

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.0.9.012.45-047.72

Ф. В. ЯЦКО*

* Кафедра «Мости та тунелі», Національний транспортний університет, вул. Суворова 1, Київ, Україна, 01010, тел. +38 044 280 79 78, ел. пошта fedor.yatsko@gmail.com

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗГИНАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТІВ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ

Мета. Науковий пошук моделі прогнозу життєвого циклу елементів автодорожніх мостів для інтеграції в САПР. **Методика.** Теоретичне вишукування. **Результати.** Доведена принципова можливість використання розробленої моделі прогнозу ресурсу при автоматизованому проектуванні залізобетонних згинаних елементів на заданий термін служби. **Наукова новизна.** Пропонується модель, призначена для прогнозування ресурсу елемента на всіх етапах життєвого циклу, починаючи з проектування. **Практична значимість.** Запропоновано практичну методику оцінки ресурсу залізобетонних елементів мостів в процесі автоматизованого проектування.

Ключові слова: деградація захисного шару; корозія арматури; ресурс; життєвий цикл; характеристика безпеки

Вступ

Наукові пошуки останніх років із створення засад оцінювання і прогнозування технічного стану транспортних споруд [1-7, 9-12,] склали базу перших в Україні і СНД чинних нормативних документів, які сьогодні в системі експлуатації мостів регламентують обов'язкову процедуру інтегральної оцінки прогнозу технічного стану конструктивних елементів і споруди цілком в функції часу і, таким чином, прогнозувати її залишковий ресурс. Проте, згадані нормативні документи ще далекі від досконалості і потребуються значні зусилля з подальшого їх розвитку та вдосконалення.

Що ж стосується прогнозу ресурсу залізобетонних елементів на етапі проектування, то нам невідомі дослідження в СНД, які мають реальне практичне впровадження. Очевидно, що в цих умовах дослідження спрямовані на оцінку і прогноз довговічності залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів будуть відповідати інтересам суспільства і державній політиці в сфері техногенної і економічної безпеки.

Досвід експлуатації залізобетонних автодорожніх мостів України показав, що середній термін служби більшості прогонових будов складає 35...50 років [1], тоді як нормативний

термін служби має складати мінімум 70...100 років. За даними обласних експлуатаційних організацій кількість мостів, що знаходяться в 4 або 5 експлуатаційному стані і потребують терміново капітального ремонту або реконструкції, в 2000 році становила 220 одиниць, тоді як за станом на початок 2013 року кількість таких мостів збільшилася майже до 2000 одиниць.

Причини зниження очікуваного ресурсу є на всіх стадіях життєвого циклу споруди. Зараз визнається, що зниження середнього терміну служби закладається ще на стадії проектування споруди. Усталена практика розрахунків і конструювання не має важелів оцінки ресурсу елементів, термін служби призначається директивно, граничні рівняння стану елементів не мають зв'язку з часом експлуатації.

Мета

Наведені вище обставини і були спонукальним мотивом до розробки моделі прогнозування ресурсу залізобетонних елементів в рамках нової парадигми теорії споруд – пошук рівнянь напружено-деформованого стану елемента у функції часу. Центральна наукова ідея дослідження полягає в пошуку моделі зв'язку функції граничного стану з часом. Така постановка

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

задачі є елементом нової парадигми в теорії споруд. Дійсно, сьогодні всі фундаментальні рівняння теорії споруд прийняті такими, що не залежать від часу. Наше дослідження є одним з перших спроб зв'язати рівняння напружено-деформованого стану елементів споруд з часом.

Ця стаття присвячена розробці методики прогнозування ресурсу залізобетонних згинаючих елементів мостів в автоматизованому проектуванні, використовуючи якомога простий математичний апарат, який дозволив би легко інтегрувати його в САПР. Для цього використовується спроба зв'язати рівняння напружено-деформованого стану елементів споруд з часом, використавши напівімовірнісний підхід, який по суті є реалізацією аналітичної моделі, викладеної в роботі [12] з включенням апарату розрахунку коефіцієнта надійності.

