

**DỰ BÁO TUỔI THỌ CỦA KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP
BẰNG PHƯƠNG PHÁP DÙNG HÀM SUY THOÁI**
FORECASTING THE DURABILITY OF FERRO-CONCRETE CONSTRUCTIONS
BY THE METHOD OF DEGRADATION FUNCTIONS

PHẠM VĂN THỨ

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: thupv@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài viết trình bày tóm tắt phương pháp đánh giá tuổi thọ của kết cấu bê tông cốt thép bằng phương pháp hàm suy thoái, có xét tới các tác động của môi trường xâm thực trong các mô hình tính toán như: sự thay đổi tương đối về độ bền của các lớp bê tông tiếp xúc với môi trường xâm thực; tọa độ của miền suy thoái; loại đường đẳng suy thoái.

Từ khóa: *Phương pháp hàm suy thoái, môi trường xâm thực, tuổi thọ của kết cấu bê tông cốt thép.*

Abstract

The paper summarizes the method of assessing the life of reinforced concrete structures by the regression function, taking into account the impacts of aggressive environment in the computational models such as: relative change on the durability of concrete layers in contact with aggressive environment; coordinates of the degraded domain; type isometric regression line.

Keywords: *Regression function method, aggressive environment, service life of reinforced concrete structure.*

1. Đặt vấn đề

Trong quá trình vận hành, các kết cấu bê tông cốt thép tiếp xúc với các yếu tố môi trường khác nhau như: năng lượng, vật lý, hóa học, công nghiệp,.... Việc xét tác động của các yếu tố này đến sự làm việc của kết cấu công trình được thực hiện bằng cách sử dụng các hệ số an toàn khác nhau. Các hệ số này không phản ánh đầy đủ sự làm việc thực của kết cấu và thường không tính đến cơ chế thay đổi tính chất của vật liệu dưới tác động của môi trường xâm thực. Việc tính toán độ bền và độ tin cậy của các kết cấu nên xét đến động lực học của các quá trình xảy ra trong vật liệu dưới tác động của môi trường xâm thực. Với điều này, các đặc tính cơ bản của tính kháng của bê tông đối với tác dụng của các hoạt chất hóa học phải được xác định và cơ chế tương tác của vật liệu với môi trường cũng phải được xác định.

Để đánh giá chính xác hơn về độ bền và nâng cao an toàn trong quá trình vận hành, việc tính toán kết cấu phải phản ánh sự làm việc thực tế của chúng dưới tác động kết hợp của tải trọng và môi trường xâm thực, cũng như tính đến tính chất ngẫu nhiên của các giá trị được chấp nhận trong tính toán [7].

Do đó, việc xây dựng phương pháp xác suất để tính toán kết cấu bê tông cốt thép, có tính đến ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau và phản ánh tin cậy sự làm việc thực sự của kết cấu, là một nhiệm vụ cấp bách.

2. Dự đoán độ bền của cấu kiện bê tông bằng phương pháp hàm suy thoái

Mỗi cơ chế suy thoái tương ứng với một mô hình cụ thể, cho phép mô tả quá trình suy thoái bằng các hàm riêng biệt. Dạng tổng quát của hàm suy thoái có thể được biểu diễn bằng biểu thức sau [4]:

$$D = B(t) / B(0) = f(t, T, \sigma, c, h, \alpha, a), \quad (1)$$

Trong đó: t là thời gian;
 T là nhiệt độ; σ là ứng suất;
 c nồng độ môi trường xâm thực;
 h là đặc tính hình học;
 α và a - là các thông số suy thoái.

Đối với các cấu kiện chịu nén hoặc kéo dọc trục, hàm suy thoái về độ cứng và khả năng chịu tải có thể là:

$$D(W_c) = \iint_{F(t)} E(t, y, x) dx dy / \iint_{F(0)} E(t_0, y, x) dx dy, \quad (2)$$

$$D(N_p) = \iint_{F(t)} \varepsilon(t, y, x) E(t, y, x) dx dy / \iint_{F(0)} \varepsilon(t_0, y, x) E(t_0, y, x) dx dy, \quad (3)$$

$$D(N) = \iint_{F(t)} \sigma(t, y, x) dx dy / \iint_{F(0)} \sigma(t_0, y, x) dx dy. \quad (4)$$

