

Xây dựng chương trình tính toán thiết kế bộ trục bánh xe toa xe theo độ tin cậy của sức bền và hiệu ứng tải trọng

Development of a calculation program to design wagon wheelsets based on the reliability of strength and effective loads

Đỗ Đức Tuấn*, Nguyễn Đức Toàn

Trường Đại học Giao thông vận tải

**Email: ddtuan@utc.edu.vn*

Mobile: 0913905814

Tóm tắt

Từ khóa:

Bộ trục bánh xe; Chương trình tính toán; Hiệu ứng tải trọng; Sức bền; Thiết kế theo độ tin cậy.

Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết, từ đó thiết lập các sơ đồ thuật toán và xây dựng chương trình tính toán thiết kế bộ trục bánh xe toa xe theo độ tin cậy của sức bền và hiệu ứng tải trọng, nhằm xác định đường kính của trục bánh xe tại các mặt cắt xung yếu sao cho đảm bảo độ tin cậy cho trước của hệ.

Abstract

Keywords:

Calculation programs; Design based on reliability; Effective loads; Strength; Wheelsets.

The article presents theoretical fundamentals, from that we established algorithmic diagrams and developed a calculation program to design wagon wheelsets based on the reliability of the strength and effective loads, in order to determine axle diameters at weakness sections, guaranteeing the predetermined system reliability.

Ngày nhận bài: 05/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 10/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để tiến hành xây dựng phần mềm thiết kế bộ trục bánh xe đầu máy, toa xe nói chung và bộ trục bánh xe toa xe nói riêng theo độ tin cậy, cần tiến hành các nội dung chính sau đây:

- a. Thiết lập chương trình tính toán độ bền bộ trục bánh xe theo phương pháp truyền thống;
- b. Thiết lập chương trình phân bổ độ tin cậy cho các phần tử của bộ trục bánh xe trong quá trình thiết kế;
- c. Thiết lập chương trình thiết kế bộ trục bánh xe theo độ tin cậy, trong đó có phần thiết kế bộ trục bánh xe theo độ tin cậy của sức bền và hiệu ứng tải trọng và phần thiết kế bộ trục bánh xe theo độ tin cậy của các mối ghép có độ dôi.

Việc xây dựng phần mềm thiết kế bộ trục bánh xe đầu máy, toa xe theo độ tin cậy đã được trình bày trong [3].

Mặt khác, việc thiết lập chương trình tính toán độ bền bộ trục bánh xe đầu máy theo phương pháp truyền thống, thiết lập chương trình phân bổ độ tin cậy cho các phần tử của bộ trục bánh xe đầu máy trong quá trình thiết kế, thiết kế bộ trục bánh xe đầu máy theo độ tin cậy của

- Lực ngang

H - tải trọng ngang sườn (dọc trục), kN; H'_r - lực ma sát của ray với bánh xe bên trái, kN; H'_f - lực ma sát của ray với bánh xe bên phải, kN; H_r - lực ma sát của ray với bánh xe tại điểm tựa vị trí lắp bánh xe bên trái, kN; H_f - lực ma sát của ray với bánh xe tại điểm tựa vị trí lắp bánh xe bên phải, kN.

- Mô men

M_r - mô men đặt lên trục bánh xe tại mặt cắt ngang tỳ lên bánh xe bên trái, kNm; M_f - mô men đặt lên trục bánh xe tại mặt cắt ngang tỳ lên bánh xe bên phải, kNm; M_u - mô men uốn của tải trọng tính toán ở các mặt cắt ngang cần thiết của trục xe, kNm.

