

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ФУНДАМЕНТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОНІТОРИНГУ

Матченко Т.І., Шаміс Л.Б., Первушова Л.Ф.
ПАТ «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський
інститут «Енергопроект»

Матченко П.Т.
ДНТЦ ЯРБ ДП Держатомрегулювання України
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: Викладено методи з визначення залишкового ресурсу фундаментів за результатами моніторингу механізмів деградації матеріалів, конструкцій, агресивності середовища експлуатації, навантажень. Підходи враховують нелінійний характер накопичення пошкоджень підконтрольного параметру кожного механізму деградації.

АННОТАЦИЯ: Изложены методы определения остаточного ресурса фундаментов по результатам мониторинга механизмов деградации материалов, конструкций и агрессивности среды эксплуатации, нагрузок. Подходы учитывают нелинейный характер накопления повреждений по контролируемому параметру для каждого механизма деградации.

ABSTRACT: Methods of determining the residual life of foundations according to the results of the monitoring of degradation mechanisms of materials, structures and aggressive operating environment, loads are expounded. The methods take into account the non-linear nature of the damage accumulation of controlled parameters for each degradation mechanism.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: моніторинг, ресурс, пошкодження, деградація.

У відповідності з [1] оцінка технічного стану фундаментів є однією із регламентованих процедур, які виконуються з метою перевірки рівня надійності (безвідмовності) і довговічності конструкцій і встановлення можливості їх використання за призначенням у передбачених проектом

умовах на певний строк експлуатації, що прогнозується. Результатом обстежень будівель і споруд, що тривалий час експлуатуються, є визначення технічного стану конструкцій; їх надійності або запасів стійкості до техногенних впливів та визначення їх довговічності або залишкового ресурсу.

На сьогоднішній день в нормативних документах України і в публікаціях відсутня методика визначення залишкового ресурсу фундаментів за визначеним їх технічним станом на підставі обстежень.

Ціль роботи – викласти методику визначення залишкового ресурсу фундаментів, що знаходяться в експлуатації за визначеним їх технічним станом на підставі обстежень, та викласти методику визначення залишкового ресурсу нелінійною екстраполяцією визначаючих ресурс параметрів.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МЕТОДОМ НЕЛІНІЙНОЇ (СТЕПЕНЕВОЇ) ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ПІДКОНТРОЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

У відповідності до вимог діючих нормативних документів фундамент вважається працездатним, якщо для нього виконується серія нерівностей:

$$P_i \leq \gamma_c \cdot P_{ui}, (i=1,2,\dots,m), \quad (1)$$

де P_i – параметри, які контролюються, кожний з яких має свій індекс (i); P_{ui} – критичне значення підконтрольного параметру з відповідним індексом; γ_c – коефіцієнт умов роботи або коефіцієнт надійності, який менше або дорівнює одиниці; $\gamma_c \cdot P_{ui}$ – допустиме значення параметру, який контролюється з відповідним індексом.

Критичний стан досягається, коли нерівність перетворюється в рівність, або коли виконується умова [2]:

$$F[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t), y_1, y_2, \dots, y_n] \leq 1, \quad (2)$$

де F – функція компонент нерівності $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t), y_1, y_2, \dots, y_n$, яка є функцією часу.

Аргументи першої групи $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)$ залежать від часу і називаються визначаючими параметрами. Як правило, визначаючими параметрами є параметри, які контролюються протягом моніторингу (візуальних і інструментальних обстежень). Аргументи другої групи y_1, y_2, \dots, y_n не залежать від часу і є константами. Як правило, це коефіцієнти умов роботи, геометричні розміри елементів. При визначенні залишкового ресурсу використовується представлення нерівностей у

вигляді (2). Залежність визначаючого параметру від часу приймається степеневою.

Метод визначення залишкового ресурсу будівельних конструкцій полягає в припущенні, що залежність визначаючих параметрів (X_i) в часі (t) вважається степеневою (n) у вигляді:

$$X_i = V_i \cdot t^n + X_{i0}, (i=1,2,\dots,m), \quad (3)$$

де X_i – визначаючий параметр; n – показник ступеня; t – час, який вираховується з початку будівництва або монтажу конструкції, рік; V_i – швидкість зміни визначаючого параметру з розмірністю X_i/t^n ; X_{i0} – значення визначаючого параметру в момент часу $t = 0$.

