

УДК 69:002;72.025;721

**Міхайленко В.М., д.т.н., проф.,  
Полторак О.Б., асп., Турушев О.С.,  
асп., КНУБА, м. Київ**

### **ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД З КАЛІБРУВАННЯ СТАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ НАДІЙНОСТІ ФУНДАМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ**

Знос будівель прискорюється при прояві дефектів, що були допущені в ході дослідження та вибору ділянок для будівництва, при проектуванні і зведенні будівель, а також через порушення правил експлуатації.

Дефекти будівель в нормальних умовах є наслідком або недостатньої кваліфікації дослідників, проєктувальників, працівників, що приймають будівлі в експлуатацію, або недбалості цих осіб. Дефекти можуть виникати також в процесі проєктування та будівництва будівель при здійсненні в них виробництва робіт по новій технології, зведенні в маловивчених в будівельному відношенні районах та в інших складних умовах. Найбільш небезпечні дефекти в основах і фундаментах, в стінах, тобто в основних конструкціях, оскільки їх прояв веде до деформацій і руйнування всієї будівлі. Менш небезпечні дефекти в перегородках та інших не несучих конструкціях. При експлуатації будівель важливо оцінити характер і безпеку пошкоджень. Причини, що викликають пошкодження наступні: дії зовнішніх чинників; дії внутрішніх чинників, обумовлених технологічним процесом; прояв дефектів, допущених при дослідженні, проєктуванні, зведенні будівлі; недоліки і порушення правил експлуатації будівель.

**Ключові слова:** категорія технічного стану, обстеження і оцінка, фундаменти, моделі і методи.

**Актуальність та аналіз проблеми.** Держава та Уряд приділяють постійну увагу безпеці експлуатації будівель та

споруд, посиленню контролю над їхнім проєктуванням і капітальним ремонтом. Про це свідчить указ Кабінету Міністрів України "Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд і інженерних мереж" від 05 травня в 1997 році № 409 та розпорядження Кабінету Міністрів України "Про заходи щодо посилення контролю над проєктуванням, новим будівництвом, реконструкцією, капітальним ремонтом і експлуатацією будівель і споруд" № 100- р від 01 березня 2004 р.

**Мета дослідження.** Останнім часом значно зростають обсяги робіт, пов'язані з комплексною діагностикою та оцінкою технічного стану будівельних конструкцій, будівель та споруд. Досить часто виникає ситуація, коли експерти не мають можливості перед обстеженням вивчити технічну документацію на будівлі та споруди, що експлуатуються протягом тривалого часу. Такі роботи виділяються як самостійний напрямок будівельного виробництва, що охоплює комплекс питань, пов'язаних із забезпеченням експлуатаційної надійності будівель, проведенням ремонтно-відновлювальних робіт, робіт з реконструкцією та розробкою проєктної документації.

Всі будівлі і споруди призначені для обслуговування побутових, виробничих і культурних потреб суспільства. Для забезпечення цих потреб необхідна постійна турбота про збереження і поліпшення будівель протягом всього терміну їх служби. Весь період служби будівель і споруд складається з експлуатації і технічно правильного утримання з проведенням в необхідних випадках реконструкції або перебудови споруди.

У залежності від функціонального призначення будівлі діляться на *цивільні* (в тому числі житлові і громадські) і *промислові*. До житлових відносяться квартирні будинки для постійного проживання людей, готелі, гуртожитки і будинки-інтернати. Громадські будинки призначені для соціального обслуговування населення, для розміщення адміністративних закладів і громадських організацій. До них відносяться будинки шкіл, технікумів, інститутів, мага-

зинів, клубів, а також будинки лікувально-оздоровчого призначення, адміністративні.

Виробничі будинки призначені для розміщення промислових і сільськогосподарських виробництв (при одночасному забезпеченні необхідними умовами для праці людей і експлуатації технологічного обладнання), наприклад, виробничі цехи заводів і фабрик, гаражі, будівлі для утримання птиці, теплиці.

