



ĐÁNH GIÁ TUỔI BỀN MỖI KHUNG GIÁ CHUYỂN HƯỚNG ĐẦU MÁY, TOA XE BẰNG MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP KHÁC NHAU THEO QUAN ĐIỂM TỔN THƯƠNG TÍCH LŨY

Đỗ Đức Tuấn^{1*}, Nguyễn Thị Bích Đào², Nguyễn Đức Toàn³

Tóm tắt: Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết đánh giá tuổi bền mỏi theo quan điểm tổn thương tích lũy của Xavoxkin và Puzankov, từ đó tiến hành kiểm nghiệm tuổi bền mỏi khung giá chuyển hướng đầu máy D13E và toa xe khách Rumani dựa trên các số liệu thử nghiệm về vật liệu, thử nghiệm tải trọng tĩnh và tải trọng động trong điều kiện Việt Nam. Việc tính toán kiểm nghiệm nhằm làm sáng tỏ sự khác biệt về kết quả của hai phương pháp, từ đó đưa ra kiến nghị về việc lựa chọn phương pháp đánh giá tuổi bền mỏi kết cấu bộ phận chạy đầu máy, toa xe trong điều kiện Việt Nam hiện nay.

Từ khóa: Tổn thương tích lũy; tuổi bền mỏi; khung giá chuyển hướng; đầu máy D13E; toa xe khách Rumani.

Assessment of the fatigue life of rolling stock's bogie frames by several different methods according to the cumulative fatigue damage theory

Abstract: The article presents fundamental theories of fatigue life assessment in cumulative fatigue damage viewpoints of Xavoxkin and Puzankov. Therefore, proceeded to calculate the fatigue life of bogie frames of D13E locomotives and Romanian passenger carriages based on results of material testing, static load and dynamic load testing in Vietnam operating conditions. The calculation aims to clarify the differences in results of two methods, thus making recommendations on the selection of fatigue life assessment methods for rolling stock running gear structures in Vietnam operating conditions.

Keywords: Cumulative fatigue damage; fatigue life; bogie frames; D13E locomotives; Romanian passenger carriages.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 7/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 7, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Hiện nay, nghiên cứu về mỏi được tiến hành theo hướng chính, đó là đánh giá tuổi thọ mỏi theo quan điểm tổn thương tích lũy và theo quan điểm cơ học phá hủy; đồng thời được chia thành hai trường phái: trường phái phương Tây và trường phái Liên Xô trước đây hay Liên bang Nga ngày nay [1]. Các nghiên cứu về mỏi đòi hỏi những thử nghiệm rất khác nhau, dẫn đến việc nghiên cứu về mỏi ngày càng phức tạp; mặt khác, kết quả nghiên cứu theo các phương pháp khác nhau nhiều khi không mang lại các kết quả như nhau [1].

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về mỏi nói chung có thể tham khảo trong [1-3]; tuy nhiên, nghiên cứu về mỏi đối với kết cấu đầu máy, toa xe còn hạn chế. Mặc dù vậy, trong những năm gần đây đã có một số công trình nghiên cứu liên quan tới lĩnh vực này [4-6], ở đó đã đề cập tới cả hai hướng nghiên cứu: theo quan điểm cơ học phá hủy [4] và theo quan điểm tổn thương tích lũy [5,6]. Tuy nhiên, khi đánh giá tuổi bền mỏi theo quan điểm tổn thương tích lũy cũng vẫn có các phương pháp khác nhau [7-10] và dẫn đến các kết quả khác nhau.

Vì vậy, trên cơ sở kế thừa các số liệu thử nghiệm về vật liệu, thử nghiệm tải trọng tĩnh và tải trọng động đối với khung giá chuyển hướng (KGCH) đầu máy D13E và toa xe khách Rumani trên đường sắt Việt Nam [5-6], cần tiến hành đánh giá tuổi bền mỏi của các kết cấu nói trên theo một số phương pháp khác nhau trên quan điểm tổn thương tích lũy, nhằm làm rõ sự khác biệt về kết quả tính toán, điều mà trong các công trình trước đây chưa thực hiện được, đồng thời chỉ ra phương pháp thích hợp cho việc ứng dụng trong điều kiện Việt Nam hiện nay.

