

NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT VỀ QUÁ TRÌNH LÃO HÓA VÀ QUÁ TRÌNH PHỤC HỒI CỦA MÁY XÂY DỰNG

THEORETICAL STUDY ON THE AGING AND RECOVERY PROCESS OF CONSTRUCTION MACHINERY

PGS,TS,NGND. Nguyễn Đăng Điệm¹, TS. Nguyễn Anh Ngọc^{2,*}

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

²Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: diemnd@utt.edu.vn;

(*)nguyenanhngocmxd@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu một chuyên đề khoa học thuộc lĩnh vực máy xây dựng. Nội dung bài báo giới thiệu các mô hình lý thuyết mô tả quá trình lão hóa và quá trình phục hồi của máy xây dựng trong cả thời gian hoạt động của máy. Các mô hình này không những phản ánh một tình trạng thực tế xảy ra đối với máy xây dựng, mà còn có ý nghĩa giúp cho người sử dụng máy có biện pháp cần thiết để nâng cao khả năng làm việc và kéo dài tuổi thọ của máy; mặt khác giúp cho các nhà khoa học, các nhà nghiên cứu có tài liệu tham khảo bổ ích trong công tác học tập nghiên cứu của mình.

Từ khóa: *Quá trình lão hóa; Quá trình phục hồi; Khả năng làm việc; Hàm ngẫu nhiên; Thế năng khả năng làm việc.*

ABSTRACT

The article presents the research results of a scientific study in the field of construction machinery. It introduces theoretical models describing the aging process and the recovery process of construction machines throughout their operational lifespan. These models not only reflect the actual conditions experienced by construction machinery but also provide practical guidance for users to implement appropriate measures to improve performance and extend service life. In addition, the study serves as a valuable reference for scientists and researchers in their academic and advanced research activities.

Keywords: *Aging process; Recovery process; Operational capability; Stochastic function; Operational capability potential.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong suốt cả thời gian hoạt động, máy xây dựng chịu sự tác dụng của tải trọng và môi trường cho nên máy bị lão hóa; bên cạnh đó, nhờ sự tác động của con người thông qua công tác bảo dưỡng kỹ thuật và tác động sửa chữa, máy lại được phục hồi. Như vậy, khái niệm “lão hóa” và “phục hồi” là những thuật ngữ để chỉ trạng thái kỹ thuật của máy trong quá trình hoạt động. Trạng thái kỹ thuật của máy xây dựng là kết quả của việc xảy ra đồng thời hai quá trình lão hóa và phục hồi trong quá trình khai thác sử dụng máy [1].

2. NỘI DUNG

Ta mô tả trạng thái hoạt động của máy bằng một đại lượng tổng hợp - một hàm ngẫu nhiên theo thời gian làm việc $F(t)$ và gọi hàm đó là khả năng làm việc của máy.

Hàm $F(t)$ xác định trên trục thời gian $[0 \div \infty)$, trong đó cụm từ thời gian không phải là thời gian ngày, giờ theo lịch, mà là số giờ làm việc của máy và được đo bằng đơn vị “giờ-máy”. Ở đây cũng cần thống nhất một khái niệm nữa, đó là: tác động sửa chữa máy không phải là một quá trình mà chỉ là một thời điểm.

* Hàm số cơ bản của lão hóa [2], [4]:

Lão hóa của máy xây dựng là một quá trình tồn tại khách quan. Ta xây dựng hàm lão hóa với trình tự như sau:

Giả sử y là một đại lượng tổng quát đặc trưng cho các hiện tượng khách quan xảy ra trong quá trình hoạt động của máy như: các chi tiết máy bị mòn, hiện tượng han rỉ, hiện tượng mỏi, sự thay đổi hình dáng chi tiết máy, thay đổi tính chất cơ - lý của vật liệu chế tạo chi tiết máy, v.v.. Tất cả những hiện tượng này đã gắn

cho đại lượng y một khái niệm là “hàm ngẫu nhiên theo thời gian”. Trên cơ sở đó, ta gán đại lượng y cho hàm $F(t)$, tức là $y = F(t)$ và hàm số này sẽ mô tả trạng thái của máy trong quá trình lão hóa (trong đó: t là thông số biểu thị thời gian làm việc của máy).

