

## ОСНОВНІ ЗАСАДИ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

© Клименко Є.В., Дорофєєв В.С., 2007

Кількість технічних станів будівельних конструкцій зменшується до трьох, а перехід до іншого стану трактується як перевищення показниками експлуатаційної придатності (ПЕП) двох груп граничного значення. Прогнозування технічного стану виконується на апостеріорній інформації, яка уточнюється та доповнюється під час експлуатації. Регулювання стану конструкцій відбувається підвищенням ПЕП або уточненням області якості (граничних значень ПЕП). Чотирирівнева система моніторингу дає змогу отримувати зіставну достовірну інформацію.

The amount of the technical states of build constructions diminishes to three, and passing to other interpreting the states as exceeding of service ability of two groups of maximum value indexes. Prognostication of the technical state is executed on a posteriori information which is specified and complemented in the process of exploitation. Adjusting of the state of constructions takes a place the increase of service ability or clarification of area of quality indexes (maximum values). The offered system of monitoring lets to get comparable reliable information.

**Постановка проблеми.** Будівлі та споруди належать до складних систем, які на початку своєї експлуатації мають певний ресурс, а потім зазнають зносу. При цьому зменшуються наперед задані параметри окремих залізобетонних конструкцій, а також будівель чи споруд загалом, наближаючись до свого граничного значення. Для забезпечення надійної та безпечної експлуатації будівельних об'єктів, що вимагається Постановою Кабінету Міністрів України № 409 від 05.05.1997 р. "Про забезпечення надійної і безпечної експлуатації будівель та інженерних мереж" та іншими документами, необхідно мати методологію оцінювання та керування технічними станом окремих конструкцій та будівель і споруд загалом.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Чинні нормативні документи з питань безпечної експлуатації [1] мають рекомендаційний характер. Вони не дають можливості однозначно оцінювати технічний стан та прогнозувати, а за необхідності – регулювати його.

Розроблені методи оцінювання технічного стану окремих конструкцій та будівель і споруд загалом [2], а також основи розрахунку їх на надійність [3], дають базу для розроблення загальної методології оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій, будівель та споруд.

У роботах [4, 5] надані рекомендації щодо прогнозування та регулювання стану конструкцій.

**Мета досліджень.** Метою досліджень, що виконуються в Одеській державній академії будівництва та архітектури, є створення комплексної методології визначення, прогнозування та регулювання технічного стану окремих залізобетонних конструкцій та будівель і споруд загалом. Така методологія повинна формалізувати вказані процеси, зробити їх розрахунковими, тобто однозначними та достовірними.

**Основна частина.** Як відомо, технічний стан – це стан, який характеризується в певний момент часу, за певних умов зовнішнього середовища, значенням параметрів (показників експлуатаційної придатності), встановлених на цей об'єкт. Серед усього загалу властивостей, які повинна мати конструкція, виділяються основні, саме ті, що істотно впливають на її роботу. Ці показники експлуатаційної придатності (ПЕП) розділяються на дві групи так: перевищення граничних значень

ПЕП першої групи призводить до руйнування конструкції, а перевищення граничних значень показниками експлуатаційної придатності другої групи – унеможливує нормальну експлуатацію конструкції.

Число технічних станів скорочується до трьох:

I – задовільний. При цьому показники експлуатаційної придатності як першої, так і другої груп не перевищують своїх граничних значень;

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;

III – аварійний. Бодай один з показників експлуатаційної придатності першої групи перевищив своє граничне значення. При цьому ПЕП другої групи можуть знаходитися в допустимих межах.

Зміну окремих показників експлуатаційної придатності потрібно визначати за наявною апостеріорною інформацією. Дослідження показали, що найдоцільнішим з погляду точності та простоти, таку зміну (криву експлуатації) можна описати поліномом другого ступеня. При цьому показник експлуатаційної придатності в будь-який момент часу  $P(t)$  можна визначити через початкове значення характеристики  $P_0$  через коефіцієнт  $a$  :

$$P(t) = P_0 - a(t - t_0)^2. \quad (1)$$

Для підтвердження такої гіпотези було проведено довготривалий експеримент. Цей натурний експеримент полягав у тому, що на вибраній ділянці монолітного залізобетонного безбалкового перекриття головного виробничого корпусу Кобеляцького (Полтавська область) молочно-консервного комбінату періодично замірювався діаметр арматурних стрижнів. За початковий діаметр (1959 рік) прийнято діаметр, що відповідає проекту, тобто 14 мм. Під час обстежень