Коефіцієнт надійності детерміністичної моделі

Коефіцієнт надійності строку служби – це відношення математичного очікування строку служби до розрахунковому строку служби [13, 15]:

$$\gamma_t = \frac{\mu_{T_{ст}}}{T_g}, \quad (1)$$

де γ – коефіцієнт надійності строку служби; $\mu_{T_{ст}}$ – математичне очікування сорока служби, років; T_g – розрахунковий строк служби з заданою забезпеченістю, років.

За допомогою коефіцієнта надійності строку служби γ_t можна перейти від нормативного необхідного строку служби елемента, який відповідає максимально допустимій ймовірності відмови, до відповідного середнього проектного строку служби T_d [13, 15]:

$$T_d = \gamma_t T_g. \quad (2)$$

Коефіцієнт надійності строку служби залежить від максимально допустимої ймовірності відмови (рівня надійності) і від типу закону розподілу строку служби $T_{ст}$.

Коефіцієнти надійності строку служби визначимо, дотримуючись процедури єврокодів, у функції характеристики безпеки [8, 14, 16]. Характеристика безпеки β вводиться на підставі фун-

даментальних принципів теорії ймовірностей і математичної статистики, за таких гіпотезах:

- припускається, що узагальнене опір R і узагальнений навантажувальний ефект E – суть випадкові величини;

- постулюється, що випадкові змінні R і E мають нормальний розподіл.

Коефіцієнт надійності строку служби γ_t визначимо як коефіцієнт надійності властивостей матеріалу γ_R у вигляді відношення характеристичного значення узагальненої змінної опору R до її розрахункового (проектного) значення:

$$\gamma_t = \gamma_R = \frac{R_k}{R_d}, \quad (3)$$

де R_k – характеристичне значення узагальненої змінної опору R ; R_d – її розрахункове значення узагальненої змінної опору R .

Прийнято характеристичні значення R_k визначати як 5 % квантиль [16]:

$$R_k = \mu_R \cdot e^{-1,645V_R}. \quad (4)$$

Розрахункове значення R_d визначається через характеристику безпеки для базового періоду повторюваності в 1 рік:

$$R_d = \mu_R e^{-\alpha_R \beta_\alpha V_R}, \quad (5)$$

де α_R – коефіцієнт чутливості; β_α – характеристика безпеки для базового періоду повторюваності в 1 рік; V_R – коефіцієнт варіації матеріалу; 1,645 – коефіцієнт приведення математичного очікування (середнього значення) змінної до її характеристичного значення, що відповідає 5 % забезпеченості (5 % квантиль змінної).

Внесемо в (1) вирази (4) і (5) і отримаємо вираз для коефіцієнта надійності строку служби γ_t :

$$\gamma_t = \frac{e^{-1,645V_Q}}{e^{-\alpha_R \beta_\alpha V_R}} = e^{(0,8\beta_\alpha V_R - 1,645V_Q)}. \quad (6)$$

Алгоритм прогнозування ресурсу

На схемі (рис. 1) показано алгоритм прогнозування ресурсу залізобетонних елементів автодорожніх мостів на стадії проектування. Він складається з наступних кроків:

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- формування вихідних конструкційних і експлуатаційних характеристик елемента;
- прогноз часу карбонізації захисного шару t_1 ;
- прогноз часу накопичення критичної концентрації хлоридів у поверхні арматури t_2 ;
- визначення часу корозії арматури t_3 ;
- визначення проектного строку служби елемента T_d ;
- визначення коефіцієнта надійності строку служби γ_t ;
- визначення розрахункового строку служби T_g з забезпеченістю 95 %.

Час карбонізації захисного шару визначимо залежністю:

$$t_1 = \frac{m_0 \cdot x^2}{2 \cdot D_e \cdot C_0}, \quad (7)$$

де x – товщина захисного шару, м; D_e – ефективний коефіцієнт дифузії (згідно СНиП 2.03.11-85); m_0 – реакційна здатність бетону, функція властивостей і кількості цементу в бетоні.