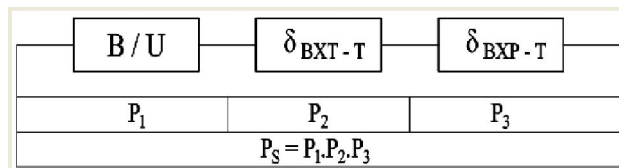
Các mặt cắt [2], [8], [3]

0-0 - mặt cắt tại vị trí bắt đầu góc lượn đầu trong cổ trục; I-I - mặt cắt tại vị trí vòng lẩn bánh xe; II-II - mặt cắt tại vị trí chính giữa trục; III-III - mặt cắt tại vị trí mép trong ổ bi; IV-IV - mặt cắt tại vị trí bắt đầu góc lượn chuyển tiếp từ phần bệ bánh sang phần thân trục.

3. CƠ SỞ THIẾT KẾ KẾT CẤU VÀ CHI TIẾT MÁY THEO SỨC BỀN VÀ HIỆU ỨNG TẢI TRỌNG

3.1. Mô hình hóa kết cấu bộ trục bánh xe theo quan điểm của lý thuyết độ tin cậy

Bộ trục bánh xe toa xe hãm guốc, bầu dầu ổ bi, bao gồm trục bánh và các bánh xe lắp ghép với trục bằng độ dôi (hình 1). Theo lý thuyết độ tin cậy, kết cấu bộ trục bánh xe được coi là một hệ thống và được phân chia thành ba phần tử liên kết nối tiếp với nhau: phần tử biểu thị "sức bền" B và "tải trọng" U , ký hiệu là B/U ; phần tử bánh xe bên trái lắp ghép có độ dôi với trục, ký hiệu là δ_{BXT-T} và phần tử bánh xe bên phải lắp ghép có độ dôi với trục, ký hiệu là δ_{BXP-T} (hình 2). Các phần tử nêu trên có độ tin cậy tương ứng là P_1, P_2, P_3 và độ tin cậy của cả hệ là P_s . Đối với hệ liên kết nối tiếp các phần tử không phụ hồi thì $P_s = P_1 P_2 P_3$.



Hình 2. Sơ đồ bộ trục bánh xe toa xe hãm guốc, bầu dầu ổ bi theo mô hình lý thuyết độ tin cậy

3.2. Biểu thức tổng quát của xác suất không hỏng [1]

Sức bền và hiệu ứng tải trọng là các đại lượng ngẫu nhiên, được ký hiệu tương ứng là B và U với các luật phân bố là $g(b)$ và $f(u)$ (hình 3). Chúng có cùng thứ nguyên và đơn vị đo. Khi đã xác định được luật phân bố của sức bền $g(b)$ và hiệu ứng tải trọng $f(u)$, có thể xác định được xác suất làm việc không hỏng của sản phẩm và từ đó tính được các chỉ tiêu khác của độ tin cậy.

Đã biết theo định nghĩa, xác suất không hỏng có dạng:

$$P = P(B > U) \text{ hoặc } P = P(U < B) \tag{1}$$

$$\text{Xét đại lượng ngẫu nhiên mới: } M = B - U \tag{2}$$

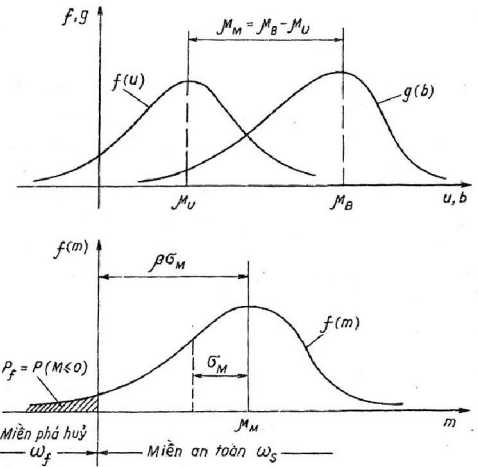
Đại lượng ngẫu nhiên M có hàm mật độ phân bố là $f(m)$ (hình 1), có giá trị trung bình (kỳ vọng) là $\mu_M = \mu_B - \mu_U$ và độ lệch chuẩn (sai lệch bình phương trung bình) là σ_M . Vì M là hiệu của sức bền B và hiệu ứng tải trọng U , do đó nó được gọi là quãng an toàn.

