



DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM FOR HANDLING EXPERIMENTAL DATA TO DETERMINE FATIGUE CURVES OF METALLIC MATERIALS

Nguyen Duc Toan, Do Duc Tuan

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam.

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 4/11/2019

Revised: 2/12/2019

Accepted: 7/12/2019

Published online: 16/1/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.5.1>

* *Corresponding author*

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: 0913905814

Abstract. The fatigue test process in general for metallic materials includes the following steps: fabrication of material samples according to current standards, fatigue test of material samples on specialized equipment at different load levels according to the corresponding established procedures and programs, and handling experimental data to determine fatigue curves and fatigue characteristics. Fatigue curves are essentially the relationships between two random variables: the fatigue stress amplitude and the number of cycles to fatigue failure. The relationships are expressed in the forms of linear, nonlinear, Weibull and Stussi functions. Based on algorithms of the relationships between two random variables, the article presents the process of developing a computer program for handling experimental data, determining fatigue curves of the tested metallic materials, thereby select the appropriate fatigue curves to use for problems of assessing the fatigue strength or the fatigue life of mechanical parts and structures.

Keywords: fatigue test, data handling program, fatigue curve determination, nonlinear fatigue curve, Weibull fatigue curve, Stussi fatigue curve.

© 2019 University of Transport and Communications



XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH XỬ LÝ SỐ LIỆU THỬ NGHIỆM XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG CONG MỎI CỦA VẬT LIỆU KIM LOẠI

Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội.

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 4/11/2019

Ngày nhận bài sửa: 2/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 7/12/2019

Ngày xuất bản Online: 16/1/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.5.1>

* Tác giả liên hệ

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: 0913905814

Tóm tắt. Quá trình thử nghiệm mỏi nói chung đối với vật liệu kim loại bao gồm các bước: chế tạo mẫu vật liệu theo tiêu chuẩn hiện hành, thử nghiệm mỏi mẫu vật liệu trên thiết bị chuyên dùng ở các mức tải trọng khác nhau theo quy trình và chương trình tương ứng đã được xác định thiết lập, và xử lý số liệu thử nghiệm nhằm định họ đường cong mỏi và các đặc trưng mỏi. Các đường cong mỏi thực chất là mối quan hệ giữa hai đại lượng ngẫu nhiên: biên độ ứng suất mỏi và số chu trình phá hủy mỏi. Các mối quan hệ này được thể hiện dưới các dạng hàm tuyến tính, phi tuyến, các hàm của Weibull và Stussi. Từ các thuật toán về mối quan hệ giữa hai đại lượng ngẫu nhiên, bài báo trình bày quá trình xây dựng chương trình xử lý số liệu thử nghiệm mỏi, xác định họ đường cong mỏi của vật liệu kim loại được thử nghiệm, từ đó lựa chọn các đường cong mỏi phù hợp để sử dụng cho các bài toán đánh giá độ bền mỏi hoặc tuổi thọ mỏi của chi tiết và kết cấu cơ khí.

Từ khóa: thử nghiệm mỏi, chương trình xử lý số liệu, xác định đường cong mỏi, đường cong mỏi dạng phi tuyến, đường cong mỏi dạng Weibull, đường cong mỏi dạng Stussi.

© 2019 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Như đã biết, các nghiên cứu về mỏi đối với vật liệu kim loại khá đa dạng, phong phú và được tiến hành trên nhiều loại thiết bị chuyên dùng [1,2,3,6,7,8,9,10] gồm: Thử nghiệm mỏi

uốn thuần túy quay tròn, chu kỳ đối xứng; Thử nghiệm mỗi uốn thuần túy trong một mặt phẳng; Thử nghiệm mỗi mẫu công-son quay tròn (uốn ngang phẳng); Thử nghiệm mỗi mẫu công-son với lực P quay tròn; Thử nghiệm mỗi mẫu kéo và kéo-nén; Thử nghiệm mỗi mẫu chịu xoắn, v.v.

Tuy nhiên, cho dù việc thử nghiệm mỗi có được tiến hành bằng phương pháp nào và trên thiết bị nào, thì sau đó đều phải xử lý số liệu thử nghiệm nhằm xác định họ đường cong mỗi và các đặc trưng mỗi. Từ các họ đường cong mỗi cần lựa chọn các đường cong mỗi phù hợp cả về mặt toán học và cả về bản chất vật lý để sử dụng cho các bài toán đánh giá độ bền mỗi và tuổi thọ mỗi của chi tiết hoặc kết cấu cơ khí.

Các đường cong mỗi thực chất là mối quan hệ giữa hai đại lượng ngẫu nhiên: biên độ ứng suất mỗi và số chu trình phá hủy mỗi. Mối quan hệ này khá đa dạng, được thể hiện dưới các dạng hàm khác nhau như tuyến tính và các dạng phi tuyến hoặc dạng hàm Weibull và Stussi.

Vì vậy, từ các thuật toán về mối quan hệ giữa hai đại lượng ngẫu nhiên cần xây dựng một chương trình tính toán tổng hợp nhằm đáp ứng việc xử lý số liệu thử nghiệm mỗi và xác định họ đường cong mỗi có tính đa dạng một cách nhanh chóng và thuận tiện. Đây là một phần của nội dung đề tài NCKH mã số T2019-CK-009.

