

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21:625.745.12-047.72(477)

О. О. ДАВИДЕНКО\*

\* Кафедра «Мости і тунелі», Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, Київ, Україна, 01010  
тел. +38 (050) 471 33 99, ел. пошта aleksandros.davydenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-0176-3256

### СТАТИСТИЧНИЙ ПРОГНОЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ УКРАЇНИ

**Мета.** Надати статистичну модель прогнозу довговічності автодорожніх мостів України. **Методика.** Теоретичне дослідження. **Результати.** Розроблено модель прогнозу довговічності на основі статистичного аналізу даних технічного стану залізобетонних автодорожніх мостів. **Наукова новизна.** Вперше виконано статистичний аналіз довговічності автодорожніх мостів, що знаходяться в експлуатації. **Практичне значимість.** Отримані результати являються практичним інструментом управління надійністю і ресурсом залізобетонних автодорожніх мостів.

*Ключові слова:* автодорожні мости; довговічність; життєвий цикл; залишковий ресурс

#### Вступ

Стаття присвячена проблемі прогнозу технічного стану автодорожніх мостів України. Сьогодні 1873 одиниці залізобетонних мостів, які були обстежені і занесені в базу АЕСУМ, потребують негайного ремонту для подальшої безпечної експлуатації. База АЕСУМ налічує актуальні дані лише для 6919 одиниць залізобетонних мостів, з 16187 одиниць мостів підпорядкованих УкрАвтодору. Приблизно для 9268 одиниць мостів технічний стан невизначений і кількість мостів, що потребують термінового ремонту значно більша ніж 1873 одиниць. Причиною незадовільного стану дорожньої мережі є фактори: недостатнє фінансування, відсутність незалежного контролю якості будівництва, непрофесійна робота служби експлуатації та ін.

Результатом є одне із останніх місць в Європі в розвитку дорожньої мережі. Так, наприклад, показник кількості доріг з твердим покриттям на 1000 жителів у Франції складає 14,2 км, в Україні – 3,2 км. В цих умовах мости виявляються найбільш слабкою ланкою транспортного ланцюга. Реконструкція або капітальний ремонт моста паралізує відносно велику частку транспортної мережі, порушує товарообіг з Європою, значно впливає на економіку, як правило, великого за площею прилеглої регіону. Сьогодні автодорожні мости мають бути предметом особливої уваги як потенційне джерело економічної і соціальної небезпеки.

Вважається, що довговічність залізобетонних мостів, запроектованих відповідно чинних нормативних вимог, має складати, в залежності від типу прогонової будови, не менше 70-100 років. В дійсності, приходиться констатувати, що середній термін служби залізобетонних прогонових будов мостів України не перевищує 47-50 років. Поряд з цим, слід наголосити, що 10-12 років тому галузь транспортного будівництва мала застарілу нормативну базу, яка за своїм теоретичним базисом суттєво відставала від європейської. Державних будівельних норм з експлуатації транспортних споруд в Україні раніше не було взагалі. Були відомчі інструкції, які не могли в нових умовах задовольнити потреб галузі. Останнім часом положення докорінно змінилося. Станом на початок 2010 р. науковці кафедри «Мости і тунелі» Національного транспортного університету, Державного дорожнього науково-дослідного інституту ім. М. Шульгіна, Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України склали повну нормативну [2, 6, 7, 8] і методичну [11, 12, 17, 18, 19] базу системи експлуатації мостів, яка ґрунтується на новітніх наукових засадах [1, 4, 5].

#### Мета дослідження

Глобальною метою є розробка статистичної моделі прогнозу довговічності автодорожніх мостів України. Ставиться завдання виконати статистичний аналіз технічного стану автодо-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

рожніх залізобетонних мостів України, що послужить базою практичної моделі прогнозу технічного стану.

### Існуючі моделі прогнозу ресурсу елементів мостів

Центральною науковою проблемою системи експлуатації мостів є проблема оцінки та прогнозу технічного стану залишкового ресурсу мостів, яка стала особливо актуальною в останні 20 років. Чинні до 2002 року будівельні норми України не надавали ні методології оцінки залишкового ресурсу ні критеріїв оцінки технічного стану мостів, що знаходяться в експлуатації.