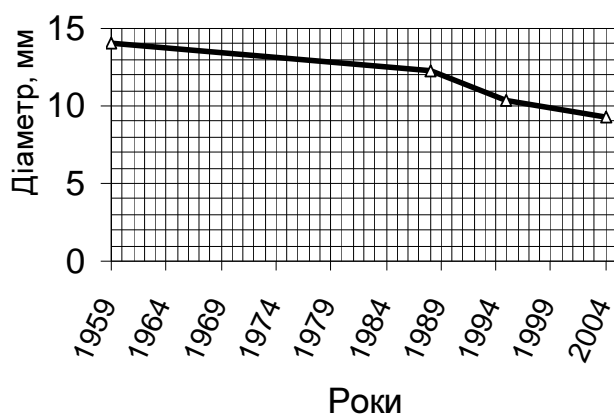


Рис. 1. Зміна середнього діаметра поздовжньої арматури під час експлуатації з роками

роками проілюстровані на рис. 1. Проведений експеримент дав можливість прослідкувати зміну діаметра поздовжньої робочої арматури перекриття протягом доволі тривалого часу (16 років) в умовах реального впливу середовища.

Розглядалася також досить представницька вибірка результатів натурних спостережень, виконаних іншими авторами. Так автори [6] провели обстеження 85 будівель тваринницького призначення (для утримання великої рогатої худоби та свиней) за внутрішніми показниками і 183 будівлі – за зовнішніми ознаками. Методика цих досліджень включала вимірювання основних параметрів мікроклімату та оцінювання залізобетонних конструкцій за зовнішнім оглядом та внутрішніми показниками.

Під час зовнішнього огляду фіксувалися поздовжні (вздовж робочої арматури) тріщини і стан захисного шару бетону, а під час відкриття арматури – товщину захисного шару, глибину його карбонізації, а також ступінь пошкодження стрижнів арматури. Для систематизації та оброблення отриманих результатів обстеження авторами [6] розроблені відповідні шкали оцінок. Користуючись методом найменших квадратів, здійснювали апроксимацію наявних статистичних даних, використовуючи для цього три види залежностей – лінійну, квадратичну та кубічну (апеляція до степеневих рядів вищих степенів, як і до інших варіантів математичних моделей, позбавлена аргументованих підстав на їх користь у зв'язку з обмеженістю статистики). Приклад такої залежності показаний на рис. 2. Отримані результати показали, що найбільш достовірним та надійним є опис кривої зміни показників експлуатаційної придатності поліномом другого ступеня, що й приймалося в подальшій розробці загальної методології.

Прогнозування технічного стану виконується на підставі отриманої під час спостережень за поведінкою конструкції в часі. Сама методика прогнозування полягає в екстраполяції кривої експлуатації за окремими показниками експлуатаційної придатності та оцінювання його значення в будь-який заданий наперед момент часу. Оскільки процес спостереження за поведінкою конструкцій характеризується невеликою кількістю експериментальних даних щодо значень ПЕП, то збільшення показника полінома не призводить до збільшення точності, а навпаки різко зменшує точність прогнозування параметра. Враховуючи це, за прогнозоване значення показника експлуатаційної придатності, що розглядається, пропонується приймати середнє арифметичне значення із отриманих шляхом екстраполяції поліномів першого, другого, третього та четвертого степенів. У цьому випадку, як показує аналіз зіставлення теоретичних значень ПЕП з експериментальними, результат є найбільш точним та достовірним. На рис. 3 проілюстровано це твердження. З нього видно, що зі збільшенням показника ступеня полінома точність опису кривої експлуатації збільшується, а точність прогнозу – різко падає.

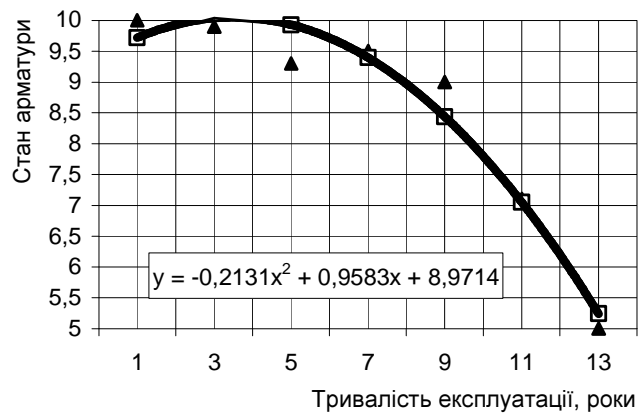


Рис. 2. Зміна стану арматури плит покриття.