Для оцінки залишкового ресурсу фундаменту необхідно визначити швидкість зміни визначаючих параметрів V_i . Швидкість зміни визначаючого параметра вираховується на підставі замірів цього параметра в натурі під час обстеження в два різних моменти часу t_1 і t_2 , з інтервалом в декілька років. Кількість вимірювань в кожному моменті часу повинна бути достатньою для отримання забезпеченості $\alpha \geq 0,5$ (кількість вимірювань не менше 5). Залишковий ресурс для елемента дорівнює мінімальному значенню із усіх обчислених ресурсів по усім визначаючим параметрам для цього фундаменту. Швидкість зміни визначаючого параметру X_i визначається за формулою:

$$V_i = (X_{i2} - X_{i1}) / (t_2^n - t_1^n) (i=1,2,\dots,m), \quad (4)$$

де X_{i1} – значення визначаючого параметру в момент часу $t = t_1$ (попереднє обстеження); X_{i2} – значення визначаючого параметру в момент часу $t = t_2$ (попереднє обстеження).

Прийmemo позначення $\omega_k(t)$, ω_{ku} – параметр пошкодження матеріалу внаслідок корозії бетону чи арматури і його критичне значення, які вимірюються в долях від одиниці втрати товщини листа або профілю протягом експлуатації; $\omega_c(t)$, ω_{cu} – параметр пошкодження матеріалу внаслідок відносної різниці осідань фундаменту ($\Delta S | L$) протягом експлуатації в порівнянні з його критичними значеннями; $\omega_R(t)$, ω_{Ru} – параметр пошкодження матеріалу бетону і арматури внаслідок деформаційного старіння і його критичне значення для першої групи критичних станів, який вимірюється в долях від одиниці збільшення або зменшення опору матеріалу $R(t)$ протягом експлуатації в порівнянні з його значеннями на початку експлуатації при $t = 0$; Таким чином:

$$\omega_k(t) = \{h(t=0) - h(t)\} / \{h(t=0) - [h]\}, \quad (5)$$

$$\omega_C(t) = |(\Delta S | L)(t=0) - (\Delta S | L)(t)| / \{(\Delta S | L)(t=0) - [(\Delta S | L)]\}, \quad (6)$$

$$\omega_R(t) = |R(t=0) - R(t)| / \{[R] - R(t=0)\}, \quad (7)$$

де $h(t=0)$ – товщина захисного шару бетону або діаметр робочої арматури на початку експлуатації, мм; $h(t)$ – товщина захисного шару бетону або діаметр робочої арматури на час (t) експлуатації, мм.

Можна записати:

$$\omega_k(t) = V_k \cdot t^n + \omega_{k0}, \quad (8)$$

$$\omega_C(t) = V_C \cdot t^n + \omega_{C0}, \quad (9)$$

$$\omega_R(t) = V_R \cdot t^n + \omega_{R0}, \quad (10)$$

де V_k – швидкість зміни параметру пошкодження матеріалу внаслідок корозії, долі / рікⁿ, V_C – швидкість зміни параметру пошкодження матеріалу внаслідок відносної різниці осідань фундаменту, долі / рікⁿ, V_R – швидкість зміни параметру пошкодження матеріалу фундаменту внаслідок деформаційного старіння для розрахунків за першою групою критичних станів, долі/рікⁿ, ω_{k0} , ω_{C0} , ω_{R0} – відповідні пошкодження на початку експлуатації при $t=0$. Залишковий ресурс для елемента фундаменту за визначається як мінімальний додатковий корінь рівняння:

$$te = [P(t) - P(t=0)]^{1/n} / V + \tau, \\ t_{p,q}^*(p) [p = 1, 2, \dots, u; q(p) = 1, 2, \dots, v(p)], \quad (11)$$

де p – номер елемента; u – кількість елементів в конструкції; $q(p)$ – номер критерію для елемента з номером (p); $v(p)$ – кількість врахованих критеріїв для визначення залишкового ресурсу t^* .

Залишковий ресурс для елемента з номером (p) визначається за формулою:

$$T_p^e = \min t_{p,q}^*(p), (p = 1, 2, \dots, u). \quad (12)$$

Він дорівнює мінімальному значенню із усіх обчислених ресурсів для цього елемента. Залишковий ресурс конструкції або споруди визначається за формулою:

$$T = \min T_p^e. \quad (13)$$

Він дорівнює мінімальному залишковому ресурсу серед усіх елементів.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА СТУПЕНЯ (N) ФУНКЦІЇ ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ МЕХАНІЗМУ ДЕГРАДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОНІТОРИНГУ

Якщо є результати визначення параметру, який контролюється, щонай-менше трьох партій інструментальних обстежень фундаменту (в кожній партії не менше 6 замірів або випробувань) з достатнім інтервалом часу між обстеженнями, то можна визначити показник ступеня (n), який найточніше моделює залежність функції екстраполяції.