¹GS.TS, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải.

²ThS, Khoa Cơ khí, Trường Cao đẳng Đường sắt.

³KS, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải.

*Tác giả chính. E-mail: ngovanthanh@utc.edu.vn.



2. Cơ sở đánh giá tuổi bền mỏi của chi tiết và kết cấu theo quan điểm tổn thương tích lũy

Giả thuyết này lần đầu tiên được Palmgren đề xuất và sau đó được Miner phát triển thành lý thuyết đánh giá tuổi thọ mỏi của các chi tiết, kết cấu máy và kết cấu công trình [1-3]. Trên cơ sở của lý thuyết này đã có nhiều tác giả phát triển và đưa ra những phương pháp khác nhau. Sau đây giới thiệu hai phương pháp của các giả thuộc Liên bang Nga.

2.1 Phương pháp của Xavoxkin

Đây là phương pháp do Xavoxkin A.N. và các cộng sự đề xuất [7,8]. Tuổi bền mỏi (tính bằng giờ) được xác định như sau:

$$T = \frac{\varphi_{\sigma}^m 2\pi N_0 \sigma^2 [\sigma_{-1k}]^m}{\int_{\varphi_{\sigma}[\sigma_{-1k}]}^{\infty} \sigma_a^{m+1} \exp\left(-\frac{\sigma_a^2}{2\sigma^2}\right) d\sigma_a}, \text{ h} \quad (1)$$

Ở tốc độ xác định V_i (km/h) tuổi bền mỏi (tuổi thọ mỏi) có thể xác định bằng kilômét chạy như sau:

$$L_i = V_i T = \varphi_{\sigma}^m \frac{2\pi N_0 \sigma^2 [\sigma_{-1k}]^m V_i}{3600 \omega_0 \int_{\varphi_{\sigma}[\sigma_{-1k}]}^{\infty} \sigma_a^{m+1} \exp\left(-\frac{\sigma_a^2}{2\sigma^2}\right) d\sigma_a}, \text{ km} \quad (2)$$

trong đó: $\varphi_{\sigma} = \frac{\sigma_b - \sigma_t}{\sigma_b}$ là hệ số nhạy cảm của vật liệu; σ_b là giới hạn bền của vật liệu, MPa; σ_t là ứng suất tính tại điểm đo trên kết cấu, MPa; m là chỉ số mũ của phương trình đường cong mỏi vật liệu kết cấu; σ_{-1k} là giới hạn mỏi uốn thuần túy chu kỳ đối xứng của vật liệu có xét tới hệ số tập trung ứng suất, MPa; $[\sigma_{-1k}]$ là giới hạn mỏi uốn cho phép của vật liệu có xét tới hệ số tập trung ứng suất, MPa; N_0 là số chu trình ứng suất cơ sở tương ứng với trị số $[\sigma_{-1k}]$ theo đường cong mỏi, đối với thép $N_0 = 10^7$; σ_a là kỳ vọng toán giá trị biên độ ứng suất động lớn nhất, MPa; $\sigma \equiv S_{\sigma}$ là sai lệch bình phương trung bình của ứng suất động, MPa; $\omega_0 \equiv f_0$ là tần số của biên độ ứng suất động, Hz.

Như vậy, khi kết cấu hoặc giá chuyển hướng chỉ làm việc ở tốc độ V_i thì tuổi thọ của nó là L_i . Tuy nhiên, trong thực tế giá chuyển hướng làm việc ở các chế độ tốc độ khác nhau. Ký hiệu xác suất khoảng thời gian làm việc (tính bằng km) của giá chuyển hướng ở tốc độ V_i là $P_i(V_i)$, khi đó ở km chạy toàn phần sau thời hạn phục vụ L , kilômét chạy l_i ở tốc độ V_i sẽ bằng:

$$l_i = P_i(V_i) L, \text{ km} \quad (3)$$

$$\text{Tổn thương } D_i \text{ ở tốc độ } V_i \text{ là: } D_i = \frac{l_i}{L} = \frac{P_i(V_i) L}{L_i} \quad (4)$$

