувалися експертні оцінки обстеження технічного стану об'єктів, як основи для прогнозування їх надійної експлуатації. Отримано методику експертного оцінювання при обстеженні технічного стану будівель. Запропонована методика має структуру, яка передбачає формування ознак пошкоджень через ранжування, формування експертної групи, формування правил роботи експертної групи, оцінювання ступеню узгодженості думок експертів, кількісне оцінювання ознак пошкоджень. При такому підході з'являється можливість отримання обґрунтованих результатів про наявність та ступінь пошкоджень та можливість співставлення результатів із початковими, що характеризують раніше проведені обстеження технічного стану. Запропонований підхід сприяє визначеності при розпізнаванні станів конструкцій будівель в умовах обмеженості статистичних даних з інструментальних обстежень та неточності інформації, яка ґрунтується на директивних методах обстежень. У порівнянні з імовірнісними підходами та методами теорії нечітких множин розглянутий підхід використовує теорію вимірювань та математичної статистики та додає впевненості експерту при обґрунтуванні необхідного оцінювання стану конструкцій. У розробленій методиці ступень та глибина експертного оцінювання конструкцій будівлі з метою приведення усієї системи в нормальний технічний стан проводиться через інтуїтивно-логічний аналіз проблем з якісним та кількісним оцінюванням суджень і формальним обробленням результатів. Забезпечується можливість вирішувати завдання оцінювання в умовах відсутності частини важливої інформації.*

**Ключові слова:** діагностика технічного стану будівель, комп'ютеризація методів діагностики, експертне оцінювання.

### 1. Вступ

Прогнозування зношення будівлі та визначення термінів ремонтів – складне багатофакторне завдання. У зв'язку з наявністю у будівлі великої кількості різноманітних за міцністю і довговічністю конструкцій і матеріалів досить складно спрогнозувати термін її служби як поєднання термінів служби кожного елемента окремо. Нагляд за об'єктом, що зводиться або експлуатується, призначений для отримання інформації про його технічний

стан. Заходами нагляду є постійні спостереження та періодичні технічні огляди об'єкта, якими відстежуються:

- дотримання правил технічної експлуатації, технічний стан конструктивної системи, окремих конструкцій та інженерних систем;
- періодичні планові та позапланові обстеження об'єкта;
- інструментальний (періодичний або постійний) моніторинг стану об'єкта, його окремих елементів або систем. У сучасному будівництві при діагностуванні технічного стану використовується великий масив інформаційних методів, що дозволяють формувати систему комплексного оцінювання цього стану.

Особливе місце в інформаційних технологіях посідає контент з діагностики будівель, де поряд з операціями одержання, накопичення, пошуку і управління інформаційними потоками підтримуються найбільш наукомісткі процеси – власне створення інформаційної продукції. Серед багатьох застосувань цих технологій – комп'ютеризація інтелектуальних методів діагностування на базі накопичених знань експертів і поточних відомостей про стан будівель. При зведенні та експлуатації будівлі важливо оцінити характер і небезпеку пошкоджень. Таке діагностування є основою для раціонального вибору засобів підтримання будівельного фонду України у безпечному стані. Вирішальне значення для забезпечення вірогідності результатів експертного оцінювання має їх обробка. Тому наразі актуальним є дослідження теорії і практики ймовірно-статистичного моделювання експертних методів прогнозування стану та параметрів конструкцій будівель.

## **2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит**

*Об'єктом дослідження є система оцінювання властивостей та параметрів будівель при спостереженнях за технічним станом будівель.*

Одним з найбільш проблемних місць є наявність недоліків в проектуванні, які виникають як наслідок неповноти інженерних вишукувань, неточності вихідних даних, помилок в розрахунках, прийнятті необґрунтованих проектних рішень. Можливість урахування всіх факторів при встановленні ефективності засобів та методів геодезичних робіт не є очевидною. Оскільки фактори, які впливають на неї, є нечіткими, рішення залежать від технологічних, технічних, метрологічних критеріїв, від суб'єктивного підходу виконавців робіт і навіть від природних факторів, в яких виконуються геодезичні роботи. В результаті необхідно прийняти рішення про вибір найбільш прийнятних засобів виконання геодезичних робіт.

