

УДК 624.21

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ КОНСТРУКЦІЙ МОСТІВ В СКЛАДНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>1</sup>, д.т.н, проф.,  
ПШІНЬКО П. О.<sup>2</sup>, к.т.н., докторант,  
ЗІНКЕВИЧ А. М.<sup>3</sup>, к.т.н, доц.

<sup>1</sup> Кафедра “Залізобетонних та кам’яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад „Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562)47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, ORCID ID: 0000-0003-4187-5340

<sup>3</sup> Кафедра “Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-46, e-mail: zam-ukr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8609-1115

**Анотація. Мета.** Метою роботи є розгляд розвитку алгоритму прогнозування терміну служби прогонових конструкцій мостів в складних умовах експлуатації для уточнення оцінки залишкового ресурсу конструкцій та ефективної реалізації програми відновлюючих заходів. **Методика.** Прогнозування залишкового ресурсу конструкції виконується за моделлю деградації елемента, що включена в нормативну методику. Уточнення результату прогнозування залишкового ресурсу конструкції забезпечується використанням імовірнісного розрахунку конструкції (міцності, тріщиностійкості). **Результати.** Виконаний аналіз одного з аспектів, що ускладнює прогнозування ресурсу конструкцій та ефективну реалізацію відновлюючих заходів, а саме, взаємного впливу технічних станів суміжних елементів. На основі прикладу розглянуто необхідність врахування впливу стану одних елементів моста на функцію деградації інших, що може бути визначальним в складних умовах експлуатації. Врахування впливів стану суміжних елементів моста на функції їх деградації дозволить коригувати ваговий коефіцієнт впливу певного елемента на технічний стан моста і відповідно, ефективніше враховувати необхідність його ремонту. Для уточнення методики прогнозування залишкового ресурсу та забезпечення показників надійності протягом експлуатації необхідна періодична оцінка технічного стану конструкції, при чому визначення функції деградації повинно враховувати комплексний вплив агресивних факторів, взаємний вплив суміжних конструкцій та особливості розташування конструкції в об’ємі споруди. **Наукова новизна.** Розглянуте доповнення алгоритму прогнозування терміну служби прогонових конструкцій мостів в складних умовах експлуатації. **Практична значимість.** Отримання уточнених функцій деградації конструктивних елементів та їх перерізів дозволить виконувати уточнену оцінку залишкового ресурсу та більш ефективно здійснювати відновлюючі заходи для підтримки показників надійності конструкції, що особливо актуально в умовах обмеженого фінансування.

**Ключові слова:** надійність, залишковий ресурс, функція деградації, імовірнісний розрахунок, життєвий цикл конструкції.

**ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

САВИЦКИЙ Н. В.<sup>1</sup>, д.т.н, проф.,  
ПШІНЬКО П. А.<sup>2</sup>, к.т.н., докторант,  
ЗІНКЕВИЧ А. Н.<sup>3</sup>, к.т.н, доц.

<sup>1</sup> Кафедра “Железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение „Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562)47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, ORCID ID: 0000-0003-4187-5340

<sup>3</sup> Кафедра “Управление проектами, здания и строительные материалы” Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-46, e-mail: zam-ukr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8609-1115

**Аннотация. Цель.** Целью работы является рассмотрение развития алгоритма прогнозирования срока службы пролетных конструкций мостов в сложных условиях эксплуатации для уточнения оценки остаточного ресурса конструкций и эффективной реализации программы восстанавливающих мероприятий. **Методика.** Прогнозирование остаточного ресурса конструкции выполняется по модели деградации элемента, включенной в нормативную методику. Уточнение результата прогнозирования остаточного ресурса конструкции обеспечивается использованием вероятностного расчета конструкции

(прочности, трещиностойкости). **Результаты.** Выполнен анализ одного из аспектов, усложняющего прогнозирование ресурса конструкций и эффективную реализацию восстанавливающих мероприятий, а именно, взаимного влияния технических состояний сопредельных элементов. На основе примера рассмотрена необходимость учета влияния состояния одних элементов моста на функцию деградации других, которое может быть определяющим в сложных условиях эксплуатации. Учет влияний состояния сопредельных элементов моста на функции их деградации позволит корректировать весовой коэффициент влияния определенного элемента на техническое состояние моста и соответственно, эффективнее учитывать необходимость его ремонта. Для уточнения методики прогнозирования остаточного ресурса и обеспечения показателей надежности на протяжении эксплуатации, необходима периодическая оценка технического состояния конструкции, при чем определение функции деградации должно учитывать комплексное влияние агрессивных факторов, взаимное влияние сопредельных конструкций и особенности расположения конструкции в объеме сооружения. **Научная новизна.** Рассмотрено дополнение алгоритма прогнозирования срока службы пролетных конструкций мостов в сложных условиях эксплуатации. **Практическая значимость.** Получение уточненных функций деградации конструктивных элементов и их сечений позволит выполнять уточненную оценку остаточного ресурса и более эффективно осуществлять восстанавливающие мероприятия меры по поддержке показателей надежности конструкции, что особенно актуально в условиях ограниченного финансирования.

**Ключевые слова:** надежность, остаточный ресурс, функция деградации, вероятностный расчет, жизненный цикл конструкции.

## THE FEATURES OF RELIABILITY PROVIDING AND RESIDUAL LIFE ASSESSMENT OF BRIDGES IN DIFFICULT OPERATION CONDITIONS

SAVYTSKYI M. V. <sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
PSHIN'KO P. O. <sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,  
ZINKEVYCH A. M. <sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*

<sup>1</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskogo str., 49600, Dnipropetrovs'k, Ukraine, tel. +38(0562)47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana str., 2, 49010, Dnipropetrovs'k, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-4187-5340

<sup>3</sup> Department "Project management, buildings and building material", Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana str., 2, 49010, Dnipropetrovs'k, Ukraine, +38 (056) 373-15-46, e-mail: zam-ukr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8609-1115

**Abstract. Purpose.** The purpose of work is to examine the development of the algorithm for predicting the life of bridges in difficult conditions for further assessment of residual life of structures and effective implementation of restoration program. **Methodology.** Residual design resource forecasting is carried out on the degradation model included in codes methodology. Refinement of the result of the residual life assessment is provided by using probabilistic structure analysis (strength, crack resistance). **Findings.** The analysis of one of the aspects that complicates forecasting structures resource and reducing the effective restoration implementation, namely, the mutual influence of the states of the neighboring elements. On the basis of an example, the need of accounting the effects of some bridge elements state for the degradation function of others, which may be the determining factor in difficult operation conditions is shown. Accounting of the effects of the state of the adjacent bridge elements on their degradation function allows to adjust the weighting effect of a specific item on the technical condition of the bridge and therefore more effective to take into account the need for repair. For more accurate method for forecasting the residual resource and reliability parameters for operation, requires the periodic evaluation of the technical condition of the structure, at what the definition of degradation function must take into account complex influence of aggressive factors, the mutual influence of adjacent structures and features of the location structure in construction. **Originality.** An addition for algorithm of forecasting the life of bridges in difficult operation conditions is considered. **Practical value.** Receiving of refined features of structural elements degradation allows to carry out a refined assessment of residual life and more effectively implement of restoration measures program, which is especially important in conditions of limited funding.

**Keywords:** reliability, residual life, degradation function, a probabilistic calculation, life cycle design.

### Вступ

В роботах ряду авторів [1, 4] вказується на той факт, що дійсний ресурс залізобетонних конструкцій, зокрема, прогонових конструкцій мостів, які перебувають в експлуатації не відповідає проектному. Це свідчить про те, що конструкції

працюють в складних умовах експлуатації, всі особливості яких не враховуються при проектуванні. Крім того, значний вплив на термін служби конструкцій мають наявні в них дефекти.

Така ситуація вимагає коригування підходів до організації технічної експлуатації об'єктів, особливо в частині забезпечення ефективної системи

діагностики та оцінки технічного стану, виконання відновлювальних заходів. Крім того, важливим аспектом безпечної експлуатації транспортних об'єктів є уточнення методики прогнозування терміну служби конструкцій з врахуванням діючих впливів.

Чинна в Україні нормативна база, в тому числі ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009 [2] забезпечує виконання названих процедур. Проте, окремі питання потребують уточнення. Наприклад, для спрощення розрахункових оцінок методика для прогнозування залишкового ресурсу елементів мостів передбачає використання функцій деградації конструкцій, незмінних в часі [5]. Такий підхід не дозволяє здійснювати прогнозування терміну служби конструкцій з необхідною точністю в складних умовах експлуатації конструкцій та при взаємному впливі стану одних конструктивних елементів на технічний стан інших.

### Мета

Метою роботи є розгляд розвитку алгоритму прогнозування терміну служби прогнозованих конструкцій мостів в складних умовах експлуатації для уточнення оцінки залишкового ресурсу конструкцій та ефективної реалізації програми відновлюючих заходів.

### Методика

Згідно з [2, 5] термін безаварійної експлуатації моста прогнозується за результатом розв'язку задачі визначення часу переходу елементів моста з одного експлуатаційного стану в інший, нижчого рівня і оцінюється за допомогою моделі деградації елемента

$$P_i = 1 - 0.008333 \cdot (\lambda t)^5 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

де  $P_i$  – надійність елемента в  $i$ -му експлуатаційному стані;  $\lambda$  – параметр, інтенсивність відмов;  $t$  – час.

Вихідними даними для визначення залишкового ресурсу є надійність елемента  $P_i$  (встановлена за результатами обстеження) та час  $t_i$ , що пройшов від початку експлуатації до стану  $i$ .

З рівняння (1) знаходиться інтенсивність відмов  $\lambda$ . Далі, за відомою надійністю елемента  $P_i$  в стані  $i$  та визначеним параметром інтенсивності відмов елемента  $\lambda$  знаходиться час  $T_n$ , який пройде від початку експлуатації до досягнення конструкцією експлуатаційного стану 5 (непрацездатний) – прогнозування залишкового ресурсу.

Уточнення результату прогнозування залишкового ресурсу конструкції може бути забезпечене використанням імовірнісного розрахунку конструкції (міцності, тріщиностійкості).

Імовірнісний розрахунок дозволяє врахувати фактичні значення параметрів конструкцій та їх мінливість, отримані при виконанні обстеження.

Для імовірнісного розрахунку перерізів елементів може бути використаний чисельно-аналітичний метод чисельної лінеаризації на основі якого розроблена методика імовірнісного розрахунку нормальних перерізів згинальних елементів [7].

В якості вихідних даних для розрахунку використовуються математичні очікування геометричних і міцнісних характеристик та їх середні квадратичні відхилення.

Обчислюється математичне очікування показників міцності та тріщиностійкості  $\bar{M}$  перерізу елемента за прийнятою методикою розрахунку при середніх значеннях мінливих параметрів.

$$\bar{y} = y(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_n) \quad (2)$$

Обчислюються частинні похідні  $\partial M / \partial x_i$  функції несучої здатності для кожного мінливого параметру  $x_i$ .

При цьому частинні похідні замінюються їх кінцево-різницевою формою:

$$\frac{\partial M}{\partial x_i} = [M(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_i + h(x_i), \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n) - M(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_i - h(x_i), \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n)] / 2h(x_i) \quad (3)$$

де  $h(x_i) = 3\sigma_{x_i}$ ,  $\sigma_{x_i}$  – середнє квадратичне відхилення параметра  $x_i$ .

Визначається середнє квадратичне відхилення функції несучої здатності елемента  $\sigma_M$

$$\sigma_M = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial M}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2} \quad (4)$$

Надійність конструкцій визначається за характеристикою безпеки показників (міцності, тріщиностійкості) перерізів конструкцій, що вказує кількість середньо квадратичних відхилень ( $\sigma$ ) між математичним очікуванням та фактичним значенням.

$$P(t) = \frac{\bar{M} - M_\phi}{\sigma} \quad (5)$$

Отримані при імовірнісному розрахунку значення надійності конструкції в момент часу  $t_i$  використовуються для обчислення уточненої характеристики безпеки  $\beta$  та класифікації експлуатаційного стану.

### Результати

Для прикладу, за наведеною методикою виконаний аналіз одного з аспектів, що ускладнює прогнозування ресурсу конструкцій та ефективну реалізацію відновлюючих заходів, а саме, взаємного впливу технічних станів суміжних елементів.

В складних експлуатаційних умовах необхідне врахування комплексних впливів на функції деградації окремих конструкцій, які можуть значно змінюватись для різних періодів обстежень.

При обстеженні моста виявлені пошкодження гідроізоляції мостового полотна та водовідвідних трубок, що відносить дані конструктивні елементи до 3 та 4 експлуатаційного стану (за класифікаційними таблицями [2]). Прогонові конструкції балки за результатами обстеження віднесені до 2 та 3 експлуатаційного стану.

За наведеною в [2] методикою виконується встановлюються значення інтенсивності деградації  $\lambda$ , які для терміну експлуатації моста складуть  $\lambda_1 = 0.04$  (для прогонових конструкцій, стан 3) та  $\lambda_2 = 0.06$  (для мостового полотна, стан 4).

Відповідно, отримані значення ресурсу від початку експлуатації до досягнення стану 5 складають

$$t_1 = 52 \text{ роки (для прогонових конструкцій);}$$

$$t_2 = 35 \text{ років (для мостового полотна).}$$

Залишковий ресурс (для терміну експлуатації 30 років) складає відповідно 22 та 5 років.

Проте, прогноз терміну служби прогонових конструкцій може не відповідати фактичній ситуації, оскільки в попередні періоди (до обстеження) умови експлуатації цих конструкцій були менш жорсткими (при ефективній роботі гідроізоляції та водовідвідних трубок). З пошкодженням гідроізоляції умови експлуатації окремих зон конструкцій значно змінилися з прискоренням інтенсивності деградації в майбутні періоди. Крім карбонізації бетону на стан конструкцій будуть значно впливати такі фактори як морозна деструкція в зоні насичення (особливо сольовими розчинами) та корозія арматури при підвищених концентраціях хлористих солей.

Таким чином, врахування впливу стану одних елементів моста на функцію деградації інших може бути визначальним (особливо в складних умовах експлуатації).

Однією з основних задач прогнозування ресурсу конструкцій є планування їх ефективного утримання, тобто, здійснення ремонтно-відновлювальних заходів.

Для встановлення термінів та видів ремонту за методикою [2] використовується експертна експлуатаційна оцінка, в якій вплив стану групи елементів приймається з врахуванням вагового коефіцієнта.

Для груп елементів в розглянутому прикладі вагові коефіцієнти складають  $\alpha_1 = 0.38...0.46$  (для прогонової конструкції) та  $\alpha_2 = 0.06...0.07$  (для мостового полотна).

Тобто, незадовільний стан гідроізоляції буде мати достатньо незначний вплив на оцінку технічного стану моста в цілому і при плануванні відновлюючих заходів необхідність першочергового відновлення системи гідроізоляції для збереження основної конструкції не буде достатньо очевидною. Хоча, вплив стану гідроізоляції мостового полотна на залишковий ресурс прогонової конструкції може бути достатньо суттєвим.

Врахування впливів стану суміжних елементів моста на функції їх деградації дозволить коригувати ваговий коефіцієнт впливу певного елемента на технічний стан моста і відповідно, ефективніше враховувати необхідність його ремонту.

Виходячи з наведеного прикладу, можна розглянути шляхи забезпечення надійності конструкцій.

В роботі [6] відзначається, що переважно існуючі підходи розглядають принципи забезпечення надійності, засновані на забезпеченні «безпечного ресурсу» – призначенні запасів несучої здатності конструкцій. Шлях забезпечення надійності, пов'язаний із проведенням контрольно-перевірочних робіт, ремонтом і заміною частин конструкцій, з іншими діями при експлуатації, досліджений значно менше та практично не нормований.

Проте, необхідний рівень надійності споруди не може бути забезпечений тільки в рамках вимог норм проектування, які встановлюють його мінімальний рівень. Ця нормативна надійність надається конструкції проектом, повинна бути реалізована в процесі будівництва та збережена в процесі експлуатації [3].

Споруда (конструкція) може розглядатись, як об'єкт, що змінює свої властивості в змінному середовищі. Тому, заходи із забезпечення надійності та довговічності повинні супроводжувати його протягом всього життєвого циклу. Варто відзначити, що протягом експлуатації змінюються не тільки параметри конструкцій споруди, але і об'єм інформації про них (накопичуються дані обстежень з оцінкою параметрів та зміною їх у часі, виявляються дефекти в конструкціях і т.д.), що необхідно враховувати при прогнозуванні ресурсу. Адже в багатьох випадках однотипні конструктивні елементи значно різняться за своїм технічним станом навіть в межах однієї споруди (будівлі).

Крім того, незважаючи на значні початкові витрати на „безпечний ресурс“, таке рішення не гарантує необхідної надійності та довговічності внаслідок можливої зміни умов експлуатації, впливу наявних дефектів та інших причин. Надання ж конструкції обґрунтованого рівня резерву, та забезпечення протягом експлуатації системи утримання є ефективним шляхом, особливо для унікальних споруд (мостів), де забезпечується ефективна система нагляду та відновлення конструкцій [8,10,11].

На сьогодні значна кількість робіт присвячена оптимізації вартості життєвого циклу споруд [9,12], де оцінюється ефективність збільшення початкової вартості об'єкта внаслідок застосування того чи іншого рішення (підбір властивостей матеріалів, антикорозійного захисту) проти подовження терміну його служби або зменшення затрат на ремонт, та планування системи відновлюючих заходів.

Одним із засобів для такого аналізу є модель прогнозування терміну служби, використана в програмному комплексі “Life-365” [9], який дозволяє

оцінити вартість всього життєвого циклу конструкції, включаючи початкові затрати при зведенні та прогнозовані затрати на відновлення, проаналізувати ефективність окремих засобів підвищення корозійної стійкості або їх комплексного застосування.

Методика, реалізована в "Life-365" може застосовуватись не тільки як інструмент для аналізу технічних рішень при створенні конструкції, але і при аналізі ефективності тих чи інших рішень при відновленні та догляді за конструкцією.

Таким чином, для уточнення методики прогнозування залишкового ресурсу та забезпечення показників надійності протягом експлуатації необхідна періодична оцінка технічного стану конструкції, при чому визначення функції деградації повинно враховувати комплексний вплив агресивних факторів, взаємний вплив суміжних конструкцій та особливості розташування конструкції в об'ємі споруди.

### Наукова новизна та практична значимість

Розглянуте доповнення алгоритму прогнозування терміну служби прогонових конструкцій мостів в складних умовах експлуатації. Отримання уточнених функцій деградації конструктивних елементів та їх перерізів дозволить отримувати уточнену оцінку

залишкового ресурсу та більш ефективно здійснювати відновлюючі заходи для підтримки показників надійності конструкції, що особливо актуально в умовах обмеженого фінансування.

### Висновки

1. Надання конструкції початкового „безпечного ресурсу” не гарантує необхідної надійності та довговічності внаслідок можливої зміни умов експлуатації, впливу наявних дефектів та інших причин. Тому, заходи із забезпечення надійності та довговічності повинні супроводжувати конструкцію протягом всього життєвого циклу.

2. При оцінці залишкового ресурсу необхідно враховувати комплексність впливів на функції деградації окремих конструкцій, які можуть значно змінюватись для різних періодів обстежень.

3. Отримання уточнених функцій деградації конструктивних елементів та їх перерізів дозволить виконувати уточнену оцінку залишкового ресурсу та більш ефективно здійснювати відновлюючі заходи для підтримки показників надійності конструкції, що особливо актуально в умовах обмеженого фінансування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильев А. И. Вероятностные оценки срока службы эксплуатируемых автодорожных мостов в условиях коррозии арматуры. / А. И. Васильев // Бетон и железобетон. – 2003. - №2. С. 17-20.
2. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів: – На заміну ВБН В.3.1-218-174-2002. – [Чинні від 2010-03-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
3. Иосилевский Л. И. Проблемы надежности железобетонных мостовых конструкций / Л. И. Иосилевский. // Бетон и железобетон. – 1999. №1. С. 23-26.
4. Лантух-Лященко А. И. В поисках концепции управления долговечностью элементов железобетонных автодорожных мостов. – Режим доступа: [http://publications.ntu.edu.ua/problems\\_of\\_transport/PT\\_09\\_2012/215-223.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/problems_of_transport/PT_09_2012/215-223.pdf)
5. Лантух-Лященко А. И. Нормативне регулювання у сфері проектування та експлуатації мостів / А. И. Лантух-Лященко // Вестник ХНАДУ. Вып. 58. 2012. С. 7-15.
6. Перельмутер А. В. Развитие требований к безотказности сооружений / А. В. Перельмутер // Вестник ТГАСУ № 1, 2015. С. 81-101.
7. Савицкий Н. Методы вероятностного расчета железобетонных конструкций и оценка их точности / Н. Савицкий, Н. Швец, Е. Тищенко // Theoretical Foundations of Civil Engineering, No 9.-Warsaw: Wydawniczej Politechniki Warszawskiej, 2001.-pp.153-158.
8. Chen Hua-Peng. Symptom-based reliability analyses and performance assessment of corroded reinforced concrete structures / Chen Hua-Peng, Xiao Nan // Structural Engineering and Mechanics, Vol. 53, No. 6 (2015), pp. 1183-1200.
9. Ehlen M. A. Life-365 service life prediction model version 2.0 / M. A. Ehlen, M. D. A. Thomas, E. C. Bentz // Concrete international, May 2009, pp. 41-46.
10. Gjørn Odd E. Durability design and quality assurance of major concrete infrastructure / Gjørn Odd E. // Advances in Concrete Construction, Vol. 1, No. 1 (2013), pp. 45-63.
11. Rostam Steen. Service life design of concrete structures – an experience-based discipline becoming scientific / Rostam Steen // Structural engineering and materials (2000), pp. 131-150.
12. Sabtu Hilyati B., Stewart Mark G. Reliability Analysis and Life Cycle Costing Of Rehabilitation Strategies for RC Structures Exposed To Marine Environment. Available at: <http://eprints.uthm.edu.my/2822/1/Hilyati.pdf>

### REFERENCES

1. Vasiliev A. I. Probabilistic estimation of the life of road bridges operated under conditions of reinforcement corrosion. Concrete and reinforced concrete, 2003 №2. pp. 17-20.

2. DSTU-N B V.2.3-23:2009. Directive for maintenance state assessing and predicting of highway bridges. – K. : Minregionbud Ukrainy, 2009. – 49 p.
3. Iosilevskiy L. I. Problems of reliability of reinforced concrete bridge structures. Concrete and reinforced concrete, 1999 №1. from. 23-26.
4. Lantukh-Lyashenko A. Finding durable management concept of reinforced concrete highway bridges. Available at: [http://publications.ntu.edu.ua/problems\\_of\\_transport/PT\\_09\\_2012/215-223.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/problems_of_transport/PT_09_2012/215-223.pdf)
5. Lantukh-Lyashenko A. I. Normative regulation in the field of designing and maintenance of bridges. Vestnik HNADU, vyp. 58, 2012. pp. 7-15.
6. Perel'muter A. V. Structural reliability requirements. Vestnik TGASU № 1, 2015. pp. 81-101.
7. Savitsky N., Shvets N., Tishchenko E. Probabilistic calculation methods of reinforced concrete structures and assess of their accuracy / Theoretical Foundations of Civil Engineering, No 9.-Warsaw: Wydawniczej Politechniki Warszawskiej, 2001.-pp.153-158.
8. Chen Hua-Peng, Xiao Nan. Symptom-based reliability analyses and performance assessment of corroded reinforced concrete structures. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 53, No. 6 (2015), pp. 1183-1200.
9. Ehlen M.A., Thomas M.D.A., Bentz E.C. Life-365 service life prediction model version 2.0. Concrete international, May 2009, pp. 41-46.
10. Gjørnv Odd E. Durability design and quality assurance of major concrete infrastructure. Advances in Concrete Construction, Vol. 1, No. 1 (2013), pp. 45-63.
11. Rostam Steen. Service life design of concrete structures – an experience-based discipline becoming scientific. Structural engineering and materials (2000), pp. 131-150.
12. Sabtu Hilyati B., Stewart Mark G. Reliability Analysis and Life Cycle Costing Of Rehabilitation Strategies for RC Structures Exposed To Marine Environment. Available at: <http://eprints.uthm.edu.my/2822/1/Hilyati.pdf>

Статья поступила в редколлегию 25.08.2016