

Янчук Л.Л.

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ РЕСУРСУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

Анотація. Стаття присвячена моделюванню життєвого циклу залізобетонних елементів мостів. Процес акумуляції пошкоджень описується аналітичною степеневою функцією. Запропонована модель обґрунтовується статистичними даними системи експлуатації мостів.

Ключові слова: модель життєвого циклу, оцінка ресурсу елементів мостів, прогноз залишкового ресурсу.

Аннотация. Статья посвящена моделированию жизненного цикла железобетонных элементов мостов. Процесс аккумуляции повреждений описывается аналитической степенной функцией. Предложенная модель обосновывается статистическим данным системы эксплуатации мостов.

Ключевые слова: модель жизненного цикла, оценка ресурса элементов мостов, прогноз остаточного ресурса.

Annotation. This paper is devoted to modeling the life cycle of reinforced concrete bridge elements. The process of accumulation of damage is described by an analytical power function. The proposed model is justified by statistical data on the operation of bridges.

Key words: life-cycle model, bridge elements assessments, prediction of the resource.

Проблема

Не одне десятиріччя спеціалісти з будівельних конструкцій шукають шляхи для продовження строку служби конструкцій та споруд на основі наукових розробок з оцінки параметрів надійності і довговічності, створенню систем з керування станом конструкцій та споруд і методів прогнозування технічного стану конструкцій і споруд протягом всього життєвого циклу.

Мости на автомобільних дорогах загального користування, в містах і населених пунктах не мають належного догляду, необхідні ремонтно-профілактичні роботи вчасно не виконуються. Світова практика показує, що за умов дбайливого утримання залізобетонні прогонові будови можуть служити понад 100 років, а без догляду строк служби скорочується до 35-50 років.

Причин незадовільного стану мостів України є декілька:

- відсутність належного догляду та адекватної експлуатації;
- низька якість матеріалів для гідроізоляції та виконання робіт;
- невиправдано широке застосування в останні 30 років збірних залізобетонних конструкцій, недостатньо перевірених практикою.

Оцінюючи стан автодорожніх і міських мостів України в цілому, слід наголосити, що їх фізичний стан та організація експлуатації є незадовільними, загрозливими для функціонування споруд та дорожньої мережі.

Мета роботи

Метою цієї роботи є розробка методології оцінки ресурсу прогонових будов на всіх стадіях життєвого циклу автодорожніх мостів на стадії проектування. В статті аналізується параметри моделі та наводиться числовий порівняльний аналіз за статистичними даними системи експлуатації автодорожніх мостів на дорогах загального користування АЕСУМ [1].

Модель життєвого циклу

Модель життєвого циклу запропонована в роботі[2], містить модель тріщиноутворення та функцію – індикатор деградації залізобетонного елемента. Єдиним параметром моделі є фактор ширини розкриття тріщини a_{cr} , що отримана на стадії проектування. Модель є детерміністичною - в якій змінні та функції приймають фіксовані значення. В цій моделі ігнорується випадкова природа змінних, а час t приймає фіксовані значення.

Модель життєвого циклу представимо у вигляді:

$$A(t) = a_{cr} \cdot f(t), \quad (1)$$

де a_{cr} – функція ширини розкриття тріщин;

$f(t)$ - індикатор деградації залізобетонного елемента.

Функція ширини розкриття тріщин a_{cr} на стадії проектування, в загальному випадку має вид:

$$a_{cr} = f_a(b, h, A_{red}, I_{red}, y_{red}, R_{b.ser}, R_{bt.ser}, E_p, M_{cb}, N_o, e_o, M_r, N_1, e_1, \sigma_n, \sigma_{bt}, \sigma_{bc}, A_p, A_{bt}, A_r, x_t, \Delta\sigma_p, \beta, n, d, R_r, \psi) \quad (2)$$