Đạo hàm của dy/dt - là tốc độ lão hóa của máy. Ta có hàm số sau đây:

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y; x_1(t), \dots, x_m(t)), (0 \leq t < +\infty) \quad (1)$$

Trong đó: t - Thời gian làm việc của máy. Các số hạng $x_1(t) \dots x_m(t)$ là những đại lượng biểu thị sự thay đổi của các yếu tố kể trên.

Giả sử rằng, một giá trị $y > 0$ được coi là đặc trưng cho khả năng làm việc của máy đang trong quá trình lão hóa, thì giá trị này phải là một hàm số giảm dần của sản lượng. Về bên phải của hàm (1) cần thỏa mãn các điều kiện tồn tại, đơn trị và liên tục trên bán trục $(0 \leq t < +\infty)$. Nếu trong đó: $f(t, y; x_1(t) \dots x_m(t)) < 0$ đối với tất cả $y \neq 0$, thì lời giải dương của hàm (1) sẽ giảm dần đều trên bán trục $[0, +\infty)$.

Bây giờ ta giả thiết rằng, về bên phải của hàm (1) tuyến tính theo y , còn sự tác động tổng hợp của quá trình lão hóa được biểu thị bằng một hàm $\varphi(t)$ và hàm này được gọi là hàm tắt dần, lúc đó hàm (1) có dạng:

$$\frac{dy}{dt} = \varphi(t) \cdot y = 0, (0 \leq t < +\infty) \quad (2)$$

Hàm tắt dần $\varphi(t)$ sẽ liên tục trên bán trục $[0 \div \infty)$ và thỏa mãn điều kiện:

$$\varphi(t) > 0, (0 \leq t < +\infty); \int_0^{\infty} \varphi(t) \cdot dt = \infty \quad (3)$$

Ta gọi hàm (2) cùng với các điều kiện ☞

(3) là các hàm số cơ bản của quá trình lão hóa.

Hàm (2) sẽ xác định một họ thông số của hàm:

$$y(t, c) = c \exp \left\{ - \int_0^t \varphi(u) du \right\} \quad (4)$$

Trong đó: c - Hằng số hàm mũ đại diện cho biên độ cực đại của hàm y tại thời điểm bắt đầu đối với thông số t .

Các giá trị dương của họ (4) thỏa mãn các tính chất sau:

- 1 - $y(t, c) > 0$ trên bán trục $[0, +\infty)$; $y(0, c) = c > 0$;
- 2 - Hàm số $y(t, c)$ giảm dần trên bán trục $[0, +\infty)$;
- 3 - $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t, c) = 0$;
- 4 - Từ điều kiện: $c_2 > c_1 > 0$, suy ra: $y(t, c_2) > y(t, c_1) > 0$ đối với tất cả $t \geq 0$.

Đồ thị của các hàm số $y(t, c)$; $c > 0$; $0 \leq t < \infty$ được gọi là các đường lão hóa.

Các tính chất riêng biệt của hàm tắt dần $\varphi(t)$ sẽ xác định khả năng diễn biến quá trình lão hóa của từng đối tượng cụ thể.

*** Thế năng của khả năng làm việc của máy [2], [4]:**

Lời giải của hàm (2) thuộc họ (4) có dạng:

$$F(t) = y(t, 1) = \exp \left\{ - \int_0^t \varphi(u) du \right\} \quad (5)$$

Ta gọi (5) là hàm mô tả thế năng khả năng làm việc của máy xây dựng.

