



## МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Є. В. КЛИМЕНКО, В. С. ДОРОФЄЄВ**

*Одеська державна академія будівництва та архітектури,  
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029.*

*Отримана 9 серпня 2006; прийнята 21 серпня 2006.*

**Анотація.** У статті наведені основні положення методології визначення технічного стану залізобетонних конструкцій. Розглядаються методологічні аспекти отримання експериментальної інформації про стан окремих конструкцій та математична модель прогнозування стану.

**Ключові слова:** залізобетонні конструкції, технічний стан.

## МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Е. В. КЛИМЕНКО, В. С. ДОРОФЕЕВ**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029.*

*Получена 9 июля 2006; принята 21 июля 2006.*

**Аннотация.** В статье наведены основные положения определения технического состояния железобетонных конструкций. Рассматриваются методологические аспекты получения экспериментальной информации о состоянии отдельных конструкций и математическая модель прогнозирования состояния.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, техническое состояние.

## METHODOLOGY OF ASSESSING OF THE TECHNICAL CONDITION OF FERRO-CONCRETE DESIGNS

YE. W. KLYMENKO, V. S. DOROFYEV

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Didrikhsona Str., 4, Odesa, 65029.*

*Received July 9, 2006; accepted July 21, 2006.*

**Abstract.** In the article substantive provisions of definition of a technical condition of ferro-concrete designs are induced. Methodological aspects of reception of the experimental information on a condition of separate designs and mathematical model of forecasting of a condition are considered.

**Key words:** ferro-concrete constructions, technical condition.

**Вступ.** Будівельні конструкції, як і усі складні системи, під час своєї експлуатації зазнають дії навколишнього середовища (у вигляді навантаження та впливу самого середовища) та піддаються при цьому зносу. З іншого боку, до будь-якої конструкції пред'являються певні вимоги, порушення яких робить процес експлуатації або неможливим, або вносить в нього певні відхилення, тобто унеможливорюється нормальна експлуатація їх. Для визначення можливості нормальної (чи просто можливості) експлуатації конструкцій та, за необхідності, прийняття адекватних заходів (поточних або капітальних ремонтів, реконструкції тощо) необхідно уміти визначати технічний стан як окремих конструкцій, так і будівель та споруд в цілому.

Аналіз останніх досліджень. Нормативні документи [1], які діють в даний час в Україні, не дають чіткої однозначної рекомендації щодо методології оцінювання технічного стану. Методи, що наведені в цих документах, базуються в основному на наявності певних дефектів та їх розвитку, що дуже часто не є критерієм для визначення фактичного технічного стану окремих конструкцій. Розроблені методи оцінювання технічного стану окремих конструкцій та будівель і споруд в цілому [2], а також основи розрахунку їх на надійність [3] дають базу для розроблення загальної методо-

логії оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій, будівель та споруд.

**Постановка мети і задач досліджень.** Виходячи з вищезазначеного, метою даного дослідження є створення такої методології, яка б на підставі отриманих в ході обстеження окремих конструкцій та будівель в цілому давала можливість визначати технічний стан окремих будівельних конструкцій та певним чином прогнозувати його зміну.

**Основна частина.** Під час визначення технічного стану окремих конструкцій встановлювалися наступні критерії:

1. Технічний стан конструкції повинен відображати якісно новий ступінь роботи її.
2. Критерії віднесення конструкції до того чи іншого стану повинні бути формалізовані, визначатися розрахунками та бути такими, які б не давали двоякого трактування у питанні визначення технічного стану.
3. Кількість технічних станів повинна бути мінімальною.

В якості об'єкта розглядається будівля або споруда в цілому. Виходячи з цього, до кожної будівлі (споруди) залежно від ряду факторів, як-то: призначення; проектна довговічність (нормативний термін експлуатації); матеріали, з яких виготовлені окремі конструкції та частини будівлі; технологічного процесу; впливу навколишнього середовища

тощо, пред'являються певні вимоги (параметри) для виконання будівлею (спорудою) функціонального призначення на проектний термін експлуатації.