Theo định nghĩa về độ tin cậy, thấy rằng:

Khi $M \leq 0$ - ứng với trạng thái phá hủy (miền phá hủy) hiệu ứng tải trọng lớn hơn sức bền.

Khi $M > 0$ - ứng với trạng thái an toàn (miền an toàn).

Khi $M = 0$ - ứng với ranh giới an toàn/ phá hủy.



Hình 3. Phân bố của sức bền và hiệu ứng tải trọng

$$\text{Chỉ số: } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (3)$$

được gọi là *chỉ số độ tin cậy*; nó cũng được gọi là *chỉ số an toàn* hay *chỉ số beta*. Giá trị β cho biết giá trị trung bình của quãng an toàn (μ_M) nằm cách xa ranh giới an toàn/phá hủy bao nhiêu lần độ lệch chuẩn (σ_M) của nó. Giá trị β càng lớn cho thấy độ tin cậy càng cao hay xác suất phá hủy càng thấp.

Biểu thức trên đây cho phép xác định độ tin cậy trong trường hợp tổng quát, khi sức bền B và hiệu ứng tải trọng U phân bố theo luật bất kỳ. Sau đây xét một số trường hợp cụ thể của luật phân bố.

3.3. Xác suất không hỏng khi sức bền và hiệu ứng tải trọng có các phân bố khác nhau [1]

3.3.1. Khi B và U có phân bố chuẩn

Nếu B và U có phân bố chuẩn với các tham số $(\mu_B, \sigma_B^2); (\mu_U, \sigma_U^2)$ và độc lập với nhau, khi đó quãng an toàn M , vì là hiệu của hai đại lượng có phân bố chuẩn, cũng có phân bố chuẩn với các tham số:

$$\mu_M = \mu_B - \mu_U \quad (4)$$

$$\sigma_M^2 = \sigma_B^2 + \sigma_U^2 \quad (5)$$

$$\text{thì xác suất không hỏng: } P = \Phi(\beta) \quad (6)$$

$$\text{với } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{\mu_B - \mu_U}{\sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_U^2}} \quad (7)$$

và $\Phi(\cdot)$ - hàm phân bố chuẩn chuẩn hóa, được tra bảng trong các Phụ lục [1], [4].

3.3.2. Khi B và U có phân bố loga chuẩn

Nếu B và U có phân bố loga chuẩn thì $\ln B$ và $\ln U$ có phân bố chuẩn. Nếu đặt $\ln B = B'$; $\ln U = U'$ và quãng an toàn trong trường hợp này là $M = \ln(B/U)$ thì xác suất không hỏng bằng:

$$P = \Phi(\beta) \text{ với } \beta = \frac{\mu_{B'} - \mu_{U'}}{\sqrt{\sigma_{B'}^2 + \sigma_{U'}^2}} \quad (8)$$

trong đó: $\mu_{B'}$ và $\sigma_{B'}^2$ - kỳ vọng và phương sai của đại lượng $\ln B$; còn $\mu_{U'}$ và $\sigma_{U'}^2$ là của đại lượng $\ln U$.

$$\mu_{B'} = \ln \mu_B - \frac{\sigma_{B'}^2}{2} \quad (9)$$

$$\mu_{U'} = \ln \mu_U - \frac{\sigma_{U'}^2}{2} \quad (10)$$

$$\sigma_{B'}^2 = \ln \left(\frac{\sigma_B^2}{\mu_B^2} + 1 \right) \quad (11)$$

$$\sigma_{U'}^2 = \ln \left(\frac{\sigma_U^2}{\mu_U^2} + 1 \right) \quad (12)$$

3.3.3. Khi B và U có phân bố mũ

Khi sức bền B và hiệu ứng tải trọng U có phân bố mũ với các tham số λ_B và λ_U , tương ứng $B, U \geq 0$, thì xác suất không hỏng là:

$$P = \frac{\mu_B}{\mu_B + \mu_U} \quad (13)$$

$$\text{Mặt khác, do } \mu_U = \frac{1}{\lambda_U}; \mu_B = \frac{1}{\lambda_B}, \text{ nên } P = \frac{\lambda_U}{\lambda_U + \lambda_B} \quad (14)$$