Для вирішення цієї задачі застосуємо елементи нечіткої логіки, експертні оцінки та визначимо:

- можливі методи і засоби виконання геодезичних робіт для кожної операції монтажу;
- фактори, що впливають на вибір методів і засобів геодезичних робіт;
- ступінь приналежності цих факторів до конкретного методу і засобу виконання геодезичних робіт;

- ступінь важливості впливу цих факторів на вибір методів і засобів геодезичних робіт;
- значення істинності для кожного методу (це величина, що характеризує відповідність всіх факторів методу геодезичних робіт для кожної операції монтажу). Тобто для кожної операції монтажу визначають одне значення, яке характеризує сумарний ступінь приналежності всіх факторів до конкретного методу.

Якщо можливі методи і засоби геодезичних робіт та фактори, що впливають на цей вибір, можна досить чітко визначити з досвіду виконання геодезичних робіт, то ступінь приналежності та ступінь важливості можна визначити тільки суб'єктивно. Для підвищення достовірності вибору цих величин потрібно для цього використовувати експертні висновки фахівців у галузі геодезичних та монтажних робіт.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою дослідження є побудова методики експертного оцінювання при діагностуванні технічного стану будівель.*

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Визначити послідовність формування ознак пошкоджень для оцінювання.
2. Визначити принципи формування експертної групи та створити структуру оцінювання кожного експерта по всіх ознаках пошкодження.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Серед основних напрямків вирішення проблем подовження терміну надійної експлуатації будівель знаходяться питання оцінювання їх технічного стану різними методами. З виявлених в ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені:

- управлінські питання забезпечення стабільності показників об'єктів протягом всього життєвого циклу [1–3];
- завдання підвищення ефективності експертних систем через інтеграцію експертного оцінювання у динамічні структури інструментально-інформаційного спостереження за станом будівель [4–7];
- методологічні аспекти функціонування інформаційних систем діагностування та прогнозування технічного стану через інформаційний менеджмент [8–10].

Зокрема, робота [1] присвячена питанням інтеграції систем управління технічними характеристиками будівлі на етапі експлуатації з використанням додатків системи проектування BIM.

Необхідність створення структури віртуального експертного тестування стану будівель з впливом на управління екологічними та енергетичними показниками відображено в роботі [2]. При цьому, вказано, що важливими є входні параметри, котрі стосуються історичної цінності об'єктів. У роботі розроблено прогностичну методологію управління параметрами енергоефективності будівлі.

Про можливість використання BIM-візуалізації для діагностування стану будівель та планування заходів з підвищення їх експлуатаційної надійності йдеться у роботі [3]. Передбачено інтеграцію експертних даних у систему BIM, у якості джерела знань пропонується дерево відмов.

Авторами [4] показано, що ефективність експертних систем залежить від динаміки стосовно прийняття рішень експертами. Класифіковано типи експертів: з високим та низьким рівнем участі у оновленні власних професійних знань. Розглянуто вплив можливих змін відносно початкового оцінювання, при цьому урахування експертної думки, що змінює початкове судження, залежить від ступеню професійного авторитету.

Альтернативний варіант вирішення проблеми, що викладений в [5], обґрунтовує необхідність об'єднання баз даних проектування об'єктів, даних моніторингу та експертних знань у динамічну модель з середовищем, що еволюціонує та розширюється. Причому авторами використано метод дискретного моделювання складних ієрархічних систем управління.

На думку авторів роботи [6], для оцінювання параметрів будівлі, що експлуатується, можливо застосування методів проектування систем управління повітряних суден. Запропонована модель використовується для більш ефективного управління технічними параметрами, що забезпечують надійну експлуатацію будівлі.

Робота [7] стала спробою показати результати досліджень з оцінювання будівельних систем та компонентів для інтелектуальних будівель. Запропоновано запровадити інтелектуальні індикатори для восьми основних інтелектуальних систем. Введено системний інтелектуальний показник для уніфікації думок експертів.

У наукових працях [8–10] розглянуто методологічні засади побудови інформаційної системи діагностування та прогнозування технічного стану з позиції стратегічного інформаційного менеджменту, де основну частину представляють методики підвищення ефективності інструментальних спостережень за станом будівель.

Таким чином, результати аналізу дозволяють зробити висновок про те, що удосконалення методів експертного оцінювання при діагностуванні стану будівельних об'єктів є перспективним завданням в будівництві, а нові управлінські рішення підвищуватимуть показники надійності при експлуатації будівель.

## **5. Методи досліджень**

Існують декілька підходів до вирішення завдань, які базуються на експертній обробці даних та побудові алгоритму ієрархічної структури властивостей, що отримуються в ході проектування різних систем.