Sau toàn bộ thời hạn phục vụ, tổng các các tổn thương đối với giá chuyển hướng bằng 1. Như vậy:

$$\sum D_i = \sum \frac{P_i(V_i) L}{L_i} = 1 \quad (5)$$

$$\text{Từ đó: } L = \frac{1}{\sum \frac{P_i(V_i)}{L_i}}, \text{ km} \quad (6)$$

Sau khi xác định được các thông số: σ_{ch} , σ_b , N_0 , σ_{-1} , σ_{-1k} , m , $[\sigma_{-1k}]$, σ_t , $P_i(V_i)$, S_{σ} , σ , $\sigma_a \equiv 3\sigma$, ω_0 , thông qua thực nghiệm, việc đánh giá tuổi bền mỏi kết cấu theo phương pháp của Xavoxkin được tiến hành theo các biểu thức (1), (2) và (6).

2.2 Phương pháp của Puzankov

Đây là phương pháp do Puzankov A.D. và các tác giả đề xuất [9,10]. Tuổi bền mỏi được xác định như sau:

$$L = \frac{1}{C} \left[\frac{\sigma_{-1k}}{Q} \right]^m, \text{ km} \quad (7)$$

trong đó: σ_{-1k} là giới hạn mỏi uốn thuần túy chu kỳ đối xứng của vật liệu, có xét tới hệ số tập trung ứng suất; m là chỉ số mũ đường cong mỏi của vật liệu; Q là hệ số của hàm lũy thừa $S_{\sigma} = QV$, mô tả mối quan hệ giữa

sai lệch bình phương trung bình của ứng suất động tại các điểm đo trên KGCH với tốc độ của đoàn tàu; C là hệ số, được xác định theo biểu thức:

$$C = \frac{3600 \times 2^{0,5m} n_L \Gamma\left(\frac{m+2}{2}\right) f_e \sum_i^N P_i(V_i) V_i^{mr-1}}{N_0 \varphi_\sigma^m} \quad (8)$$

trong đó: $\Gamma(*)$ là hàm gamma; f_e hoặc ω_0 là tần số hữu ích thay đổi ứng suất động (tần số của biên độ ứng suất động), Hz; $P_i(V)$ hoặc $f(V)$ là xác suất xuất hiện tốc độ thứ i hay mật độ phân bố xác suất tốc độ chuyển động của đoàn tàu (đầu máy, toa xe) trên khu đoạn khảo sát hay thử nghiệm (còn gọi là phổ tốc độ); $i = 1 \div N$ là số khoảng (dải) tốc độ của đoàn tàu; r là chỉ số mũ của hàm lũy thừa $S_\sigma = QV^r$, mô tả mối quan hệ giữa sai lệch bình phương trung bình của ứng suất động tại các điểm đo trên KGCH với tốc độ của đoàn tàu; V_i là tốc độ trung bình của đoàn tàu ở khoảng (dải) tốc độ thứ i , km/h; N_0 là số chu trình ứng suất cơ sở; φ_σ là hệ số nhạy cảm của vật liệu; n_L là hệ số dự trữ theo tuổi bền;

Hệ số dự trữ theo tuổi bền được thể hiện qua hệ số dự trữ theo ứng suất $n_L = n^m$.

trong đó: $n_\sigma = n_1 n_2 n_3 n_4$; $n_1 = 1,2$ là hệ số xét tới mức độ quan trọng của chi tiết; n_2 là hệ số xét tới độ chính xác của các công thức tính toán, $n_2 = S_1 S_2 S_3$; $S_1 = 1,15$ là hệ số xét tới giả thiết (sự bỏ qua) về phân bố của các giá trị ứng suất động tức thời theo luật phân bố chuẩn; $S_2 = 1,123$ là hệ số xét tới các sai số có thể xảy ra liên quan tới việc ứng dụng giả thuyết (tổng) tích lũy tuyến tính các tổn thương môi; $S_3 = 1,10$ là hệ số xét tới sự không chính xác liên quan tới việc tính đổi các đặc trưng môi từ chu trình ứng suất đối xứng sang chu trình ứng suất không đối xứng; $n_3 = 1,25$ là hệ số xét tới sự chính xác của việc xác định các ứng suất động khi tính toán tuổi bền; $n_4 = 1,25$ là hệ số xét tới sự chính xác của việc xác định giới hạn mỏi của kết cấu thực của khung giá chuyển hướng khi tiến hành các thử nghiệm trên bộ thử.

