

ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ

© Янчук Л.Л., 2010

Моделюється життєвий цикл залізобетонних елементів мостів. Процес акумуляції пошкоджень описано аналітичною степеневою функцією. Запропонована модель обґрунтовується статистичними даними системи експлуатації мостів.

Ключові слова: життєвий цикл, прогноз життєвого циклу, залізобетонний елемент, міст.

This paper presents the service life modelling of bridges reinforced concrete elements of. The damage accumulation process is modelled using analytic degree function. The proposed model is substantiating by the real statistics of bridges maintenance.

Keywords: service life, service life prediction, reinforced concrete element, bridge.

Постановка проблеми. Сьогодні науковці та інженери дорожньої сфери відмічають загрозливий технічний стан автодорожніх мостів України. Так, 52 % мостів «Укравтодору» не задовольняють частково або повністю вимоги чинних норм експлуатації і тим самим, порушуються вимоги безпечної експлуатації. Значна кількість автодорожніх мостів (близько 25 %), потребують капітального ремонту або реконструкції. Середній термін служби прогонових будов є вкрай низьким. Очевидно, що проблема довговічності елементів автодорожніх мостів є для України дуже актуальною.

Сучасні норми проектування мостів [1; 2] декларують термін служби споруд 80–100 років. Цей термін теоретично не обґрунтований, до того ж його слід розуміти в сенсі «не менш ніж 80 – 100 років». Реальність є зовсім іншою. Так, наприклад, збірно-монолітні залізобетонні прогонові будови автодорожніх мостів України мають середній життєвий цикл в експлуатації порядку 35–45 років [3]. Сьогодні визнається, що зниження середнього терміну служби закладається ще на стадії вишукування і проектування споруди, тому що в проектному вирішенні в жоден спосіб не відображається, в яких умовах і з якою швидкістю перебігатиме деградація залізобетону [4].

Очевидно, є потреба в нових моделях теорії споруд, які б відображали еволюцію напружено-деформованого стану у функції часу. Саме такі моделі, що описують деградацію елемента, з плином часу мають відкрити шлях до проектування залізобетонних елементів на заданий термін служби, прогнозувати життєвий цикл елемента моста в експлуатації. Такі моделі дадуть змогу, в інтересах суспільства, проектувати і експлуатувати конструктивні елементи мостів керованої довговічності.

В умовах дуже обмеженого фінансування системи експлуатації споруд стратегічне планування видатків на їх утримання має спиратися на реалістичний прогноз ресурсу залізобетонних елементів. Саме моделі життєвого циклу мають забезпечити фінансування експлуатації споруд так, щоб протягом терміну служби зберегти параметри функціональності, надійність, безпеку експлуатації, зберегти оточуюче середовище, архітектурні, естетичні та історичні цінності споруди.

Викладеним обґрунтовується необхідність в моделях, за якими було б можливо прогнозувати ресурс залізобетонних елементів мостів на етапі розроблення проекту. Це є актуальне завдання великого соціально-економічного значення.

Мета роботи – статистично обґрунтувати модель прогнозу життєвого циклу залізобетонних елементів автодорожніх мостів на стадії проектування. Для досягнення поставленої мети в роботі

використовуються статистичні дані Автоматизованої експертної системи експлуатації мостів «Укравтодору».

Модель життєвого циклу. Модель життєвого циклу, що пропонується, містить модель тріщиноутворення та функцію – індикатор деградації залізобетонного елемента. Модель тріщиноутворення описується одним фактором – параметром тріщиностійкості. Модель є детерміністичною, у ній ігнорується випадкова природа змінного в часі фактора і змінні та функції на час t приймають фіксовані значення.

Модель деградації залізобетонного елемента протягом терміну служби подамо так:

$$A(t) = a \cdot f(t), \quad (1)$$

де a – функція ширини розкриття тріщин.