Одним з напрямків, що базуються на експертній обробці даних, в реалізації комплексу задач по безпечній експлуатації будівель і споруд є методика побудови експертної оцінки обстеження їх технічного стану. Перевага цього підходу полягає:

– в завданні створення експертних методів та моделей оцінювання технічного стану;

– в дослідженні інтелектуальної технології при реалізації інформаційної системи обстеження та оцінки технічного стану;

– у проведенні досліджень в межах окремої експертної системи.

На другому етапі обстеження технічного стану будівель необхідно групувати конструктивні рішення, що характеризується основними дефектами та пошкодженнями окремих елементів будівлі.

У зв'язку з цим розглянемо наступний підхід експертного оцінювання обстеження технічного стану. При ньому з'являється можливість отримання результатів ознак пошкодження при різних варіантах і при різних ознаках та співставлення результатів відносно заданих спочатку. Це дозволяє вести процес спостереження та своєчасно приймати необхідні рішення щодо безпечної та надійної експлуатації будівель і створення нормальних умов перебування обслуговуючого персоналу, враховуючи результати обстеження будівель.

При побудові експертної оцінки формується експертна група, яка після проведення попереднього огляду будівлі та визначення необхідних обсягів робіт на другому етапі обстеження визначає дефекти та пошкодження основних конструктивних елементів будівлі.

Основні етапи побудови методики експертної оцінки при обстеженні технічного стану будівель:

1. Формування ознак пошкоджень (ранжування) –  $m$ .

2. Формування експертної групи:

– визначається кількість експертів ( $h$ );

– в залежності від відповідей (думок) експертів формується матриця – рядок по кожній  $j$ -тої ознаці пошкодження:

$$Y_j = |a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{hj}|; \quad (1)$$

– знаходимо середнє значення оцінок групи по  $j$ -тої ознаці пошкодження:

$$A_j = \frac{\sum_{i=1}^h a_{ij}}{h}; \quad (2)$$

– визначається відхилення оцінки кожного експерта від середнього значення оцінок групи по всіх  $j$ -тих ознаках пошкодження  $\Delta_{ij} = |a_{ij} - A_j|$ , в результаті формується матриця відхилень:

$$D = \|D_j\| = \begin{vmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{h1} \\ \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{h2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{1m} & \Delta_{2m} & \dots & \Delta_{hm} \end{vmatrix}; \quad (3)$$

– знаходимо середнє відхилення оцінок кожного експерта по всіх ознаках пошкодження від середнього значення оцінок групи:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{j=1}^m \Delta_j}{m}; \quad (4)$$

в результаті отримуємо матрицю-рядок:

$$\bar{D} = \left| \bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2, \dots, \bar{\Delta}_h \right|; \quad (5)$$

– експерти нумеруються по мірі видалення їх оцінок від середнього значення оцінок групи. В підсумку встановлюється кортеж компетентності експертів:

$$\bar{D}^* = \left| \bar{\Delta}_1^*, \bar{\Delta}_2^*, \dots, \bar{\Delta}_h^* \right|; \quad (6)$$

– визначаємо середнє значення коефіцієнта впевненості в залежності від ознак фізичного зношення та правил оцінки технічного стану основних конструктивних елементів будівлі. Як правило, він приймається рівним 0,5 ( $\Phi=0,5$ ). При  $\Phi < 0,5$  експертну групу переформовують шляхом виключення із списку останніх номерів експертів, в яких спостерігається різке відхилення відповідей від середньої думки групи.

3. Формування правил роботи експертної групи (табл. 1):

– впорядковуються ознаки пошкодження, починаючи з найменш-важливої:

$$x_1 < x_2 < \dots < x_m; \quad (7)$$

– приписуються ранги  $a_i$ :

$$(a_1=1; a_2=1; \dots a_m=1); \quad (8)$$

– визначаються вагові коефіцієнти ознак пошкодження  $a_j (j = \overline{1, m})$ :

$$a_j = \frac{\sum_{t=1}^h a_{jt}}{\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^h a_{jt}}. \quad (9)$$

**Таблиця 1**

Формування правил роботи експертної групи

Номер ознаки пошкодження	Умовні позначення ознак пошкодження	Номер експерта					Вагові коефіцієнти
		1	2	...	...	<i>j</i>	
1	$m_1$	$h_{11}$	$h_{12}$	...	...	$h_{1j}$	$a_1$
2	$m_2$	$h_{21}$	$h_{22}$	...	...	$h_{2j}$	$a_2$
...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$m_i$	$h_{i1}$	$h_{i2}$	...	...	$h_{ij}$	$a_j$