Đối với các cấu kiện chịu uốn hàm suy thoái về độ cứng và khả năng chịu tải có dạng sau:

$$D(W_u) = \iint_{F(t)} E(t, y, x) y^2 dx dy / \iint_{F(0)} E(t_0, y, x) y^2 dx dy, \quad (5)$$

$$D(M_p) = \iint_{F(t)} \varepsilon(t, y, x) E(t, y, x) y dx dy / \iint_{F(0)} \varepsilon(t_0, y, x) E(t_0, y, x) y dx dy, \quad (6)$$

$$D(M) = \iint_{F(t)} \sigma(t, y, x) y dx dy / \iint_{F(0)} \sigma(t_0, y, x) y dx dy. \quad (7)$$

Các hàm suy thoái, khi mô tả quá trình tương tác giữa các cấu kiện với môi trường, cho phép xét tới đặc trưng phân phối của môi trường xâm thực theo thể tích, ứng suất trên diện tích tiết diện ngang và xét tới mối quan hệ giữa các hàm suy thoái khác nhau:

$$D(N) = f \{D(W)\}; D(M) = f \{D(N)\}; D(M) = f \{D(W)\}. \quad (8)$$

Các dạng chủ yếu của các hàm suy thoái được đề xuất dưới dạng các mô hình hiện tượng [1, 3, 4, 5]. Trong các mô hình suy thoái tuyến tính, vị trí của các đường đồng mức được đặc trưng bởi hai tham số a và α , trong đó a là tọa độ của mặt suy biến, đặc trưng cho tốc độ suy biến dưới tác động của ứng suất và môi trường xâm thực; α là một đặc tính của cơ chế suy thoái, được định nghĩa là góc nghiêng của đường thẳng đồng mức so với trục tọa độ (Hình 1 a).

Để mô tả sự xuống cấp của vật liệu xi măng trong các dung dịch axit có nồng độ thấp, dựa trên phân tích đường đồng mức suy thoái (Hình 1 b), đề xuất dùng mô hình thể hiện trong Hình 1 c. Nó được áp dụng cho các vật liệu trong đó có 3 vùng được phân biệt rõ ràng trên đường đồng mức suy thoái: 1) phá hủy; 2) suy thoái tiềm ẩn; 3) cứng hóa tự nhiên.

Trong quá trình khai thác kết cấu trong các điều kiện môi trường xâm thực, thuận tiện là sử dụng chỉ báo độ sâu (a) và sự thay đổi tính chất trên bề mặt của phần tử (σ, H, E) làm tham số suy giảm. Nếu những đặc trưng sức bền - đàn hồi là mô đun đàn hồi, thì xét đến những mô hình được trình bày trong Hình 1 b, quy luật biến thiên của E dọc theo chiều cao của tiết diện h có dạng [2, 3, 4, 5]:

$$E(y) = \begin{cases} E_{\min}, \text{ khi} & (h/2 - a_0) \leq y \leq h/2 \\ E_1, \text{ khi} & (h/2 - a_1) \leq y \leq (h/2 - a_0) \\ E_1 + (E_{\max} - E_1) \frac{h/2 - a_1 - y}{a_2 - a_1}, \text{ khi} & (h/2 - a_2) \leq y \leq (h/2 - a_1) \\ E_{\max}, \text{ khi} & (h/2 - a_3) \leq y \leq (h/2 - a_2) \\ E_{\max} - (E_{\max} - E_2) \frac{h/2 - a_3 - y}{a_4 - a_3}, \text{ khi} & (h/2 - a_2) \leq y \leq (h/2 - a_1) \\ E_2, \text{ khi} & 0 \leq y \leq (h/2 - a_4) \end{cases} \quad (9)$$

Hàm suy giảm độ cứng của phần tử hình chữ nhật có kích thước $b \times h$ khi chịu nén ($D(W_c)$) được xác định bởi biểu thức:

$$D(W_c) = \frac{W_c(t)}{W_0(t)} = 2 \int_0^{h/2} E(y) b dy / (E_0 b h) \quad (10)$$

Khi tích phân biểu thức (10) có xét tới (9) chúng ta có:

$$D(W_c) = \frac{E_2}{E_0} - \frac{E_1}{E_0} \left(\frac{2a_0 - a_1 - a_2}{h} \right) - \frac{E_2}{E_0} \left(\frac{a_3 - a_4}{h} \right) + 2 \frac{E_{\min} a_0}{E_0 h} - \frac{E_{\max}}{E_0} \left(\frac{a_1 + a_2 - a_3 - a_4}{h} \right) \quad (11)$$