де b - ширина приведенного перерізу;
 h – висота приведенного перерізу;
 A_{red} – площа приведенного перерізу;
 I_{red} – момент інерції приведенного перерізу;
 Y_{red} – положення нейтральної вісі;
 $R_{b.ser}$ – розрахунковий опір бетону на стиск для другої групи граничних станів;
 $R_{bt.ser}$ – розрахунковий опір бетону на розтяг для другої групи граничних станів; E_p – модуль пружності арматури;
 M_{cb} – нормативний момент від власної ваги балки;
 N_0 – рівнодійна зусиль попереднього напруження на стадії виготовлення;
 e_0 – ексцентриситет рівнодійної;
 M_r – нормативний момент від постійного та тимчасового навантаження;
 N_1 – рівнодіюча зусиль попереднього напруження на стадії експлуатації;
 $\sigma_{п}$ – сумарні втрати від попереднього напруження;
 A_p – площа арматури;
 A_r – площа взаємодії;
 x_t – висота розтягнутої зони бетону;

Функція $f(t)$ – індикатор деградації залізобетонного елемента, безрозмірна функція, яка представлена так:

$$f(t) = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5 \cdot s \cdot t^2 \quad (3)$$

де m_1 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від типу армування;

m_2 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від проектного класу бетону;

m_3 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від типу конструкції (збірна, збірно – монолітна і монолітна);

m_4 – коефіцієнт розкриття тріщин, визначається в залежності від умов експлуатації;

m_5 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від дорожньо - кліматичних зон; s – масштабний коефіцієнт,

Δ_{cr} – граничне значення ширини розкриття тріщини, см; t – час.

Коефіцієнт m_1 приймаємо в залежності від нормативних вимог до тріщиностійкості[3]. Значення приймаються як відношення граничних значень ширини розкриття тріщин:

$$m_1 = \frac{\Delta_{cr}(K_i)}{\Delta_{cr}(K_1)} \quad (4)$$

де $\Delta_{cr}(K_i)$ – граничне значення ширини розкриття тріщини в залежності від категорії тріщиностійкості;

$\Delta_{cr}(K_1)$ – граничне значення ширини розкриття тріщини для категорії тріщиностійкості “2а”, $\Delta_{cr}(K_1)=0.01$, см.

Таблиця 1–Значення параметрів моделі в залежності від категорії тріщиностійкості мостових конструкцій

Параметри моделі, K_i	Граничне значення ширини розкриття тріщини Δ_{cr} , см	Категорія тріщиностійкості	Коефіцієнт m_1
K_1	0.010	2а	1.0
K_2	0.015	2б та 3а	1.5
K_3	0.020	3б	2.0
K_4	0.030	3в	3.0

Коефіцієнти m_2 приймаємо, як відношення розрахункового опору осьового розтягу бетону R_{bt} класу В60 до розрахункового опору осьового розтягу R_{bt} , проектного класу бетону:

$$m_2 = \frac{R_{bt}(B60)}{R_{bt}(B_i)} \quad (5)$$

де $R_{bt}(B60)$ – розрахунковий опір осьовому розтягу, МПа (кгс/см²), бетону класу В60;

$R_{bt}(B_i)$ – розрахунковий опір осьовому розтягу, МПа (кгс/см²), проектного класу бетону. Обчислені коефіцієнти характеристики бетону, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2-Коефіцієнти характеристики бетону, m_2

Класи бетонуВ	R_{bt}	Коефіцієнт m_2
В40 і вище	1.25-1.50	1
В30 – В35	1.1-1.15	1.3
В25 – В27.5	0.95-1.05	1.5
В20 і менше	0.85	1.75

Коефіцієнт m_3 приймаємов залежності від проектного терміну служби, років:

$$m_3 = \frac{T_1}{T_i} \quad (6)$$

де T_1 - максимальний термін служби прогонової будови ($T=100$ років);

T_i - термін служби прогонової будови в залежності від типу конструкції.

Коефіцієнт m_3 приймається як відношення максимального терміну служби в 100 років до відповідного терміну служби збірно – монолітної конструкції та збірної конструкції [3]. Обчисленні коефіцієнти типу конструкції наведені в табл.3.