4. Оцінка ступеню узгодженості думок експертів:

- результати ранжування представляються у вигляді матриці рангів;
- визначається відповідно сума рангів по кожній  $j$ -ої ознаці пошкодження і середня сума рангів:

$$Q_j = \sum_{t=1}^h a_{jt}, \quad (10)$$

де  $Q_j$  – сума рангів;

$$T = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^h a_{jt}}{m}, \quad (11)$$

де  $T$  – середня сума рангів.

- розраховується сума квадратів відхилень:

$$S_E = \sum_{j=1}^m \delta_j^2 = \sum_{j=1}^m (Q_j - T)^2; \quad (12)$$

- визначається коефіцієнт впевненості:

$$\Phi = \frac{12S_E}{\{h^2(m^3 - m)\}}. \quad (13)$$

Таблиця 2

## Оцінка ступеню узгодженості думок експертів

Номер ознак пошкодження	Умовні позначення ознак пошкодження	Номер експерта					Сума рангів	Відхилення суми рангів	Квадрат відхилення
		1	2	...	...	j			
1	$m_1$	$h_{11}$	$h_{12}$	...	...	$h_{1j}$	$Q_1$	$Q_1 - T$	$(Q_1 - T)^2$
2	$m_2$	$h_{21}$	$h_{22}$	...	...	$h_{2j}$	$Q_2$	$Q_2 - T$	$(Q_2 - T)^2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$m_i$	$h_{i1}$	$h_{i2}$	...	...	$h_{ij}$	$Q_j$	$Q_j - T$	$(Q_j - T)^2$
Середня сума рангів							$T$		
Сума квадратів відхилень								$S_E$	

Якщо  $\Phi > 0,5$ , то існує достатня ступінь узгодженості між думками експертів. Якщо  $\Phi < 0,5$ , то група експертів корегується шляхом виключення останнього експерта в кортежі, перераховується коефіцієнт впевненості і так далі до отримання необхідної ступені узгодженості.

Якщо експерт не може вказати порядок убудування двох або декількох ознак пошкодження, він приписує кожному із них однаковий ранг.

В цьому випадку коефіцієнт впевненості розраховують за залежністю:

$$\Phi = \frac{S_E}{\frac{1}{12} h^2 (m^3 - m) - h \sum_{t=1}^h T_t}, \quad (14)$$

$$T_t = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^m (Z_j^3 - Z_j), \quad (15)$$

де  $Z_j$  – число однакових рангів в  $t$ -му ранжуванні.

## 6. Результати дослідження

При побудові методики експертного оцінювання обстеженню технічного стану можуть підлягати об'єкти цивільного (житло, готелі, гуртожитки, багатофункціональні центри, адміністративні та громадські будівлі) та виробничого призначення (промислові підприємства, виробничі цехи, заводи, фабрики, гаражі).

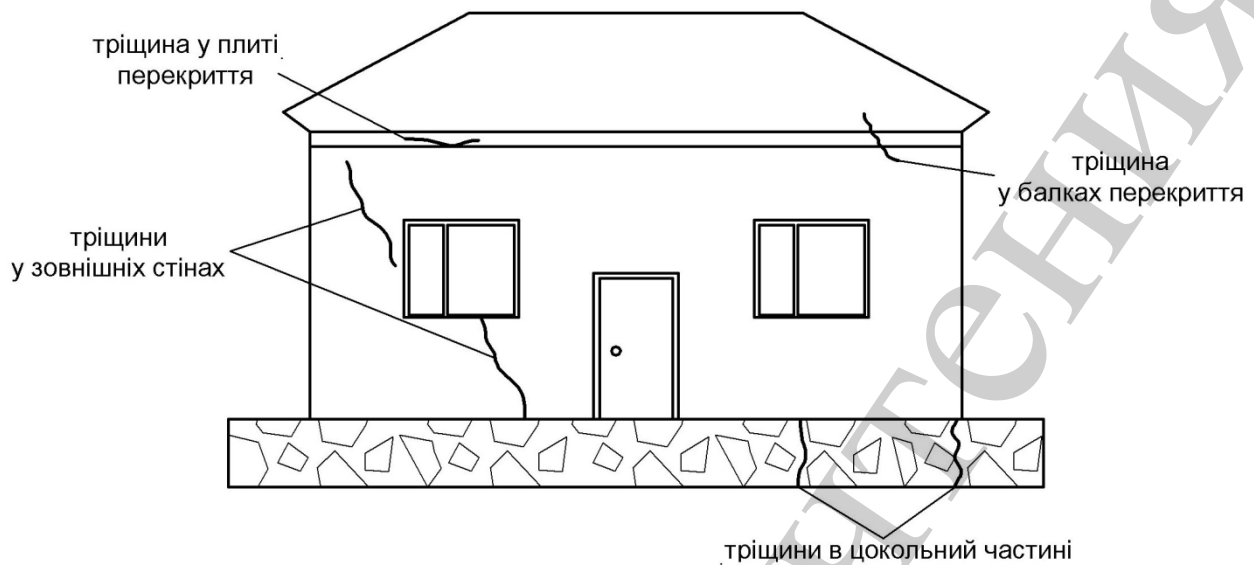
Розглянемо приклад використання запропонованої методики експертного оцінювання обстеження технічного стану для складської будівлі (рис. 1).