Lúc này, tương ứng với các tính chất của (4) thì hàm (5) sẽ thỏa mãn điều kiện:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 0 \quad (6)$$

Nếu máy đang xem xét không chịu sự tác động sửa chữa thì quá trình lão hóa của máy sẽ không được khắc phục, lúc đó hàm thế năng khả năng làm việc của máy có dạng:

$$\Pi(t) = \Pi_0 F(t), 0 \leq t < \infty \quad (7)$$

Trong đó: Π_0 - Thế năng khả năng làm việc của máy mới.

Quá trình phục hồi khả năng làm việc của máy được mô hình hóa như là một quá trình ngẫu nhiên thuộc một dãy kế tiếp của tác động sửa chữa.

Trong một khoảng thời gian $(0, t)$, ta xem xét dãy kế tiếp của các thời điểm tác động sửa chữa:

$$\{t_k\}_{k=1}^{N_t}: t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_{N_t} \quad (8)$$

Trong đó: N_t là số lượng các tác động sửa chữa máy trong khoảng thời gian $(0, t)$ và là một đại lượng ngẫu nhiên.

Bây giờ giả sử rằng, nhờ có các thiết bị chẩn đoán, ta xác định được trạng thái của máy tại thời điểm (t_k) , lúc đó phát sinh nhu cầu tác động sửa chữa và sau khi thực hiện công tác sửa chữa thì tất cả các khuyết tật được khắc phục, lúc này trạng thái của máy đã được phục hồi và trạng thái phục hồi có thể được mô phỏng như là một quá trình tái sinh.

Tương ứng với những điều đã trình bày ở trên, bây giờ ta coi đại lượng ngẫu nhiên N_t có dạng hàm phân bố Pauson, tức là:

$$P\{N_t = n\} = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!} \quad (9)$$

Trong đó: λ - Cường độ dòng tác động sửa chữa máy.

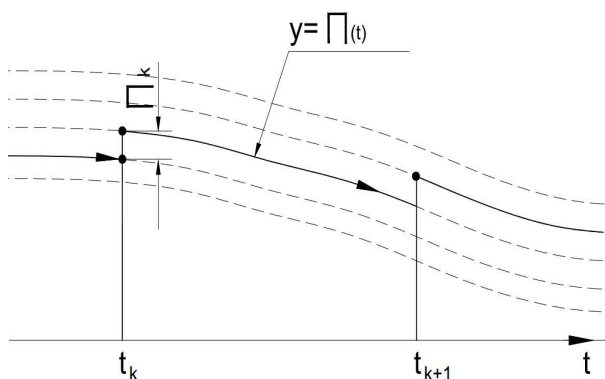
Điều kiện kế tiếp (8) của các thời điểm tác động sửa chữa máy là dãy kế tiếp của các đại lượng ngẫu nhiên độc lập được phân bố đều trong khoảng thời gian $(0, t)$, suy ra mật độ phân bố sẽ là:

$$q(u) = \begin{cases} 0, & -\infty < u \leq 0 \\ \frac{1}{t}, & 0 < u \leq t \\ 0, & t < u < +\infty \end{cases} \quad (10)$$

Giả thiết rằng, cứ mỗi lần thực hiện quá trình nêu trên, các giá trị ngẫu nhiên (t_k) được thực hiện theo thứ tự sao cho việc thực hiện đó tạo thành một dãy kế tiếp tăng dần đều. Lúc này, trạng thái của máy đã chịu tác động sửa chữa được biểu thị bằng một hàm ngẫu nhiên $\Pi(t)$ và như trên đã nói, hàm này được gọi là thế năng khả năng làm việc của máy. Trên mỗi khoảng (t_k, t_{k+1}) - tức là khoảng trung gian giữa hai lần tác động sửa chữa, hàm $\Pi(t)$ sẽ trùng với một trong số các hàm $y(t, c)$ thuộc họ (4). Kết quả của tác động sửa chữa tại thời điểm (t_k) được mô tả bằng bước nhảy của thế năng (Π_k) :

$$\Pi_k = \Pi(t_k) - \Pi(t_k - 0) = c_k F(t_k) - c_{k-1} F(t_k), c_k > c_{k-1} > 0 \quad (11)$$

Trong đẳng thức (11), đại lượng $\Pi(t_k - 0)$ là giới hạn bên trái của hàm $\Pi(t)$ khi $t \rightarrow t_k$. Tương ứng với (11), các giá trị của hàm $\Pi(t)$ liên tục bên phải trên bán trục $[0, +\infty)$ (hình 1).