Реакційна здатність бетону, функція властивостей і кількості цементу в бетоні згідно документу [5]

$$m = 3 \cdot \frac{\omega}{c} - 0,6. \quad (8)$$

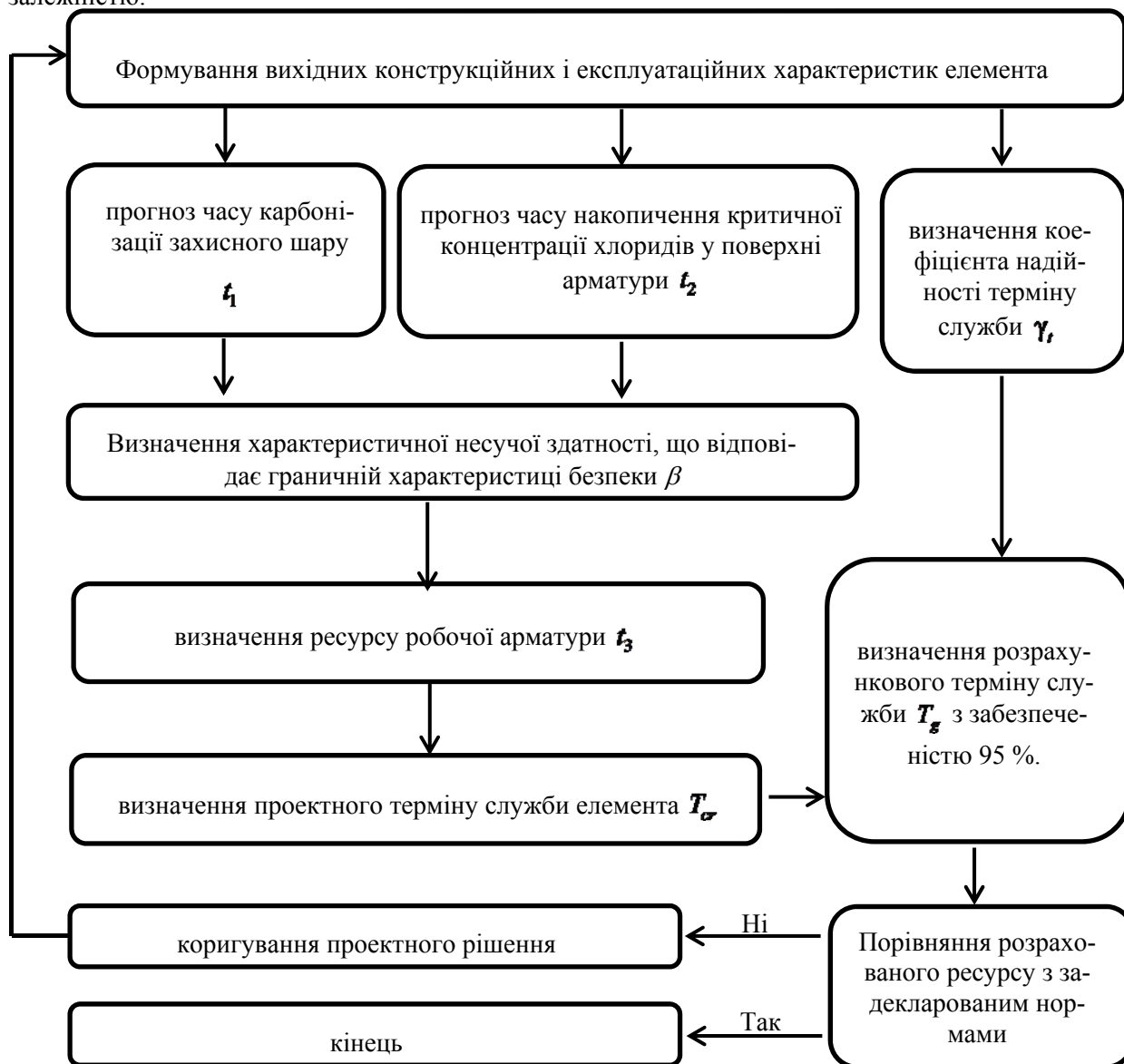


Рис. 1. Логічна схема алгоритму обчислення розрахункового строку служби

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Час досягнення критичної концентрації хлоридів на рівні робочої арматури на глибині x :

$$t_2 = \frac{1}{K_{\text{еф}} \cdot D_0} \left[\frac{x}{2 \cdot \text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{CR} - C_1}{C_S - C_1} \right)} \right]^2, \quad (9)$$