Таблиця 3-Коефіцієнти типу конструкції, m_3

Тип армування елемента	Коефіцієнт m_3
Монолітна конструкція	1.0
Збірно – монолітна конструкція	1.25
Збірна конструкція	1.45

Коефіцієнт m_4 приймаємо, як відношення розкриття тріщини на стадії проектування a_{cr1} до ширини розкриття тріщини в залежності від умов експлуатації a_{cri} :

$$m_4 = \frac{a_{cri}}{a_{cr1}} \quad (7)$$

де a_{cr1} - ширина розкриття тріщини на стадії проектування, см;

a_{cri} - ширина розкриття тріщини в залежності від умов експлуатації, см;

Граничні значення наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 -Коефіцієнти умов експлуатації, m_4

Умови експлуатації	Коефіцієнт умов експлуатації m_4	Розрахункові значення ширини розкриття тріщини, a_{cr} , см
Згідно з вимогами чинних норм експлуатації	1.0	$a_{cr} \leq 0.010$
Незадовільна експлуатація	1.5	$0.02 \geq a_{cr} > 0.015$
Відсутність систематичної експлуатації	2.0	$0.03 \geq a_{cr} > 0.02$

m_5 - коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від дорожньо-кліматичних зон, наведено в табл. 5 згідно [5].

Таблиця 5 - Коефіцієнт дорожньо-кліматичних зон, m_5

Географічні границі дорожньо-кліматичних зон України	Коефіцієнт дорожньо-кліматичних зон, m_5
Південна	1.1
Гірська	1.2
Центральна	1.3
Північна	1.4

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 нормативного документу [4]:

$$T = \sqrt{\frac{A_{lim}}{a \cdot K}} \quad (8)$$

Аналіз моделі

Метою представленого нижче аналізу є тестування моделі та порівняння результатів прогнозу життєвого циклу з даними Аналітичної експертної системи управління мостами Укравтодору (АЕСУМ) [1]. Аналізуються результати прогнозу в залежності від значень коефіцієнтів m_4 функції - індикатора деградації залізобетонного елементу ϕ .(3).

Коефіцієнт умов експлуатації, m_4

Властивості моделі в функції коефіцієнту умов експлуатації m_4 аналізується для таких початкових даних: збірна залізобетонна прогонова будова, класу бетону В 30, арматура без попереднього напруження, умови Південної зони (табл.5).

Результати прогнозування життєвого циклу в функції коефіцієнта умов експлуатації, m_4 представлені в табл. 4. Обчисленні виконані в форматі прийнятому в АЕСУМ, тобто прогнозується час переходу в II – V експлуатаційні стани.

Таблиця 6– Прогноз життєвого циклу в залежності від умов експлуатації.

Позначення кривої моделі	Ширина розкриття тріщини	Перехід до і – го експлуатаційного стану			
		II	III	IV	V
$A(t)$	0.1	35	49	60	70
$Aa(t)$	0.1	28	40	49	57
$Ab(t)$	0.1	25	35	43	48

Графіки кривих прогнозу представлені на рис.1

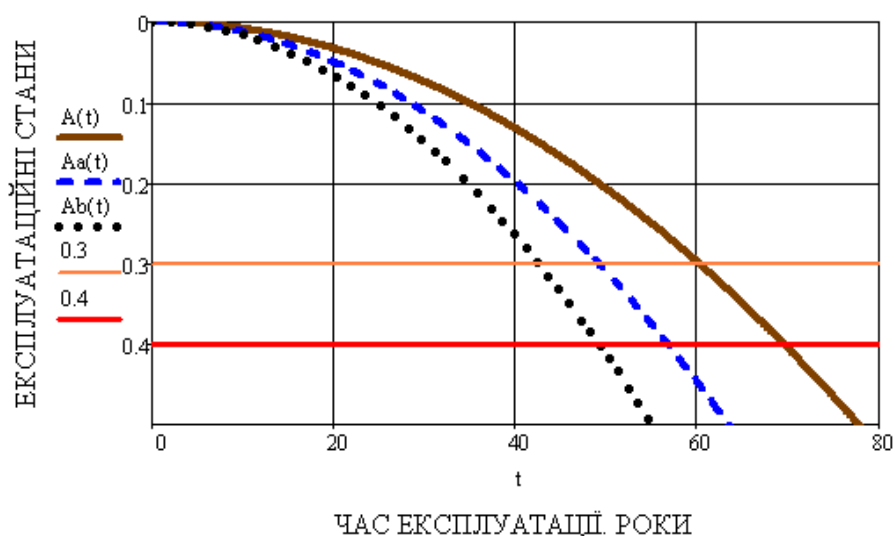


Рисунок 1 - Криві прогнозу терміну життєвого циклу

$A(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, при умові експлуатації згідно з вимогами чинних норм;