3.3.4. Khi B có phân bố chuẩn (mũ) và U có phân bố mũ (chuẩn)

a. Trường hợp sức bền B có phân bố chuẩn với các tham số (μ_B, σ_B^2) và hiệu ứng tải trọng U có phân bố mũ với tham số λ_U , $U \geq 0$

Xác suất không hỏng:

$$P = 1 - \Phi \left(-\frac{\mu_B}{\sigma_B} \right) - \exp \left[-\frac{1}{2} (2\mu_B \lambda_U - \lambda_U^2 \sigma_B^2) \right] [1 - \Phi(-t_0)] \quad (15)$$

$$\text{trong đó: } t_0 = \frac{\mu_B - \lambda_U \sigma_B^2}{\sigma_B} \quad (16)$$

b. Trường hợp sức bền B có phân bố mũ với tham số λ_B , còn hiệu ứng tải trọng U có phân bố chuẩn với các tham số (μ_U, σ_U^2)

Xác suất không hỏng:

$$P = \Phi \left(-\frac{\mu_U}{\sigma_U} \right) + \exp \left[-\frac{1}{2} (2\mu_U \lambda_B - \lambda_B^2 \sigma_U^2) \right] [1 - \Phi(-t_0)] \quad (17)$$

$$\text{trong đó: } t_0 = \frac{\mu_U - \lambda_B^2 \sigma_U^2}{\sigma_U^2} \quad (18)$$

3.3.5. Khi B và U có phân bố gamma

Khi các đại lượng B và U có phân bố gamma với các tham số tương ứng là α_B , β_B và α_U , β_U và trong trường hợp tổng quát khi $\beta_B, \beta_U \neq 1$ thì xác suất không hỏng:

$$P = \frac{\Gamma(\alpha_B + \alpha_U)}{\Gamma(\alpha_B)\Gamma(\alpha_U)} B_{r/(1+r)}(\alpha_B, \alpha_U) \quad (19)$$

trong đó, theo [3]:

$$\beta_B = \frac{\mu_B}{\sigma_B^2}; \alpha_B = \beta_B \mu_B; \beta_U = \frac{\mu_U}{\sigma_U^2}; \alpha_U = \beta_U \mu_U$$

với $B_{r/(1+r)}(\alpha_B, \alpha_U)$ - hàm beta, với $r = \beta_U / \beta_B$.

3.4. Cơ sở lý thuyết phân bố độ tin cậy trong quá trình thiết kế [4]

Việc phân bố độ tin cậy trong quá trình thiết kế bộ trục bánh xe đầu máy, toa xe được căn cứ vào độ tin cậy của hệ thống các phần tử liên kết nối tiếp không phục hồi

Với một hệ có n phần tử liên kết nối tiếp, ta chỉ xét sự làm việc của hệ tới lần hỏng đầu tiên. Khi đó xác suất làm việc không hỏng của hệ:

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (20)$$

trong đó: $P_i(t)$ - xác suất không hỏng hay hàm tin cậy của phần tử thứ i ở thời điểm t xác định nào đó; $P_s(t)$ - xác suất không hỏng của hệ cũng tại thời điểm đó.

