

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.745.1-049.7

А. І. ЛАНТУХ-ЛЯЩЕНКО

Кафедра «Мости і тунелі», Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, Київ, Україна, 01010, тел. +38 (044) 280 79 78, ел. пошта albert.lantoukh@ntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-6642-2359

СТОХАСТИЧНА ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СПОРУДИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ МОСТАМИ

Мета. Мета роботи полягає в розробці моделі оцінки технічного стану споруди в функції часу експлуатації. Теоретичним базисом розробки моделі стохастичної рейтингової оцінки технічного стану споруди в процесі експлуатації є марковська теорія випадкових процесів. Розглядаються феноменологічні моделі кумулятивного накопичення пошкодженого внаслідок природної деградації елементів в процесі життєвого циклу експлуатації. Знос елемента споруди описується марковським дискретним процесом з неперервним часом. Марковський процес, еволюція якого з часом залежить тільки від фіксованого сучасного стану, знайшов широке застосування в системі експлуатації автодорожніх мостів. Деградація елементів в процесі експлуатації розглядається як потік відмов, що фізично є проявом пошкоджень елементів споруди під впливом навантажень і оточуючого середовища. Деградація елементів моста трактується як стаціонарний простіший потік пуассонівського типу. Математична модель випадкового процесу з безперервним часом і дискретними станами описується відомими рівняннями Колмогорова-Чепмена. **Методика.** Теоретичне дослідження процесів деградації елементів мостів виконане в рамках теорії ймовірностей і математичної статистики. **Результати.** Отримана модель експертної рейтингової оцінки технічного стану споруди розбудована на основі матриці переходів залежної від часу. Доведено, що матриця переходів розбудована за даними системи експлуатації є найбільш реалістичною основою для прогнозу процесів деградації. Виконано аналіз зарубіжних досліджень робіт присвячених методиці отримання матриці переходів. Наводиться повний алгоритм обчислення рейтингової оцінки технічного стану споруди. Алгоритм моделі ілюструється практичним прикладом. **Наукова новизна.** Виконане дослідження є піонерним. Вперше в системі експлуатації автодорожніх мостів пропонується стохастична експертна оцінка технічного стану споруди. **Практичне значення.** Отримана модель є практичним інструментом управління надійністю і ресурсом автодорожніх мостів.

Ключові слова: автодорожні мости; експертна оцінка; марковська модель деградації; матриця переходів; інформаційна технологія управління мостами

Вступ

Дослідження, основні результати якого подаються в статті, є одним із перших, що має за мету розробку стохастичної моделі оцінки технічного стану споруди в автоматизованій системі управління мостами. В інших термінах, мова йдеться про рейтингову оцінку залишкового ресурсу в функції часу експлуатації.

Проблема рейтингової оцінки технічного стану споруд на мережі автомобільних доріг стає все більш актуальною з ростом кількості мостів, які потребують капітального ремонту чи реконструкції. Розроблена в останні роки і втілена в нормативні документи оцінка технічного стану елементів мостів на основі концепції надійності (Lantoukh-Liashchenko, 2006; Лан-

тух-Лященко, 2008; Лантух-Лященко, 2009; Lantoukh-Liashchenko, 2011) дає детерміністичну рейтингову оцінку стану споруд ранжируваних за потребою ремонтів.

Для інтегральної оцінки технічного стану мосту згідно чинному нормативному документу ДСТУ-Н (ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012, 2012) введено формалізовану експертну оцінку споруди в цілому, яка є узагальненою характеристикою експлуатаційної придатності за станом всіх його елементів, кількісним показником експертного визначення технічного стану споруди (мостового переходу в цілому). Ми ж в цій роботі пропонуємо альтернативну оцінку, залежну від часу експлуатації.

Почнемо з термінологічного поняття. Вже декілька століть інженери-мостовики всього

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

світу складають експертні оцінки технічного стану мостів, що базуються на використанні колективної думки експертів. В класичному розумінні науково-технічна оцінка визначення експлуатаційного стану елемента споруди ґрунтується на припущенні, що на основі думок експертів можна збудувати адекватну модель деградації. Це детерміністична числова оцінка. Відправною інформацією при цьому є дані обстежень і випробовувань.