$Aa(t)$ - крива прогнозу терміну життєвого циклу, при умові незадовільної експлуатації;

$Ab(t)$ - крива прогнозу терміну життєвого циклу, при умові відсутньої систематичної експлуатації

Результати представлені в табл.6 отримані за умови досягнення граничної ширини розкриття тріщини $a_{cr}=0.01$ см в трьох випадках умов експлуатації, для коефіцієнтів умов експлуатації m_4 (табл.4). Інші коефіцієнти функції – індикатора ϕ . (3) прийняті сталими згідно початковими даними : $m_1=3$; $m_2=1.3$; $m_3=1.45$ та $m_5=1$.

Як видно з табл. 6 за умов експлуатації згідно нормативних вимог ресурс складає 70 років, тоді як при відсутності систематичних заходів утримання

ресурс складає 48 років. Отримані значення ресурсу досить є близькими до фактичних даних, отриманих з АЕСУМ.

Коефіцієнт умов кліматичних зон, m_5

Властивості моделі в функції коефіцієнту дорожньо- кліматичних зон, m_5 аналізується для таких початкових даних: збірна залізобетонна прогонова будова, класу бетону В 30, арматура без попереднього напруження, умови експлуатації - згідно чинних норм експлуатації.

Результати прогнозування життєвого циклу в функції коефіцієнту дорожньо- кліматичних зон, m_5 представлені в табл. 5. Обчисленні виконані в форматі прийнятому в АЕСУМ, тобто прогнозується не тільки ресурс споруди, а і час переходу в II – V експлуатаційні стани.

Таблиця 7 - Перехід в експлуатаційний стан з плином часу, в залежності від дорожньо – кліматичної зони

Позначення кривої моделі	Географічні частини України	Перехід до і-го експлуатаційного стану, роки			
		II	III	IV	V
A1(t)	Південна	33	47	57	66
A2(t)	Гірська	32	45	55	64
A3(t)	Центральна	31	43	53	61
A4(t)	Північна	29	42	51	59

Графіки кривих прогнозу представлені на рис.2

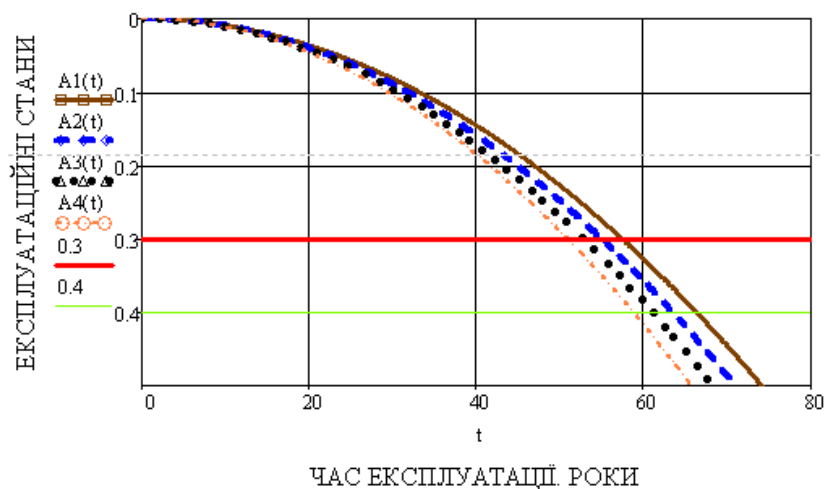


Рисунок 2 – Криві прогнозу терміну життєвого циклу

де $A_1(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Південної дорожньо – кліматичної зони;

$A_2(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Гірської дорожньо – кліматичної зони;

$A_3(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Центральної дорожньо – кліматичної зони;

$A_4(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Північної дорожньо – кліматичної зони.