Використовуємо розповсюджені ознаки пошкоджень, котрі зустрічаються при обстеженні будь-якої будівлі:

- тріщина в цоколі фундаменту ( $m_1$ );
- тріщина в стіні ( $m_2$ );
- тріщина в плиті перекриття ( $m_3$ );



– тріщина в залізобетонних кроквяних балках даху ( $m_4$ ). Прийmemo ці ознаки пошкоджень в якості вихідних даних для експертного оцінювання.



**Рис. 1.** Зовнішній вигляд складської будівлі з виявленими при обстеженні ознаками пошкоджень

При обстеженні технічного стану будівель в спеціалізованих організаціях, що займаються подібними питаннями, функціонують підрозділи, в яких, як правило формується експертна група з 2–5 чоловік. Такий загальноприйнятий порядок можна охарактеризувати як раціональний, тому він є основою для формування подібної групи з п'яти експертів:

I – експерт – завідуючий відділом, кандидат технічних наук;

II – експерт – головний інженер;

III – експерт – інженер I-ої категорії;

IV – експерт – інженер;

V – експерт – молодший науковий співробітник.

Складені матриці рядку оцінок експертів по кожній  $j$ -тої ознаці пошкодження виду (1):

$$Y_1 = \{0,41 \ 0,37 \ 0,05 \ 0,44 \ 0,33\};$$

$$Y_2 = \{0,21 \ 0,33 \ 0,11 \ 0,23 \ 0,30\};$$

$$Y_3 = \{0,10 \ 0,08 \ 0,33 \ 0,13 \ 0,05\};$$

$$Y_4 = \{0,16 \ 0,17 \ 0,21 \ 0,06 \ 0,21\}.$$

Середнє значення оцінок групи по кожній ознаці пошкодження відповідно будуть згідно виду (2):

$$A_1 = (0,41 + 0,37 + 0,05 + 0,44 + 0,33) / 5 = 0,320;$$

$$A_2 = (0,21 + 0,33 + 0,11 + 0,23 + 0,30) / 5 = 0,236;$$

$$A_3 = (0,10 + 0,08 + 0,33 + 0,13 + 0,05) / 5 = 0,138;$$

$$A_4 = (0,16 + 0,17 + 0,21 + 0,06 + 0,21) / 5 = 0,162.$$

Після визначення відхилень оцінок кожного експерта від середнього значення оцінок групи  $\Delta_{ij}$  по кожній ознаці пошкодження отримана матриця відхилень згідно виду (3):

$$\begin{aligned} \Delta_{11} &= (0,41 - 0,32) = 0,09; & \Delta_{21} &= (0,37 - 0,32) = 0,05; \\ \Delta_{31} &= (0,05 - 0,32) = 0,27; & \Delta_{41} &= (0,44 - 0,32) = 0,12; \\ \Delta_{51} &= (0,33 - 0,32) = 0,01; & \Delta_{12} &= 0,026; & \Delta_{22} &= 0,094; \\ \Delta_{32} &= 0,126; & \Delta_{42} &= 0,006; & \Delta_{52} &= 0,064; & \Delta_{13} &= 0,038; \\ \Delta_{23} &= 0,058; & \Delta_{33} &= 0,192; & \Delta_{43} &= 0,008; & \Delta_{53} &= 0,088; \\ \Delta_{14} &= 0,002; & \Delta_{24} &= 0,008; & \Delta_{34} &= 0,048; & \Delta_{44} &= 0,102; \\ \Delta_{54} &= 0,048. \end{aligned}$$

$$D = \begin{vmatrix} 0,090 & 0,050 & 0,270 & 0,120 & 0,010 \\ 0,026 & 0,094 & 0,126 & 0,006 & 0,064 \\ 0,038 & 0,058 & 0,192 & 0,008 & 0,088 \\ 0,002 & 0,008 & 0,048 & 0,102 & 0,048 \end{vmatrix};$$