де C_S – концентрація хлорид-іонів на поверхні елемента; C_1 – початкова концентрація хлорид-іонів всередині бетону; C_{CR} – концентрація хлорид-іонів на глибині x , необхідна для початку активної корозії арматури; $\text{erf}(\cdot)$ – функція помилок; $K_{\text{еф}}$ – коефіцієнт ефективності; D_0 – початковий коефіцієнт дифузії з урахуванням впливу складу бетону λ і вмісту летючої золи (ξ , %) [2]:

$$K_{\text{еф}} = \left[1 + \frac{(1-H)^4}{(1-H_c)^4} \right]^{-1} \cdot e^{\left(\frac{1}{K_0} - \frac{1}{K} \right)} \cdot \left[1 + A \left(\frac{\sigma}{f} \right) \right]^2, \quad (10)$$

де H – відносна вологість; H_c – критична вологість; q – константа активації дифузії; K_0 – нормальна температура; K – температура; A – коефіцієнт, що залежить від типу напружень в бетоні (при стисканні -0,0236; розтягу +0,0496); σ – напруження в бетоні; f – гранична міцність бетону.

$$D_0 = 10^{(-12,06+2,4B/C)} \lambda \zeta, \quad (11)$$

де B/C – водоцементне відношення.

Математичне очікування несучої здатності, що відповідає граничній характеристиці безпеки β :

$$\mu_R(\beta) = \frac{\mu_Q + \beta \cdot \mu_Q \sqrt{V_Q^2 - V_Q^2 \cdot V_R^2 \cdot \beta^2 + V_R^2}}{V_R^2 \cdot \beta^2 - 1}, \quad (12)$$

де V_Q – коефіцієнт варіації узагальненого навантаження; V_R – коефіцієнт узагальненої опірності елемента; μ_R – математичне очікування узагальненого опору елемента; μ_Q – математичне очікування узагальненого навантаження елемента.

Характеристична несуча здатність $M_{\beta n}$, що відповідає граничній характеристиці безпеки β :

$$M_{\beta n} = \mu_R(\beta) \cdot (1 - 1,64V_Q). \quad (13)$$

Вираз для отримання різниці ΔM_n між проектною характеристичною несучою здатністю M_{0n} , що відповідає проектній характеристиці безпеки $\beta(0)$ та несучою здатністю $M_{\beta n}$, що відповідає $\beta(i)$ обраного експлуатаційного стану:

$$\Delta M_n = M_{0n} - M_{\beta n}. \quad (14)$$

Рівняння зміни діаметру арматури від корозії арматури в умовах карбонізованого бетону Δd_c :

$$\Delta d_c = 2v_c(t_2 - t_1), \quad (15)$$

де, v_c – швидкість корозії арматури в умовах карбонізованого бетону.

Ресурс арматури

$$t_3 = \frac{\gamma_C}{2v_{\text{corr}}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4R_{bn}b \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\Delta M_n}{R_{bn}bh_{01}^2}} \right)}{R_{sn}\pi n_1 \gamma_C^2}} \right), \quad (16)$$

де R_{sn} – нормативний опір арматури на розтяг (МПа); R_{bn} – нормативний опір бетону на стиск (МПа); h_{01} – робоча висота перерізу шару арматури, що розташована на глибині захисного шару; b – ширина перерізу (м),

$$\gamma_C = d - \Delta d_c. \quad (17)$$

З урахуванням впливу напружень, температури та вологості на швидкість корозії арматури:

$$v = v_0 \exp \left(\frac{V \cdot \sigma}{R \cdot T} \right), \quad (18)$$

де v_0 – швидкість корозії за відсутності напружень (мкм/рік, згідно з RILEM [17] в умовах хлориднасиченого середовища 98 мкм/рік.); V – мольний об'єм кородуючого металу (м³/моль); σ – напруження в арматурі (МПа); R – універсальна газова стала 8,314472 Дж/(моль·К); T – температура (К).