2. MỘT SỐ THUẬT TOÁN VỀ MỐI QUAN HỆ GIỮA BIÊN ĐỘ ỨNG SUẤT VÀ CHU TRÌNH PHÁ HỦY MỖI

Vì biên độ ứng suất mỗi σ_a và số chu trình phá hủy mỗi N là hai đại lượng ngẫu nhiên, do đó có thể thiết lập mối quan hệ của chúng bởi các hàm tương quan tuyến tính và phi tuyến với các dạng khác nhau. Một cách tổng quát, các hàm tương quan mô tả phương trình đường cong mỗi bao gồm [1,2,3,6,7,8,9,10]:

$$\text{Dạng phương trình tuyến tính: } \sigma_a = aN + b \quad (1)$$

Dạng phương trình phi tuyến:

$$\sigma_a = aN^2 + bN + c \quad (2)$$

$$\sigma_a = \frac{1}{aN^2 + bN + c} \quad (3)$$

$$\sigma_a = \frac{N}{aN^2 + bN + c} \quad (4)$$

$$\sigma_a = a + \frac{b}{N} + \frac{c}{N^2} \quad (5)$$

$$\sigma_a = \frac{1}{aN + b} \quad (6)$$

$$\sigma_a = \frac{a}{N} \quad (7)$$

$$\sigma_a = \frac{a}{N} + b \quad (8)$$

$$\sigma_a = \frac{N}{aN + b} \quad (9)$$

$$\sigma_a = ae^{bN+cN^2} \quad (10)$$

$$\sigma_a = ae^{bN} \quad (11)$$

$$\sigma_a = aN^b e^{cN} \quad (12)$$

$$\sigma_a = ab^N \quad (13)$$

$$\sigma_a = aN^b \quad (14)$$

$$\sigma_a = a + b \lg N \quad (15)$$

Phương trình Weibull dạng tổng quát $N = N_G \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_a} \right)^k$

Phương trình Weibull dạng $N = N_0 \sigma_a^{-k}$ (16)

Phương trình Weibull dạng $\lg N = \lg N_0 - k \lg \sigma_a$ (17)

Phương trình Weibull dạng $\sigma_a = aN^k$ (18)

Phương trình Stussi dạng tổng quát $\sigma_a = \frac{\sigma_b + CN^k \sigma_{-1}}{1 + CN^k}$ (19)

trong đó: σ_a - biên độ ứng suất; MPa; N - số chu trình ứng mỗi, 10^6 chu trình; a, b, c - các hệ số; σ_m, N_G - giới hạn mỏi và số chu trình giới hạn tương ứng, MPa; σ_b - giới hạn bền của vật liệu, MPa; σ_{-1} - giới hạn mỏi chu trình đối xứng của vật liệu thử nghiệm, MPa; N_0 - hằng số.

Để xây dựng các đường cong mỏi trên cơ sở các số liệu thử nghiệm mỏi, cần tiến hành các bước sau đây:

Đối với phương trình hồi quy tuyến tính
- Xác định các hệ số của phương trình [4]

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n N_i \sigma_{ai} - \sum_{i=1}^n N_i \sum_{i=1}^n \sigma_{ai}}{n \sum_{i=1}^n N_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n N_i \right)^2} \quad (20)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{ai} \sum_{i=1}^n N_i^2 - \sum_{i=1}^n N_i \sigma_{ai} \sum_{i=1}^n N_i}{n \sum_{i=1}^n N_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n N_i \right)^2} \quad (21)$$

trong đó:

N_i, σ_{ai} - chu trình ứng suất phá hủy mỏi và biên độ ứng suất tương ứng của mẫu thử nghiệm thứ i ($i = 1, 2, \dots, n$).

- Xác định hệ số tương quan

Để mô tả mối quan hệ giữa hai đại lượng ngẫu nhiên N và σ người ta sử dụng hệ số tương quan $r_{N\sigma}$ [4]:

$$r_{N\sigma} = \frac{\sum_1^n (N_i - \bar{N})(\sigma_{ai} - \bar{\sigma}_a)}{\sqrt{\sum_1^n (N_i - \bar{N})^2 \sum_1^n (\sigma_{ai} - \bar{\sigma}_a)^2}} \quad (22)$$

với $\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i$, $\bar{\sigma}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{ai}$.

- *Đánh giá mức độ tương quan*

Hiện nay có nhiều quan điểm đánh giá mức độ tương quan khác nhau. Trong trường hợp này sử dụng thang đánh giá của Treddoc [4,9]:

$r_{N\sigma_a} > 0$: Tương quan đồng biến;

$r_{N\sigma_a} < 0$: Tương quan nghịch biến;

$|r_{N\sigma_a}| = 1$: Tương quan hàm số;

$|r_{N\sigma_a}| > 0,9 \div 0,99$: Tương quan rất cao;

$|r_{N\sigma_a}| > 0,7 \div 0,9$: Tương quan cao;

$|r_{N\sigma_a}| > 0,5 \div 0,7$: Tương quan rõ nét;

$|r_{N\sigma_a}| > 0,3 \div 0,5$: Tương quan vừa phải;

$|r_{N\sigma_a}| > 0,1 \div 0,3$: Tương quan yếu;

$|r_{N\sigma_a}| = 0$: Không có tương quan.

- *Xác định các đường biên tin cậy* [4,9]

Các đường biên trên và dưới: $\sigma_{a\max} = aN + b + \Delta$; $\sigma_{a\min} = aN + b - \Delta$

trong đó:
$$\Delta = t_{\gamma,k} \frac{S_{\sigma_a}}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{(N_i - \bar{N})^2}{S_N^2}} = t_{\gamma,n-2} \frac{S_{\sigma_a}}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{(N_i - \bar{N})^2}{S_N^2}} \quad (23)$$

hay:

$$\sigma_a - t_{\gamma,k} \frac{S_{\sigma_a}}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{(N_i - \bar{N})^2}{S_N^2}} \leq \sigma_a \leq \sigma_a + t_{\gamma,k} \frac{S_{\sigma_a}}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{(N_i - \bar{N})^2}{S_N^2}} \quad (24)$$

với:

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i; \bar{\sigma}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{ai}; S_N^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2; S_{\sigma_a}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ai} - \bar{\sigma}_a)^2.$$

trong đó: $t_{\gamma,k}$ - hệ số Studen, xác định theo bảng [4], tùy thuộc vào trị số xác suất tin cậy yêu cầu γ và số bậc tự do $k = n-2$.

Các đường biên tin cậy nằm ở phía trên và phía dưới đường hồi quy dưới dạng các nhánh của đường hồi quy và tạo thành miền tin cậy.

Đối với các phương trình hồi quy phi tuyến

+ *Xác định hệ số của các phương trình*

Các hệ số a, b, c của 14 hàm phi tuyến được xác định theo các phương pháp trong [4].