Обчислені середні відхилення оцінок кожного експерта по всіх ознаках пошкодження від середнього значення оцінок групи мають наступні значення згідно виду (4):

$$\begin{aligned} \bar{\Delta}_1 &= \frac{0,090 + 0,026 + 0,038 + 0,002}{4} = 0,039; \\ \bar{\Delta}_2 &= \frac{0,050 + 0,094 + 0,058 + 0,008}{4} = 0,053; \\ \bar{\Delta}_3 &= \frac{0,270 + 0,126 + 0,192 + 0,048}{4} = 0,159; \\ \bar{\Delta}_4 &= \frac{0,120 + 0,006 + 0,008 + 0,102}{4} = 0,059; \\ \bar{\Delta}_5 &= \frac{0,010 + 0,064 + 0,088 + 0,048}{4} = 0,052. \end{aligned}$$

В результаті встановлена матриця-рядок згідно виду (5):

$$\bar{D} = [0,039 \ 0,053 \ 0,159 \ 0,059 \ 0,052].$$

Аналіз отриманих результатів дозволяє скласти кортеж компетентності експертів згідно виду (6):

$$\bar{D}^* = 1,5,2,4,3.$$

Проведені експертами ранжування ознак пошкодження по важливості та значення вагових коефіцієнтів ознак пошкодження  $a_j$  представлені у табл. 3 згідно виду (7)–(9).

**Таблиця 3**  
Результати ранжування ознак пошкодження експертами та значення вагових коефіцієнтів

Номер ознак пошкодження	Умовні позначення ознак пошкодження	Номер експерта					Вагові коефіцієнти
		1	5	2	4	3	
1	$m_1$	5	5	5	5	1	0,350
2	$m_2$	4	4	4	4	2	0,300
3	$m_3$	1	2	1	2	2	0,133
4	$m_4$	3	1	3	3	3	0,217

При оцінці ступеню узгодженості думок експертів були використані залежності четвертого етапу. Результати розрахунків зведені в табл. 4 згідно виду (10)–(13).

**Таблиця 4**  
Оцінка ступеню узгодженості експертів

Номер ознак пошкодження	Умовні позначення ознак пошкодження	Номер експерта					Сума рангів	Відхилення суми рангів	Квадрат відхилення
		1	5	2	4	3			
1	$m_1$	5	5	5	5	1	21	9	81
2	$m_2$	4	4	4	4	2	18	6	36
3	$m_3$	1	2	1	2	2	8	-4	16
4	$m_4$	3	1	3	3	3	13	1	1
Середня сума рангів							12		
Сума квадратів відхилень							134		

Оскільки жоден із експертів не поставив двом або більш ознакам пошкодження однакові ранги, то для знаходження коефіцієнта впевненості використовуємо вираз виду (13):

$$\Phi = \frac{12 \cdot 134}{5^2 \cdot (4^3 - 4)} = \frac{1608}{1500} = 1,072.$$

Так як  $\Phi > 0,5$ , то існує достатня узгодженість між експертами і отримані результати приймаються в якості кінцевих.

Основні ознаки пошкодження приймають кількісну оцінку:

- тріщина в цоколі фундаменту = 0,350 мм;
- тріщина в стіні = 0,300 мм;

- тріщина в плиті перекриття = 0,133 мм;
- тріщина в залізобетонних кроквяних балках даху = 0,217 мм.

## **7. SWOT-аналіз результатів досліджень**

*Strengths.* У порівнянні з аналогами запропонована методика дає можливість урахувати індивідуальну оцінку кожного експерта в загальній структурі оцінювання технічного стану будівлі. Причому враховується динаміка змін думок у експертних оцінках відповідно до коливань нормативних вимог.