Сьогодні, вперше на теренах країн СНД, ми маємо пакет нормативних документів з оціню-

вання і прогнозування технічного стану мостів. Головне місце в системі експлуатації займає документ ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів» [12], початком становлення якого було надання чинності в 2002 р. відомчому нормативному документу ВБН В.3.1-218-174-2002 «Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються» [2]. Теоретичною базою нормативного документу є новітня модель оцінки та прогнозу залишкового ресурсу елементів мостів, сформульована в роботах [13, 14, 15, 16].

В рамках дослідження нами запропонована така класифікація моделей прогнозу технічного стану елементів мостів (рис. 1).

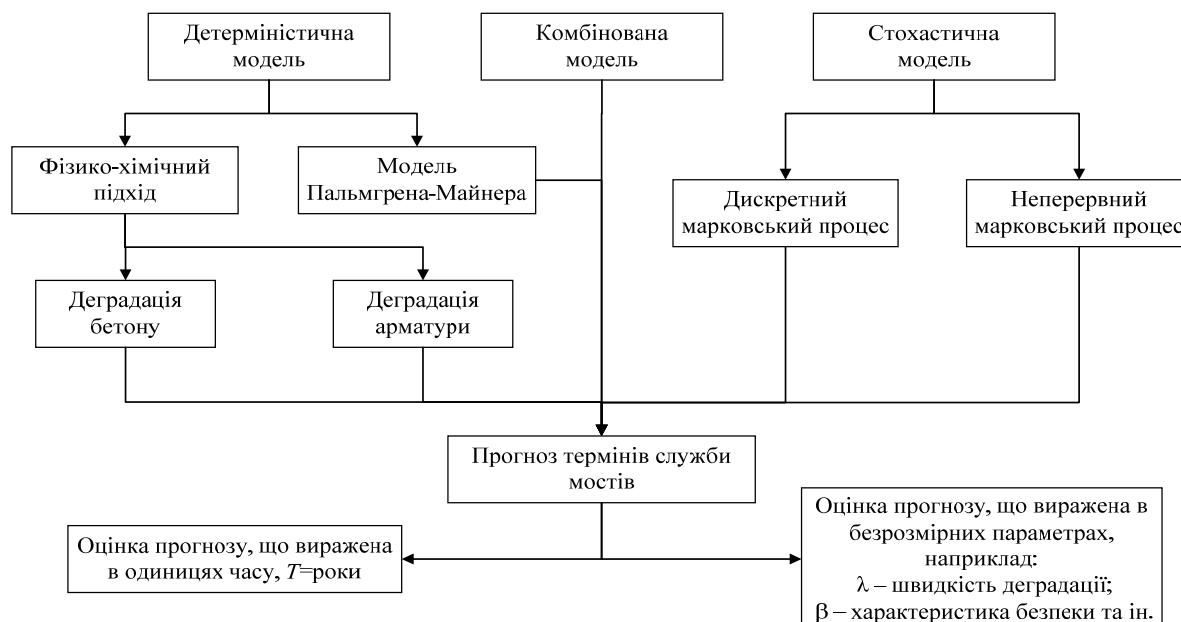


Рис. 1. Класифікація моделей прогнозу довговічності залізобетонних елементів автодорожніх мостів

Детерміністичні моделі [20, 21] – найбільш прості для прогнозування технічного стану елементів мостів. Ці моделі засновані на статистичній, як правило, нелінійній регресії аналізу даних для визначення швидкості зносу. Інший підхід розбудови детерміністичної моделі базується на фізико-механічних аспектах деградації матеріалів під дією зовнішніх навантажень та впливів оточуючого середовища.

Найбільш поширеним описом процесів деградації бетону є описування рівняннями аналітичної теорії дифузії Адольфа Фіка (1855 р.).

Процес карбонізації описується одномірним диференціальним рівнянням першого закону Фіка:

$$Q = -D \frac{\partial C}{\partial x}, \quad (1)$$

де  $Q$  – кількість перенесеної в результаті дифузії речовини (в даному випадку вуглецю), так звана, щільність дифузійного потоку;  $C = C(x, t)$  – концентрація речовини, що дифундує, функція координати  $x$  і часу  $t$ ;  $D$  – коефіцієнт дифузії газу в бетоні,  $\text{см}^2/\text{с}$ .