Сьогодні, в епоху бурхливого розвитку інформаційних технологій, це поняття в експлуатації споруд набуло нового значення – оцінки, яка *генерується автоматизовано* в інформаційній системі управління мостами. Вихідними даними при цьому є база знань системи, яка містить дані обстежень і випробовувань, модель деградації, модель прогнозування технічного стану тощо. Тобто оцінка-рейтинг є елементом автоматизованого апарату управління безпекою і надійністю споруди і *служить для експерта інструментом* прогнозування технічного стану споруди, стратегічного планування фінансування системи експлуатації на мережевому рівні. Саме в такому розумінні термін «експертна оцінка» застосовується в нашому дослідженні.

Мета дослідження

Мета досліджень полягає в розробці моделі оцінки технічного стану споруди в функції часу експлуатації. Далі мета роботи деталізується формулюванням задачі дослідження.

Методика дослідження

Теоретичним базисом розробки моделі стохастичної рейтингової оцінки технічного стану споруди в процесі експлуатації є марковська теорія випадкових процесів. Розглядаються феноменологічні моделі кумулятивного накопичення пошкодженого внаслідок природної деградації елементів в процесі життєвого циклу експлуатації. Знос елемента споруди описується марковським дискретним процесом з неперервним часом (Богдановф, & Козин, 1989). Марковським вважається процес, еволюція якого з часом залежить тільки від фіксованого сучасного стану.

Деградацію елементів в процесі експлуатації будемо розглядати як потік відмов, що фізично

є проявом пошкоджень елементів споруди під впливом навантажень і оточуючого середовища. Розглядається стаціонарний простіший потік пуассонівського типу (Bogdanoff, 1978a; Bogdanoff, & Krieger, 1978; Bogdanoff, 1978b).

Математична модель випадкового процесу з безперервним часом і дискретними станами описується відомими рівняннями Колмогорова-Чепмена:

$$\frac{d\mathbf{P}(i, t)}{dt} = \mathbf{P}(i, t) \cdot \mathbf{E}, \quad (1)$$

де $\mathbf{P}(i, t)$ – матриця ймовірностей переходу; i – номер дискретного стану; t – час; \mathbf{E} – матриця інтенсивностей переходу.

(Зауваження. Матрицю ймовірностей переходу $\mathbf{P}(i, t)$ далі будемо записувати без параметрів – \mathbf{P} і називати скорочено *матрицею переходів*).

До матриці переходів додається вектор початкових ймовірностей станів, яким задається розподіл абсолютних ймовірностей на початку процесу.

Матрицею переходів \mathbf{P} разом з вектором початкових ймовірностей повністю характеризується марковська модель випадкового процесу.

Ставиться задача розбудови моделі експертної рейтингової оцінки технічного стану споруди на основі матриці переходів \mathbf{P} , залежної від часу і вектора початкових ймовірностей станів отриманих статистичним аналізом бази даних інформаційної системи управління.

Модель експертної рейтингової оцінки технічного стану споруди формулюється на основі матриці переходів \mathbf{P} залежної від часу. Кожен елемент цієї матриці p_{ij} є ймовірність того, що система перейде від стану i до стану j протягом певного періоду часу. Тоді якщо відомий початковий стан \mathbf{p}_0 , то майбутній стан елемента може бути прогнозованим на будь-який довільний час t .

Майбутній вектор стану \mathbf{p} , отримується шляхом множення початкового стану вектору \mathbf{p}_0 на матрицю переходів \mathbf{P} в ступені t (число років) (Bogdanoff, 1978a; Bogdanoff, & Krieger, 1978; Bogdanoff, 1978b; Богдановф, & Козин, 1989). Початковий стан системи задається матрицею-стрічкою \mathbf{p}_0 розміром $[1 \times n]$:

$$\mathbf{p}_0 = [p_1, p_2, \dots, p_n], \quad (2)$$

де p_i – ймовірність перебування в стані $i = 1,$

2, ..., n; n – кількість дискретних станів.

Вектор стану системи на час t визначається як добуток матриці переходів \mathbf{P} на вектор початкового стану системи

$$\mathbf{p}_t = \mathbf{p}_0 \times \mathbf{P}^t, \quad (3)$$

де \mathbf{P}^t – матриця переходів \mathbf{P} в ступені t ; \mathbf{p}_0 – вектор ймовірностей перебування в початковому стані.