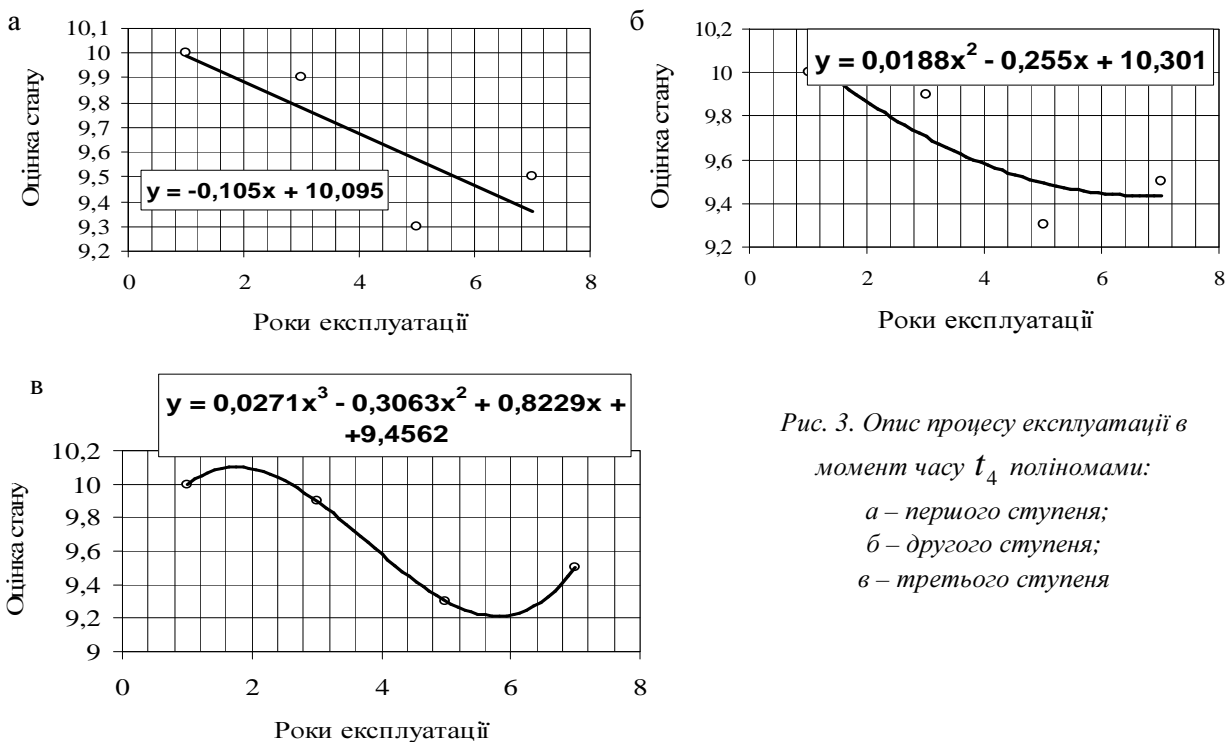


Рис. 3. Опис процесу експлуатації в момент часу  $t_4$  поліномами:

- а – першого ступеня;
- б – другого ступеня;
- в – третього ступеня

Регулювання технічного стану окремих конструкцій, а значить і будівель та споруд загалом виконується двома шляхами. Перший – це втручання в процес експлуатації. Розглядається два види втручання: пасивний та активний. Перший – обстеження конструкцій. Звичайно, така дія не вносить змін в об’єктивний процес експлуатації, але отримана в результаті обстеження інформація дає змогу уточнити криву експлуатації, і, часом, істотно її змінити. Активний шлях регулювання полягає в капітальному ремонті чи реконструкції (втручання, під час якого показники експлуатаційної придатності підвищуються) або поточному ремонті (значення ПЕП не підвищується, але вжиті заходи призводять до зменшення швидкості деградації конструкції). Основні параметри процесу втручання наведені в таблиці .

#### Елементи формалізації способів втручання

Вид втручання	Кількість дій	Витрати на одну дію	Ризик не досягнення мети після всіх дій
Діагностика конструкції	$n$	$DD$	$\alpha$
Поточний ремонт	$p$	$PP$	$\beta$
Капітальний ремонт	$k$	$RR$	$\gamma$

Враховуючи те, що втручання має здійснюватися з дотриманням вимог щодо мінімізації ризику, мінімізації витрат та мінімізації кількості втручань, отримуємо співвідношення щодо уведених елементів формалізації

$$\begin{aligned}
 n + p + k &= m_1 \rightarrow \min; \\
 DD \times n + PP \times p + RR \times k &= m_2 \rightarrow \min; \\
 \frac{\alpha}{n} + \frac{\beta}{p} + \frac{\gamma}{k} &\rightarrow \min.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Розроблена програма в системі автоматизованих розрахунків MathCad дає можливість визначати кількість втручань в експлуатацію. При цьому витримується вимога непереходу системи в інший (гірший) технічний стан та мінімізації експлуатаційних витрат.

Другий шлях регулювання технічного стану – показників експлуатаційної придатності на базі вивчення та опису напружено-деформованого та роботи пошкоджених під час експлуатації конструкцій. Авторами досліджена поведінка залізобетонних конструкцій (як звичайних, так і попередньо напружених), що згинаються, та під час експлуатації зазнали нетривалої дії навантаження високого рівня [8]. Також розроблені [7] рекомендації щодо розрахунку пошкоджених під час експлуатації стиснутих та зігнутих залізобетонних елементів. Пропозиції ґрунтуються на основних передумовах чинних норм та доповнюють їх. Все це дало можливість розширити область якості окремих конструкцій, тим самим збільшивши їх ресурс.