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Процес дифузії хлоридів описується моделлю другого закону Фіка [22]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (2)$$

де  $C = C(x, t)$  – концентрація іонів хлориду на глибині  $x$  в часу  $t$ , кг/см<sup>3</sup>;  $D$  – коефіцієнт дифузії хлоридів в бетоні, см<sup>2</sup>/с;  $t$  – час, с (рачується від початку експлуатації);  $x$  – координата нормальна до поверхні бетону, см.

У будівельній механіці, з 50-х років минулого століття, панувала модель накопичення пошкоджень відома під назвою «теорія лінійного підсумовування пошкоджень Пальмгрена-Майнера», в якій використовується принцип лінійної суперпозиції [23]:

$$\sum_0^n \frac{N_t}{N(\sigma)} = D_i, \quad (3)$$

де  $D_i$  – міра пошкоджень;  $N_t$  – число циклів навантаження;  $N(\sigma)$  – число циклів до руйнування при режимі напруги  $\sigma$ ;  $n$  – число ступенів змін режиму вантаження.

Очевидно, що для використання моделі (3) необхідно мати достовірну оцінку кількості циклів навантаження, тобто для прогнозу ресурсу в процесі експлуатації необхідно мати повні дані історії вантаження. Стосовно залізобетонних елементів автодорожніх мостів необхідні початкові дані визначаються настільки приблизно, що втрачається достовірність моделі.

Комбіновані моделі [3] побудовані на засадах фізики деградації залізобетону в сполученні з ймовірнісними аспектами процесу.

Стохастичні моделі [5, 15, 24] представляють процес погіршення технічного стану елементів моста з плином часу, як один або більше розв'язань випадкової функції надійності, як ймовірність досягнення граничного стану за час  $t$  має вид:

$$P(t) = \text{Prob}[\min g(X(\tau), \tau) < 0 \text{ для } 0 < \tau < t], \quad (4)$$

або в термінах функції граничного стану

$$P(t) = \text{Prob}[R(X, t) - Q(X, t) < 0], \quad (5)$$

де  $R(X, t)$  – узагальнений опір елемента;  $Q(X, t)$  – узагальнений навантажувальний ефект;  $X$  – вектор базових змінних;  $t$  – змінна часу.

Таким чином, залежностями (4), (5) довговічність формулюється як поняття функціонально зв'язане з надійністю. Максимальне значення  $t$ , що задовольняє залежностями (1.2), (1.3) і є довговічність  $T$ .

Серед стохастичних моделей прогнозу особливе місце займають моделі що базуються на теорії марковських випадкових процесів. Такі моделі набули широкого використання в управлінні проектами, будівництві, військовій справі, економіці, соціології, екології та ін.

Поширеними критеріями класифікації марковських випадкових процесів, що застосовуються в прогнозуванні технічного стану будівельних конструкцій є тип області визначення аргументу  $T$  і тип простору станів  $S$ . Звичайно розрізняють 4 основних класи марковських випадкових процесів: ланцюг Маркова; марковські послідовності; дискретні марковські процеси; неперервні марковські процеси.

Класи марковських процесів [9] представлені в табл. 1.

Таблиця 1

## Класифікація марковських процесів

Область $T$	Область $S$	
	Дискретна	Неперервна
Дискретна	Ланцюг Маркова	Марковська послідовність
Неперервна	Дискретний марковський процес	Неперервний марковський процес

Результатом прогнозу залишкового ресурсу мостів, незалежно від типу моделі, може бути оцінка, що виражена в одиницях часу (роки) або в безрозмірних параметрах (швидкість деградації, характеристика безпеки та ін.).

## Аналіз технічного стану автодорожніх мостів України станом на 01.01.2016

Тут представлено дані технічного стану отриманні з вибірки 2016 року – 6919 одиниць. За статистикою на 01.01.2013 в Україні є 16187 одиниць (загальною довжиною 384,3 км) автодорожніх мостів підпорядкованих Укравтодору. Розподіл мостів по станам в залежності від типу конструкції наведено в табл. 2.

Сьогодні констатується суттєве погіршення стану автодорожньої мережі України в цілому, особливо мостів. Кількість мостів, що потре-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

бують ремонту збільшується загрозливими темпами, так на 01.01.2016 1873 одиниць залізобетонних мостів потребують ремонту сьогодні. Потребують ремонту додатково також значна кількість мостів серед тих, які не обстежувались протягом останніх 10 років (9268 одиниць) і не були занесені в базу АЕСУМ, технічний стан яких практично невідомий.