+ *Đánh giá mức độ tương quan*

- *Đánh giá theo sai số cơ bản*

Sai số cơ bản (sai số bình phương trung bình) đối với tất cả các phương trình phi tuyến được xác định theo công thức [4]:

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\sigma_{ai} - \sigma_a(N_i)]^2}{n-1}} \quad (25)$$

trong đó: σ_{ai} - giá trị thực nghiệm thứ i của đại lượng ngẫu nhiên σ_a ; $\sigma_a(N_i)$ - giá trị của σ_a tính theo phương trình hồi quy tương ứng với giá trị N_i ; $[\sigma_{ai} - \sigma_a(N_i)]$ - hiệu số giữa giá trị thực nghiệm và giá trị trên đường cong lý thuyết tại những điểm cho trước.

Đối với đa số các bài toán thực tế, việc xấp xỉ hàm được coi là thỏa mãn (đạt yêu cầu), nếu $\delta_0 < 0,1\bar{\sigma}_a$, với giá trị trung bình $\bar{\sigma}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{ai}$.

- *Đánh giá theo tỷ lệ tương quan [4]*

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_{\sigma_a}^2 - \sigma_N^2}{\sigma_{\sigma_a}^2}} \text{ hoặc } R = \sqrt{1 - \frac{\sigma_N^2}{\sigma_{\sigma_a}^2}} \quad (26)$$

trong đó:

$$\sigma_{\sigma_a}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_{ai} - \bar{\sigma}_a)^2}{n-1}; \quad \sigma_N^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [\sigma_{ai} - \sigma_a(N_i)]^2}{n-1}, \text{ với } \bar{\sigma}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{ai}$$

N_i, σ_{ai} - chu trình ứng suất phá hủy mỗi và biên độ ứng suất tương ứng của mẫu thử nghiệm thứ i ($i = 1, 2, \dots, n$).

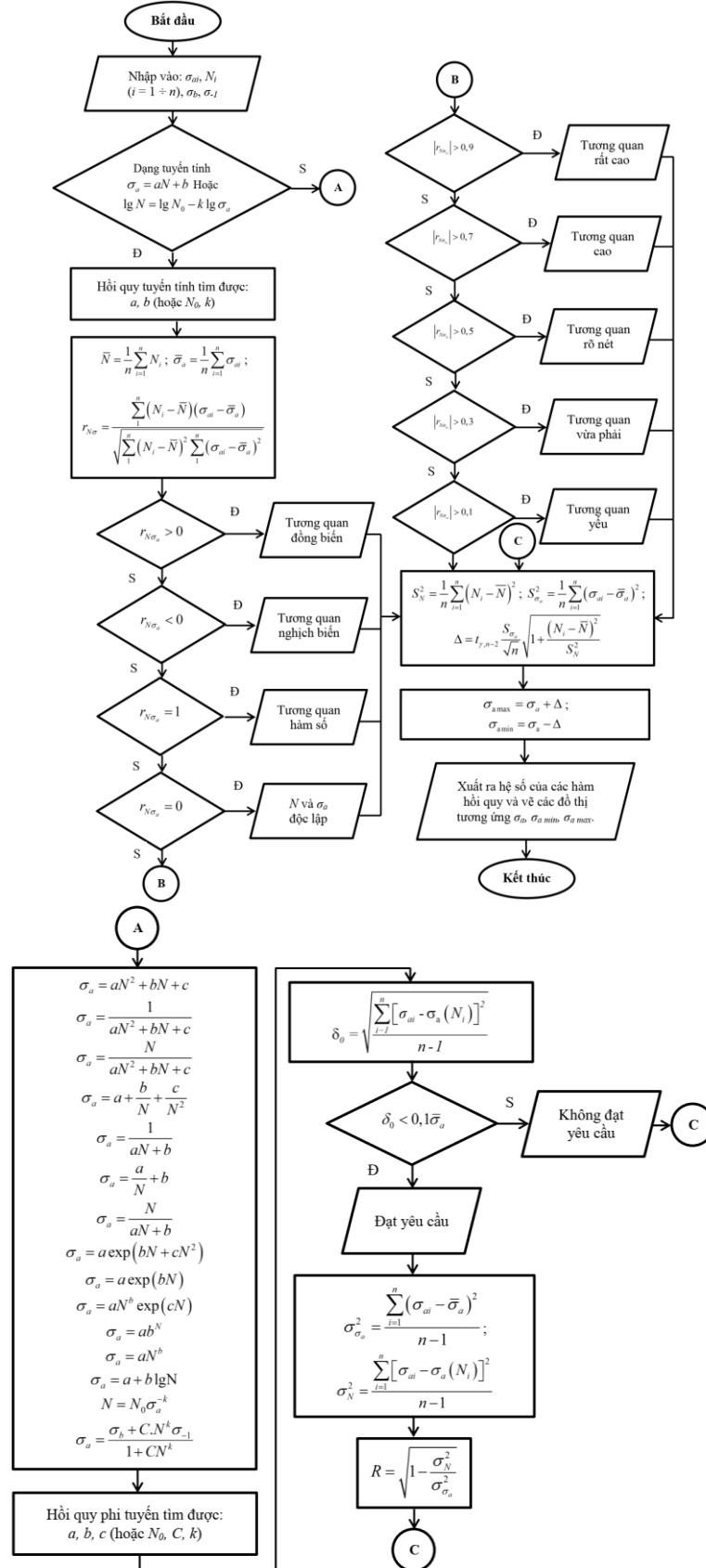
- *Xác định các đường biên tin cậy*

Việc xác định các đường biên tin cậy của các hàm phi tuyến, hàm Weibull và Stussi được tiến hành tương tự như đối với hàm tuyến tính đã nêu trên.

3. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH XỬ LÝ SỐ LIỆU THỬ NGHIỆM VÀ XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG CONG MỎI

3.1. Lưu đồ thuật toán

Từ các thuật toán đã trình bày trong mục 2, cũng như các phương pháp xác định các tham số của các phương trình [2,3,4,9,10], tiến hành xây dựng lưu đồ thuật toán cho chương trình xử lý số liệu thử nghiệm mỏi và xác định các đường cong mỏi (hình 1).



