

✓ ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HÓA THỐNG KÊ TỪNG BƯỚC TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MÁY THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY

STATISTICAL-STEP-MODEL APPLIED IN DESIGNABLE CALCULATION BASED ON RELIABILITY THEORY

Phùng Chí Thắng, Trần Xuân Khái, Đặng Đình Vũ
Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Ngày nay, phương pháp đánh giá độ tin cậy của chi tiết máy, kết cấu máy dựa trên cơ sở lý thuyết xác suất và quá trình ngẫu nhiên đã chứng tỏ tính ưu việt so với phương pháp cổ điển sử dụng hệ số an toàn đơn thuần. Bài báo trình bày ứng dụng phương pháp mô hình hóa tích phân từng bước khi tính toán theo lý thuyết độ tin cậy. Đây là phương pháp mới trong cơ khí giải bài toán hàm nhiều biến ngẫu nhiên độc lập bằng phương pháp mô phỏng, cho kết quả gần với thực tiễn và có thể dùng tham khảo khi tính toán theo các phương pháp khác.

Từ khóa: Cơ khí; Tính toán kết cấu; Cấu trúc.

ABSTRACT

Nowadays, there liability assessment method of the machine's parts and structures based on probability theory and random processes have demonstrated the superiority than classical method using safety coefficients. This paper presents the computational method using random variables in the process, known as computational methods based on reliability theory. This is a new method in order to solve the independent random variables using computer-simulation. The results are close to reality and can be used as reference with other methods.

Keywords: Reliability assessment method; Probability theory; Random process.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông thường, khi thiết kế và tính toán người ta sử dụng các hệ số an toàn, giá trị được chọn tùy theo tính chất, quy mô và tầm quan trọng của chi tiết máy. Thực tế cho thấy, ngay cả với hệ số an toàn lớn, hư hỏng vẫn xảy ra, vì hầu hết các giá trị tham gia vào quá trình tính toán (tải trọng, vật liệu, tham số hình học, kết cấu...) là các đại lượng ngẫu nhiên. Phương pháp tính toán có đưa các đại lượng ngẫu nhiên vào quá trình tính được gọi là phương pháp tính toán theo lý thuyết độ tin cậy (ĐTC). Đối với một chi tiết máy hay cả một cụm chi tiết, có thể các đại lượng ngẫu nhiên là hoàn toàn độc lập và cùng tham gia (ảnh hưởng), đồng thời tới kết quả tính, ví dụ tính chất ngẫu nhiên của vật liệu độc lập với tính chất ngẫu nhiên của tải trọng,...nhưng cùng ảnh hưởng tới độ tin cậy (khả năng làm việc) của chi tiết. Phương pháp mô hình hóa tích phân từng bước có thể đáp ứng được yêu cầu xử lý đồng thời các biến ngẫu nhiên khi tính toán chi tiết máy, kết cấu máy theo lý thuyết độ tin cậy.

2. NỘI DUNG CẦN GIẢI QUYẾT

2.1. Quá trình mô hình hoá thông kê

Để xác định các tham số thống kê của các phân bố độ bền và ứng suất trong các kết cấu, chi tiết máy, chúng ta sẽ tiến hành từng bước mô hình hoá thống kê các đại lượng kể trên trong thuật toán tiến định.

Trước hết, ta xem xét nguyên tắc chung của việc mô hình hoá thống kê hàm của các đại lượng ngẫu nhiên khi biết các đặc trưng thống kê của các đại lượng này.

Giả sử cần xác định các đặc trưng thống

kê của đại lượng F , là hàm của các đại lượng ngẫu nhiên $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, nghĩa là:

$$F = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

Trong đó, đã biết các kỳ vọng toán $\bar{x}_i$ và phương sai σ_i^2 của mỗi đại lượng ngẫu nhiên $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

Trình tự thực hiện như sau:

a) Đối với mỗi đại lượng ngẫu nhiên

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, tiến hành thử nghiệm ngẫu nhiên theo quy luật phân bố đã biết với các tham số $\bar{x}_i, \sigma_i^2$ và tính giá trị thứ i của đại lượng ngẫu nhiên.