Загалом функція має такий вигляд:

$$a = f_a(R, s, E, y), \quad (2)$$

де (R, s, E, y) – розрахункові параметри тріщиноутворення, згідно з [1]; $f(t)$ – функція – індикатор деградації залізобетонного елемента. Це безрозмірна функція, що залежить від співвідношення розрахункової ширини розкриття тріщини a_0 за $t = 0$ та на фіксований час у майбутньому a_t за $t = t$:

$$f(t) = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m \cdot s \cdot t^2, \quad (3)$$

де m_1 – коефіцієнт умов експлуатації; m_2 – коефіцієнт-функція характеристики бетону за водоцементним відношенням; m_3 – коефіцієнт-функція оточуючого середовища; s – масштабний коефіцієнт, що має розмірність $1/t^2$ (за одиницю часу тут прийнято рік); m – коефіцієнт типу армування.

Коефіцієнт-функція характеристик бетону за водоцементним відношенням:

$$m_2 = f_2(W_c), \quad (4)$$

де W_c – водоцементне відношення.

Коефіцієнт-функція оточуючого середовища має такий вигляд:

$$m_3 = f_3(p_1, p_2, p_3), \quad (5)$$

де p_i – параметри, що характеризують оточуюче середовище: розмах середніх max та min температур, відносна вологість довкілля, наявність хлоридів.

Функцію-індикатор деградації залізобетонного елемента (3) запишемо у вигляді

$$f(t) = K \cdot t^2, \quad (6)$$

де $K = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m \cdot s$.

Проектний час досягнення i -го експлуатаційного стану в функції ширини розкриття тріщини знайдемо з моделі життєвого циклу залізобетонних елементів (1), якщо покласти $A(t) = A_{lim}$, де A_{lim} – граничне значення ширини розкриття тріщини в i -му експлуатаційному стані згідно з нормативним документом [5]:

$$T = \sqrt{\frac{A_{lim}}{a \cdot K}}. \quad (7)$$

Статистичне обґрунтування коефіцієнтів моделі. Для статичного обґрунтування моделі використані дані Аналітичної експертної системи управління мостами «Укравтодору» (АЕСУМ) [6]. З АЕСУМ було отримано дві вибірки терміну експлуатації залізобетонних прогонових будов мостів, що знаходяться у третьому та четвертому експлуатаційних станах.

На рис. 1 показано гістограму фільтрованої вибірки з 1515 залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів на дорогах державного значення у третьому експлуатаційному стані.

Гістограма характеризується такими параметрами: середній вік мостів у третьому експлуатаційному стані – 38,6 років, середньоквадратичне відхилення – $S = 11,7$ року, медіана 41 рік, дисперсія – $D = 136,7$ років².

На рис. 2 показано гістограму фільтрованої вибірки з 623 залізобетонних мостів на дорогах державного значення у четвертому експлуатаційному стані.

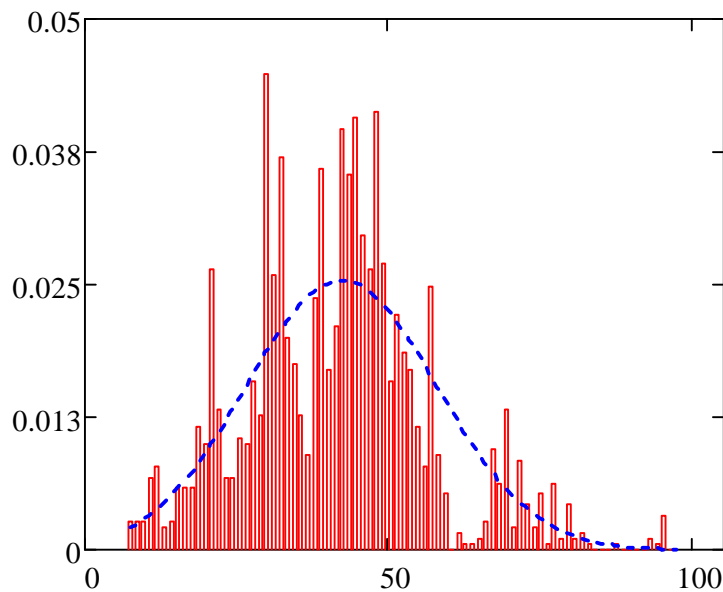


Рис. 1. Гістограма терміну служби залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів на дорогах державного значення у третьому експлуатаційному стані