Hình 1. Lưu đồ thuật toán xây dựng chương trình xử lý số liệu thử nghiệm môi và xác định các đường cong môi.

3.2. Số liệu thử nghiệm

Chương trình được xây dựng hoàn toàn tương thích với bất kỳ loại số liệu thực nghiệm nào. Điều khác biệt duy nhất đó là các trị số định lượng của các đường cong mỗi đối với các loại vật liệu khác nhau và ở các chế độ thử nghiệm mỗi khác nhau mà thôi. Vì vậy, trong bài báo này giới thiệu một bộ số liệu thử nghiệm mỗi đã tiến hành trước đây đối với vật liệu thép đúc SC42 của khung giá chuyển hướng (KGCH) đầu máy D9E [5] được thể hiện trong bảng 1 để minh họa cho chương trình đã xây dựng.

Bảng 1. Số liệu thử nghiệm mỗi vật liệu thép đúc SC42 (KGCH đầu máy D9E).

$$\sigma_{ch} = 307 \text{ MPa}; \sigma_b = 468 \text{ MPa}; \sigma_{-1} = 180 \text{ MPa}$$

Mức ứng suất, MPa	Số lượng mẫu thử ở các mức ứng suất										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Số chu trình ứng suất phá hủy của các mẫu thử ($N \cdot 10^6$)										
1	282	0,0612	0,0668	0,109	0,1217	0,1639	0,1932	0,1992	0,200	0,252	-
2	252	0,2654	0,2670	0,1777	0,1805	0,1852	0,1888	0,3405	0,3525	0,4319	0,4579
3	228	0,2805	0,3846	0,3992	0,4826	0,4952	0,5342	0,5593	0,6130	-	-
4	204	0,5832	0,7053	0,7122	0,8103	0,8103	0,8103	0,8560	0,8672	0,9277	-
5	180	2,0460	2,1730	2,8650	2,9087	3,3159	3,8877	-	-	-	-

3.3. Một số chức năng và giao diện chính của chương trình

Từ lưu đồ thuật toán, bằng ngôn ngữ lập trình Matlab đã tiến hành xây dựng chương trình xử lý số liệu thử nghiệm mỗi nhằm xác định các đường cong mỗi và đặc trưng mỗi. Dưới đây đơn cử giới thiệu một số chức năng và giao diện chính của chương trình.

3.3.1. Tạo dữ liệu mới

The image displays three screenshots of the software interface:

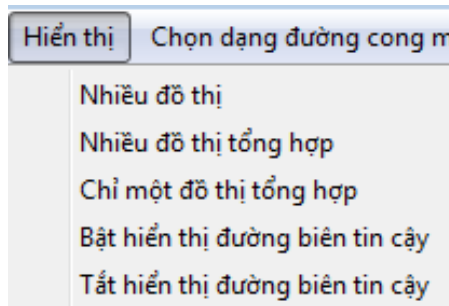
- Left screenshot:** A menu titled "Tạo dữ liệu mới" (Create new data) with options: "Tạo dữ liệu mới" (Ctrl+N), "Mở tệp dữ liệu" (Ctrl+O), "Lưu dữ liệu" (Ctrl+S), "Xuất kết quả ra tệp *.xls" (Ctrl+L), "In đồ thị" (Ctrl+G), "In toàn bộ kết quả" (Ctrl+P), and "Thoát" (Ctrl+Q). Below it is a sub-menu "Chọn dạng đường cong mỗi" (Select curve type) with options: "Dạng tuyến tính và phi tuyến" (Linear and non-linear) and "Dạng Weibull và Stussi" (Weibull and Stussi).
- Middle screenshot:** A dropdown menu titled "Dạng tuyến tính và phi tuyến" (Linear and non-linear) listing various mathematical models for σ_a , such as $\sigma_a = a \cdot N + b$, $\sigma_a = a \cdot N^2 + b \cdot N + c$, $\sigma_a = a \cdot e^{(b \cdot N + c \cdot N^2)}$, $\sigma_a = a \cdot e^{(b \cdot N)}$, $\sigma_a = a \cdot (N^b) \cdot e^{(c \cdot N)}$, $\sigma_a = a \cdot b \cdot N$, $\sigma_a = a \cdot N^a$, $\sigma_a = a + b \cdot \lg(N)$, $\sigma_a = N / (a \cdot N + b)$, $\sigma_a = 1 / (a \cdot N^2 + b \cdot N + c)$, $\sigma_a = N / (a \cdot N^2 + b \cdot N + c)$, $\sigma_a = a + b/N + c/N^2$, $\sigma_a = 1 / (a \cdot N + b)$, $\sigma_a = a/N + b$, and $\sigma_a = a/N$. Below it is a sub-menu "Dạng Weibull và Stussi" (Weibull and Stussi) with options: "Weibull $\sigma_a - N$ ", "Weibull $N - \sigma_a$ ", "Weibull - loga", and "Stussi".
- Right screenshot:** A dialog box titled "So lieu" (Data) with a list of values for N_i and σ_{ai} . The N_i values range from 0.14860 to 0.80000. The σ_{ai} values range from 365.3 to 370.3. The dialog has "OK" and "Cancel" buttons.

Sau khi nhập số liệu, chương trình sẽ xử lý và xây dựng được 19 dạng đường cong mỗi kèm theo các thông số về mức độ tương quan giữa hàm lý thuyết và số liệu thực nghiệm, cụ thể là hệ số tương quan $r_{N\sigma_a}$ (đối với hàm tuyến tính), sai số cơ bản δ_0 và tỷ lệ tương quan

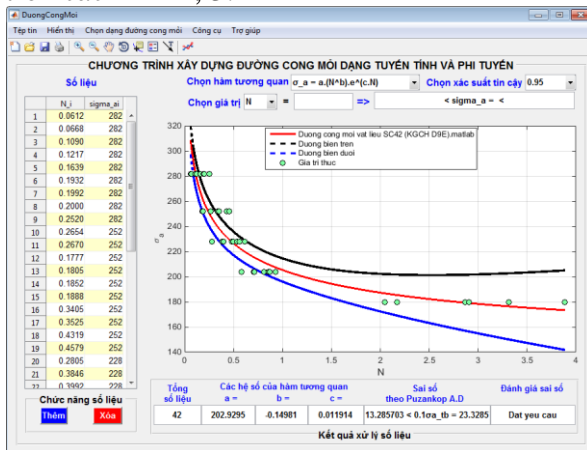
R đối với 14 dạng hàm phi tuyến và 4 dạng hàm Weibull và Stussi.