Nếu $a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = a_1, a_3 = a_1, a_4 = a_1, E_{\max} = E_0$ và $E_2 = E_0$, thì chúng ta nhận được mô hình dạng bậc có hàm suy giảm dạng sau:

$$D(W_c) = 1 - 2a_1(1 - E_1/E_0) / h \quad (12)$$

Nếu $a_0 = 0, a_1 = 0, a_3 = a_2, a_4 = a_2, E_{\max} = E_0$ và $E_2 = E_0$, thì chúng ta nhận được mô hình tuyến tính cho trên Hình 2 a. Hàm suy giảm có dạng:

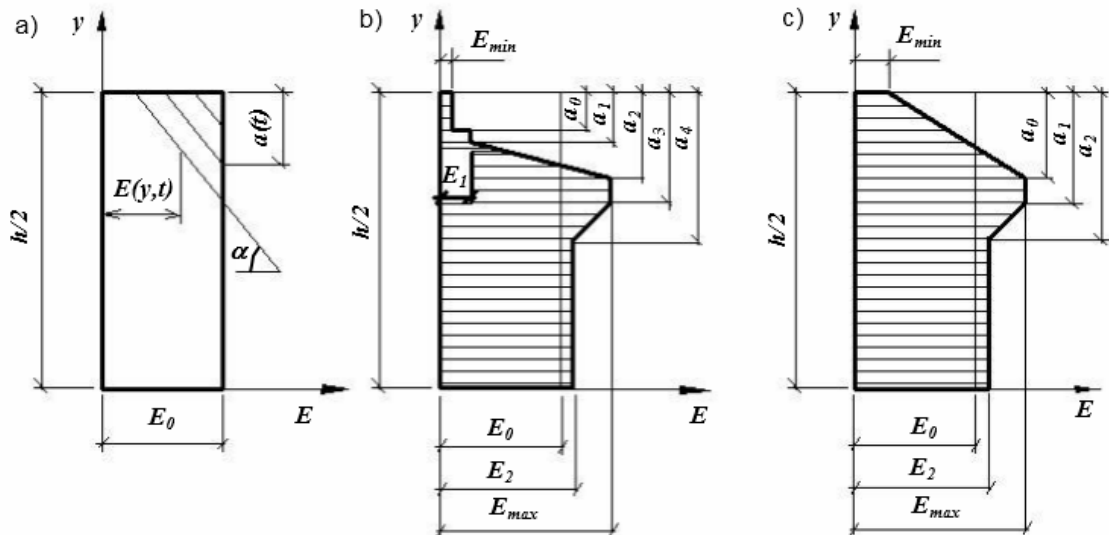
$$D(W_c) = 1 - 2a_2(1 - E_1 / E_0) / h \quad (13)$$

Nếu $a_1 = a_0$, $a_2 = a_0$, $a_3 = a_0$, $a_4 = a_0$, $E_{\max} = E_0$, $E_1 = E_0$, $E_2 = E_0$ và $E_{\min} = 0$, thì chúng ta có hàm suy thoái không đồng nhất:

$$D(W_c) = 1 - 2a_0 / h \quad (14)$$

Mô hình suy thoái đồng nhất cũng là một trường hợp đặc biệt của mô hình tổng quát, khi $a_0 = 0$, $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = h/2$, $E_{\max} = E_1$, $E_2 = E_1$:

$$D(W_c) = E_1 / E_0 \quad (15)$$



Hình 1. Mô hình hiện tượng của sự xuống cấp

3. Áp dụng hàm suy thoái để đánh giá tuổi thọ của kết cấu bê tông cốt thép

Xét một phần tử chịu uốn có tiết diện ngang hình chữ nhật bố trí cốt thép đơn (ví dụ một tấm có cốt thép ở vùng chịu kéo). Giả sử sự suy thoái của bê tông tấm do môi trường xâm thực lỏng gây ra. Khi đó, các sơ đồ tính toán có thể về cường độ (khả năng chịu tải) của mặt cắt ngang của phần tử chịu uốn, sẽ có dạng (Hình 2).

Các sơ đồ tính toán cho thấy: vùng suy thoái (x_{ij}) nằm trong vùng chịu nén ($x_i \leq x_i$); cường độ tính toán, mô đun biến dạng trong vùng suy thoái có thể thay đổi theo các luật khác nhau.