Основні елементи будівлі можна розподілити на наступні групи:

- *несучі*, що сприймають основні навантаження, виникаючі в будівлі,
- *огороджуючі*, що розділяють приміщення, а також захищають їх від атмосферних впливів і забезпечують зберігання в будівлі певної температури,
- *елементи*, які вміщують і несучі, і огороджуючі властивості.

Обстеження будівель і споруд включає такий комплекс завдань:

- попередній огляд об'єкта,
- візуальне обстеження,
- інструментальне обстеження,
- додаткові вишукування (геологія, геодезія, розкриття фундаментів),
- визначення несучої здатності конструкцій і інші розрахунки,
- аналіз, порівняння та узагальнення результатів обстеження,
- висновки і рекомендації.

Одним з напрямків у реалізації комплексу завдань по безпечній експлуатації будівель і споруд є обстеження фундаментних конструкцій.

Ця задача включає:

- узагальнена оцінка конкретних фундаментних конструкцій,
- узагальнення розрахунку часткового коефіцієнта над фундаментними конструкціями.

Розглянемо класифікацію конструктивних елементів будівлі згідно зі ВСН-53-86 "Правила оцінки фізичного зношення будинків".

#### **Виклад основного матеріалу.**

Фундаменти – конструктивна частина будівлі (споруди), розміщена нижче поверхні землі, що призначається для передачі і розподілення навантажень від

будівлі на його основу.

На основі приведеної класифікації фундаментів при візуальному обстеженні будівель та споруд експертам потрібно виявити наступні дефекти:

- наявність тріщин, скривлення рядів кладки стін підвальних приміщень,
- відхилення стін від вертикалі,
- відшарування штукатурки кам'яних стін і руйнування залізобетонних стінових панелей у підвальних приміщеннях,
- наявність ґрунтових вод, ознак руйнування підлог у підвальних приміщеннях, наявність тріщин між цоколем будинку і тротуаром приміщення,
- наявність вогкості, випадання окремих каменів кладки фундаментів і стін підвальних приміщень.

Надалі пропонується більш загальний підхід пов'язаний з калібруванням статичних моделей і методів дослідження невизначеностей.

У методі часткового коефіцієнта базові перемінні (тобто дії, характеристики опору та геометричні характеристики фундаментів) за рахунок використання часткових коефіцієнтів отримують відповідні розрахункові величини та виконується перевірка, яка має гарантувати, що немає перевищених відповідних граничних станів при обстеженні елементу фундаментів.

Чисельні значення для часткових коефіцієнтів можуть визначатись двома шляхами:

- на основі калібрування, виходячи з довголітніх експериментів та будівельних конструкцій,
- на основі статистичної оцінки експериментальних даних та польових спостережень. (це повинно виконуватись у рамках імовірнісної теорії надійності).

Схематичний огляд різних наявних методів калібрування розрахункових формул для часткового коефіцієнта (граничні стани при обстеженні стану фундаментів) та відносини між ними представлений на рис 1.

Імовірнісні калібрувальні процедури для часткових коефіцієнтів можуть бути розподілені на два головних класи:

- повністю імовірнісні методи (рівень III),
- методи надійності першого порядку (FORM) (рівень II).