Експериментальні результати визначення параметру $X_i(t)$ в часі можна задати кривою за результатами що найменше трьох обстежень. Тоді по осі абсцис на графіку слід відкласти три точки t_1, t_2, t_3 – час в роках від початку будівництва проведення першого, другого і третього обстеження; X_{i0} – значення параметру на початку експлуатації ($t=0$). Для вибору найбільш точної моделі необхідно побудувати криві, які відповідають ряду показників ступеня, наприклад $n=3; 2,5; 2; 1,5; 1; 0,5$. В порівнянні екстраполяції невідомими є параметри V_i, X_{i0} . Для визначення двох невідомих достатньо скористатися результатами двох обстежень і знайти рішення системи двох рівнянь:

$$X_i(t_1) = V_i \cdot t_1^n + X_{i0}, \quad (14)$$

$$X_i(t_2) = V_i \cdot t_2^n + X_{i0}. \quad (15)$$

Значення $X_i(t_1)$ і $X_i(t_2)$ за результатами обстежень в час t_1 і t_2 .

Знайшовши параметри V_i, X_{i0} будемо криву для моделі зі значенням показника ступеня (n), для якого знайдено V_i, X_{i0} . Далі визначасмо похибку (D) моделі в порівнянні з експериментальними даними на час обстеження t_3 за формулою:

$$D = [X_{i,експер}(t_3) - X_{i,розрах}(t_3)] / X_{i,експер}(t_3). \quad (16)$$

Виконуємо ці процедури і будемо розрахункові криві для ряду значень (n). Для кожної кривої шукаємо похибку на час обстеження t_3 в порівнянні з експериментом. Ту криву, яка дає найменшу похибку, можна вважати за теоретичну для розглянутого параметру визначеного механізму деградації.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ФУНДАМЕНТІВ ЗА ЇХ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ І ПОКАЗНИКОМ СТУПЕНЯ АГРЕСИВНОГО ВПЛИВУ СЕРЕДОВИЩА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Залишковий ресурс фундаментів можна визначати за формулами:

$$t_{зал} = t_{np} \cdot \left\{ \frac{[\omega] - \omega(t)}{[\omega]} \right\} \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (17)$$

$$t_{зал} = t_{експл} \cdot \left\{ \frac{([\omega] - \omega(t)) / ([\omega] - \omega(t=0))}{[\omega]} \right\} \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (18)$$

де $t_{зал}$ – залишковий ресурс фундаменту, рік; t_{np} – проектний ресурс фундаменту, рік; $t_{експл}$ – час експлуатації фундаменту від початку її монтажу, рік; $\omega(t)$ – відносне накопичене пошкодження фундаменту протягом експлуатації на час $t_{експл}$, яке визначається шляхом моніторингу або періодичних обстежень фундаменту, долі від одиниці; $\omega(t=0)$ – відносне пошкодження фундаменту (дефекти) на початку експлуатації $t=0$, долі від одиниці; $[\omega]$ – критично допустиме відносне пошкодження фундаменту для допустимого технічного стану на час вичерпання ресурсу, долі від одиниці; K_i – коефіцієнти впливу факторів на механізми деградації; K_1 – коефіцієнт впливу на залишковий ресурс зміни ступеня агресивності середовища і умов експлуатації за період залишкового ресурсу $t_{зал}$ в порівнянні зі ступенем агресивності середовища протягом експлуатації $t_{експл}$ (див. табл. 1); K_2, \dots, K_i – інші коефіцієнти впливу на механізм деградації, які може визначати експерт.

Таблиця 1

Ступінь агресивності середовища експлуатації на початку будівництва ($t=0$)	Ступінь агресивності середовища експлуатації на час (t)				
	Не агресивне	Слабо агресивне	Середньо агресивне	Сильно агресивне	Вкрай агресивне
Не агресивне	1	0,5	0,25	0,125	0,0625
Слабо агресивне	1	1	0,5	0,25	0,125
Середньо агресивне	1	1	1	0,5	0,25
Сильно агресивне	1	1	1	1	0,5
Вкрай агресивне	1	1	1	1	1

ЛІТЕРАТУРА

1. Обстеження і паспортизації технічного стану будівель та споруд. Національний стандарт України: ДСТУ-Н Б В.3.1-XX:201X. - Київ. Мінрегіон України, 201X.
2. РД ЭО 0624-2005 Руководящий документ «Мониторинг строительных конструкций АЭС». - Киев, 2006. – 52 с.

REFERENCES

1. prDSTU-N B V.3.1-№:201X. Inspection and certification of the technical condition of buildings and engineering structures. National standard of Ukraine. Kiev, Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. 2015 (Ua).
2. RD EO0624-2005 Monitoring of constructions of Nuclear Power Station. Fundamentals. Kiev. - 2006. P. -52. (Ru).

Стаття надійшла до редакції 06.04.2016 р.