Hình 1. Đồ thị đường cong lão hóa và đường cong phục hồi của máy xây dựng

Trên hình 1, những đường nét liền mô tả đồ thị diễn biến của hàm ngẫu nhiên $\Pi(t)$, còn các đại lượng t_k, t_{k+1} - là các thời điểm tác động sửa chữa kế tiếp; các đường nét đứt đoạn là những đường lão hóa. Đồ thị của các hàm thuộc họ (4) là các lời giải của phương trình (2) - phương trình cơ bản của lão hóa [2], [4].

Tương ứng với dãy kế tiếp (8), bước nhảy thế năng khả năng làm việc của máy do kết quả từ tác động sửa chữa $\{\Pi_k\}$ là một dãy kế tiếp của các đại lượng ngẫu nhiên phân bố đều độc lập nhận giá trị dương cùng với hàm phân bố $F(u)$. Kỳ vọng toán học và hàm phân tán các bước nhảy thế năng khả năng làm việc của máy sẽ được xác định bằng các đẳng thức:

$$M[\Pi_k] = \int_0^\infty u dH(u); D[\Pi_k] = \int_0^\infty u^2 F(u) du - (M[\Pi_k])^2 \quad (12)$$

Như trên đã trình bày, hàm mô tả thế năng khả năng làm việc của máy $F(t)$ được coi là một hàm ngẫu nhiên $\Pi(t)$, mà để cho hàm đó được liên tục thì cần thỏa mãn điều kiện:

$$\Pi(t) = \Pi_0 F(t) + \eta(t) = \Pi_0 F(t) + \sum_{k=1}^{N_t} \Pi_k F(t, t_k), 0 \leq t < +\infty \quad (13)$$

Trong đó:

$$F(t, t_k) = \begin{cases} 0, & \text{khi } 0 \leq t < t_k \\ \frac{F(t)}{F(t_k)}, & t_k \leq t < +\infty \end{cases} \quad (14)$$

Biểu thức (14) được gọi là hàm bước nhảy đơn của thế năng $\Pi(t)$ tại thời điểm tác động sửa chữa t_k .

Đối với biểu thức (13), mỗi một giá trị thế năng khả năng làm việc của máy có các tính chất sau:

1 - $\Pi(t = 0) = \Pi_0$ - tức là tại thời điểm đầu tiên, thế năng khả năng làm việc bằng thế năng khả năng làm việc của máy mới;

2 - Số hạng thứ nhất trong biểu thức (13) mô tả quá trình “lão hóa đơn thuần”, số hạng thứ hai biểu thị quá trình phục hồi ngẫu nhiên khả năng làm việc của máy;

3 - Đối với một thời điểm bất kỳ $t' \in (0, \infty)$ tương ứng với (13) và (14), ta có:

$$\Pi(t) = C_{t'} F(t) + \sum_{k=N_{t'}+1}^{N_t} \Pi_k F(t, t_k), t' \leq t < +\infty \quad (15)$$

Trong hàm (15), hằng số $C_{t'}$ được xác định như sau:

$$C_{t'} = \frac{\Pi(t')}{F(t')} = \sum_{k=0}^{N_{t'}} \frac{\Pi_k}{F(t_k)}, t_0 = 0$$

4 - Từ hàm (15), đối với $t' \in (0, \infty)$, ta có:

$$\Pi(t) = C_{t'} F(t), t_{N_{t'}} \leq t < t_{N_{t'}+1}$$

Có nghĩa là: đối với mỗi lần tái hiện chế độ phục hồi giữa hai lần kế tiếp tác động sửa chữa, hàm thế năng $\Pi(t)$ sẽ trùng với một trong số các hàm thuộc họ (4) (đồ thị của hàm này trùng với một đường cong lão hóa), còn khi $t = t_{N_{t'}} + 1$ thì hàm này sẽ tương ứng với hàm (11).