Tiếp theo tiến hành lưu tập số liệu với tên gọi xác định nào đó.

3.3.2. Hiện thị kết quả



Với một bộ số liệu đã nhập, chương trình cho phép hiển thị từng đồ thị đường cong mỗi với việc thể hiện hoặc không thể hiện các đường biên tin cậy. Ví dụ minh họa thể hiện trên các hình 2, 3.

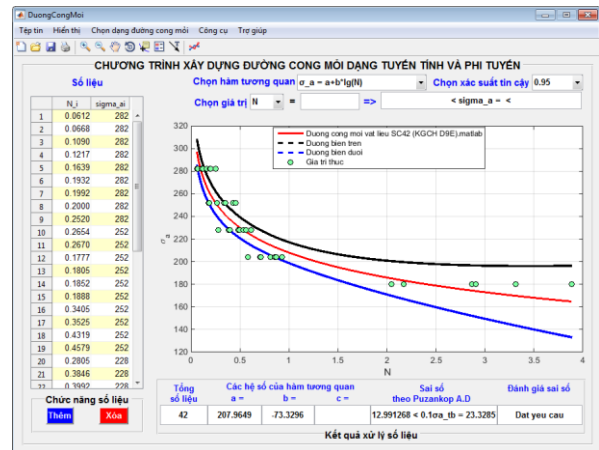


Hình 2. Đường cong mỗi dạng phi tuyến

$\sigma_a = aN^b e^{cN}$ của vật liệu thép SC42.

$$\sigma_a = 202,9295N^{-0,14981}e^{0,011914N}$$

$$R = 0,92425$$



Hình 3. Đường cong mỗi dạng phi tuyến

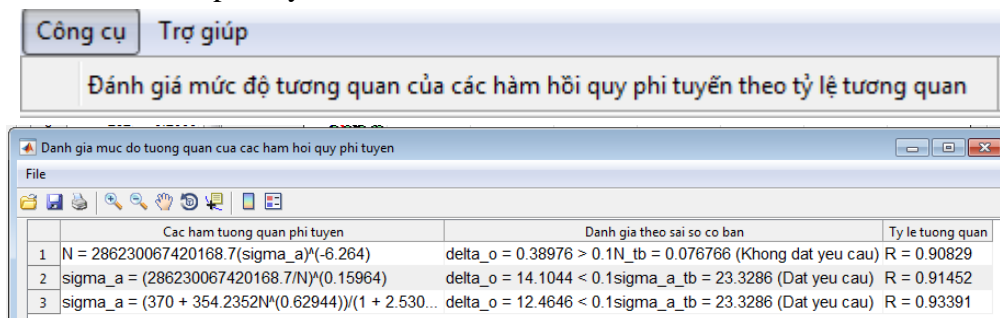
$\sigma_a = a + b \lg N$ của vật liệu thép SC42.

$$\sigma_a = 207,9649 - 73,3296 \lg N$$

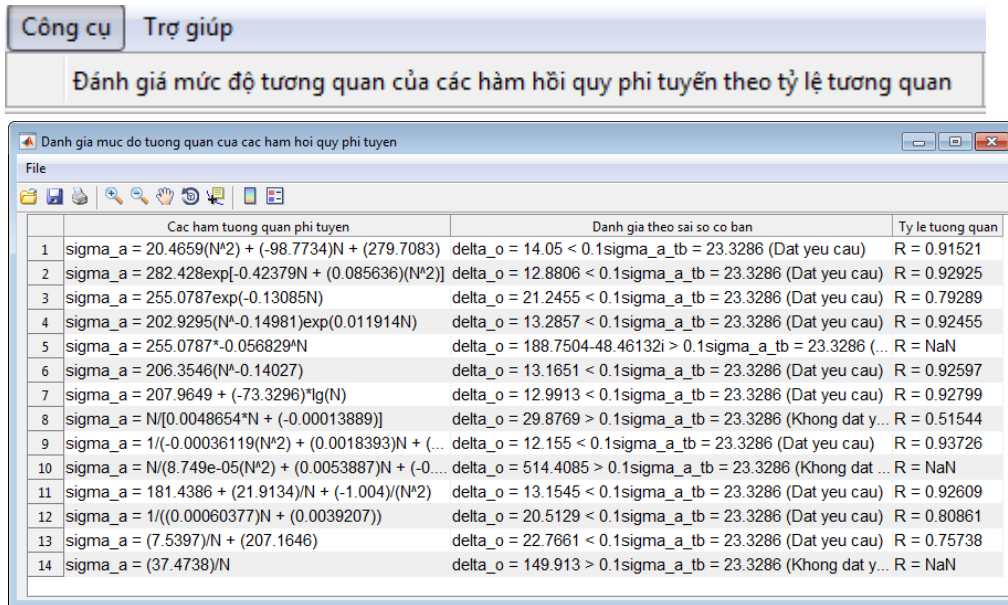
$$R = 0,92799$$

3.3.3. Đánh giá mức độ tương quan

Giao diện đánh giá mức độ tương quan của các hàm Weibull và Stussi thể hiện trên hình 4a và của các hàm phi tuyến thể hiện trên hình 4b.



Hình 4a. Giao diện đánh giá tỷ lệ tương quan của các hàm Weibull và Stussi.