Trong trường hợp, nếu tất cả các phần tử cùng có độ tin cậy như nhau, thì xác suất làm việc không hỏng của hệ là $P_s(t) = [P_i(t)]^n$ (21)

từ đó xác suất không hỏng của từng phần tử: $P_i(t) = \sqrt[n]{P_s(t)}$ (22)

Ngoài ra, trường hợp hệ có n phần tử cùng loại, có thể xác định gần đúng xác suất không hỏng cần thiết của phần tử để đảm bảo cho hệ có một độ tin cậy cho trước:

$$P(t) \approx 1 - \frac{[1 - P_s(t)]}{n} \quad (23)$$

4. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH PHÂN BỐ ĐỘ TIN CẬY CHO BỘ TRỤC BÁNH XE TOA XE TRONG QUÁ TRÌNH THIẾT KẾ

Như trên đã nói, theo Lý thuyết độ tin cậy, bộ trục bánh xe toa xe được coi là một hệ thống các phần tử liên kết nối tiếp bao gồm: phần tử mô tả quan hệ sức bền và hiệu ứng tải trọng (B/U); phần tử mối ghép bánh xe bên trái với trục δ_{BXT-T} và phần tử mối ghép bánh xe bên phải với trục δ_{BXP-T} với độ tin cậy tương ứng của các phần tử là P_1, P_2, P_3 .

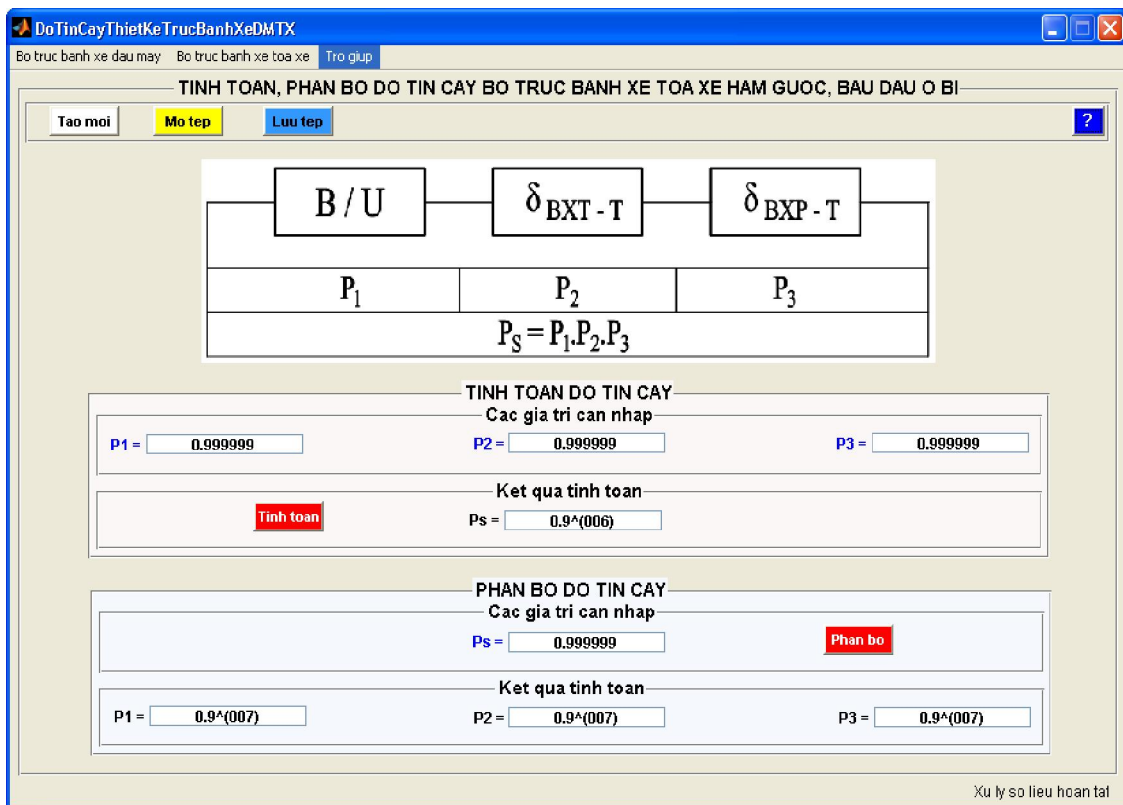
4.1. Chức năng của chương trình

Từ cơ sở lý thuyết trình bày ở mục 3.1 và 3.4, tiến hành thiết lập chương trình tính toán và phân bổ độ tin cậy cho các phần tử của bộ trục bánh xe toa xe với chức năng như sau:

- i). Tính toán độ tin cậy của hệ (của bộ trục bánh xe) P_s khi cho trước độ tin cậy của từng phần tử P_1, P_2, P_3 ;
- ii). Phân bổ độ tin cậy cho các phần tử 1,2,3 (P_1, P_2, P_3) để đảm bảo độ tin cậy cho trước của hệ P_s .