Sau khi xác định được các thông số: σ_{ch} , σ_b , N_0 , σ_{-1} , σ_{-1k} , m , $P_i(V)$, σ_r , $S_\sigma = QV^r$, thông qua thực nghiệm, việc đánh giá tuổi bền mỗi kết cấu theo phương pháp của Puzankov được tiến hành theo biểu thức (7), (8).



3. Đánh giá tuổi bền mỗi bộ phận chạy đầu máy D13E và toa xe khách Rumani

Từ cơ sở lý thuyết đã nêu, việc đánh giá tuổi bền mỗi được dựa trên các số liệu thử nghiệm về vật liệu, thử nghiệm tải trọng tĩnh và tải trọng động đối với khung giá chuyển hướng đầu máy D13E và toa xe khách Rumani trên khu đoạn Sài Gòn-Nha Trang-Sài Gòn [5,6].

3.1 Theo phương pháp của Xavoxkin

Các thông số tính toán tuổi bền mỗi cho các điểm đo trên KGCH đầu máy D13E và toa xe khách Rumani theo phương pháp của Xavoxkin được lấy từ các kết quả nghiên cứu trong [5,6] và được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số tính toán tuổi bền mỗi cho các điểm đo trên KGCH đầu máy D13E và toa xe khách Rumani theo phương pháp của Xavoxkin

TT	Thông số tính toán	KGCH đầu máy D13E		KGCH toa xe khách Rumani
		Điểm đo 15	Điểm đo 19	Điểm đo 1
1	Giới hạn chảy σ_{ch} , MPa	206,5	206,5	289,59
2	Giới hạn bền σ_b , MPa	311,7	311,7	467,04
3	Ứng suất tĩnh σ_t , MPa	11,69	14,748	72,96
4	Giới hạn mỏi σ_{-1} , MPa	231,10	231,10	31,7
5	Chu trình giới hạn mỏi N_0	107	107	107
6	Giới hạn mỏi σ_{-1k} , MPa	154,10	154,10	25,36
7	Giới hạn mỏi cho phép $[\sigma_{-1k}]$, MPa	93,4	93,4	15,37
8	Hệ số nhạy cảm của vật liệu, φ_σ	0,9625	0,9527	0,8438
9	Chỉ số mũ đường cong mỏi, m	18	18	11
10	Tần số biên độ ứng suất động, ω_0	5,0	5,0	2,5

Từ các thông số tính toán cho trong Bảng 1, bằng phần mềm chuyên dùng [11] đã tiến hành tính toán tuổi bền mỗi theo phương pháp của Xavoxkin đối với điểm 15, 19 trên KGCH đầu máy D13E và điểm 1 trên KGCH toa xe khách Rumani ở các phạm vi tốc độ khác nhau. Kết quả tính toán được cho trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán tuổi bền mỗi đối với điểm 15, 19 trên KGCH đầu máy D13E và điểm 1 trên KGCH toa xe khách Rumani theo phương pháp của Xavoxkin ở các phạm vi tốc độ khác nhau

TT	V_p , km/h	$P_i(V)$	σ_i , MPa			L_p , km		
			Điểm 15	Điểm 19	Điểm 1	Điểm 15	Điểm 19	Điểm 1
1	5	0,0281	2,679	2,356	1,995	∞	∞	3,0422e+29
2	15	0,0566	2,486	2,517	1,596	∞	∞	1,0691e+44
3	25	0,0572	3,564	2,634	2,604	∞	∞	6,7816e+19
4	35	0,1023	2,887	2,982	2,147	∞	∞	8,1111e+26
5	45	0,1298	4,163	3,930	1,735	2,5516e+281	1,6647e+308	3,1395e+38
6	55	0,1868	5,116	4,532	2,380	1,4756e+188	1,4073e+233	1,1931e+23
7	65	0,2525	4,209	3,325	2,317	3,6462e+275	∞	1,3188e+24
8	75	0,1684	3,264	3,112	3,112	∞	∞	7,5435e+15
9	85	0,0024	-	-	-			