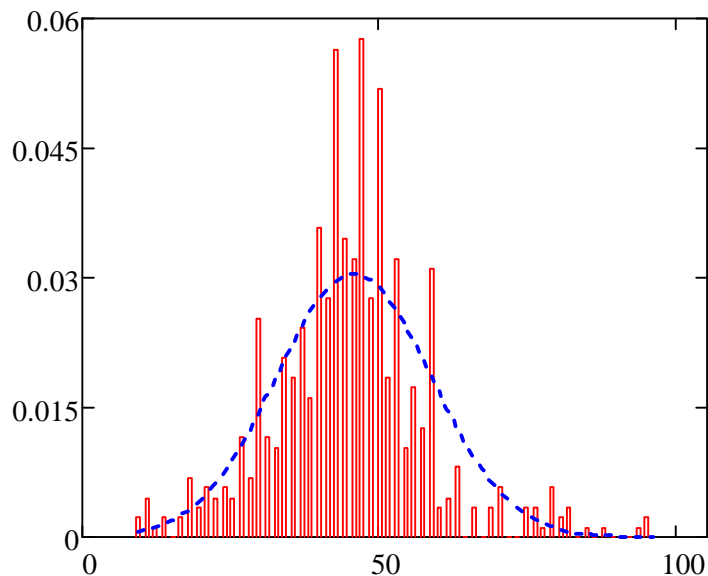


Рис. 2. Гістограма залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів на дорогах державного значення у четвертому експлуатаційному стані

Показана на рис. 2 гістограма фільтрованої вибірки з 623 залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів на дорогах державного значення у четвертому експлуатаційному стані характеризується такими параметрами: середній вік прогонових будов в четвертому експлуатаційному стані – 45,3 років, медіана – 45 років, середньоквадратичне відхилення – $S = 13,2$ року, дисперсія – $D = 175,5$ років².

На основі цих даних отримано коефіцієнти моделі, наведені в табл. 1–4. Система коефіцієнтів моделі побудована так, що $m_i = 1,0$; $m = 1,0$; $i = 1, 2, 3$ для випадку проектного часу життєвого циклу $T = 100$ років. За максимальних значень коефіцієнтів моделі, корельованих з даними системи експлуатації мостів $m_i > 1,0$; $m > 1,0$; $i = 1, 2, 3$, модель дає мінімальні значення прогнозу часу життєвого циклу $T = T_{min}$.

Таблиця 1

Коефіцієнти умов експлуатації, m_1

Умови експлуатації	Коефіцієнт умов експлуатації, m_1
Згідно з вимогами чинних норм експлуатації	1,00
Незадовільна експлуатація	1,50
Відсутність систематичної експлуатації	2,00

Таблиця 2

Коефіцієнти водоцементної характеристики бетону, m_2

Водоцементне відношення	Коефіцієнт, m_2
$V/C \leq 0,40$	1,00
$V/C = 0,40 - 0,45$	1,25
$V/C = 0,45 - 0,5$	1,50
$V/C > 0,5$	1,75

Таблиця 3

Коефіцієнти оточуючого середовища, m_3

Умови оточуючого середовища	Коефіцієнт, m_3
Незначна вологість середовища, відсутність доступу хлоридів	1,0
Середня вологість середовища, випадкова поява хлоридів	1,5
Висока вологість, регулярне забруднення хлоридами	2,0

Таблиця 4

Коефіцієнти типу армування елемента, m

Тип армування елемента	Коефіцієнт типу армування, m_4	Розрахункові граничні значення ширини розкриття тріщини, a , см
Елементи з попередньо напруженою арматурою	1,0	$0,030 \geq a > 0,020$
Елементи з попередньо напруженою стрижневою арматурою	1,5	$0,020 \geq a > 0,015$
Елементи з попередньо напруженим дротом 4 мм і більше	2,0	$0,015 \geq a > 0,010$
Елементи плити проїзної частини	3,0	$a \leq 0,010$

За прийнятими коефіцієнтами на графіках рис. 3 та 4 побудовані криві прогнозу терміну життєвого циклу. На рис. 3 показані криві за проектною розрахунковою шириною розкриття тріщин $a = 0,010$ см. Вісь ординат на графіках градуєвана в значеннях ширини розкриття тріщин, що відповідають 5 експлуатаційним станам згідно з нормативним документом [5].