Результати представлені в табл.7 отримані за умови досягнення граничної ширини розкриття тріщини $a_{cr} = 0.01$ см, для чотирьох дорожньо - кліматичних зон m_5 (табл.5). Інші коефіцієнти функції – індикатора ϕ . (3) прийняті сталими згідно початкових даних : $m_1=3$; $m_2=1.3$; $m_3=1.45$ та $m_4=1$.

Як видно з цих числових експериментів вплив кліматичних умов на результати прогнозу для України є незначним.

Властивості моделі в функції коефіцієнту дорожньо- кліматичних зон, m_5 нижче аналізуються також у випадку відсутності систематичної експлуатації.

Вихідні данні: збірна залізобетонна прогонова будова, класу бетону В 30, арматура без попереднього напруження, умови експлуатації – відсутність регулярних експлуатаційних заходів.

Результати прогнозування життєвого циклу в функції коефіцієнту дорожньо- кліматичних зон, m_5 представлені в табл. 5. Обчисленні виконані в форматі прийнятому в АЕСУМ, тобто прогнозується час переходу в II – V експлуатаційні стани. Отримані значення ресурсу свідчать про суттєвий вплив умов експлуатації довговічність споруди.

Таблиця 8 - Перехід в нижчі експлуатаційні стани з плином часу, в залежності від дорожньо – кліматичної зони, в умовах відсутності регулярних експлуатаційних заходів

Позначення кривої моделі	Географічні частини України	Перехід до i – го експлуатаційного стану			
		II	III	IV	V
$A_1(t)$	Південна	23	33	41	47
$A_2(t)$	Гірська	22	32	39	45
$A_3(t)$	Центральна	22	31	37	43
$A_4(t)$	Північна	21	29	36	42

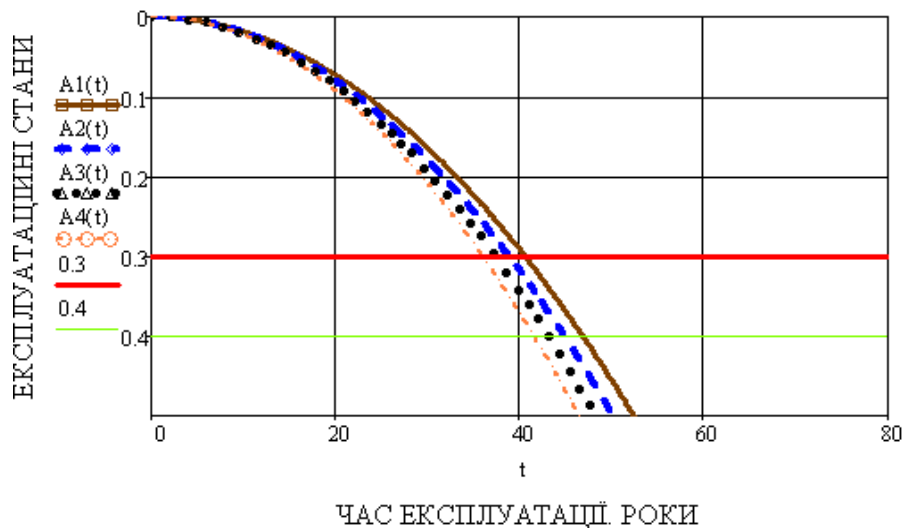


Рисунок 3 – Криві прогнозу терміну життєвого циклу

$A_1(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Південної дорожньо – кліматичної зони;

$A_2(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Гірської дорожньо – кліматичної зони;

$A_3(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Центральної дорожньо – кліматичної зони;

$A_4(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Північної дорожньо – кліматичної зони.