На основі запропонованої методології не становить труднощів визначити залишковий ресурс конструкції. Ця задача є оберненою до процесу прогнозування. Використовуючи ті ж підходи, можна для кожного показника експлуатаційної придатності визначити час досягнення ним граничного значення. Найменший час для усієї сукупності ПЕП і є залишковий ресурс. Однією з невирішених проблем в проектуванні будівельних конструкцій є призначення початкового ресурсу. При використанні методології, що пропонується, початковий ресурс визначається шляхом афінного перетворення кривої експлуатації так, щоб залишковий ресурс на момент проектування відповідав заданому наперед значенню початкового. При цьому крива експлуатації отримується або лабораторними дослідженнями (вивчення процесів деградації конструкції в лабораторних умовах та перенесення закону зміни ПЕП на реальні конструкції), або перенесенням кривої експлуатації, отриманих для таких же конструкцій, в такому ж середовищі, на ту, що проектується.

Оцінювання технічного стану, його прогнозування та регулювання виконується на двох рівнях:

І рівень – окремий показник експлуатаційної придатності. На цьому рівні кожне отримане значення ПЕП порівнюється з граничним і робиться висновок щодо знаходження окремої конструкції в певному технічному стані;

II рівень – розглядається система будівлі, тобто окремих конструкцій, зв'язаних між собою, залежно від способів цього зв'язування будується дерево відмов та робиться висновок про знаходження уже системи в тому чи іншому технічному стані.

Розроблена методологія може мати як детерміновані підходи, так і ймовірнісні. В останньому випадку оцінюється ймовірність виходу окремого ПЕП за свої граничні значення або ймовірність переходу системи в гірший технічний стан.

З огляду на важливість отримання та нагромадження великої вибірки інформації щодо експлуатації конструкцій пропонується чотирирівнева система моніторингу технічного стану будівельних конструкцій. Суть пропозицій полягає в тому [9], що під час обстеження для паспортизації спеціалізована організація виділяє показники експлуатаційної придатності, за якими найактивніше відбувається деградація конструкції, тобто за якими найменший ресурс. Служба спостереження під час чергових оглядів (не менше ніж два рази в рік) отримує інформацію щодо цих показників та слідкує, щоб не було перевищення ними своїх граничних значень. Отже, нагромаджується досить істотна вибірка даних щодо процесу експлуатації, і, що головне, ця інформація є зіставною та може використовуватися під час оцінювання, прогнозування та регулювання технічного стану конструкцій.

**Висновки.** Запропонована методологія оцінювання, прогнозування та регулювання технічного стану залізобетонних конструкцій, по-перше, зменшує кількість технічних станів та формалізує процес їх визначення у кожному конкретному випадку. По-друге, дають можливість описувати процес експлуатації на підставі отриманих під час експерименту даних і уточнювати його в ході спостережень. Все це призводить до достовірнішого оцінювання, прогнозування технічного стану залізобетонних конструкцій, а значить і до прийняття своєчасних адекватних заходів щодо їх нормальної експлуатації.

1. *Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд.* – К.: Держ. комітет буд-ва, архіт. та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України, 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. Ймовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій: Монографія.* – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 320 с. 4. *Клименко Є.В., Шаповал С.Л. Регулювання технічного стану будівельних конструкцій на основі уточнення їх розрахунків // Вісн. Одеської держ. акад. буд. та арх. – 2006. – Вип.22. – С. 283–285.* 5. *Клименко Є.В. Про один аспект прогнозування роботи будівельних конструкцій // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2005. – Вип. 12. – С. 420–426.* 6. *Кесккюлла Т.Є., Мильян Я.А., Новгородский В.И. Коррозионное разрушение железобетонных конструкций животноводческих зданий // Бетон и железобетон. – 1980. – № 9. – С. 43–44.* 7. *Клименко Є.В., Дорофеев В.С. Розрахунок залізобетонних конструкцій, пошкоджених в процесі експлуатації // Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту. – Львів: Львів. держагроуніверситет, 2007. – С. 161–167.* 8. *Клименко Є.В., Дорофеев В.С. Технічний стан залізобетонних конструкцій після нетривалого перевантаження // Вісн. Одеської держ. акад. буд. та арх. – Одеса: ОДАБА, 2006. – Вип. 23. – С. 69–76.* 9. *Клименко Є.В., Дорофеев В.С. Організація робіт з моніторингу технічного стану залізобетонних конструкцій // Дороги і мости: Зб. наук. праць: В 2 т. Т. 1. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7. – С. 223–230.*