Таблиця 5

Значення коефіцієнтів моделі до графіків рис. 3

Позначення кривих моделі на рис. 3 та 4	Проектна розрахункова ширина розкриття тріщин a , см	Коефіцієнти моделі*			
		m	m_1	m_2	m_3
$A(t)$	0,010	3,00	1,00	1,00	1,00
$Aa(t)$	0,010	3,00	2,00	1,00	1,00
$Ab(t)$	0,010	3,00	2,00	1,75	1,00
$Ac(t)$	0,010	3,00	2,00	1,75	1,35

* m – коефіцієнт типу армування елемента; m_1 – коефіцієнт умов експлуатації; m_2 – коефіцієнт характеристик бетону; m_3 – коефіцієнт оточуючого середовища.

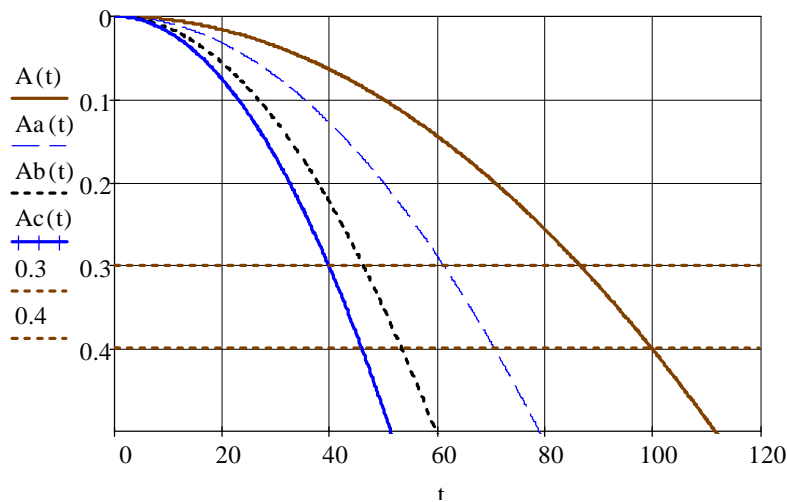


Рис. 3. Криві прогнозу терміну життєвого циклу за значень коефіцієнтів моделі, наведених у табл. 5

На рис. 4 показано криві за проектно розрахункової ширини розкриття тріщин $a = 0,030$ см.

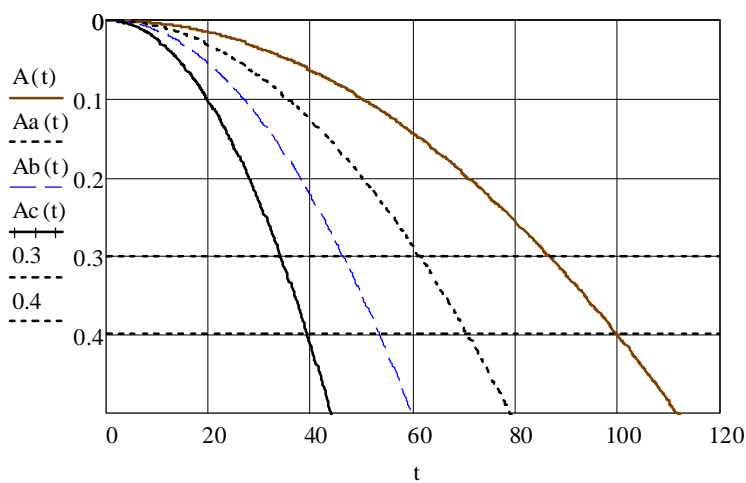


Рис. 4. Криві прогнозу терміну життєвого циклу за значень коефіцієнтів моделі, наведених у табл. 6