Далі вводиться вектор фіксованих рейтингових експертних оцінок на початку процесу, розміром $[n \times 1]$:

$$\mathbf{d} = [r_1, r_2, \dots, r_n]^T, \quad (4)$$

тут T – знак транспонування; r_i – рейтингові оцінки, дійсні числа, $i = 1, 2, \dots, n$.

Оцінка технічного стану елемента споруди на довільний час t визначається залежністю

$$D_t = \mathbf{p}_0 \times \mathbf{P}^t \times \mathbf{d}, \quad (5)$$

де D_t – скаляр, рейтингова оцінка елемента споруди на час t ; \mathbf{p}_0 – матриця-стрічка ймовірностей перебування в початковому стані t_0 розміром $[1 \times n]$; \mathbf{P}^t – матриця ймовірностей переходів \mathbf{P} в ступені t розміром $[n \times n]$.

Рейтингова оцінка технічного стану споруди визначається як середньозважена з складових елементів споруди (ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012, 2012):

$$E = \frac{80(5 - \sum_{i=1}^{i=k} \alpha_i D_i)}{4} + 20, \quad (6)$$

де D_i – номер експлуатаційного стану групи конструктивних елементів споруди; α_i – коефіцієнти впливу стану i -ї групи елементів на загальний стан споруди (нормалізовані коефіцієнти ваги); k – кількість груп елементів споруди.

Результати досліджень

Отримання матриці переходів за статистичними даними системи експлуатації

В теорії споруд сьогодні поширеним є статистичний підхід формулювання матриці переходів, в основі якого лежать історичні дані системи експлуатації. Вважається, що матриця переходів, розбудована за даними системи експлуатації, є найбільш реалістичною основою для прогнозу процесів деградації.

Практичному застосуванню матриці переходів, розбудованої за статистичними даними, присвячена велика кількість зарубіжних досліджень, в яких розглядаються особливості матриць переходів, пов'язані з системою експлуатації мостів різних країн (Collins, 1974; NG, & Moses, 1996; Zhang, Sun, & Wang, 2003; Yasunari, 2006). Більшість з них базуються на залежностях теорії ймовірностей, отриманих Дж. Богдановим і Ф. Козіним (1989), де розподіл дискретних станів для кожного року $\mathbf{p}(t)$, отримано в результаті множення розподілу попереднього стану на матрицю переходу \mathbf{P}_0 :

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}(t-1) \times \mathbf{P}_0, \quad (7)$$

де $\mathbf{p}(t-1)$ – вектор попереднього розподілу станів.

Ми скористаємося найпростішим з них – оцінюванням відносної кількості елементів мостів в кожному із станів. Компоненти матриці перехідних ймовірностей визначаються за рівнянням:

$$p_{ij} = n_{ij} / n_i, \quad (8)$$

де n_{ij} – кількість переходів зі стану i в стан j протягом заданого періоду часу; n_i – загальна кількість елементів мостів в стані i на початок заданого періоду часу.

В такій постановці кожен елемент матриці перехідних ймовірностей \mathbf{P} є ймовірність того, що елемент, який був в стані i , перейде в стан j за один крок (тобто за один рік). При цьому вважається, що відсутні експлуатаційні втручання, тому піддіагональні елементи матриці \mathbf{P} є нульовими.

Покажемо процедуру отримання матриці перехідних ймовірностей на прикладі статистичних даних отриманих з системи експлуатації автодорожніх мостів. Розглянемо історичні дані експлуатації залізобетонних мостів. Розподіл за станами залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів наведено нижче в таблиці 1.

З таблиці 1 отримаємо вектор наддіагональних елементів матриці перехідних ймовірностей \mathbf{P} : \mathbf{p}_{ij} , $i = 1, 2, 3, \dots, 4$; $j = i + 1$:

$$\mathbf{p}_{ij} = [0,016 \ 0,108 \ 0,610 \ 0,249]^T. \quad (9)$$

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 1
Розподіл за експлуатаційним станом прогнозових будов автодорожніх мостів

Стан	В абсолютних показниках, од.	У відсотках, %
1	112	1,6
2	758	10,8
3	4288	61,0
4	1751	24,9
5	122	1,7
Всього:	7031	100,00

Відповідна матриця перехідних ймовірностей матиме значення:

$$P = \begin{bmatrix} 0,984 & 0,016 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,892 & 0,108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,390 & 0,610 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,975 & 0,025 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Приклад обчислення рейтингової оцінки прогнозової будови моста

Вихідними є статистичні дані розподілу прогнозових будов мостів за станами на час прогнозу. Прийемо ці дані згідно табл. 1., за даними якої по формулі (8) обчислюються наддіагональні компоненти матриці перехідних ймовірностей. Діагональні компоненти матриці P обчислюються як доповнення до 1 наддіагональної компоненти. Сформована матриця перехідних ймовірностей наведена в залежності (10). Далі задається вектор початкових ймовірностей станів елемента системи p_0 формули (2).

Введемо 100-бальну шкалу рейтингової оцінки (табл. 2). (Зауважимо, що шкала рейтингової оцінки є загальною для всіх типів елементів споруди.)

Таблиця 2

Рейтингова оцінка експлуатаційного стану елементів споруди	
Експлуатаційний стан	Оціночна шкала, балів
Стан 1. Справний	100...79
Стан 2. Обмежено справний	80...59
Стан 3. Працездатний	60...39
Стан 4. Обмежено працездатний	40...19
Стан 5. Непрацездатний	≤ 20

Згідно з прийнятою шкалою, задається вектор початкових станів (вектор фіксованих рейтингових оцінок безпечної експлуатації формула (5)):

$$d = [100 \ 80 \ 60 \ 40 \ 20]^T. \quad (11)$$

Задається матриця-стрічка p_0 ймовірностей перебування в початковому стані 1 формула (2):

$$p_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]. \quad (12)$$

Обчислюється рейтингова оцінка технічного стану елемента споруди що перебуває в стані 1 на час $t - 1$ формула (6):

$$D_1 = p_0 \times P \times d = 99,7. \quad (13)$$

Обчислення повторюються для векторів-стрічок p_0 :

$$\text{стану 2: } p_0 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]; D_2 = 77,8; \quad (14)$$

$$\text{стану 3: } p_0 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]; D_3 = 47,8; \quad (15)$$

$$\text{стану 4: } p_0 = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]; D_4 = 39,5; \quad (16)$$

$$\text{стану 5: } p_0 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]; D_5 = 20,0. \quad (17)$$

Цей приклад повторимо ще раз, щоби отримати прогнозні оцінки на період $t = 5$ років.

Відповідна матриця ймовірностей переходів обчислюється тепер як P в ступені t , $P_5 = P^5$:

$$P_5 = \begin{bmatrix} 0,922 & 0,062 & 0,008 & 0,007 & 0 \\ 0 & 0,565 & 0,120 & 0,395 & 0,011 \\ 0 & 0 & 0,009 & 0,909 & 0,082 \\ 0 & 0 & 0 & 0,881 & 0,119 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Всі обчислення оцінок прикладу зведемо в табл. 3.

Таблиця 3

Рейтингові оцінки залізобетонних прогнозових будов, отримані в прикладі

Стан	Оцінки		
	Фіксовані	На період 1 рік	На період 5 років
1	100	99,7	98,0
2	80	77,8	64,8
3	60	47,8	38,5
4	40	39,5	37,6
5	20	20,0	20,0

Наукова новизна та практична значимість

Наведена в роботі модель експертної оцінки технічного стану споруди в функції часу експлуатації базується на марковській стохастичній теорії накопичення пошкоджень добре обґрунтована теоретично і має практичну спрямованість як інструмент оцінки технічного стану та прогнозу залишкового ресурсу в автоматизованій інформаційній системі управління безпекою і довговічністю споруди.

Висновки

Центральна наукова ідея дослідження полягає у використанні для обчислення експертних оцінок матриці перехідних ймовірностей марковського процесу, отриманої на час оцінки з статистичного аналізу даних історії експлуатації. Переваги такого підходу очевидні – матриця переходів, отримана в такий спосіб, досить точно описує процес деградації протягом всього життєвого циклу експлуатації. Порівняно з нею матриця переходів постійна протягом життєвого циклу експлуатації, яка застосовується зараз для експертної оцінки технічного стану споруди, є всього лиш першим наближенням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Bogdanoff, J. L. (1978a). A new cumulative damage model-Part 1. *Journal of Applied Mechanics*, 45, 246-250.
- Bogdanoff, J. L., & Krieger, W. (1978). A new cumulative damage model-Part 2. *Journal of Applied Mechanics*, 45, 251-257.
- Bogdanoff, J. L. (1978b). A new cumulative damage model-Part 3. *Journal of Applied Mechanics*, 45, 733-739.