Усі ці вимоги визначаються на стадії проектування та складають сукупність показників експлуатаційної придатності (ПЕП). Звичайно, порушення вимог до кожного із цих показників (відмова) має різний вплив на роботу конструкції як системи. Якщо в результаті перевищення допустимих значень ПЕП можливе руйнування конструкції, то перевищення допустимих значень іншими призводить лише до унеможливлення нормальної експлуатації. Виходячи з цього, всі показники експлуатаційної придатності рекомендується розділяти на дві групи:

- I — показники експлуатаційної придатності, перевищення яких призводить до руйнування конструкції (системи). Сукупність показників цієї групи позначимо  $X_{11}; X_{12}; \dots X_{1i}$ ;
  - II — ПЕП, перевищення значень яких вище ніж допустимі не призводить до руйнування конструкції, але унеможливорює нормальну експлуатацію їх. Сукупність ПЕП другої групи позначимо відповідно  $X_{21}; X_{22}; \dots X_{2j}$ .
- Часто показники експлуатаційної придатності, віднесені до першої чи другої їх групи, співпадають з вимогами, які пред'являються до першої та другої групи граничних станів. Таке співпадання найчастіше має місце для несучих конструкцій, але воно не є обов'язковим.

Пропонується скоротити число технічних станів окремих конструкцій та будівель (споруд) в цілому до трьох:

- I — задовільний. При цьому показники експлуатаційної придатності як першої, так і другої груп не перевищують своїх граничних значень. Конструкції, які можуть бути віднесені до цього стану, відповідають вимогам розрахунків за I та II групою граничних станів;
- II — непридатний до нормальної експлуатації. Деякі (або усі) ПЕП другої групи перевищують свої граничні значення, а показники експлуатаційної придатності першої групи не перевищують відповідних граничних значень. Конструкції, які мають цей технічний стан, не відповідають вимогам, що пред'являються за II групою граничних станів, але

відповідають вимогам міцності (вимогам за I групою граничних станів);

- III - аварійний, якщо один з показників експлуатаційної придатності першої групи перевищив своє граничне значення. Конструкції не відповідають вимогам за I (або за I і II) групою граничних станів.

Тобто для задовільного технічного стану (I) повинні виконуватися системи нерівностей (1) та (2):

$$\begin{cases} X_{11} \leq X_{11,\text{lim}}; \\ X_{12} \leq X_{12,\text{lim}}; \\ \dots\dots\dots \\ X_{1i} \leq X_{1i,\text{lim}}. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} X_{21} \leq X_{21,\text{lim}}; \\ X_{22} \leq X_{22,\text{lim}}; \\ \dots\dots\dots \\ X_{2j} \leq X_{2j,\text{lim}}. \end{cases} \quad (2)$$

В цих системах як  $X_{1i,\text{lim}}$  позначене граничне значення  $i$ -го показника експлуатаційної придатності першої групи, як  $X_{2j,\text{lim}}$  — те ж  $j$ -го ПЕП другої групи.

Якщо перша (1) система виконується, а друга (2) є не сумісною, то конструкцію слід віднести до II технічного стану (непридатного для нормальної експлуатації). У разі, коли перша (1) система є несумісною (незалежно від виконання нерівностей другої (2) системи), то конструкція належить до аварійного технічного стану (III).

В ході експлуатації параметри будівельних конструкцій, природно, змінюються. Характер зміни окремих показників експлуатаційної придатності носить різноманітний характер. Розглянемо деякі приклади.

Відомо, що в кислотному середовищі складові цементного каменю, що містять кальцій, вступають у реакцію з кислотою з утворенням при цьому гіпсу. Такий бетон практично не має міцності, тому прореагований шар повинен бути виключений з розрахунків. На рисунку 1 наведений характер зміни площі бетонної призми, що знаходиться під дією навантаження та випробовувався за стандартною методикою в середовищі

10% розчину сірчаної кислоти (графік побудований за даними [4]).