В термінах часу, ресурс елемента:

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$T_{cr} = t_2 + t_3, \quad (19)$$

де перший період життєвого циклу t_1 – період депасивації захисного шару, арматура не кородує ($t_1 = t_c$) відсутній через те що він повністю завершується впродовж другого періоду життєвого циклу; другий період життєвого циклу t_2 – період, впродовж якого арматура кородує в умовах карбонізованого бетону, концентрація хлоридів недостатня для активації хлоридної корозії; третій період t_3 – період активної хлоридної корозії, характеризується активним зниженням несучої здатності в часі.

Коефіцієнт варіації матеріалу композитного елемента:

$$V_R = \sqrt{\sum_1^m V_{Ri}^2 + \sum_1^m V_{Ri}^2 V_{Rj}^2}, \quad (20)$$

де m – кількість матеріалів, що містяться в композитному елементі.

Коефіцієнт варіації узагальненого навантаження на елемент:

$$V_R = \sqrt{\sum_1^m V_{Ri}^2 + \sum_1^m V_{Ri}^2 V_{Rj}^2}, \quad (21)$$

де m – кількість навантажень, що діють на переріз елемента.

Математичне очікування узагальненого опору елемента:

$$\mu_R = \frac{M_u}{1 - 1,64V_R}, \quad (22)$$

де M_u – характеристична несуча здатність перерізу за моментом.

Математичне очікування узагальненого навантаження на елемент:

$$\mu_Q = \frac{M_{max}}{1 + 1,64V_Q}, \quad (23)$$

де M_{max} – характеристичний згинальний момент від всіх типів навантаження.

Характеристика безпеки:

$$\beta = \frac{\mu_R - 1}{\mu_Q} \cdot \sqrt{V_Q^2 + \left(\frac{\mu_R}{\mu_Q}\right)^2 V_R^2}. \quad (24)$$

Коефіцієнт надійності строку служби γ_t :

$$\gamma_t = e^{(0,8\beta V_R - 1,645V_R)}. \quad (25)$$

Розрахунковий ресурс елемента:

$$T = T_{cr} \gamma_t. \quad (26)$$

Висновки

1. Запропоновано імовірнісне трактування прогнозу ресурсу залізобетонних згинаних елементів мостів.

2. Вперше запропонована практична інженерна методика прогнозування ресурсу залізобетонних згинаних елементів мостів заданої надійності. Методика в повній мірі відповідає національним нормам ДБН В.1.2-14:2009 [4] та Єврокоду [8,16].

3. Запропонована методика дає можливість на етапі проектування оцінити ресурс елемента, поєднуючи в собі не тільки характеристики самого перерізу і навантажень, але і умови середовища. Таким чином проектувальник на етапі проектування має апарат, що дозволить обґрунтувати з певним рівнем не тільки надійності, а і довговічності розроблений варіант поперечного перерізу елемента. Такий підхід відкриває шлях для оцінки ефективності використання ресурсів та розбудови життєвого циклу, близького до реальності, дає можливість прогнозувати експлуатаційні витрати, являє собою інструмент для керування довговічністю в системах автоматизованого проектування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бліхарський, З. Я. Моделирование коррозионных разрушений железобетонных балок в агрессивном окружении [Текст] / З. Я. Бліхарський, М. Г. Сташук, О. М. Малик // Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж. – Донецьк, 2003. – Вип. 6. – С. 48–55.
2. Бондаренко, В. М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона [Текст] / В. М. Бондаренко, С. В. Бондаренко. – Москва : Стройиздат, 1981. – 210 с.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