Trong Hình 2, các ký hiệu sau được sử dụng:

- R_s, R_b - là cường độ tính toán của bê tông và cốt thép;
- x_i - là chiều cao của vùng chịu nén;
- h, h_0 là tổng chiều cao và chiều cao làm việc của tiết diện;
- A_s là diện tích mặt cắt ngang của cốt thép;
- b là chiều rộng của mặt cắt ngang của phần tử;
- x_{ij} là chiều cao của vùng suy thoái.

Bổ sung thêm các ký hiệu: $\xi_0 = x/h_0$; $\xi_{ij} = x_{ij}/h_0$; $\mu = A_s/bh_0$. Khi đó, điều kiện bền có thể được viết dưới dạng bất đẳng thức sau:

$$M \leq M_{ui}, \quad (16)$$

Trong đó M_{ui} là mô men do mặt cắt ngang tiếp nhận và được xác định bởi mô hình thiết kế tương ứng $i = 0, 1, 2, 3, 4$.

Đối với mô hình tính toán 0, ta có thể viết:

$$M_{u0} = R_b b x_0 (h_0 - 0,5x_0). \quad (17)$$

vì $R_b b x_0 = R_s A_s$, nên khi ký hiệu $\xi_0 = x_0 / h_0$, chúng ta nhận được $\xi_0 = \mu(R_s / R_b)$. Khi đó công thức (17) sẽ có dạng sau:

$$M_{u0} = R_b b x_0 (h_0 - 0,5x_0) = \xi_0 (1 - 0,5\xi_0) R_b b h_0^2 = \alpha_m R_b h_0^2. \quad (18)$$

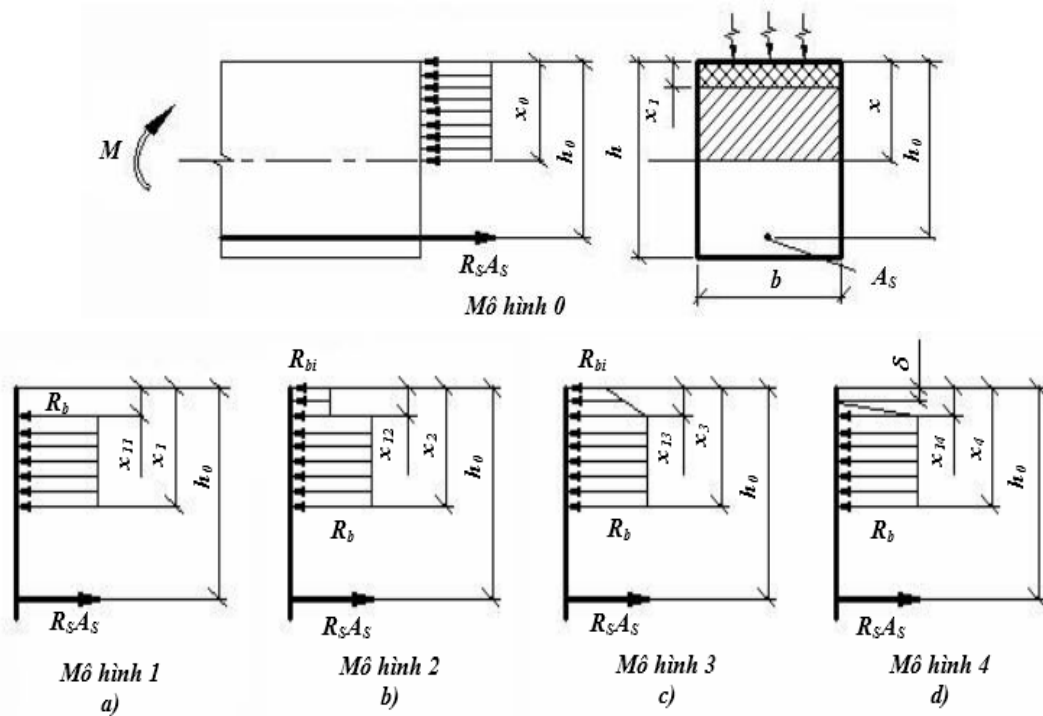
Với mô hình tính toán 1: khi phân tích có thể có hai phương trình

$$M_{u1} = R_b b (x_1 - x_{11}) [h_0 - 0,5(x_1 - x_{11}) - x_{11}]; R_b b (x_1 - x_{11}) = R_s A_s.$$

Vì $x_1 / h_0 = \xi_1$; $x_{11} / h_0 = \xi_{11}$; $R_s \mu / R_b = \xi_0$, nên $\xi_0 = \xi_1 - \xi_{11}$.