4.2. Các giao diện của chương trình

Các giao diện của chương trình thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Giao diện tính toán và phân bổ độ tin cậy cho các phần tử trên bộ trục bánh xe toa xe

5. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BỘ TRỤC BÁNH XE TOA XE THEO ĐỘ TIN CẬY CỦA SỨC BỀN VÀ HIỆU ỨNG TẢI TRỌNG

5.1. Lưu đồ thuật toán

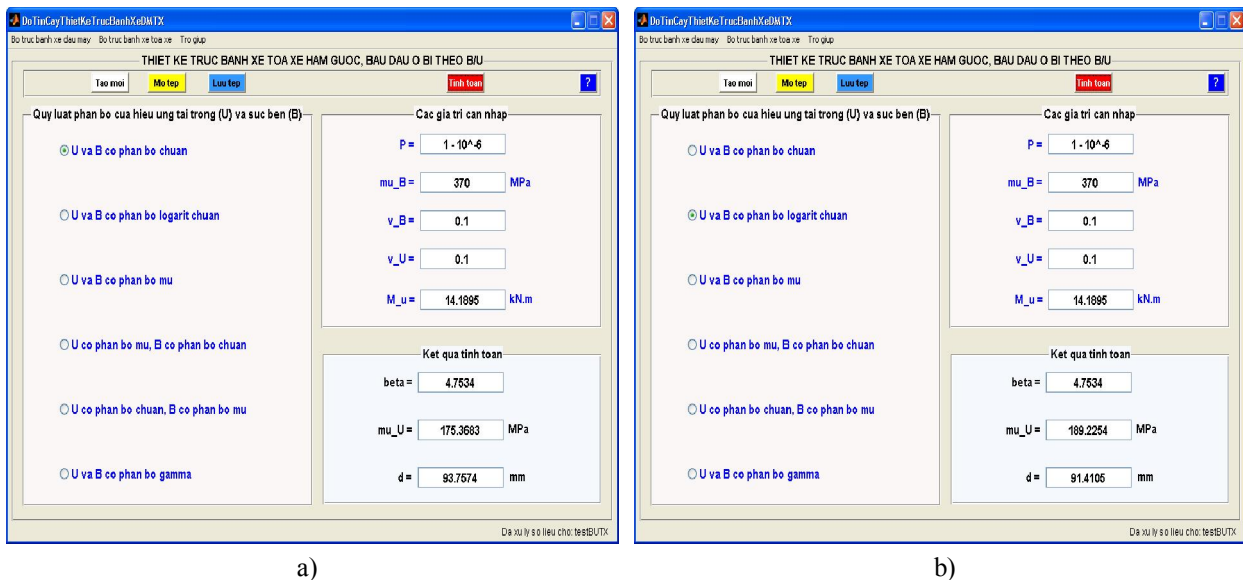
Từ cơ sở lý thuyết trình bày trong mục 3.2-3.3, tiến hành xây dựng lưu đồ thuật toán chương trình tính toán thiết kế bộ trục bánh xe toa xe theo độ tin cậy của sức bền và hiệu ứng tải trọng thể hiện trên hình 5.