Таблиця 2

**Розподіл мостів за станам в залежності від типу конструкції**

Тип моста	Експлуатаційний стан				
	2	3	4	5	Разом
Монолітні, од.	57	591	301	21	970
Збірно-монолітні, од.	68	199	69	3	339
Збірні, од.	586	3179	1124	63	4952
Немає даних про тип конструкції, од.	47	319	257	35	658
Всі типи, од.	758	4288	1751	122	6919

Для варіаційного ряду статистичних даних термінів служби автодорожніх залізобетонних мостів обчислено статистичні оцінки (табл. 3): середнє значення варіант (6) та середнє квадратичне відхилення (7).

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i n_i, \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i n_i, \quad (7)$$

де  $x_i$  – термін служби  $i$ -ого мосту, роки;  $n$  – кількість мостів вибірки, од.

Привертає увагу той факт, що при середньому термін служби в 47 років середнє квадратичне відхилення складає 14 років. Цей значний розкид значень варіаційного ряду строку служби  $T$  демонструє розмаїття умов експлуатаційного утримання і якості будівництва мостів автодорожньої мережі України.

Для інфраструктури України принципово важливою характеристикою є ресурс автодорожніх мостів. З огляду на факт, що середній термін служби залізобетонних мостів складає

47-50 років виявляється необхідність детального дослідження в часі процесу погіршення їх технічного стану.

Таблиця 3

**Терміни служби залізобетонних мостів за вибіркою на 01.01.2016**

Тип п. б.	Середньозважене значення $\mu$ , роки	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , роки
Стан 2		
Монолітні	47	19
Зб.-мон.	21	21
Збірні	30	16
Всі типи разом	31	19
Стан 3		
Монолітні	54	15
Зб.-мон.	37	15
Збірні	40	16
Всі типи разом	42	17
Стан 4		
Монолітні	55	13
Зб.-мон.	46	17
Збірні	44	13
Всі типи разом	47	14
Стан 5		
Монолітні	58	11
Зб.-мон.	–	–
Збірні	47	12
Всі типи разом	50	12

**Прогноз термінів служби автодорожніх мостів України**

Отримані систематизовані фактичні дані термінів служби автодорожніх мостів, нижче порівнюються з даними за моделлю прогнозу ресурсу мостів України за ДСТУ-Н [12]. Ця стохастична модель прийнята в системі експлуата-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ції автодорожніх мостів починаючи з 2002 року [2]. В формулюванні моделі постулюється, що швидкість деградації описується одним параметром  $\lambda$  – показником інтенсивності відмов. Цей показник приймається постійним, незалежним від часу  $\lambda = \lambda(t)$ . За функцію надійності прийнята інтегральна функція розподілу  $P(t)$  для часу  $T_n$ , котрий протікає доки стануться всі  $n$  подій процесу (розподіл Пуассона):

$$P(t) = 1 - P(T_n > t) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}, \quad (8)$$

де  $\lambda$  – параметр процесу інтенсивність відмов (швидкість деградації).

Тут  $P_i$  – ймовірність того, що елемент перейде в стан  $k$  протягом часу  $t < T_k$ . Таким чином, при заданій інтенсивності відмов  $\lambda$ , залежністю (8) встановлюється зв'язок між надійністю елемента  $P_i$  в  $i$ -му стані та часом  $t$ , що пройшов від початку експлуатації до стану  $i = 2, \dots, 5$ . При  $k=5$  функція має вид:

$$P_i = 0,00833(\lambda t)^5 \exp(-\lambda t). \quad (9)$$

Для кожної групи мостів, що поділені за технічним станом, для середнього терміну служби за ДСТУ-Н [12] було визначено швидкість деградації і підставлено в формулу (9). Отриманий прогноз термінів служби занесений до табл. 4.

Таблиця 4

**Прогноз технічного стану всіх типів мостів за ДСТУ-Н [12] та фактичні терміни служби**

Стан	Прогноз за [12], роки	Фактичні терміни служби, роки	Розходження, %
2	31	31	0
3	45	42	7
4	60	47	22
5	74	50	48

В таблиці (див. табл. 4) представлені систематизовані дані оцінки ресурсу вибірки з 6919 елементів. Прогноз термінів служби в таблиці 4 представлений для всіх станів, крім другого, в діапазоні 3-24 роки. Це зумовлено тим, що в першому технічному стані знаходяться тільки нові мости, кількість яких недостатня для прогно-

зу з очікуваною достовірністю, так як історія експлуатації для цієї групи відсутня. Тому на рис. 2 та рис. 3 фактичні терміни служби збігаються з прогнозованими за моделлю ДСТУ-Н [12].