Аналогічний (затухаючий) характер носить і зміна швидкості корозії арматури. При цьому продукти корозії є перешкодою для впливу середовища та активність корозії з часом (за постійності умов) зменшується. Однак тут треба мати на увазі, що за однакової глибини корозії в арматурних стержнях площа, а значить і несуча здатність, зменшується непропорційно.

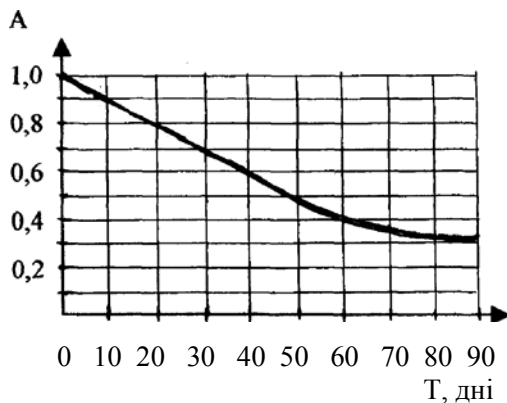


Рис. 1. Зниження несучої здатності бетонних призм в агресивному середовищі

За умови розгляду інтегрального показника (наприклад, несучої здатності залізобетонного елемента або ймовірності його відмови) виявляється, що його зміну в часі можна описати гладкою випуклою кривою другого порядку (3) (рис. 2)

$$P(t) = P_0 - a \times (t - t_0)^2, \quad (3)$$

де:

$P_0$  – значення характеристики на момент виміру,

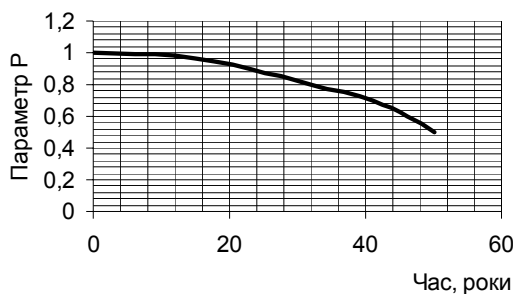


Рис. 2. Зміна параметру, що досліджується, з часом

$t_0$  – момент часу виміру,

$t$  – час,

$P(t)$  – значення характеристики на момент часу

$t$ ,  $a$  – параметр, що характеризує швидкоплинність зміни характеристики  $P(t)$ .

Характер зміни, описаний кривою (рис. 2), аналогічний кривій зносу складних систем, що певною мірою підтверджує правильність опису кривої.

Авторами проаналізована велика кількість дослідів, проведених на натурних конструкціях (як власних, так і інших дослідників, наприклад [5]). Усього розглянута зміна показників експлуатаційної придатності 7283 конструкцій. Аналіз показав правомірність прийнятої форми кривої зміни параметрів.

Отримувати таку залежність пропонується на підставі не менше ніж трьох обстежень конструкцій, рознесених у часі. Кожне наступне обстеження вносить корективи у форму кривої експлуатації, змінюючи параметр у виразі (3).

Крива на рисунку 2 описує знос системи, що необслуговується. У випадку, якщо до конструкції (а в будівельних конструкціях це відбувається дуже часто) застосовувалися зовнішні впливи у вигляді поточного (коли характеристики окремих показників експлуатаційної придатності не поліпшуються, а лише зменшується швидкість їх погіршення) чи капітального (або реконструкції) (коли окремі показники експлуатаційної придатності поліпшуються) ремонтів крива експлуатації буде мати інший вигляд (рис. 3). Математичних ускладнень з описом кривої в даному випадку немає. Аналіз показує, що при цьому на порядок підвищується ступінь поліному.