Từ lưu đồ thuật toán, tiến hành thiết lập chương trình tính toán thiết kế bộ trục bánh xe toa xe theo độ tin cậy của sức bền và hiệu ứng tải trọng với chức năng như sau:

Căn cứ vào tải trọng tác dụng (mômen uốn M_u) và đặc trưng cơ học của vật liệu chế tạo (giới hạn bền μ_B), với các tham số đã biết của phân bố sức bền và hiệu ứng tải trọng (hệ số biến động của sức bền v_B và tải trọng v_U), với độ tin cậy cho trước của hệ (bộ trục bánh xe), chương trình cho phép tính toán xác định đường kính tối thiểu của trục bánh xe tại mặt cắt xung yếu nhất, tương ứng với các tổ hợp quy luật phân bố khác nhau của sức bền và hiệu ứng tải trọng (B và U có phân bố chuẩn; B và U có phân bố loga chuẩn; B và U có phân bố mũ; B có phân bố chuẩn và U có phân bố mũ; B có phân bố mũ và U có phân bố chuẩn; B và U có phân bố gamma).

5.3. Các giao diện của chương trình

Các giao diện của chương trình thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Giao diện tính toán thiết kế bộ trục bánh xe toa xe theo độ tin cậy của sức bền và hiệu ứng tải trọng
a. với B và U có phân bố chuẩn; b. với B và U có phân bố loga chuẩn

Qua đây thấy rằng, với các thông số ban đầu như nhau, nhưng U và B có các phân bố khác nhau thì kết quả tính toán là khác nhau. Cụ thể, nếu U và B có phân bố chuẩn thì đường kính mối ghép giữa bánh xe với trục là $d = 93,7574$ mm, còn nếu U và B có phân bố logarit chuẩn thì $d = 91,4105$ mm.

6. KẾT LUẬN

Từ cơ sở lý thuyết, đã thiết lập các lưu đồ thuật toán và lần đầu tiên đã xây dựng được chương trình tính toán phân bố độ tin cậy và tính toán thiết kế xác định đường kính của trục bánh xe tại các mặt cắt xung yếu theo sức bền và hiệu ứng tải trọng để đảm bảo độ tin cậy cho trước của hệ.

Chương trình có giao diện thân thiện, dễ sử dụng, phù hợp với mục đích và nội dung nghiên cứu, cho phép đa dạng hóa được các phương án tính toán và tăng nhanh tốc độ tính toán trong quá trình thiết kế bộ trục bánh xe toa xe theo độ tin cậy của sức bền và hiệu ứng tải trọng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phan Văn Khôi, 2001. *Cơ sở đánh giá độ tin cậy*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Dương Hồng Thái, Lê Văn Doanh, Lê Văn Học, 1997. *Kết cấu và tính toán toa xe*. NXB Giao thông Vận tải.
- [3]. Nguyễn Đức Toàn, 2017. *Xây dựng chương phần mềm đánh giá độ tin cậy của bộ trục bánh xe đầu máy, toa xe trong quá trình thiết kế bằng ngôn ngữ lập trình Matlab*, Đề tài NCKH, mã số T2017-CK-13, Trường Đại học Giao thông vận tải.
- [4]. Đỗ Đức Tuấn, 2013. *Độ tin cậy và tuổi bền máy*. NXB Giao thông Vận tải.
- [5]. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn, 2017. *Xây dựng chương trình tính toán sức bền của bộ trục bánh xe đầu máy theo phương pháp truyền thống*. Khoa học Giao thông vận tải, số 60, tháng 10/2017.
- [6]. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn, 2017. *Xây dựng chương trình tính toán thiết kế bộ trục bánh xe đầu máy theo độ tin cậy của sức bền và hiệu ứng tải trọng*. Khoa học Giao thông vận tải, số 60, tháng 10/2017.
- [7]. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn, 2017. *Xây dựng chương trình tính toán thiết kế bộ trục bánh xe đầu máy theo độ tin cậy của các mối ghép có độ dôi*. Khoa học Giao thông vận tải, số 61, tháng 12/2017.
- [8]. В.В. Лукин, Л.А.Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов, 2000. *Конструирование и расчёт вагонов*, Москва.