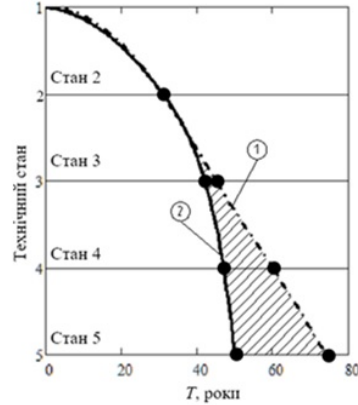


Рис. 2. Графік моделей прогнозу термінів служби: 1 – крива моделі прогнозу [12] залишкового ресурсу; 2 – крива моделі прогнозу по фактичним термінам служби; // – заштрихована область графіку, це діапазон прогнозу

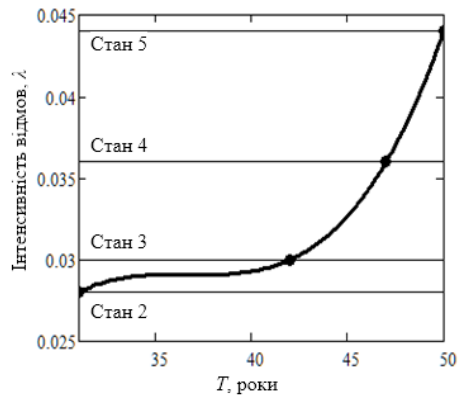


Рис. 3. Інтенсивність відмов залежна від часу  $\lambda(t)$

Практика автодорожніх мостів показала, що можна підняти технічний стан шляхом ремонту і реконструкції не вище другого експлуатаційного стану. Це положення закріплено також в регламентаціях ДСТУ-Н [12].

Діапазон прогнозу в 3-24 роки (див. рис. 2) та розходження до 48 % для станів 3-5 пояснюється змінною швидкістю деградації  $\lambda$  (див. рис. 3), для кожної групи мостів, які відрізняється багатьма факторами: особливостями проекту, якістю будівництва, умовами експлуатації та ін.

Пропонується наступна модель прогнозу за фактичними термінами служби мостів (див. рис. 2) побудована в програмі MathCad інтерполяцією квадратичного сплайна по заданим точкам з таблиці (див. табл. 4):

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$S(t) = a_i(t-t_i)^2 + b_i(t-t_i) + c_i, \\ t_{i-1} \leq t \leq t_i, \quad i = 2, 3 \dots 5 \quad (10)$$

де  $a_i, b_i, c_i$  – коефіцієнти функції квадратичної параболи для кожного проміжку.

З рисунка (див. рис. 3) очевидно, що швидкість деградації  $\lambda$  не є постійною і залежить від часу.

Графік інтенсивності відмов (див. рис. 3) побудований в програмі MathCad інтерполяцією кубічного сплайна по заданим точкам з таблиці (див. табл. 4):

$$\lambda(t) = a_i + b_i(t-t_i) + \frac{c_i}{2}(t-t_i)^2 + \frac{d_i}{6}(t-t_i)^3, \\ t_{i-1} \leq t \leq t_i, \quad i = 2, 3, 4, \quad (11)$$

де  $a_i, b_i, c_i, d_i$  – коефіцієнти сплайн-функції для кожного проміжку.

## Висновки

1. За статистичними даними середній термін служби мостів України складає 47-50 років, що є майже в двічі нижче ніж регламентований [7]. Середнє квадратичне відхилення складає 14 років. Цей значний розкид значень варіаційного ряду строку служби  $T$  демонструє розмаїття умов експлуатаційного утримання і якості будівництва мостів автодорожньої мережі України

2. Отримана статистична модель (10) прогнозу термінів служби мостів за фактичними даними враховує зміну інтенсивності відмов  $\lambda(t)$  з часом, але не враховує особливості проекту і експлуатації для кожної групи мостів окремо. Також слід зауважити, що середні терміни служби для мостів в 5 технічному стані отримані з малочисельної вибірки (122 од.). Існуючі моделі прогнозу є недостатньо точними і мають похибку в діапазоні 50-74 роки (див. рис. 2) для 5-ого технічного стану.