*Weaknesses.* До недоліків можна віднести вплив суб'єктивності у особистому оцінюванні технічного стану, нестабільність складу груп експертів за окремими напрямками обстежень відповідно до призначення будівель.

*Opportunities.* Методика еволюційна, можливим є її розширення до побудови моделей прогнозування техніко-економічних параметрів через використання кореляційно-регресійного аналізу.

*Threats.* Потрібно враховувати можливі додаткові витрати через підвищення рівня професійної кваліфікації експертів, а також через відповідне її зниження одночасно з необхідністю застосовувати більш витратні інструменти та засоби інструментального обстеження будівель для нейтралізації такого зниження.

## **8. Висновки**

1. Визначено, що послідовність формування ознак пошкоджень передбачає включення до бази ознак в першу чергу найбільш розповсюджених та тих, що найбільш впливають на несучу безпечну експлуатацію будівлі (основні несучі конструкції підземної та наземної частин). Вагові коефіцієнти ознак при цьому є показником для виявлення домінуючих ознак, що можуть бути використані при побудові багатофакторних моделей прогнозування техніко-економічних показників.

2. Показано, що принципи формування експертної групи, структура оцінювання, виявлення ступеню узгодженості думок експертів є комплексом забезпечення обґрунтованими даними при діагностуванні технічного стану будівель. КORTEЖ компетентності експертів та коефіцієнт впевненості (при значеннях більш ніж 0,5) впливають на прийняття результатів обстеження у якості кінцевих та достовірних, а також на майбутній склад та структуру експертної групи.

Розрахований варіант використання запропонованої методики для складської будівлі з розповсюдженими ознаками пошкоджень конструкцій є прикладом, що демонструє нескладну послідовність її впровадження. При суттєвому збільшенні ознак пошкоджень (як правило, на існуючих об'єктах це декілька десятків) представляється ефективним укрупнення розрахунків по блоках в залежності від працюючих груп експертів та обсягів обстеження.

## References

1. Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency / Ghaffarian Hoseini A. et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 72. P. 935–949. doi:[10.1016/j.rser.2016.12.061](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.061)
2. Multi-Criteria optimisation using past, real time and predictive performance benchmarks / Ignacio Torrens J. et al. // Simulation Modelling Practice and Theory. 2011. Vol. 19, No. 4. P. 1258–1265. doi:[10.1016/j.simpat.2010.11.002](https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.11.002)
3. Motamedi A., Hammad A., Asen Y. Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management // Automation in Construction. 2014. Vol. 43. P. 73–83. doi:[10.1016/j.autcon.2014.03.012](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.012)
4. Mak B., Schmitt B. H., Lyytinen K. User participation in knowledge update of expert systems // Information & Management. 1997. Vol. 32, No. 2. P. 55–63. doi:[10.1016/s0378-7206\(96\)00010-9](https://doi.org/10.1016/s0378-7206(96)00010-9)
5. Bagdasaryan A. Discrete dynamic simulation models and technique for complex control systems // Simulation Modelling Practice and Theory. 2011. Vol. 19, No. 4. P. 1061–1087. doi:[10.1016/j.simpat.2010.12.010](https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.12.010)
6. Counsell J. M., Khalid Y. A., Brindley J. Controllability of buildings: A multi-input multi-output stability assessment method for buildings with slow acting heating systems // Simulation Modelling Practice and Theory. 2011. Vol. 19, No. 4. P. 1185–1200. doi:[10.1016/j.simpat.2010.08.006](https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.08.006)
7. Wong J., Li H., Lai J. Evaluating the system intelligence of the intelligent building systems: Part 1: Development of key intelligent indicators and conceptual analytical framework // Automation in Construction. 2008. Vol. 17, No. 3. P. 284–302. doi:[10.1016/j.autcon.2007.06.002](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.06.002)
8. Mikhailenko V. M., Terentiev O. O., Tsiutsiura M. I. Intelktualna informatsiina tekhnolohiia diahnostryky tekhnichnoho stanu budivel: monograph. Kyiv, 2015. 162 p.
9. Intehrovani modeli i metody avtomatyzovanoi systemy diahnostryky tekhnichnoho stanu ob'ektiv budivnytstva: monograph / Mikhailenko V. M. et al. Kyiv, 2017. 229 p.
10. Biloshchytskyi A. O., Hryhorovskyi P. Ye., Terentiev O. O. Modeli i metody systemy diahnostryky tekhnichnoho stanu budivel: monograph. Kyiv, 2015. 232 p.