Xét tới những biến đổi ở trên ta có:

$$M_{u1} = M_{u0} \left(1 - \frac{\xi_{11}}{1 - 0,5\xi_0} \right). \quad (19)$$



Hình 2. Sơ đồ minh họa tính toán cấu kiện chịu uốn

Đối với mô hình 2: khi giải đồng thời các phương trình xác định M_{u2} và ξ_2 chúng ta nhận được:

$$M_{u2} = M_{u0} \left(1 - \frac{\xi_{12} (1 - R_{b2} / R_b)}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{0,5\xi_{12}^2 R_{b2} / R_{b0} (1 - R_{b2} / R_{b0})}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right); \quad (20)$$

$$\xi_0 = \xi_2 - \xi_{12} (1 - R_{b2} / R_b).$$

Rõ ràng là nếu trong công thức (20) lấy $R_{b2} = 0$ thì:

$$M_{u2} = M_{u0} \left(1 - \frac{\xi_{12}}{1 - 0,5\xi_0} \right); \xi_0 = \xi_2 - \xi_{12}.$$

Phân tích mô hình 3 sẽ cho biểu thức sau đây để xác định độ bền của mặt cắt ngang:

$$M_{u3} = M_{u0} \left(1 - \frac{0,5\xi_{13} (1 - R_{b3} / R_b)}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{\xi_{13}^2 (1 - R_{b3} / R_b) [0,125(1 - R_{b3} / R_b) - 1/6]}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right); \quad (21)$$

$$\xi_0 = \xi_3 - 0,5\xi_{13} (1 - R_{b3} / R_b) = R_s \mu / R_b.$$

Nếu $R_{b3} = 0$ thì:

$$M_{u3} = M_{u0} \left(1 - \frac{0,5\xi_{13}}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{\xi_{13}^2 / 24}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right); \xi_0 = \xi_3 - 0,5\xi_{13} = \frac{R_s}{R_b} \mu. \quad (22)$$

Nếu $\xi_{13} = 0$, thì $M_{u3} = M_{u0}$.

Mô hình thứ tư cho phép có được một công thức để xác định loại M_{u4} :

$$M_{u4} = M_{u0} \left(1 - \frac{0,5(\xi_{14} + \delta / h_0)}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{(0,5\xi_{14} + 0,5\delta / h_0)^2 / 6 - \xi_{14}^2 \delta / 3h_0}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right); \quad (23)$$

$$\xi_0 = \xi_4 - 0,5\xi_{14} - 0,5\delta / h_0 = R_s \mu / R_b.$$

Nếu giả sử $\delta = 0$, ta có mô hình thứ ba, với điều kiện $R_{b3} = 0$. Khi đó, hàm (23) có dạng:

$$M_{u4} = M_{u0} \left(1 - \frac{0,5\xi_{14}}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{\xi_{14}^2 / 24}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right). \quad (24)$$

Rõ ràng là các công thức (22) và (24) tương tự nhau.

Nếu $\xi_{14} = 0$, thì $\xi_0 = \xi_4 - 0,5\delta / h_0$.

$$M_{u4} = M_{u0} \left(1 - \frac{0,5\delta / h_0}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{(\delta / h_0)^2 / 24}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right). \quad (25)$$

Các biểu thức tính M_{ui} thu được cho phép xác định được các hàm suy thoái $D_i = M_{ui} / M_{u0}$.

Tác động của môi trường xâm thực trong các mô hình tính toán được tính đến bởi: sự thay đổi tương đối về độ bền của các lớp bê tông R_{bi}/R_b tiếp xúc với môi trường xâm thực; bởi tọa độ của miền suy thoái ξ_{ij} ; loại đường đẳng suy thoái.

4. Ước tính tuổi thọ của các cấu kiện bê tông cốt thép bằng phương pháp hàm suy thoái