3. ВБН В.3.1-218-174-2002. Мости та труби. Оцінка технічного стану мостів, що експлуатуються [Текст]. – Київ : Державна служба автомобільних доріг України, 2001. – 74 с.
4. ДБН В.1.2-14:2009 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – Надано чинності 2009-12-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 36 с.
5. ДСТУ-Н Б. В.2.3-23:2009 Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – На заміну ВБН В.3.1-218-174-2002 Мости та труби. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються ; надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
6. Лантух-Лященко, А. І. О прогнозе остаточного ресурса моста [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Дороги і мости. – Київ : ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7. – Т. 2. – С. 3–9.
7. Лантух-Лященко, А. І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1999. – Вип. 57 – С. 183–188.
8. ДСТУ-Н Б EN 1990:2008. Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT) [Текст]. – Надано чинності 2013-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. – 116 с.
9. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций [Текст] / А. В. Перельмутер. – Москва : Издательство ассоциации строительных вузов, 2007. – 185 с.
10. Редченко, В. П. Моніторинг технічного стану мостів методами пасивної вібраційної діагностики [Текст] / В. П. Редченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 223-227
11. Яцко, Ф. В. Довговічність захисного шару залізобетонних елементів мостів [Текст] / Ф. В. Яцко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – № 34. – С. 154–158.
12. Яцко, Ф. В. Практична інженерна методика оцінки ресурсу залізобетонних елементів мостів в процесі проектування [Текст] / Ф.В. Яцко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – № 25. – С. 138–147.
13. Durability design of concrete structures – RILEM Report 14 / Edited by A. Sarja and E. Vesikari. – London : Taylor & Francis, 1996. – 93 p.
14. EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings / European Committee for Standardization. – Brussels : European Committee for Standardization, 2004. – 225 p.
15. Folic R. Durability design of concrete structures – Part 1: Analysis fundamentals [Text] / R. Folic // Facta Universitatis - Series: Architecture and Civil Engineering. – 2009. – Vol. 7, No 1. – P. 1-18.
16. General principles on reliability for structures. ISO 2394:1998 / Geneva : International Organization for Standardization, 1998. – 73 p.
17. Report of RILEM Technical committee 130-CSL [Durability design of concrete structures]. Edited by A.Sarja and E.Vesicary. E&SPON.

Ф. В. ЯЦКО*

* Кафедра «Мости и тоннели», Национальный транспортный университет, ул. Суворова 1, Киев, Украина, 01010, тел. + 38 044 280 79 78, эл. почта fedor.yatsko@gmail.com

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВ В АВТОМАТИЗОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Цель. Научный поиск модели прогноза жизненного цикла элементов автодорожных мостов для интеграции в САПР. **Методика.** Теоретическое изыскания. **Результаты.** Доказана принципиальная возможность использования разработанной модели прогноза ресурса при автоматизированном проектировании железобетонных изгибаемых элементов на заданный срок службы. **Научная новизна.** Предлагается модель, предназначенная для прогнозирования ресурса элемента на всех этапах жизненного цикла, начиная с проектирования. **Практическая значимость.** Предложено практическую методику оценки ресурса железобетонных элементов мостов в процессе автоматизированного проектирования.

© Ф. В. Яцко, 2016

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Ключевые слова: деградація захитного слоя; коррозія арматури; ресурс; життєвий цикл; характеристика безпеки

F. V. YATSKO*

* Dept. of Bridges and Tunnels, National Transport University, 1 Suvorov str., Kyiv, Ukraine, 01010, tel. +38 044 280 79 78, e-mail fedor.yatsko@gmail.com

SERVICE LIFE PREDICTION METHODOLOGY OF CONCRETE BENDING ELEMENTS OF ROAD BRIDGES IN AUTOMATED DESIGN

Purpose. Scientific research of life cycle prediction model of road bridges for CAD usage. **Methodology.** Theoretical study. **Findings.** The principal possibility of using the lifetime prediction model for reinforced concrete elements when designing using CAD for the specified service life. **Originality.** The lifetime prediction model for reinforced concrete elements for the specified service life at all stages of the life cycle, starting from the design is proposed. **Practical value.** A practical engineering service life evaluation technique for reinforced concrete bridge elements in the CAD design process.