У ході проведення спостережень за поведінкою будівельних конструкцій та будівель і споруд в цілому в процесі їх експлуатації постійно накопичуються статистичні дані про окремі показники їх технічного стану. Методологічною основою процесу переходу від апріорної інформації, формалізованою у вигляді апріорного розподілу, до апостеріорної шляхом додавання отриманих дослідним шляхом нових даних про роботу системи є метод Байєса. Процес цей представляє, власне кажучи, уточнення початкових уявлень про властивості об'єкта на підставі результатів, отриманих в процесі спостереження, тобто накопичення інформації.

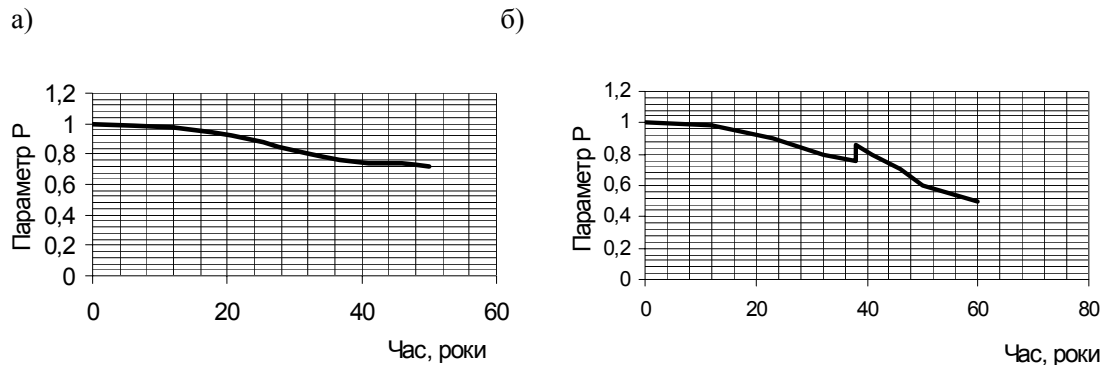


Рис. 3. Зміна параметра Р при: а — поточному ремонті; б — капітальному ремонті (реконструкції)

**Висновки.** Запропоновані методи оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій, по-перше, зменшують кількість технічних станів та формалізують процес їх визначення у кожному конкретному випадку. По-друге, дають можливість описувати процес експлуатації на підставі отриманих в ході експерименту даних і уточнювати його в ході спостережень. Все це призводить до більш достовірного оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій, а значить, і до прийняття своєчасних адекватних заходів щодо їх нормальної експлуатації.

### Література

1. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації

виробничих будівель і споруд / Держ. комітет буд-ва, архіт. та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України. - К., 1997. - 145 с.

2. Klimenko E. Problems of use building structures / Sixth International Scientific Forum "Aims for future of engineering science" (March 23-30, Hong Kong), 2005. - p.104-107.
3. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій: Монографія. - Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. - 320 с.
4. Бліхарський З.Я. Корозія бетонних і залізобетонних конструкцій при дії агресивного середовища та силового навантаження // Будівельні конструкції: Міжвід. наук.-техн. зб. - Вип. 54. Всеукраїнська наук.-практ. конф. "Реконструкція будівель та споруд. Досвід та проблеми". - К., 2001. - С. 126-131.

**Дорофєєв Віталій Степанович** — д.т.н., професор, завідувач кафедри "Залізобетонні та кам'яні конструкції", ректор Одеської державної академії будівництва та архітектури.

**Клименко Євген Володимирович** — к.т.н., доцент, професор кафедри "Залізобетонні та кам'яні конструкції", проректор з науково-педагогічної роботи Одеської державної академії будівництва та архітектури.

**Дорофеев Виталий Степанович** — д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Железобетонные и каменные конструкции", ректор Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

**Клименко Евгений Владимирович** — к.т.н., доцент, профессор кафедры "Железобетонные и каменные конструкции", ректор Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

**Dorofeyv Vitaliy Stepanovych** — D. Sc., Professor, Head of Department of ferro-concrete and stone constructions, Rector of Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

**Klymenko Yevhen Volodymyrovych** — Ph. D., Acc. Prof., Professor of Department of ferro-concrete and stone constructions, Deputy rector on scientific-pedagogical work of Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture.