https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.054

УДК 624.4:539.374

Бабков О. В., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0001-5075-4239*
Дехтяр А. С., *д-р техн. наук, професор, https://orcid.org/0000-0002-6838-0770*

Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, м. Київ, Україна

МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація

Вступ. Публікації останніх роки свідчать про інтерес фахівців до проблеми експлуатації будівельних конструкцій. Він викликаний недостатнім фінансуванням, що веде до накопичення об'ємів відкладених ремонтів, було навіть запропоновано вводити в несні конструкції сигнальні елементи, поведінка яких змушувала б замислитися про початок розумної експлуатації.

Проблематика. У зв'язку з цим слід зазначити такі обставини.

– Оскільки деградація властивостей споруди починається негайно після закінчення її зведення, здійснювати експлуатаційні заходи необхідно одночасно з початком експлуатації, а не пізніше – після певного нагадування.

– Сучасна будівельна наука дозволяє теоретично і достатньо точно передбачати погіршення властивостей конструкцій і відповідно будувати план експлуатації, не вдаючись до додаткових натурних вимірювань.

Серед причин деградації властивостей будівельних конструкцій основною є корозія сталі і бетону – атмосферна, в агресивних газових і рідких середовищах. Корозійне руйнування бетону пов'язано з розчиненням компонентів цементного каменя, його взаємодією з кислотами, з утворенням і кристалізацією в порах нерозчинних речовин.

Мета роботи – побудова методики планування експлуатаційних заходів для того, щоб забезпечити безпечну роботу споруди протягом заданого періоду.

Матеріали і методи. Методику розроблено на основі аналізу деградації будівельних конструкцій та вартості відновлювальних робіт.

Результати. Запропоновані пропозиції носять методичний характер і не претендують на широкі узагальнення. Проте, можна зауважити, що правильна експлуатація конструкції повинна ґрунтуватися на спільному аналізі обох кривих – деградації несних властивостей і вартості ремонтів.

Висновки. Запропоновано методику планування експлуатаційних заходів для забезпечення безпечної роботи споруди протягом заданого періоду.

Ключові слова: будівельні конструкції, експлуатація споруд, планування ремонтів, терміни відновлювання.

Вступ

Відомо [1, 2, 3], що споруди з плином часу втрачають свої властивості. Таке погіршення починається від самого початку експлуатації. Будівельні конструкції під впливом сталих і змінних навантажень, а також під дією зовнішнього середовища втрачають міцність – несну здатність, збільшують прогини, втрачають стійкість форм рівноваги. Всі такі процеси мають загальну назву «деградація». В певний момент деградація збільшується настільки, шо унеможливлює подальшу безпечну експлуатацію споруди.

Термін безпечної експлуатації споруди ніколи не був і наразі не є предметом проектування. Жодні норми не містять рекомендації про те, як проектувати споруду з заданим терміном 47 років або, наприклад, 69 років. Споруду спроектовано, побудовано, і вже експлуатаційні організації визначають, що з нею робити далі. Проте навіть якщо під час проектування споруди було би все ж таки призначено певну тривалість її безпечної експлуатації, то і в такому випадку скоріш за все через брак коштів в момент вичерпання заданого терміну заміну конструкцій зроблено не буде, натомість найвірогідніше буде ухвалено рішення про продовження експлуатації. Відтак виникає задача про терміни і об'єми відновлювальних робіт. В загальному ж випадку така задача виникатиме і в межах початково запроектованого періоду. Залежно від подовженої тривалості експлуатації може бути здійснено один або декілька ремонтів.

Для планування експлуатації споруд існують комп'ютерні програми, зокрема для мостів відомі системи експлуатації Pontis, Bridgit, BMS та ін. Вони в своїх розрахунках найчастіше виходять з поняття – надійність споруди. Надійність споруди – узагальнене поняття, воно охоплює різні сторони роботи конструкцій, тому важко отримати рекомендації про терміни і об'єми відновлювальних робіт відносно конкретних будівельних конструкцій.

За визначенням «надійність» – є ймовірність невиходу параметрів споруди за границі допустимої області, і, як будь-яка ймовірність, вона ґрунтується не на матеріальних оцінках і об'єктах, а на ступеню нашої інформованості про ту чи іншу подію.

В цьому досліджені виходимо з того, що оцінкою придатності до подальшої експлуатації є лише одна характеристика споруди – несна спроможність. Її можна оцінювати розрахунком, тому відпадає потреба в різних інших підходах, зокрема в експертних оцінках.

Не існує несності споруди в цілому, її несність визначається несністю окремих конструкцій, а вона може бути різною. В складі споруди її елементи можуть експлуатуватися в різних умовах. відтак можуть мати неоднакові терміни безпечної експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Пропонується підхід, який полягає в тому, що в кожній споруді формується певна кількість груп елементів, які знаходяться в однакових умовах, тому мають однаковий термін безпечної роботи. Можна уявити собі три залізобетонні балки, однакові за розмірами та за використаними матеріалами. Для прикладу в споруді залізничного вокзалу одна з таких балок може знаходитись всередині опалюваного приміщення, інша розташована на відкритому пероні проте під покрівлею, а третя працює в складі віадуку над коліями. Кожну з цих балок треба віднести до трьох різних груп конструкцій, тому що вони матимуть різні умови експлуатації.

Відомо [1, 2], що передчасні ремонти економічно невигідні, оскільки гроші ще «дорогі», хоча об'єми робіт порівняно невеликі. Так само запізнілі ремонти виконуються після суттєвого знецінення грошей, проте швидко збільшуються об'єми відновлювальних робіт. Отже, маємо оптимізаційну задачу про найкращі терміни виконання експлуатаційних заходів. Таких заходів може бути один або декілька залежно від терміну подовженої експлуатації споруди.

Не тільки терміни, але й об'єми ремонтних робіт також є предметом розрахунків, адже в загальному випадку необов'язково щоразу елементи споруди відновлювати до їхнього початкового стану. Проте, якщо йдеться про залізобетонні конструкції, то добетонування перерізів і відновлення арматури зазвичай відбувається саме так – до початкових розмірів. Тому для залізобетонних конструкцій друге питання – про об'єми робіт – найчастіше відпадає і залишаються лише терміни ремонтів.

В роботі [2] задачу про строки ремонтних робіт було розглянуто стосовно прогонових елементів мостів, в цьому досліджені задачу поширено на споруду в цілому. Також узагальнено вигляд цільової функції – вартості відновлювальних робіт. Нижче йдеться про відновлення залізобетонних конструкцій добетонуванням.

Задача в загальному випадку складається з трьох частин:

– моделі руйнування бетону і стальної арматури залежно від навантажень і властивостей середовища;

– оптимізаційна задача про найкращі терміни відновлювальних робіт;

– методи і способи відновлення.

Розглянемо лише середню ланку зазначеної вище послідовності. Важливим є сам факт існування тих чи інших моделей (перша частина проблеми), вони часто мають формульний вигляд і можуть в подальшому, якщо треба, бути замінені іншими залежно від умов експлуатації.

В певній споруді виберемо якусь групу конструкцій. Нехай це будуть залізобетонні балки прямокутного перерізу з розмірами b (ширина) і h (висота). Нехай робоча арматура з площею перерізу F розташована в нижній частині перерізу балки. Центр тяжіння F віддалено від нижньої поверхні балки на висоту a захисного шару.

Границю текучості арматури позначимо σ, тоді границя міцності бетону на стиск при згині дорівнюватиме $\alpha\sigma$. Балку шарнірно обперто по кінцях і рівномірно навантажено.

Товщину зруйнованого шару бетону описуватимемо співвідношенням

$$\delta = c_1 t^{C_2}. \tag{1}$$

Вичерпування несної здатності балки супроводжується утворенням одного пластичного шарніра в найнапруженішому перерізі.

Припустимо, що балка не має захищених поверхонь. Корозія зменшує розміри поперечного перерізу

$$h_1 = h - 2\delta;\ b_1 = b - 2\delta$$

де глибина пошкодженого шару описується співвідношенням виду (1). Висота стиснутої зони визначається рівністю

$$x_1 = \mu h_1 \alpha^{-1},$$

де μ – коефіцієнт армування. Плече внутрішньої пари становить $z_{01} = h_1 - 0{,}5x_1 - a$ з урахуванням його величини знаходимо граничний згинальний момент

$$M_{01} = F\sigma z_{01}. \tag{2}$$

Вираз (2) справедливий для малих $\delta < a$. Якщо ж глибина пошкодження перевищує товщину захисного шару, починається інтенсивне руйнування арматури. Зменшення площі її поперечного перерізу може бути представлено виразом

$$\Delta F = d_1 (t - t_0)^{d_2}, \tag{3}$$

де t_0 – час повного руйнування захисного шару.

Відповідно змінюється і решта величин – висота стиснутої зони і плече внутрішньої пари

$$x_2 = (F - \Delta F)/(\alpha b_1);\ z_{02} = h_1 - 0{,}5x_2 - a,$$

а також граничний згинальний момент

$$M_{02} = (F - \Delta F)\sigma z_{02}.$$

Отже, лінія зменшення в часі несності має дві ділянки (рис. 1), розділені моментом початку корозії арматури.

Рисунок 1 – Залежність граничного згинального моменту від часу експлуатації та вартості експлуатаційних заходів

Допустиму величину $M_0 = 140$ кНм граничного згинального моменту показано на рис. 1 горизонтальною лінією. Її перетин з графіком деградації міцності дозволяє визначити час t_1 до якого можлива безпечна експлуатація балки без будь-яких відновлень і ремонтів. Якщо ж балку треба експлуатувати довше, необхідні додаткові експлуатаційні заходи. Основна задача тут – визначення часу проведення таких робіт.

Хоча задача, що розглянута, в загальному випадку припускає визначення якнайкращих часу і об'єму відновлювальних робіт [1, 2], у застосуванні до балки, швидше за все, буде проведене повне, а не часткове відновлення перерізу, тобто відновлення до первинних розмірів. Тому задача спрощується і зводиться до визначення тільки найкращого часу ремонту конструкції. Крім того, при повному відновленні перерізу в першому наближенні можна прийняти, що вартість робіт пропорційна до глибини δ пошкодженого бетону, принаймні, до моменту t_0 повного руйнування захисного шару. Загалом же цільова функція – вартість відновних робіт – може бути представлена співвідношенням

$$z = (f_1\delta(2b_1 + 2h_1) + f_2F)(1 + e)^{-t}, \qquad (4)$$

де f_1, f_2 – параметри, величина δ визначається виразами виду (1),

e – коефіцієнт економічної ефективності. Така цільова функція окрім вартості відновлення первинних розмірів перерізу містить ще й вартість ремонту арматури. З практичної точки зору часткове відновлення арматури складніше, ніж її заміна, тому в другому доданку в (4) введено повну площу перерізу *F*, а не її пошкоджену частину.

Розглянемо перший приклад – залізобетонну балку з розмірами перерізу $b \times h = 24 \times 40$ см з коефіцієнтом армування розтягнутої зони $\mu = 0{,}025$. Границя текучості стальної арматури прийнята $\sigma = 240$ МПа. Моделі корозійного пошкодження (1) і (3) представлено параметрами $c_1 = 0{,}6;\ c_2 = 0{,}5; d_1 = 0{,}1;\ d_2 = 0{,}4$, а цільова функція – $f_1 = 0{,}001;\ f_2 = 0{,}002$. Крім того $\alpha = 0{,}1; e = 0{,}12$.

На рис. 1 відображено зменшення несної здатності балки в часі (спочатку вона становила $M = 181{,}7$ кНм). Якщо допустима величина несності $M_0 = 140$ кНм, то свої несні властивості балка вичерпує до кінця 15 року. Якщо ж треба подовжити термін експлуатації ще на 12 років – до 27 року від початку експлуатації, то потрібні відновлювальні заходи.

На тому ж рис. 1 але в іншій системі координат (див. праву крайку) наведено графік змінювання вартості експлуатаційних заходів (С). В межах початкового періоду найменшій вартості відповідає момент повного руйнування захисного шару бетону й початку руйнування арматури.

Намагання подовжити строк експлуатації балки можна розглядати як поступальне перенесення ділянки графіка на відповідну відстань *n - n*, як показано на рис. 1.

На графіку вартості робіт можна вгледіти точку *m* мінімуму, але зазвичай вона розташована набагато пізніше (правіше на графіку), ніж треба, тому єдиною точкою, вартою уваги, є точка, що відповідає часу t_0.

Виникає едино можливий висновок про те, що якщо погодитися з повним відновлюванням щоразу конструкції до початкового стану, то отримуємо просту рекомендацію – виконувати ремонтні роботи в моменти перед початком корозії арматури.

Як видно з викладеного вище, для повного опису задачі мають бути задані наступні параметри:

– висота захисного шару a;
– коефіцієнт поздовжнього армування μ;
– границя текучості арматури σ;
– міцність бетону на стиск при згині α;
– допустима величина згинального моменту M_0;
– коефіцієнти c_1, c_2 моделі руйнування бетону;
– коефіцієнти d_1, d_2 корозії арматури;
– коефіцієнти f_1, f_2 цільової функції;
– коефіцієнт економічної ефективності e.

В складі певної споруди мають бути утворені декілька груп несних елементів. Відмінність хоча би одного з перелічених параметрів переводить елемент до іншої групи, відтак іншими будуть і результати розрахунків.

Розглянемо приклад 2, в якому за умов прикладу 1 будемо змінювати лише один параметр – висоту *a* захисного шару в інтервалі 1,8 – 2,8 см. Результати подано в табл.1

Таблиця 1

Оцінка зміни показників вартості відновлюваних робіт в залежності від технічних параметрів (приклад 2)

Найменування параметрів	Показники			
Група елементів за товщиною захисного шару *a*, см	1,8	2,0	2,4	2,8
Момент t_0. повного руйнування захисного шару, рік	9	12	16	22
Момент t_1. вичерпання несності балки, рік	13	15	18	23
Вартість відновлювальних робіт на момент t_0, умов. грош. од.	7,84	6,41	4,64	2,69
Вартість відновлювальних робіт на момент t_1, умов. грош. од.	9,55	8,88	7,39	6,51

Припустимо тепер, що вирішено експлуатувати споруду 20 років. З таблиці 1 випливає, що для перших трьох груп конструкцій маємо планувати відновлення. Якщо прийняти зроблену вище пропозицію, то першу балку доведеться ремонтувати двічі – в 9 і 18 році. Перший ремонт для неї коштуватиме, як видно з табл. 1, 7,84 умовних грошових одиниць, а другий, виконуваний на 9 років пізніше, лише – 2,82 умовних грошових одиниць, тож сума всіх п'ятьох доданків становить 21,9 умовних грошових одиниць. Якщо ж будемо чекати до останньої миті, що передує вичерпанню несності цих елементів, то три перші балки буде відремонтовано в 13, 15 і 18 роки від початку експлуатації, а сумарну вартість робіт в такому випадку отримаємо додаванням перших трьох чисел з останнього рядка табл. 1. Ця сума становить 24,71 умовних грошових одиниць, це на 13 % більше від попередньої. В цьому прикладі четверта балка не потребує відновлюваних заходів.

Ще один приклад (приклад 3) від двох попередніх відрізняється змінюванням лише коефіцієнта c_1 в моделі деградації бетону – швидкості руйнування, інші параметри – як в прикладі 1. Результати обчислень наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Оцінка зміни показників вартості відновлюваних робіт в залежності від технічних параметрів (приклад 3)

Найменування параметрів	Показники		
Група елементів за швидкістю C_1 руйнування захисного шару	0,8	0,6	0,4
Момент t_0 повного руйнування захисного шару, рік	7	12	25
Момент t_0 вичерпання несності балки, рік	10	15	28
Вартість відновлювальних робіт на момент t_0, умов. од.	11.15	6,41	4,40

В цьому прикладі видно, що для заданого терміну експлуатації 20 років конструкції першої групи мають відновлюватися двічі, а другої групи – один раз протягом такого терміну.

Висновок

Запропонована методика планування експлуатаційних заходів для забезпечення безпечної роботи споруди протягом заданого періоду дозволяє врахувати умови експлуатації споруди від якого залежить момент повного руйнування захисного шару.

Список літератури

1. Дехтяр А. С. Планування експлуатації залізобетонних мостів. Наукові праці Міжнародного семінару «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій». Луцьк, 2002. С. 16-19.

2. Дехтяр А. С., Коваль П. М. Про корисність своєчасних ремонтів мостів. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2006. N 11. С. 219-222.

3. Иосилевский Л. И. Практические методы управления надежностью железобетонных мостов. Москва, 1999. 295 с.

REFERENCES

1. Dekhtiar A. S. Planuvannia ekspluatatsii zalizobetonnykh mostiv. Naukovi pratsi Mizhnarodnoho seminaru «Mekhanika i fizyka ruinuvannia budivelnykh materialiv i konstruktsii». Lutsk, 2002. P. 16-19.
2. Dehtyar A. S., Koval P. M. On the usefulness of timely repairs of bridges (On the usefulness of timely repairs of bridges). *Vìsnik Nacìonal'nogo transportnogo unìversitetu*. Kyiv, 2006. 11. P. 219-222.
3. Yosylevskyi L. Y. Prakticheskie metodyi upravleniya nadezhnostyu zhelezobetonnyih mostov (Practical methods for managing the reliability of reinforced concrete bridges). Moscow, 1999. 295 p.

Oleksandr Babkov, *Ph.D*, *https://orcid.org/0000-0001-5075-4239*
Anatolii Diekhtiar, *D.Sc, Professor, https://orcid.org/0000-0002-6838-0770*

National Academy of Fine Art and Architecture, Kyiv, Ukraine

PLANNING METHOD OF BUILDING STRUCTURES MAINTENANCE

Abstract

Introduction. The publications of the last years testify to the interest of specialists to the problem of building structures operation. It is caused by the insufficient financing that conduces to accumulation of volumes of the postponed repairs; it was even offered to enter the signaling elements in the bearing structures which behavior would force to think of the beginning of a reasonable operation.

Problem Statement. In this connection it should be noted such circumstances:

– As the degradation of properties of the building structure begins immediately after ending of its installation, carrying out the operating measures should be started simultaneously with the beginning of operation, but not later – after some reminders.

– Modern building science allows in a theory and enough exactly to predict the deterioration of the properties of structures and accordingly to issue the plan of its operation, excluding the additional scale measuring.

Among the reasons of the properties degradation of building structures, the basic one is the corrosion of steel and concrete – the atmospheric one, in aggressive gas and liquid environments. Corrosive deterioration of concrete is related to the dissolution of the components of cement stone, its interaction with acids, with crystallization in the pores of insoluble matters.

Objective – is to develop the technique for planning the method for operating the planning in order to provide safe work of the building facility during the set period.

Materials and Methods. Materials in this work were not used, methods have not used.

Results. The suggestions presented here, carry a methodical character and do not apply on wide generalizations. Nevertheless, it is possible to state that the correct operation of structures must be based on the joint analysis of both curves – degradations of bearing properties and the cost of repairs.

Conclusions. The method of planning of operating measures for providing the safe work of building facility during the set period is offered.

Key words: building facilities, operation of facilities, the repairs planning, renovation terms.