Keywords: degradation of the protective layer, corrosion of reinforcement, service life, reliability factor

REFERENCES

1. Blikharskiy Z. Ja., Stashuk M. Gh., Malyk O. M. Modeljvannja korozijnjkh rujnuvanj zalizobetonnykh balok v aghresyvnomu seredovyshhi [Simulation of corrosion damage of reinforced concrete beams in hostile environments]. *Zakhyst vid koroziji i monitoryng zalyshkovogho resursu promyslovykh budivelj, sporud ta inzhenernykh merezh – Corrosion protection and monitoring of the residual life of industrial buildings, facilities and utilities*, 2003, issue 6, pp. 48-55.
2. Bondarenko V. M., Bondarenko S. V. *Inzhenernye metody nelineynoy teorii zhelezobetona* [Engineering methods of nonlinear theory of reinforced concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 210 p.
3. VBN V.3.1-218-174-2002. *Mosty ta truby. Ocinka tekhnichnogho stanu mostiv, shho ekspluatujutsja* [Bridges and pipes. Evaluation of the technical state of bridges operated]. Kyjiv : Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorogh Ukrainy Publ., 2001. 74 p.
4. DBN V.1.2-14-2009. *Systema zabezpechennja nadijnosti ta bezpeky budivelnyx ob'ektiv. Zagalni pryncypy zabezpechennja nadijnosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel, sporud, budivelnyx konstrukcij ta osnov* [State Standard V.1.2-14-2009 System reliability and safety of construction projects. General principles of reliability and structural safety of buildings, structures and foundations]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 36 p.
5. DSTU-N B.V.2.3-23-2013. *Sporudy transportu. Nastanova z otsynyvannja i prognozuvannja tehničnogo stanu avtodorozhnih mostiv* [State Standard B.V.2.3-23-2013. Transport constructions. Guidance evaluation and forecasting technical condition of road bridges]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2013. 49 p.
6. Lantukh-Lyashchenko A. I. O prognoze ostatochnogo resursa mosta [On the forecast residual life of the bridge]. *Doroghy i mosty – Road and Bridge*, 2007, issue 7, vol. 2. pp. 3-9.
7. Lantukh-Ljashhenko A. I. Ocinka nadijnosti sporudy za modellju markovskogho vypadkovogho procesu z dyskretnymi stanamy [Evaluation of reliability built on the model of Markov random process with discrete states]. *Avtomobiljni doroghy i dorozhnje budivnyctvo – Roads and road construction*, 1999, issue 57, pp. 183-188.
8. DSTU-N B EN 1990:2008. *Jevrokod. Osnovy proektuvannja konstrukcij* (EN 1990:2002, IDT) [Eurocode. Basis of structural design]. Kyjiv, Minreghionbud Ukrainy, 2012. 116 p.
9. Perelmuter A. V. *Izbrannye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitelnykh konstruksiy* [Selected problems of constructions reliability and safety]. Moscow, Izdatelstvo assotsiatsii stroitelnykh vuzov Publ., 2007. 185 p.
10. Redchenko V. P. Monitoryng tekhnichnogho stanu mostiv metodamy pasyvnoji vibracijnoji diagnostyky [Monitoring technical condition of bridges passive vibration diagnostics methods]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 33, pp. 223-227.
11. Jacko F. V. Doghovichnistj zakhysnogho sharu zalizobetonnykh elementiv mostiv [The durability of the protective layer of concrete elements bridge]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, no. 34, pp. 154-158.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

12. Jacko F. V. Praktychna inzhenerna metodyka ocinky resursu zalizobetonnykh elementiv mostiv v procesi proektuvannja [Practical engineering method of estimating resource concrete elements in the design of bridges]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2014, no. 25, pp. 138–147.
13. *Durability design of concrete structures* – RILEM Report 14 / Edited by A. Sarja and E. Vesikari. London, Taylor & Francis Publ., 1996. 93 p.
14. EN 1992-1-1: Eurocode 2: *Design of concrete structures* – Part 1-1: General rules and rules for buildings / European Committee for Standardization. Brussels, European Committee for Standardization Publ., 2004. 225 p.
15. Folic R. *Durability design of concrete structures* – Part 1: Analysis fundamentals. Facta Universitatis. Series, Architecture and Civil Engineering Publ., 2009, issue 7, No 1, pp. 1-18.
16. *General principles on reliability for structures*. ISO 2394:1998. Geneva, International Organization for Standardization Publ., 1998. 73 p.
17. *Report of RILEM Technical committee 130-CSL* [Durability design of concrete structures]. Edited by A.Sarja and E.Vesicary. E&SPON.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. І. Лантух-Лященко (Україна), д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна).

Надійшла до редколегії 26.11.2016.

Прийнята до друку 26.12.2016.