b) Thao tác a) được lặp lại cho đến khi tìm được các giá trị của tất cả các đại lượng ngẫu nhiên $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

c) Sử dụng các giá trị đã tìm được của $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ để tính một giá trị của F theo công thức (1).

d) Thao tác a, b, c được lặp lại cho đến khi nhận được N giá trị của hàm F .

e) Trên cơ sở N các giá trị tìm được của hàm F tính các đặc trưng thống kê như kỳ vọng toán $\bar{F}$, độ lệch chuẩn σ_F , ... của F theo công thức sau:

$$\begin{cases} \bar{F} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i; \\ \sigma_F = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N F_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N F_i \right)^2 \right]} \end{cases} \quad (2)$$

Như vậy, việc tiến hành mô hình hóa thống kê từng bước trên cơ sở các quan hệ tiến định cho phép nhận được các tham số thống kê của nội lực và khả năng chịu tải của các cấu kiện riêng biệt của kết cấu, được đưa ra để tính độ tin cậy của chúng.

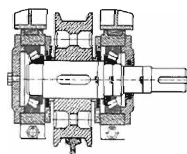
Khi đó, xác suất làm việc an toàn hay độ tin cậy của phần tử i có thể được xác định theo phương pháp tuyến tính.

$$P_i = 1 - \phi \left\{ \frac{\overline{S}_i - \overline{R}_i}{\sqrt{\sigma_{S_i}^2 + \sigma_{R_i}^2}} \right\}$$

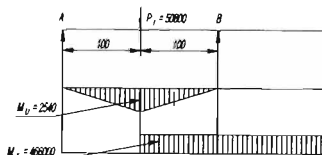
Ở đây ϕ là hàm phân bố chuẩn.

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Tính độ tin cậy chi tiết trục bánh xe di chuyển cầu trục tải trọng 10 tấn, sơ đồ kết cấu và tính toán của trục bánh xe thể hiện trên hình sau:



Hình 1: Sơ đồ kết cấu trục



Hình 2: Sơ đồ tính trục

Coi tính chất vật liệu, kích thước hình học, tải trọng tác dụng đều là các đại lượng ngẫu nhiên phân phối chuẩn với các tham số cho trong bảng 1.

Bảng 1: Các tham số tính toán

Đại lượng	Kỳ vọng	Độ lệch
Tải trọng tĩnh lên bánh xe	$P_i = 50800 \text{ N}$	$\sigma_{P_i} = 5080 \text{ N}$
Mô men cản tĩnh	$M_i = 17,25 \text{ Nm}$	$\sigma_{M_i} = 1,725 \text{ Nm}$
Mô men quán tính	$M'_d = 22,7 \text{ Nm}$	$\sigma_{M'_d} = 2,2 \text{ Nm}$
Hệ số tải trọng động	$K_d = 1,2$	$\sigma_{K_d} = 0,1$
Giới hạn mỏi của thép 45	$\mu_B = 250 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_B = 25 \text{ N/mm}^2$
Tỉ số truyền	$i = 22$	
Hiệu suất động cơ	$\eta_{dc} = 0,85$	

Các số liệu trong cột "độ lệch" được lựa chọn theo kinh nghiệm, dựa vào điều kiện thực tế như chế độ làm việc, khả năng gia công, tính chất vật liệu...

Chỉ số độ tin cậy β được tính theo công thức (5-20) [2].

$$\beta = \frac{\mu_M - \mu_U}{\sigma_M \sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_U^2}} \tag{3}$$

Trong đó: μ_M, σ_M : Giá trị và độ lệch của ứng suất dư tại vị trí tính toán;

μ_B, σ_B : Giá trị và độ lệch của giới hạn bền (bảng 1)

Ứng suất do tải trọng tác dụng:

$$\mu_U = f(M_u, M_s, d) = \frac{M_u}{0.1d^3} \tag{4}$$

(d: Đường kính trục bánh xe, M_{id} : Mô men tương đương tại vị trí tính).