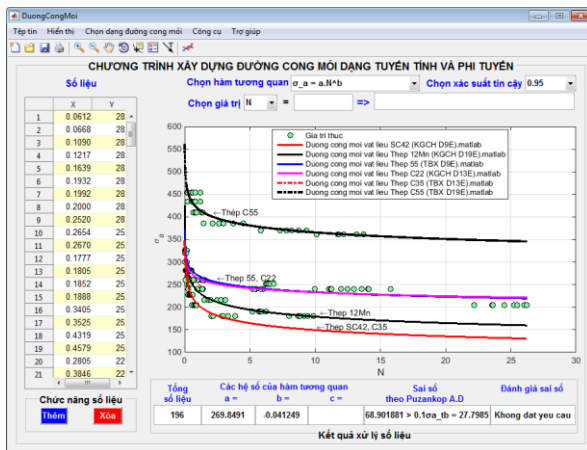


Hình 4b. Giao diện đánh giá tỷ lệ tương quan của các hàm phi tuyến.

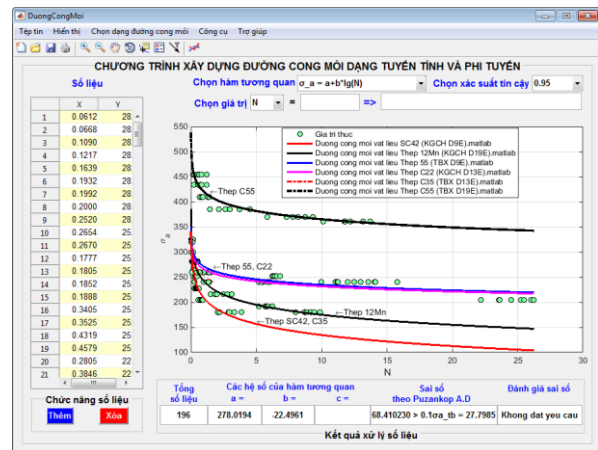
3.3.4. Mở tệp dữ liệu đã có

- Mở một tệp dữ liệu đã có để xem hoặc in đồ thị một đường cong mỗi;
- Mở nhiều tệp dữ liệu đã có và hiện thị nhiều đồ thị đường cong mỗi đồng thời.

Kế thừa các bộ số liệu thử nghiệm đã tiến hành trước đây đối với các loại vật liệu thép SC42, thép 12Mn, thép 55, thép C22, thép C35 và thép C55 [5], Chương trình đã xây dựng được 19 dạng đường cong mỗi. Khi sử dụng chức năng mở đồng thời nhiều tệp số liệu và hiển thị nhiều đồ thị, ta nhận được kết quả thể hiện trên các hình 5,6.



Hình 5. Các đường cong mỗi dạng $\sigma_a = aN^b$ của các loại vật liệu thép SC42, thép 12Mn, thép 55, thép C22, thép C35 và thép C55.



Hình 6. Các đường cong mỗi dạng $\sigma_a = a + b\lg N$ của các loại vật liệu thép SC42, thép 12Mn, thép 55, thép C22, thép C35 và thép C55.

3.4. Lựa chọn dạng đường cong mỗi

Như trên đã nói, sau khi nhập số liệu thử nghiệm mỗi đối với một loại vật liệu cụ thể nào đó, chương trình sẽ xử lý và xây dựng được 19 dạng đường cong mỗi. Bước tiếp theo cần lựa chọn các đường cong mỗi phù hợp để sử dụng cho các tính toán sau này.

Tiêu chí lựa chọn như sau:

1. Xét về mặt toán học thuần túy, đường cong mỗi lý thuyết phải có dạng phù hợp với số liệu thực nghiệm. Điều này được đánh giá thông qua hệ số tương quan $r_{N\sigma_a}$ (đối với hàm tuyến tính), sai số cơ bản δ_0 và tỷ lệ tương quan R đối với các hàm phi tuyến, các hàm Weibull và Stussi. Cần lựa chọn các hàm có hệ số tương quan hoặc tỷ lệ tương quan càng lớn càng tốt.

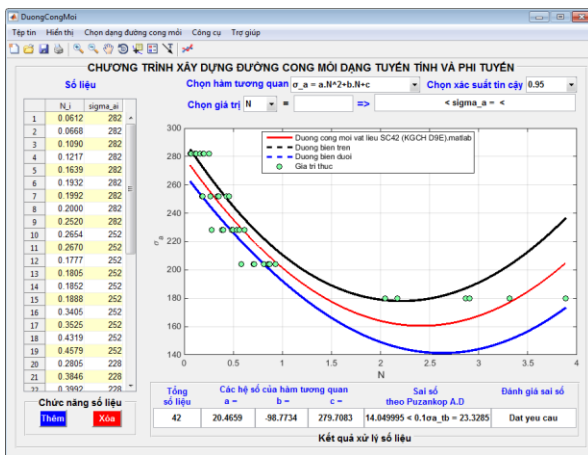
2. Xét về bản chất vật lý, biên độ ứng suất và số chu trình phá hủy mỗi phải có tương quan nghịch biến và đường cong mỗi phải có dạng đơn điệu không tăng, hay nói khác nó phải là một hàm tương quan đơn trị.

3. Khi số chu trình ứng ứng suất càng tăng thì biên độ ứng suất phải có xu hướng tiệm cận với một giá trị biên độ ứng suất tới hạn nào đó.

Với một bộ số liệu có tính chất minh họa đã nêu, thấy rằng trong số 19 đường cong mỗi đã xây dựng, có một số dạng đường cong mỗi phi tuyến, chẳng hạn:

Đường cong mỗi dạng $\sigma_a = aN^2 + bN + c$ là $\sigma_a = 20,4659N^2 - 98,7734N + 279,7083$ với tỷ lệ tương quan $R = 0,91521$ (hình 7), và đường cong mỗi dạng $\sigma_a = a \exp(bN + cN^2)$ là $\sigma_a = 282,428 \exp(-0,42379N + 0,085636N^2)$ với tỷ lệ tương quan $R = 0,92925$ (hình 8).