А. И. ЛАНТУХ-ЛЯЩЕНКО

Кафедра «Мосты и тоннели», Национальный транспортный университет, ул. М. Емельяновича-Павленко 1, Киев, Украина, 01010, тел. +38 (044) 280 79 78, эл. почта albert.lantoukh@ntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-6642-2359

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МОСТАМИ

Цель. Цель работы заключается в разработке модели оценки технического состояния сооружения в функции времени эксплуатации. Теоретическим базисом разработки модели стохастической рейтинговой оценки технического состояния сооружения в процессе эксплуатации, является марковская теория случайных процессов. Рассматриваются феноменологические модели кумулятивного накопления поврежденных

- Collins, L. (1974). Estimating Markov Transition Probabilities from Micro-Unit Data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 23, 355-371.
- NG, S-K., & Moses, F. (1996). *Prediction of bridge service life using time-dependent reliability analysis*, Bridge Management. Inspection, Maintenance, Assessment and Repair: Proceedings of the Third International Conference. New York: Taylor & Francis.
- Lantoukh-Liashchenko, A. (2006). *Reliability based Service Life Prediction of Concrete Bridge Superstructures*, Proceeding "EKO MOST 2006. Durable bridge structures in the environment", Kielce, 16-17 May 2006 / Warszawa.
- Lantoukh-Liashchenko, A. (2011). *Markov chain models for the residual service life prediction of bridges*, 4-th International Conference FOOTBRIDGE 2011: Wroclaw, Poland.
- Yasunari, I. (2006). *Estimating continuous time transition matrices from discretely observed data*. Financial Systems and Bank Examination Department, Bank of Japan.
- Zhang, Z., Sun, X., & Wang, X. (2003). *Determination of Bridge Deterioration Matrices with State National Bridge Inventory Data*, 9-th International Bridge Management Conference.
- Богдановф, Дж., & Козин, Ф. (1989). *Вероятностные модели накопления повреждений*. Москва: Мир.
- ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012 (2012). Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ: Мінрегіонбуд України.
- Лантух-Лященко, А. І. (2008). Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів. *Дороги і мости*, 9, 12-18.
- Лантух-Лященко А. И. (2009). Марковские модели накопления повреждений. *Наука и искусство. Промышленное строительство та инженерні споруди*, 2, 22-25.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

вследствие естественной деградации элементов в процессе жизненного цикла эксплуатации. Износ элемента сооружения описывается марковским дискретным процессом с непрерывным временем. Марковский процесс, эволюция которого со временем зависит только от фиксированного современного состояния, нашел широкое применение в системе эксплуатации автодорожных мостов. Деградация элементов в процессе эксплуатации рассматривается как поток отказов, физически являющимся проявлением повреждений элементов сооружения под воздействием нагрузок и окружающей среды. Деградация элементов мостов трактуется как стационарный простейший поток пуассоновского типа. Математическая модель случайного процесса с непрерывным временем и дискретными состояниями описывается известными уравнениями Колмогорова-Чепмена. **Методика.** Теоретическое исследование процессов деградации элементов мостов выполненное в рамках теории вероятностей и математической статистики. **Результаты.** Полученная модель экспертной рейтинговой оценки технического состояния сооружения построена на основе матрицы переходов зависящей от времени. Доказано, что матрица переходов развита по данным системы эксплуатации является наиболее реалистичной основой для прогноза процессов деградации. Выполнен анализ зарубежных исследований работ, посвященных методике получения матрицы переходов. Приводится полный алгоритм вычисления рейтинговой оценки технического состояния сооружения. Алгоритм модели иллюстрируется практическим примером. **Научная новизна.** Проведенное исследование является пионерным. Впервые в системе эксплуатации автодорожных мостов предлагается стохастическая экспертная оценка технического состояния сооружения. **Практическое значение.** Полученная модель является практическим инструментом управления надежностью и ресурсом автодорожных мостов.