3. В моделі ДСТУ-Н [12], показник інтенсивності відмов приймається постійним, незалежним від часу  $\lambda = \lambda(t)$ . Наше дослідження (див. рис. 3) показало, що показник інтенсивності відмов  $\lambda$  змінний в часі. Це пояснює розходження до 24 років між прогнозованими термінами служби і фактичними (див. рис. 2). Модель ДСТУ-Н [12] потребує модернізації так, як може завищувати очікуванні терміни служби до 48 % (див. рис. 2).

Це дослідження було виконано під керівництвом доктора технічних наук, професора Лантуха-Лященко А. І. Висловлюю йому мою щирю подяку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боднар, Л. П. Програмний комплекс АЕСУМ. Сучасний стан та концепція подальшого розвитку [Текст] / Л. П. Боднар // Дороги і мости : зб. наук. праць ДерждорНДІ. – Київ, 2010. – Вип. 12. – С. 31-39.
2. ВБН В.3.1-218-174-2002 Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються [Текст]. – Київ : Укравтодор, 2002.
3. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Высш. школа, 2000. – 383 с.
4. Давиденко, О. О. Оцінка технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу автодорожніх мостів України [Текст] / О. О. Давиденко // Автошляховик України. – 2014. – Вип. 237. – С. 29-35.
5. Давыденко, А. А. Марковские модели накопления повреждений в оценке и прогнозировании технического состояния мостов [Текст] / А. А. Давыденко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 6. – С. 40-47.
6. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.
7. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
8. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування [Текст]. – Надано чинності 2010-03-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 42 с.
9. Теорія ймовірностей і математична статистика для наукових працівників та інженерів [Текст] / І. І. Горбань – Київ, 2003. – С. 244.
10. Дехтяр, А. С. Оптимальні терміни й об'єми ремонтів залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій : зб. наук. праць. – Львів : Каменярь, 2001. – Вип. 3. – С. 83-86
11. ДСТУ Б.В.2.3-24:2009 Споруди транспорту. Труби дорожні. Обстеження та оцінювання технічного стану [Текст]. – Надано чинності 2009-12-21. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 15 с.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

12. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2013 Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – Надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 49 с.
13. Лантух-Лященко, А. І. До проекту державних будівельних норм з оцінки технічного стану мостів [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій : зб. наук. праць. – Львів : Каменяр, 2000. – Вип. 2. – С. 78-83.
14. Лантух-Лященко, А. І. Наукові розробки з нормативного забезпечення [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Дороги і мости : зб. наук. праць ДерждорНДІ. – Київ, 2003. – С. 76-99.
15. Лантух-Лященко, А. І. Марковські моделі деградації залізобетонних елементів мостів [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – Київ, 2009. – Вип. 2. – С. 22-25.
16. Лантух-Лященко, А. І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Вісник Транспортної Академії України. – Київ, 1999. – Вип. 3. – С. 59-63.
17. Посібник до ДСТУ-Н Б.В.2.3-23 з оцінки і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Укравтодор, – Київ : 2011.
18. СОУ 42.1-37641918 – 093:2012 Мости та труби. Варіантне проектування мостів. – Київ : Укравтодор, 2012.
19. СОУ 45.2-00018112-026:2008 Споруди транспорту. Дефекти автодорожніх мостів. Класифікація. – Київ : Укравтодор, 2008.
20. Янчук, Л. Л. Аналіз тріщиностійкості залізобетонних елементів мостів як практичний апарат прогнозу ресурсу [Текст] / Л. Л. Янчук // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 6 – С. 132-137.
21. Яцко, Ф. В. Довговічність захисного шару залізобетонних елементів мостів [Текст] / Ф. В. Яцко // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту заліз. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 190-196.
22. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст]. Підручник. Друге видання. / [Страхова Н.Є. та ін. Наукове редагування Лантух-Лященко А.І.] – УТУ, ТАУ. Вид.: “Донеччина”, 2002, 402 с.
23. Miner, M. A., Cumulative damage in fatigue / Miner, M. A. // J. Applied Mech., –1945–12 (1945) – pp. 159–164.
24. Frangopol (1999). Life-cycle cost analysis for bridges. In D. M. Frangopol, editor, Bridge Safety and Reliability, pages 210-236. ASCE, Reston, Virginia.