Таблиця 6

Значення коефіцієнтів моделі до графіків рис. 4

Позначення кривих моделі на рис. 3 та 4	Проектна розрахункова ширина розкриття тріщин, a , см	Коефіцієнти моделі			
		m	m_1	m_2	m_3
$A(t)$	0,030	1,00	1,00	1,00	1,00
$Aa(t)$	0,030	1,00	2,00	1,00	1,00
$Ab(t)$	0,030	1,00	2,00	1,75	1,00
$Ac(t)$	0,030	1,00	2,00	1,75	1,50

Таблиця 7

Час термінів служби за моделлю за $a = 0,03$ см

Позначення кривих моделі	Проектна розрахункова ширина розкриття тріщин, a , см	Час переходу до i -го експлуатаційного стану, років			
		Стан 2 $A_{lim} = 0,1$ см	Стан 3 $A_{lim} = 0,2$ см	Стан 4 $A_{lim} = 0,3$ см	Стан 5 $A_{lim} = 0,4$ см
$A(t)$	0,03	50	70	86	100
$Aa(t)$	0,03	35	50	60	70
$Ab(t)$	0,03	30	38	46	54
$Ac(t)$	0,03	20	28	34	39

Обчислений час переходу (ф.7) до i -го експлуатаційного стану за мінімальних значень коефіцієнтів моделі та максимальних (екстремальний випадок) для випадків проектних розрахункових ширин розкриття тріщин $a = 0,03$ та $a = 0,01$ см наведено у табл.7 і 8 відповідно.

Аналіз цих таблиць показує, що дані АЕСУМ збігаються доволі близько з обчисленнями за (7) за екстремальних значень коефіцієнтів моделі.

Таблиця 8

Час термінів служби за моделлю за $a = 0,01$ см

Позначення кривих моделі	Проектна розрахункова ширина розкриття тріщин, a , см	Час переходу до i -го експлуатаційного стану, років			
		Стан 2 $A_{lim} = 0,1$ см	Стан 3 $A_{lim} = 0,2$ см	Стан 4 $A_{lim} = 0,3$ см	Стан 5 $A_{lim} = 0,4$ см
$A(t)$	0,01	50	70	86	100
$Aa(t)$	0,01	36	50	61	71
$Ab(t)$	0,01	26	38	46	53
$Ac(t)$	0,01	23	32	39	46

Висновки: 1. Наведено модель прогнозу життєвого циклу залізобетонних елементів автодорожніх мостів на стадії проектування має статистичне обґрунтування на основі даних АЕСУМ.

2. Розглянуто цю модель як орієнтовне вирішення першого наближення через те, що для статистичного обґрунтування прийнято дані, які містять усі типи залізобетонних прогонових будов.

3. Модель, що пропонується, є детерміністичною. Для її подальшого вдосконалення необхідно врахувати стохастичний характер процесу деградації залізобетонних елементів.

Ця робота була виконана під керівництвом д-ра техн. наук, професора А.І. Лантуха-Лященко. Висловлюю йому щирю подяку.

1. ДБН В.2.3-14: 2006. *Мости і труби. Правила проектування* // Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. – К., 2006. 2. ДБН В.2.3-22-2009 "Мости і труби. Основні вимоги проектування" // Мінрегіонбуд України. – К., 2009. 3. Лантух-Лященко А.І. *О прогнозе остаточного ресурса моста: Зб. "Дороги і мости"*. – К.: ДерждорНДІ. – Вип. 7. – Т. 2. – 2007. – С. 3–9. 4. Лантух-Лященко А.І. *Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів. Зб. "Дороги і мости"*. – К.: ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 9. – С.12–18. 5. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів»// Мінрегіонбуд України. – К., 2009. 6. Коваль П., Лантух-Лященко А., Сидун С. *Внедрение аналитической экспертной системы управления мостами в Украине: Материалы юбилейной научно-технической конференции "80 лет Белорусской дорожной науки 1928–2008"*. – Минск, 2008. – С. 156–165.