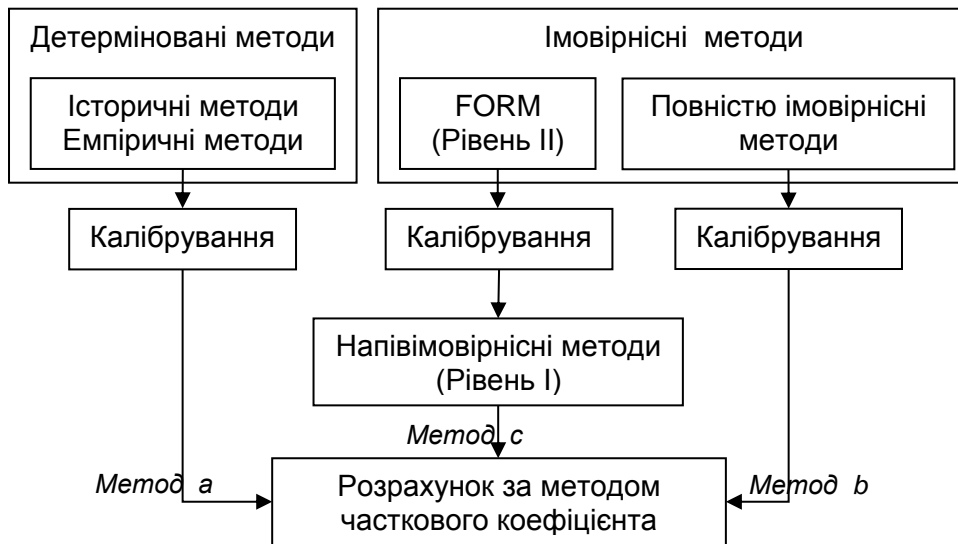


Рис. 1. Загальний зображення методів надійності

В обох методах рівня II і рівня III слід ідентифікувати міру надійності з вірогідністю імовірності:

$$P_s = (1 - P_f), \quad (1)$$

де  $P_s$  – імовірність життєздатності,  $P_f$  – імовірність руйнування стосовно розглянутої форми руйнування в межах відповідного базового періоду.

Якщо підрахована імовірність руйнування є більшою ніж попередньо задана величина, тоді конструкція конструктивного елемента повинна розглядатися, як непридатна.

**Індекс надійності  $\beta$ .**

У процедурах рівня II альтернативна міра надійності умовно визначається за допомогою індексу надійності  $\beta$ , який пов'язаний з  $P_f$ :

$$P_f = \Phi(-\beta), \quad (2)$$

де  $\Phi$ -кумулятивна функція стандартного нормального розподілення.

Зв'язок між  $P_f$  та  $\beta$  наведений у табл. 1.

Таблиця 1

**Зв'язок між  $\beta$  та  $P_f$**

$P_f$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
$\beta$	1,3	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

Імовірність руйнування конструкції фундаменту  $P_f$  може виражатись через функцію ефективності  $q$  так, що вважається, що конструкція витримає навантаження без руйнування, якщо  $q > 0$  і буде зруйнована, якщо  $q < 0$ :

$$P_f = P_{zob}(q \leq 0). \quad (3)$$

Якщо  $R$ - опір, а  $E$  - результат дій, функція ефективності  $q$  становить:

$$q = R - E, \quad (4)$$

з випадковими величинами  $R$ ,  $E$  та  $q$ .

Якщо  $q$  має нормальне розподілення,  $\beta$  приймається, як:

$$\beta = \mu_q / \sigma_q, \quad (5)$$

де  $\mu_q$  - середнє значення,  $\sigma_q$  - стандартне відхилення.

$$\mu_q - \beta \sigma_q = 0, \quad (6)$$

$$P_f = P_{zob}(q \leq 0) = P_{zob}(q \leq \mu_q - \beta \sigma_q) \quad (7)$$

Для інших розподілів  $q$  та  $\beta$  є тільки умовною мірою надійності.

**Задані величини індексу надійності  $\beta$ .**

Задані величини для індексу надійності конструкції фундаменту  $\beta$  для різних розрахункових ситуацій, а також для базових періодів від 1 року до 50 років наведені в табл. 2 Величини  $\beta$  в табл. 2 відповідають рівням безпеки для конструктивних елементів класів надійності RC2.

Таблиця 2

**Заданий індекс надійності  $q$  для елементів конструкції класу RC2**

Граничний стан	Заданий індекс надійності	
	1 рік	50 років
Несуча здатність	4,7	3,8
Втома		від 1,5 до 3,8
Експлуатаційна придатність (незворотний)	2,9	1,5
Залежить від ступеня можливості проведення інспекцій, ремонтів та допустимого ушкодження		

Для цих обчислень  $\beta$ :

- для параметрів міцності матеріалів і

конструкцій, а також невизначеностей моделей, як правило, використовується логнормальний розподіл або розподіл Вейнбулла;

- для власної ваги конструкції, як правило, використовується нормальний розподіл;

- при розгляді перевірок, які не пов'язані зі втомою, для перемінних дій для спрощення використовується нормальний розподіл. Розподіл екстремальних значень був би більш прийнятним.