А. А. ДАВЫДЕНКО\*

\* Кафедра «Мости и тоннели», Национальный транспортный университет, ул. Суворова 1, Киев, Украина, 01010, тел. +38 (050) 471 33 99, эл. почта alexsandros@inbox.ru, ORCID 0000-0003-0176-3256

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ УКРАИНЫ

**Цель.** Предоставить статистическую модель прогноза долговечности автодорожных мостов Украины. **Методика.** Теоретическое исследование. **Результаты.** Разработана модель прогноза долговечности на основании статистического анализа данных технического состояния железобетонных автодорожных мостов. **Научная новизна.** Впервые выполнен статистический анализ долговечности автодорожных мостов, которые находятся в эксплуатации. **Практическое значение.** Полученные результаты являются практическим инструментом управления надежностью и ресурсом железобетонных автодорожных мостов.

*Ключевые слова:* автодорожные мосты; долговечность; жизненный цикл; остаточный ресурс

А. DAVYDENKO\*

\* Department of Bridges and Tunnels, National Transport University, 1 Suvorov str., Kyiv, Ukraine, 01010, tel. +38 (050) 471 33 99, e-mail alexsandros@inbox.ru, ORCID 0000-0003-0176-3256

## STATISTICAL PREDICTION OF TECHNICAL STATE ROAD BRIDGES OF UKRAINE

**Purpose.** To provide statistical prediction model of highway bridges durability in Ukraine. **Methodology.** Theoretical study. **Findings.** The model of durability prediction based on statistical data analysis of technical state of

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

reinforced concrete for highway bridges was developed. **Originality.** For the first time statistical analysis of the durability of road bridges that are in operation was carried out a. **Practical value.** The results are a practical management tool for reliability and resource of reinforced concrete highway bridges.

*Keywords:* road bridges; durability; life cycle; residual life

## REFERENCES

1. Bodnar L. P. Prohramnyy kompleks AESUM. Suchasnyy stan ta kontseptsiya podalshoho rozvytku [The software package AESUM. Current state and further development concept]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho dorozhnoho naukovykh-doslidnoho instytutu imeni M. P. Shulhina "Dorohy i mosty"* [Proc. Of State Road Research Institute named after M. P. Shulgin "Roads and bridges"], 2010, issue 12, pp. 31-39.
2. *VBN V.3.1-218-174-2002. Otsinka tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv, shcho ekspluatuyutsya* [Institutional building codes V.3.1-218-174-2002. Evaluation of the technical state highway bridges exploited]. Kyiv, Ukravtodor Publ., 2002.
3. Venttsel Ye. S., Ovcharov L. A. *Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya* [Theory of casual processes and her engineering applications]. Moscow, Energiya Publ., 2000. 383 p.
4. Davidenko O. O. Otsinka tekhnichnoho stanu i prohnozuvannya zalishkovoho resursu avtodorozhnykh mostiv Ukrainy [Assessment of technical condition and forecasting residual life of highway bridges Ukraine]. *Avtoshlyahovyk Ukrainy – Avtoshlyahovyk Ukraine*, 2014, issue 237, pp. 29-35.
5. Davydenko A. A Markovskie modeli nakopleniya povrezhdeniy v otsenke i prognozirovanii tekhnicheskogo sostoyaniya mostov [Markov model of damage accumulation in the assessment and forecasting of technical condition of the bridges]. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2014, issue 6, pp. 40-87.
6. *DBN V.2.3-22-2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannya* [State Standard V.2.3-22-2009. Transport constructions. Bridges and pipes. Basic design requirements]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 73 p.
7. *DBN V.2.3-14-2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.
8. *DBN V.2.3-6-2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennya i vyprobuvannya* [State Standard V.2.3-6-2009. Transport constructions. Bridges and pipes. Inspection and testing]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 42 p.
9. Horban I. I. *Teoriia ymovirnostei i matematychna statystyka dlia naukovykh pratsivnykiv ta inzheneriv* [Probability and Mathematical Statistics for scientists and engineers]. Kyiv, Energiya Publ., 2003. 244 p.
10. Dehtyar A. S. Optymalni terminy y obyemy remontiv zalizobetonnykh mostiv [Optimal timing and volumes of repair of reinforced concrete bridges]. *Diahnostyka, dohovichnist ta rekonstruktsiya mostiv i budivelnykh konstruksiy – Diagnosis, durability and reconstruction of bridges and building structures*, 2001, issue 3, pp. 83-86.
11. *DSTU B.V.2.3-24-2009. Sporudy transportu. Trubi dorozhni. Obstezhennya ta otsinyuvannya tehnicnogo stanu* [State Standard B.V.2.3-24-2009. Transport constructions. Pipes Road. Examination and evaluation of technical condition]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 15 p.
12. *DSTU-N B.V.2.3-23-2013. Sporudy transportu. Nastanova z otsinyuvannya i prognozuvannya tehnicnogo stanu avtodorozhnykh 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.
13. Lantuh-Lyaschenko A. I. Do proektu derzhavnykh budivelnykh norm z otsinky tekhnichnoho stanu mostiv [The project of state building codes to assess the technical condition of bridges]. *Diagnostika, dovgovichnist ta rekonstruktsiya mostiv i budivelnykh konstruksiy – Diagnosis, durability and reconstruction of bridges and building structures*, 2000, issue 2, pp. 78-83.
14. Lantuh-Lyaschenko A. I. Naukovi rozrobky z normatyvnoho zabezpechennya [Scientific development of regulatory support]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho dorozhnoho naukovykh-doslidnoho instytutu imeni M. P. Shulhina "Dorohy i mosty"* [Proc. Of State Road Research Institute named after M. P. Shulgin "Roads and bridges"], 2003, issue 3, pp. 76-99.
15. Lantuh-Lyaschenko A. I. Markovski modeli degradatsiyi zalizobetonnykh elementiv mostiv [Markov models degradation bridges concrete elements]. *Promislove budivnytstvo ta inzhenerni sporudi* [Industrial construction and engineering structures], 2009, issue 2, pp. 22-25.



## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

16. Lantuh-Lyaschenko A. I. Otsinka tekhnichnoho stanu transportnykh sporud, shcho znakhodyatsya v ekspluatatsiyi [Assessment of the technical state of transport facilities that are in operation]. *Visnyk Transportnoyi Akademiyi Ukrainy* [Bulletin of Transport Academy of Ukraine], 1999, issue 3, pp. 59-63.
17. *Posibnyk do DSTU-N B.V.2.3-23 z otsinky i prohnozuvannya tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv* [Guide for ISO-N B.V.2.3-23 assessment and prediction of technical condition of road bridges]. Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ., 2011.
18. *SOU 42.1-37641918-093-2012. Mosty ta truby. Variantne proektuvannya mostiv* [State Standard 42.1-37641918-093-2012. Bridges and pipes. Variant design of bridges]. Kyiv, Ukravtodor Publ., 2012.
19. *SOU 45.2-00018112-026-2008. Sporudy transportu. Defekty avtodorozhnikh mostiv. Klasyfikatsiya* [State Standard 45.2-00018112-026-2008. Transport constructions. Defects of highway bridges. Classification]. Kyiv, Ukravtodor Publ., 2008.
20. Yanchuk L. L. Analiz trishchynosti ykosti zalizobetonnykh elementiv mostiv yak praktychnyy aparat prohnozu resursu [Analysis of crack concrete elements as a practical bridge device resource forecasting]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2014, issue 6, pp. 132-137.
21. Yatsko F. V. Dovhovichnist zakhysnoho sharu zalizobetonnykh elementiv mostiv [The durability of the protective layer of concrete elements bridge]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 33, pp. 190-196.
22. Strakhova N. Ye, naukove redahuvannya Lantukh-Liashchenko A. I. *Ekspluatatsiia i rekonstruktsiia mostiv. Pidruchnyk. Druhe vydannia*. [Maintenance and reconstruction of bridges. Textbook. Second edition]. Donetsk, Donechchyna Publ., 2002. 402 p.
23. Miner, M. A. *Cumulative damage in fatigue*. *J. Applied Mech.*, 1945, 12 (1945), pp. 159-164.
24. Frangopol (1999). *Life-cycle cost analysis for bridges*. In D. M. Frangopol, editor, *Bridge Safety and Reliability*, pages 210-236. ASCE, Reston, Virginia.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н, проф. А. І. Лантухом-Лященко (Україна), д.т.н., проф. Д. О. Банниковим (Україна).*

Надійшла до редколегії 26.10.2016.

Прийнята до друку 26.12.2016.