Các đường cong mỗi dạng này đều đạt yêu cầu về sai số cơ bản δ_0 theo tiêu chuẩn của Puzankov [4,9] và có tỷ lệ tương quan rất cao ($R > 0,90$). Tuy nhiên, đây chỉ có ý nghĩa về mặt toán học, mà không có ý nghĩa về mặt bản chất vật lý, vì rằng biên độ ứng suất không thể tăng lên khi chu trình phá hủy mỗi tăng lên, hay nói khác, các đường cong mỗi này không đơn trị, không thỏa mãn các tiêu chí nêu trên, do đó không thể sử dụng các đường cong mỗi này được.

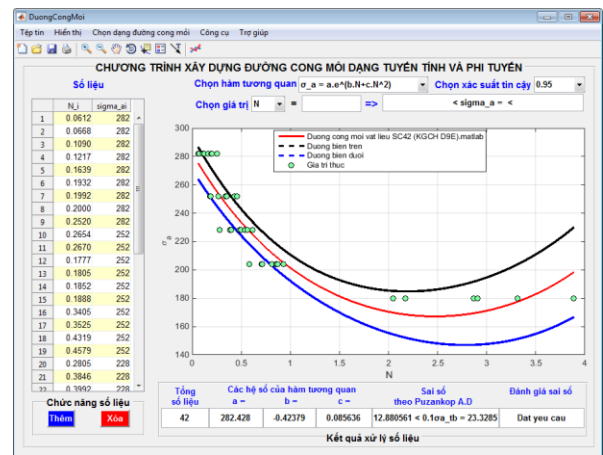


Hình 7. Đường cong mỗi dạng

$\sigma_a = aN^2 + bN + c$ của vật liệu thép SC42.

$$\sigma_a = 20,4659N^2 - 98,7734N + 279,7083$$

$$R = 0,91521$$



Hình 8. Đường cong mỗi dạng

$\sigma_a = a \exp(bN + cN^2)$ của vật liệu thép SC42.

$$\sigma_a = 282,428 \exp(-0,42379N + 0,085636N^2)$$

$$R = 0,92925$$

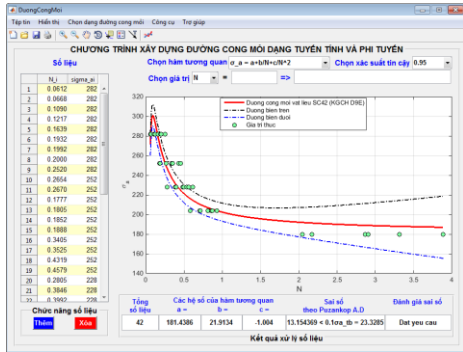
Từ các phân tích trên đây, với bộ số liệu đã cho đối với vật liệu thép SC42, trong số 19 dạng đường cong mỗi đã xây dựng, có thể lựa chọn được 8 dạng phương trình, trong đó có 4 dạng đường cong mỗi phi tuyến (bảng 2a) và có 4 dạng đường cong mỗi Weibull và Stussi (bảng 2b). Các dạng đường cong mỗi này sẽ được sử dụng trong các tính toán về mỗi tùy theo mục đích và yêu cầu của bài toán đặt ra.

Bảng 2a. Các phương trình đường cong môi dạng phi tuyến được lựa chọn.

TT 1 Dạng phương trình đường cong môi

$$\sigma_a = a + \frac{b}{N} + \frac{c}{N^2}$$

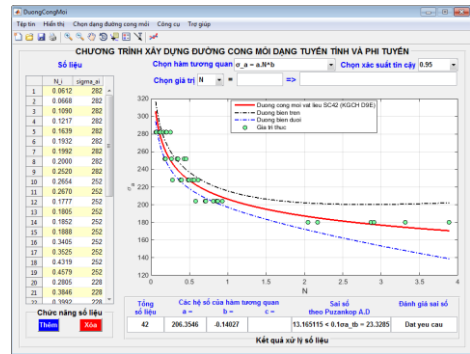
$$\sigma_a = 181,4386 + \frac{21,9134}{N} - \frac{1,004}{N^2}, R = 0,92609$$



TT 3 Dạng phương trình đường cong môi

$$\sigma_a = aN^b$$

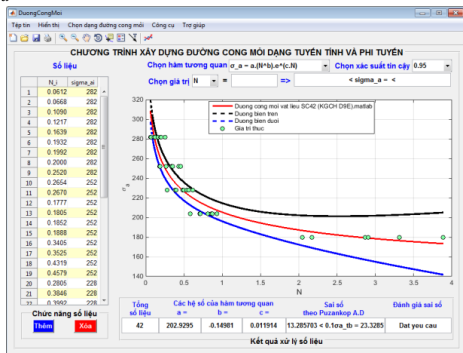
$$\sigma_a = 206,3546N^{-0,14027}, R = 0,92579$$



2

$$\sigma_a = aN^b e^{cN}$$

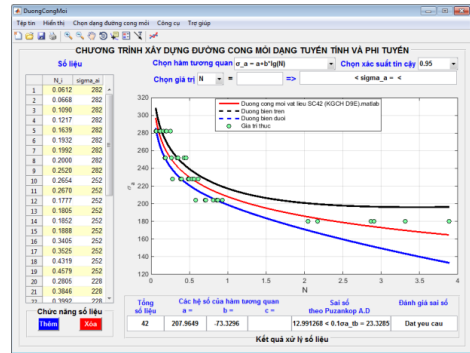
$$\sigma_a = 202,9295N^{-0,14981} e^{0,011914N}, R = 0,92425$$



4

$$\sigma_a = a + b \lg N$$

$$\sigma_a = 207,9649 - 73,3296 \lg N, R = 0,92799$$

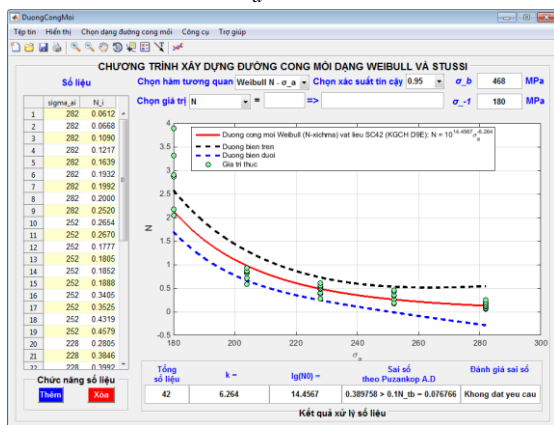


Bảng 2b. Các dạng phương trình đường cong môi dạng Weibull và Stussi được lựa chọn.