Коли головні невизначеності викликані діями, що мають статистично незалежні щорічні максимальні значення, то для іншого базового періоду величина  $p$  може підраховуватись з використанням наступної формули:

$$\Phi(\beta n) = [\Phi(\beta 1)]^n, \quad (8)$$

де  $\beta n$  – індекс надійності за базовий період за  $n$  років,

$\beta 1$  – індекс надійності за один рік.

Дійсна частота випадків руйнування значним чином залежить від людських помилок (людський фактор), котрі не розглядаються у розрахунку часткового коефіцієнта.

Тобто,  $q$  не обов'язково забезпечує індикацію дійсної частоти руйнування конструкції.

### Підхід до калібрування розрахункових величин.

У методі перевірки надійності проектної величини розрахункові величини повинні бути визначеними для всіх базових перемінних. Розрахунок розглядається як достатній, якщо не досягаються граничні стани при розрахункових величинах, які запроваджуються у розрахункових моделях.

Використовуючи умовні позначки це можливо виразити, як:

$$E_d < R_d, \quad (9)$$

де підрядковий індекс 'd' відноситься до розрахункових величин. Це практичний шлях для гарантування, що індекс надійності  $\beta$  дорівнює або більший за задану величину.

$E_d$  та  $R_d$  можуть бути відображені у частково символічній формі, як:

$$E_d = E \{F_d1, F_d1, a_d1, a_d2, \theta_d1, \theta_d2, \}, \quad (10)$$

$$R_d = R \{X_d1, X_d1, .. a_d1, a_d2, ..., \theta_d1, \theta_d2, ..\}, \quad (11)$$

де  $E$  – результат дії,

$R$  – опір,

$F$  – дія,

$X$  – властивість матеріалу,  
 $a$  – геометрична властивість,  
 $\theta$  – невизначеність моделі.

Для особливих граничних станів може бути необхідною більш загальна формула, щоб виразити граничний стан.

Розрахункові величини базуватимуться на величинах базових перемінних в розрахунковій точці FORM, котра може бути визначеною як точка руйнування поверхні ( $g=0$ ), найближча до центра розподілу у просторі нормалізованих перемінних (як схематично визначено на рис 2).

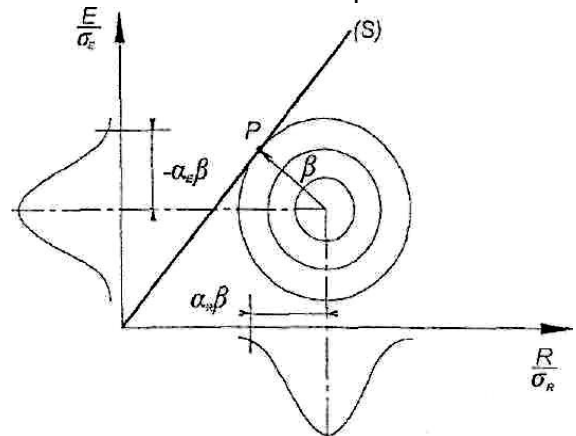


Рис. 2. Розрахункова точка та індекс надійності  $\beta$  відповідно до методу надійності першого порядку (FORM) для нормально розподілених некорельованих перемінних ( $S$  – межа руйнування  $g = R - E = 0$ ,  $P$  – розрахункова точка)

Розрахункові величини впливів дії  $E_d$  та опору  $R_d$  потрібно визначати так, щоб вірогідність мати більш несприятливу величину була такою:

$$P(E > E_d) = \Phi(+aE\beta), \quad (12)$$

$$P(R > R_d) = \Phi(-aR\beta), \quad (13)$$

де  $\beta$  – індекс заданого рівня надійності,  $aE$  та  $aR$  з  $|a| \leq 1$  – величини коефіцієнтів чутливості FORM.