Ключевые слова: автодорожные мосты; экспертная оценка; марковская модель деградации; матрица переходов; информационная технология управления мостами

A. I. LANTUH-LYASHCHENKO

Department «Bridges and tunnels», National Transport University, st. M. Emelyanovich-Pavlenko 1, Kiev, Ukraine, 01010, tel. +38 (044) 280 79 78, e-mail albert.lantoukh@ntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-6642-2359

STOCHASTIC EXPERT ESTIMATION OF TECHNICAL CONDITION OF CONSTRUCTION IN AUTOMATED C-STEAM OF CONTROL OF BRIDGES

Purpose. The purpose of the work is to develop a model for assessing the technical condition of a structure as a function of the operation time. The theoretical basis for the development of a stochastic rating model for the technical condition of a structure during operation is the Markov theory of random processes. Phenomenological models of cumulative accumulation of damaged due to the natural degradation of elements during the life cycle of operation are considered. The wear of the structure element is described by a Markov discrete process with continuous time. The Markov process, whose evolution over time depends only on a fixed modern state, has found wide application in the system of operation of road bridges. Degradation of elements during operation is considered as a stream of failures that are physically a manifestation of damage to the elements of a structure under the influence of loads and the environment. The degradation of bridge elements is interpreted as a stationary simplest flow of Poisson type. A mathematical model of a random process with continuous time and discrete states is described by the well-known Kolmogorov-Chapman equations. **Methodology.** Theoretical study of the processes of degradation of elements of bridges made in the framework of probability theory and mathematical statistics. **Findings.** The resulting model of expert rating assessment of the technical condition of the facility is based on a time dependent transition matrix. It is proved that the transition matrix developed according to the operating system is the most realistic basis for the prediction of degradation processes. The analysis of foreign studies of works on the method of obtaining a transition matrix was performed. A complete algorithm for calculating the rating assessment of the technical condition of the structure is given. The model algorithm is illustrated by a practical example. **Scientific novelty.** The study is pioneering. For the first time in the system of operation of road bridges, a stochastic expert assessment of the technical condition of the structure is proposed. **Practical value.** The resulting model is a practical tool for managing the reliability and resource of road bridges.

Keywords: road bridges; expert assessment; Markov degradation model; transition matrix; information technology for managing bridges

REFERENCES

- Bogdanoff, J. L. (1978a). A new cumulative damage model-Part 1. *Journal of Applied Mechanics*, 45, 246-250.
- Bogdanoff, J. L., & Krieger, W. (1978). A new cumulative damage model-Part 2. *Journal of Applied Mechanics*, 45, 251-257. (in English)
- Bogdanoff, J. L. (1978b). A new cumulative damage model-Part 3. *Journal of Applied Mechanics*, 45, 733-739. (in English)
- Collins, L. (1974). Estimating Markov Transition Probabilities from Micro-Unit Data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 23, 355-371. (in English)
- NG, S-K., & Moses, F. (1996). *Prediction of bridge service life using time-dependent reliability analysis*, Bridge Management. Inspection, Maintenance, Assessment and Repair: Proceedings of the Third International Conference. New York: Taylor & Francis. (in English)
- Lantoukh-Liashchenko, A. (2006). *Reliability based Service Life Prediction of Concrete Bridge Superstructures*, Proceeding "EKO MOST 2006. Durable bridge structures in the environment", Kielce, 16-17 May 2006 / Warszawa. (in English)
- Lantoukh-Liashchenko, A. (2011). *Markov chain models for the residual service life prediction of bridges*, 4-th International Conference FOOTBRIDGE 2011: Wroclaw, Poland. (in English)
- Yasunari, I. (2006). *Estimating continuous time transition matrices from discretely observed data*. Financial Systems and Bank Examination Department, Bank of Japan. (in English)
- Zhang, Z., Sun, X., & Wang, X. (2003). *Determination of Bridge Deterioration Matrices with State National Bridge Inventory Data*, 9-th International Bridge Management Conference. (in English)
- Bogdanoff, Dzh., & Kozin, F. (1989). *Veroyatnostnye modeli nakopleniya povrezhdenij*. Moskva: Mir. (in Russian)
- DSTU-N B.V.2.3-23:2012 (2012). *Sporudy transportu. Nastanova z otsiniuvannia i prohnouzuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- Lantukh-Liashchenko, A. I. (2008). Utochnennia otsinky ekspluatatsiinoho stanu mostiv. *Dorohy i mosty*, 9, 12-18. (in Ukrainian)
- Lantuh-Ljashhenko A. I. (2009). Markovskie modeli nakopleniya povrezhdenij. *Nauka i iskusstvo. Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*, 2, 22-25. (in Russian)

Надійшла до редколегії 28.05.2019

Прийнята до друку 06.06.2019