TT 1 Dạng phương trình đường cong môi

Phương trình Weibull dạng $N = N_0 \sigma_a^{-k}$

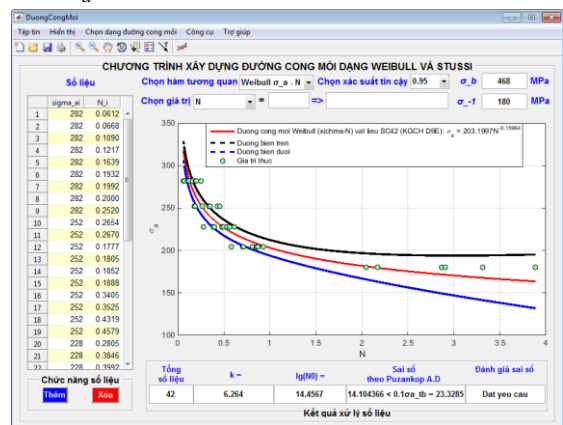
$$N = 10^{14,4567} \sigma_a^{-6,264}, R = 0,90829$$



TT 3 Dạng phương trình đường cong môi

Phương trình Weibull dạng $\sigma_a = aN^k$

$$\sigma_a = 203,1997N^{-0,15964}, R = 0,91452$$

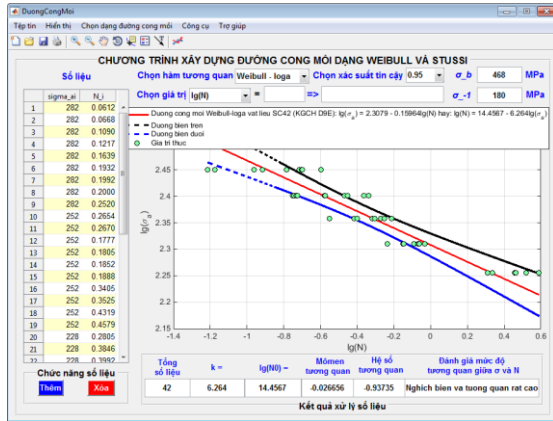


2 Phương trình Weibull dạng

$$\lg N = \lg N_0 - k \lg \sigma_a$$

$$\lg N = 14,4567 - 6,264 \lg \sigma_a$$

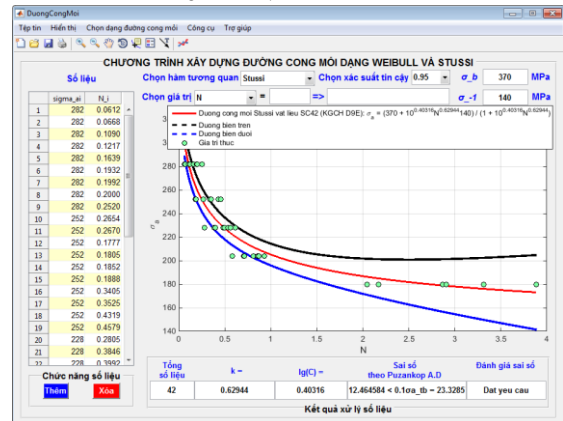
$$\lg \sigma_a = 2,3079 - 0,15964 \lg N, r_{N\sigma_a} = -0,93705$$



4 Phương trình Stussi dạng

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b + CN^k \sigma_{-1}}{1 + CN^k}$$

$$\sigma_a = \frac{370 + 10^{0,40316} N^{0,62944} \cdot 140}{1 + 10^{0,40316} N^{0,62944}}, R = 0,90829$$



4. KẾT LUẬN

Chương trình đã xây dựng là một chương trình tổng hợp cho việc xử lý số liệu thử nghiệm mỏi nói chung cho các loại vật liệu kim loại khác nhau bằng bất kỳ phương pháp nào và trên bất kỳ thiết bị thử nghiệm nào, nhằm xác định được một họ đường cong mỏi, từ đó lựa chọn được các đường cong mỏi phù hợp cả về mặt toán học và cả về bản chất vật lý để sử dụng cho các bài toán đánh giá độ bền mỏi và tuổi thọ mỏi của chi tiết và kết cấu cơ khí. Chương trình thuần Việt, có đầy đủ các chức năng cần thiết, giao diện thân thiện, dễ sử dụng, phù hợp với nội dung nghiên cứu đã đề ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phan Văn Khôi, Tuổi thọ mỏi của kết cấu thép ngoài biển, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 1997.

[2]. Phan Văn Khôi, Cơ sở đánh giá độ tin cậy, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 2001.

[3]. Ngô Văn Quyết, Cơ sở lý thuyết mỏi, NXB Giáo dục, Hà Nội 1999.

[4]. Đỗ Đức Tuấn, Độ tin cậy và tuổi bền máy, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội 2013.

[5]. Đỗ Đức Tuấn, Nghiên cứu đánh giá độ bền và độ bền mỏi kết cấu bộ phận chạy đầu máy, toa xe sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam, Đề tài NCKH cấp Bộ, mã số B2012-04-07, Trường Đại học Giao thông Vận tải, Hà Nội 2014.

[6]. Савоськин А.Н., Исследования усталостной прочности рамы тележки электропоезда ЭР2, “МИИТ-ТРАНСПОРТ”, Москва 1985.

[7]. Савоськин А.Н., Бурчак Г.П., Матвеевичев А.П., Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог, Машиностроение, Москва, 1990.

[8]. Грингевич Г.П., Каменская Е. А., Надежность погрузочно-разгрузочных машин, Издательство Транспорт, Москва 1984.

[9]. Пузанков А.Д., Надёжность конструкций локомотивов, МИИТ, Москва 1999.

[10]. Пузанков А.Д., Надёжность локомотивов, МИИТ, Москва 2006.