Như vậy là cứ mỗi một lần tái hiện, thì hàm ngẫu nhiên $\Pi(t)$ mà được xác định bằng biểu thức (13) đều biểu thị một hàm giảm dần đều liên tục sang phải (xem hình 1).

Khi phân tích hàm thế năng khả năng làm việc của máy, ta làm rõ thêm các đại lượng đặc trưng sau đây [3], [5]:

Kỳ vọng toán học của hàm $\Pi(t)$:

$$\bar{\Pi}(t) = M[\Pi(t)] = \Pi_0 F(t) + \lambda \bar{\Pi}_k \int_0^t \frac{F(t)}{F(u)} du \quad (16)$$

Hàm phân tán:

$$D[\Pi(t)] = \lambda m_2 \int_0^t \left(\frac{F(t)}{F(u)} \right)^2 du \quad (17)$$

Tương ứng với hàm (12), ta có:

$$\bar{\Pi}_k = M[\Pi_k] = \int_0^\infty u F(u) du \quad (18)$$

Đại lượng m_2 trong hàm (17) được xác định như sau:

$$m_2 = \int_0^\infty u^2 dH(u) = D[\Pi_k] + (M[\Pi_k])^2 \quad (19)$$

Trong đó:

$M[\Pi_k]$, $D[\Pi_k]$ - Tương ứng là kỳ vọng toán học và hàm phân tán của đại lượng ngẫu nhiên Π_k - là bước nhảy thế năng khả năng làm việc của máy do kết quả của tác động sửa chữa; λ - Cường độ dòng tác động sửa chữa máy (đã được giới thiệu trong hàm (9)).

Trên cơ sở của biểu thức (16), ta xem xét mô hình của hai quá trình xảy ra đồng thời, đó là quá trình lão hóa và quá trình phục hồi của máy xây dựng. Trong biểu thức (16), hàm $F(t)$ phản ánh đặc tính lão hóa của máy đang xem xét, còn đại lượng $\lambda \bar{\Pi}_k$ biểu thị cường độ tác động sửa chữa đối với máy (đây là tích giữa cường độ tác động sửa chữa với giá trị trung bình của bước nhảy thế năng khả năng làm việc của máy do kết quả sau một lần tác động sửa chữa).

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày các mô hình lý thuyết mô tả quá trình lão hóa và quá trình phục hồi của máy xây dựng. Những mô hình này giúp cho bạn đọc có được những khái niệm “lão hóa”, “phục hồi”, “khả năng làm việc”, “thế năng khả năng làm việc”, v.v của máy xây dựng. Các khái niệm này phản ánh tình trạng thực tế xảy ra trên máy xây dựng trong suốt cả quá trình hoạt động của máy. Những nội dung đã được giới thiệu trong bài báo có thể giúp cho những người đang quản lý và sử dụng máy xây dựng cũng như những người đang nghiên cứu

về máy xây dựng có những tư liệu bổ ích cho công việc chuyên môn của mình. ❖

Ngày nhận bài: **05/3/2026**

Ngày phản biện: **15/3/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Đăng Điệm (2017), “*Sửa chữa máy xây dựng*”. NXB. Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Đăng Điệm (2024), Chuyên đề khoa học “*Lý thuyết về sửa chữa máy xây dựng và làm đường*”, Hà Nội.

- [3]. Л.В. Дехтеринский (1989), “*Оснвы технологии ремонта машин и проектирования ремонтных предприятий строительно - дорожных машин*”. Издательство Высшая школа, Москва.
- [4]. Л.В. Дехтеринский (2015), “*Модель старения и востоновления механизмов машин*”. Издательство МАДИ, Москва.
- [5]. Ю.Н. Петров (2010), “*Основа ремонта машин*”. Издательство Колос, Москва.