Результати представлені в табл.8 отримані за умови досягнення граничної ширини розкриття тріщини $a_{cr}=0.01$ см, для чотирьох дорожньо - кліматичних зон m_5 (табл.5). Інші коефіцієнти функції – індикатора ϕ . (3) прийняті сталими згідно початкових даних : $m_1=3$; $m_2=1.3$; $m_3=1.45$ та $m_4=2$.

Як видно з табл. 8, в порівнянні з даними табл. 7 модель суттєво реагує на зміну одночасно двох коефіцієнтів: дорожньо - кліматичних зон ресурс та умов експлуатації.

Результати, що представлені в табл.7 та табл. 8 зведено в загальну таблицю (табл. 9), в якій приведений зведений аналіз прогнозованого ресурсу та фактичний термін служби мостів що досягли 5-го експлуатаційного стану.

Для аналізу з АЕСУМ було отримано вибірки 10 збірних залізобетонних прогонових будов мостів, армованих без попереднього напруження, класу бетону В30, що знаходяться в п'ятому експлуатаційному стані.

Таблиця 9 – Прогнозований ресурс в залежності від умов експлуатації та дорожньо-кліматичних зон

№ п/п	Міст	Ресурс за моделлю, роки	Ресурс за моделлю, в умовах відсутності експл. заходів, роки	Фактичний термін служби при досягненні 5 експлуатаційного стану, роки
	Південна			
1	Шляхопровід Донецька обл	66	47	45
2	Шляхопровід, Луганська обл	66	47	47
	Гірська			
3	Міст, р. Прут, Івано-Франківська обл	64	45	44
	Центральна			
4	Міст , р.Серет, Тернопільська обл	61	43	39
5	Міст, р. Десна Вінницька область	61	43	43
6	Міст , р.Вільшанка, Харківська обл	61	43	42
7	Шляхопровід, Черкаська обл.	61	43	45
	Північна			
8	Міст р.Тетерів, Житомирська обл	59	42	43
9	Міст, струмок , Рівненська обл	59	42	47
10	Міст, канал с.Луки, Львівська обл	59	42	37

Як видно з табл. 9 (перша колонка) прогнозований ресурс за моделлю близько співпадає з вимогами нормативного документу[3]- 70 років. Прогноз за умови максимальних значень коефіцієнтів m_4 та m_5 (інші коефіцієнти мають сталі величини), складає всього лиш 42 - 47 років (5-й експлуатаційний стан). Порівняння термінів прогнозу та фактичних термінів служби отриманих з даних АЕСУМ (друга і третя колонки таблиці 9) свідчить про досить точне прогнозування за моделлю, що пропонується.

Висновки

1. Саме така модель, що описує деградацію елементу з плином часу має відкрити шлях до проектування залізобетонних елементів на заданий термін служби, прогнозувати життєвий цикл елемента моста в експлуатації.

2. Як видно з результатів аналізу, модель дає результати достатньої збіжності з даними системи експлуатації автодорожніх мостів на дорогах загального користування з фактичними термінами служби, що є вагомим обґрунтуванням можливості застосування моделі на всіх етапах життєвого циклу, починаючи з проектування.

3. Наведена детерміністична модель є досить перспективною для проектної практики, як інструмент управління довговічністю залізобетонних прогонових будов. В остаточному варіанті модель потребує певного імовірнісного вдосконалення.

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

Література

1. Лантух-Лященко А.І. Надійність і довговічність автодорожніх мостів наукові розробки з нормативного регулювання. Транспортна Академія України: 20 років (1992-2012).-К.:НТУ, 2012-208 с. –С. 39-59.
2. Янчук Л.Л. Обґрунтування моделі прогнозу життєвого циклу залізобетонних елементів мостового переходу. / Л.Л. Янчук // Теорія і практика будівництва : [збірник наукових праць] / : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. - 403 с. : іл. - (Вісник / Національний університет "Львівська політехніка" ; № 664). – С. 365-370.
3. ДБН В.2.3- 22 - 2009 "Мости і труби. Основні вимоги проектування".-
4. Мінрегіонбуд України, К.: 2009.
5. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». - Мінрегіонбуд України, К.: 2009.
6. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування Частина ІІ. Будівництво.М.