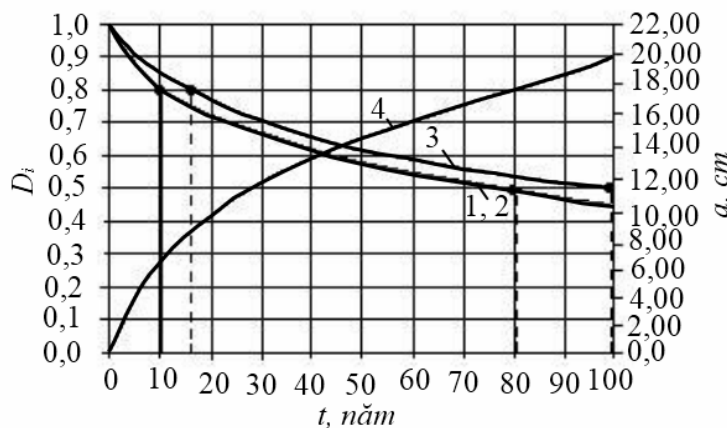
Bằng thực nghiệm đã xác nhận rằng sau 150-200 ngày bê tông xi măng tiếp xúc với dung dịch nước có chứa các ion sunfat, cường độ của nó giảm xuống còn 10-15% so với ban đầu. Do đó, khi đánh giá độ bền của kết cấu bê tông cốt thép, có tuổi thọ khai thác tiêu chuẩn là vài chục năm, trong các mô hình suy giảm có thể lấy $R_{bi}/R_b = 0$. Khi đó, các hàm suy giảm có thể được biểu diễn bằng các công thức sau:

$$D_1 = \frac{M_{u1}}{M_{u0}} = 1 - \frac{\xi_{11}}{1 - 0,5\xi_0}, \quad D_2 = \frac{M_{u2}}{M_{u0}} = 1 - \frac{\xi_{12}}{1 - 0,5\xi_0}, \quad D_3 = \frac{M_{u3}}{M_{u0}} = 1 - \frac{\xi_{13}}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{\xi_{13}^2 / 24}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)},$$

$$D_4 = \frac{M_{u4}}{M_{u0}} = 1 - \frac{(\xi_{14} + \delta / h_0)0,5}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{(0,5\xi_{14} + 0,5\delta / h_0)^2 / 6 - \frac{1}{3}\xi_{14}^2 \delta / h_0}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)}.$$

Nếu ta lấy $\xi_{ij} = \frac{x_{ij}}{h_0} = \frac{a}{h_0} = \frac{0,1\sqrt{Dt}}{h_0}$; $R_{bi} / R_b = \frac{K_a}{t / t_a} = \frac{0,6}{t / 1100}$, sau khi thay vào các công thức

tương ứng ta xác định được sự thay đổi của các hàm suy giảm: theo thời gian tác dụng của các ion sunfat (t , giờ); chiều cao tiết diện ngang của cấu kiện chịu uốn (h_0 , m); hàm lượng cốt thép tương đối; tỷ lệ R_{bi} / R_b (Hình 3).



Hình 3. Các hàm suy giảm D_i ứng với các sơ đồ tính toán 1, 2, 3; 4 là đồ thị thay đổi tọa độ của mặt suy giảm a [1]

5. Kết luận

Đã đề xuất một phương pháp dự đoán tuổi thọ của kết cấu bê tông cốt thép bằng phương pháp hàm suy thoái;

Các thông số suy giảm chính (tung độ của mặt suy thoái và đặc tính của cơ chế suy thoái) có thể được xác định theo đường đẳng suy thoái;

Đã xây dựng các đồ thị tuổi thọ cho các mô hình hiện tượng khác nhau;

Đã xác định rằng các hàm suy thoái có thể biểu diễn qua một hàm suy thoái cơ bản, việc xác định nó dễ tiếp cận và đáng tin cậy nhất;

Đã nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số tính toán của các kết cấu đến tuổi thọ của nó.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Анисимов А.В. Деградационные процессы в железобетоне мостовых конструкций. Методы оценки и прогнозирования. Дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук. Саранск, 185 с, 2003.
- [2] Низина Т.А. Экспериментально-теоретические основы прогнозирования и повышения долговечности защитнодекоративных покрытий. Дис. на соискание учен. степени доктора техн. наук. Саранск, 408 с, 2007.
- [3] Селяев В.П., Соломатов В.И., Ошкина Л.М. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов. Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 152 с, 2001.
- [4] Селяев В.П., Соломатов В.И., Ошкина Л.М. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов. Саранск: Изд-во. Мордов. ун-та, 152 с, 2001.
- [5] Селяев В.П., Соломатов В.И., Ошкина Л.М., Химическое сопротивление цементных бетонов.
- [6] Bamforth P.B. Definition of exposure classes and concrete mix requirements for chloride contaminated environments // In Proc. 4th Int. Symp. On Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, Cambridge: SCI, pp. 176-188, 1996.
- [7] Ciampoli M. et al. Probability-based durability design of reinforced concrete structures: In Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. Barcelona, 2002.

Ngày nhận bài: 09/11/2019
Ngày nhận bản sửa: 22/11/2019
Ngày duyệt đăng: 28/11/2019