Величина  $a$  є негативною для несприятливих дій та впливів дій, та позитивною для опору.

$aE$  і  $aR$  можуть бути прийнятими, відповідно 0,7 і 0,8 за умови:

$$0,16 < \sigma E / \sigma R < 7,6, \quad (14)$$

де  $\sigma E$  та  $\sigma R$  – стандартне відхилення результату дій та опору відповідно в формулах (12, 13) Це дає:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,7\beta), \quad (15)$$

$$P(R > R_d) = \Phi(-0,8\beta). \quad (16)$$

Якщо умова (14) не виконується, слід використати  $a=\pm 1,0$  для перемінної з більш широким стандартним відхиленням та  $a=\pm 0,4$  для перемінної з меншим стандартним відхиленням.

Коли модель дії містить декілька базових перемінних, формулу (15), слід використовувати тільки для провідної перемінної. Для супутніх дій розрахункові величини можуть визначатись за допомогою:

$$P(E>Ed)=\Phi(-0,4\alpha)=\Phi(-0,28\beta). \quad (17)$$

**Висновок:** Ця методика надалі передбачає інші підходи до створення моделей та методів на рівні нейронних мереж.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Калинин В.М. Оценка технического состояния зданий: Учебник / В.М. Калинин, С.Д. Сокова. – М.: ИНФРА – М, 2006. – 268 с.
2. Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: Навч. Посібник / Є.В. Клименко. — Київ: Центр навчальної літератури, 2004. — 304 с.
3. Правила оценки физического износа жилых зданий (ВСН 53-86 (р)) / Госгражданстрой. — М.: Прейскурантиздат, 1988. — 72 с.
4. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд.– К.: НДІБВ, 2003.–144 с.
5. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008.

### АННОТАЦИЯ

*Износ зданий ускоряется при проявлении дефектов, допущенных в ходе исследования и выбора участков для строительства, при проектировании и строительстве зданий, а также из-за нарушения правил эксплуатации.*

*Дефекты зданий в нормальных условиях является следствием или недостаточной квалификации исследователей, проектировщиков, работников, принимающих здания в эксплуатацию, или небрежности этих лиц. Дефекты могут возникать также в процессе проектирования и строительстве зданий при осуществлении в них производства работ по новой технологии, возведении в малоизученных в строительном отношении районах и в других*

*сложных условиях. Наиболее опасные дефекты в основах и фундаментах, в стенах, то есть в основных конструкциях, поскольку их проявление ведет к деформациям и разрушению всего здания. Менее опасны дефекты в перегородках и других несущих конструкциях. При эксплуатации зданий важно оценить характер и опасность повреждений. Причины, вызывающие повреждения следующие: действия внешних факторов; действия факторов, обусловленных технологическим процессом; проявление дефектов, допущенных при исследованиях, проектировании, возведении здания; недостатки и нарушения правил эксплуатации зданий.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** категория технического состояния, обследования и оценка, фундаменты, модели и методы.

### ANNOTATION

*Depreciation of buildings is accelerating the manifestation of defects that were made during the study and selection of sites for construction, the design and construction of buildings, as well as a violation of operating rules.*

*Defects in buildings under normal conditions of or insufficient training of researchers, designers, workers taking the building into service or negligence of these persons. Defects can occur also in the design and construction of buildings in the exercise in their production work on new technologies, the construction of a neglected building in respect of the areas and other difficult conditions. The most dangerous defects in the fundamentals and foundations, the walls, that is the main structure, as their expression leads to deformation and destruction of the entire building. Less dangerous defects in partitions and other non-bearing structures. When operating buildings character important to assess the danger and damage. Causes of damage include: external factors; of internal factors due process; manifestation of defects permitted in studies, design, construction of the building; deficiencies and violation of buildings.*

**KEYWORDS:** Category of technical STATUS, Survey and evaluation of, фундаменты, модели и методы.