Theo kết quả tính mục 7, §3, chương 9 [1] thì:

$$M_u = \sqrt{\left(\frac{P_i l}{4}\right)^2 + \left[\alpha(M_i + M'_i)K_d i \eta_d \cdot 0,52\right]^2} \tag{5}$$

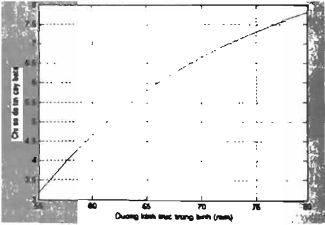
Tiến hành mô hình hóa thống kê từng bước, với các biến ngẫu nhiên P_i, M_i, M'_i, K_d . Ta tính được kỳ vọng và phương sai của M_{id} . Ví dụ, với 1000 lần phát của từng số ngẫu nhiên ta có kết quả: $M_{id} = 2717,0522$; $\sigma_{id} = 72,2199$.



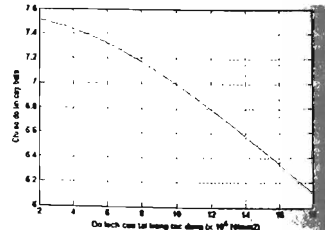
Sử dụng các thông số ở bảng 1 và các công thức (1), (2), (3) ta có mối quan hệ $\beta = f(d)$, đây chính là mối quan hệ giữa độ tin cậy và giá trị trung bình của đường kính trục.

Tương tự như trên, chúng ta hoàn toàn có thể thiết lập mối liên hệ giữa chỉ số độ tin cậy với độ lệch của tải trọng tác dụng khi đường kính trục không thay đổi $\beta = f(\sigma_U)$.

Thông số đầu vào là kỳ vọng và độ lệch của giới hạn bền mỏi, mô men uốn, mô men chống uốn. Kết quả tính được biểu diễn bằng đồ thị sau:



Hình 3: Mối liên hệ giữa đường kính chi tiết khi thiết kế với chỉ số độ tin cậy



Hình 4: Mối liên hệ giữa độ lệch của tải trọng tác dụng với chỉ số độ tin cậy

Nhận xét:

- Miền khảo sát (biến thiên của đối số) rộng giúp cho việc lựa chọn kết quả tính được thuận lợi, độ chính xác phụ thuộc vào số lượng lần mô phỏng, gắn liền với quá trình thực tiễn;

- Khi đường kính trục d tăng thì độ tin cậy tăng (hình 3), sai số của tải trọng tác dụng càng lớn thì độ tin cậy càng giảm (hình 4);

- Từ giá trị định lượng độ tin cậy, tra phụ lục bảng 2 trang 268 [2] ta có xác suất làm việc không hỏng. Trên hình 3, khi đường kính $d = 57\text{mm}$ thì $\beta = 3,9$, tra bảng có $R = 0,99995$. Như vậy, cứ 100000 chi tiết được chế tạo thì có 5 chi tiết hỏng, kết quả này có thể chấp nhận được.

4. KẾT LUẬN

Bài toán trở nên đơn giản khi dùng phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước, đặc biệt khi đối số gồm nhiều biến ngẫu nhiên độc lập; Cho kết quả chính xác hơn so với phương pháp truyền thống (sử dụng hệ số an toàn), đơn giản hơn khi dùng khai triển chuỗi TayLor để xác định giá trị của các biến ngẫu nhiên trong tính toán.❖

Ngày nhận bài: 20/8/2014

Ngày phản biện: 22/9/2014

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Huỳnh Văn Hoàng, Đào Trọng Thường, *Tính toán máy trục*, NXB. Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội (1975).
- [2]. Phan Văn Khôi, *Cơ sở đánh giá độ tin cậy*, NXB. Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội (1987).
- [3]. Nguyễn Hữu Lộc, *Độ tin cậy trong thiết kế kỹ thuật*, NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh (2002).
- [4]. Nguyễn Hữu Lộc, *Thiết kế và phân tích hệ thống cơ khí*, NXB. Khoa học & Kỹ thuật, TP. Hồ Chí Minh (2005).
- [5]. Nguyễn Vi, *Độ tin cậy của các công trình bến cảng*, NXB. Giao thông Vận tải, Hà Nội (2009).
- [6]. Nguyễn Vi, *"Phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước trong tính toán độ tin cậy của các công trình cảng"*, NXB. Giao thông Vận tải, Hà Nội (2009).