Kết quả tổng hợp tính toán tuổi bền mỗi khung giá chuyển hướng đầu máy D13E và toa xe khách Rumani theo theo phương pháp của Xavoxkin ở các phạm vi tốc độ khác nhau thể hiện trong Bảng 4. Qua đây thấy rằng khi tính toán theo phương pháp của Xavoxkin, giá trị tuổi bền mỗi tại các điểm đo trên KGCH là rất lớn.

3.2 Đánh giá tuổi bền mỗi theo phương pháp của Puzankov

Các thông số tính toán tuổi bền mỗi cho các điểm đo trên KGCH đầu máy D13E và toa xe khách Rumani theo phương pháp của Puzankov được lấy từ các kết quả nghiên cứu trong [5,6] và được cho trong Bảng 3.

Bảng 3. Các thông số tính toán tuổi bền mỗi khung giá chuyển hướng đầu máy D13E và toa xe khách Rumani theo phương pháp của Puzankov

TT	Thông số tính toán	KGCH đầu máy D13E		KGCH toa xe khách Rumani
		Điểm đo 15	Điểm đo 19	Điểm đo 1
1	Chỉ số mũ đường cong mỗi, m	18	18	11
2	Tần số biên độ ứng suất động f_e , Hz	5,0	5,0	2,5
3	Hệ số nhạy cảm của vật liệu, φ_σ	0,9625	0,9527	0,8438
4	Hệ số, Q	1,8219	1,6595	1,1074
5	Chỉ số mũ, r	0,18641	0,18268	0,18084
6	Số chu trình ứng suất cơ sở, N_0	107	107	107
7	Giá trị giới hạn mỗi, σ_{-1k} , MPa	154,1	154,1	25,36

Từ các thông số tính toán cho trong Bảng 3, bằng phần mềm chuyên dùng [11] đã tiến hành tính toán tuổi bền mỗi theo phương pháp của Puzankov đối với điểm 15, 19 trên KGCH đầu máy D13E và điểm 1 trên KGCH toa xe khách Rumani. Kết quả tính toán được cho trong Bảng 4. Qua đây thấy rằng khi tính toán theo phương pháp của Puzankov, giá trị tuổi bền mỗi tại các điểm đo trên KGCH là tương đối lớn.

3.3 Tổng hợp các kết quả kiểm nghiệm và tính toán tuổi bền mỗi

Kết quả tổng hợp kiểm nghiệm và tính toán tuổi bền mỗi khung giá chuyển hướng đầu máy D13E và toa xe khách Rumani theo các phương pháp khác nhau được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả tổng hợp tính toán tuổi bền mỗi khung giá chuyển hướng đầu máy D13E và toa xe khách Rumani theo các phương pháp khác nhau

TT	Phương pháp	KGCH đầu máy D13E		KGCH toa xe Rumani
		Điểm đo 15	Điểm đo 19	Điểm đo 1
1	Xavoxkin	7,899279.10188 km	7,533572.10233 km	4,882.1016 km
2	Puzankov	1,23315.1017 km	7,266384.1017 km	5,079.106 km

Từ kết quả tổng hợp thấy rằng: khi tính toán theo phương pháp của Xavoxkin giá trị tuổi bền mỗi của các điểm đo là rất lớn và lớn hơn rất nhiều so với phương pháp của Puzankov.

Trong cả hai phương pháp, đã sử dụng nhiều thông số đầu vào giống nhau, bao gồm: σ_{ch} , σ_b , σ_{-1} , σ_{-1k} , N_0 , σ_r , σ hay S_σ , ω_0 hay f_σ , m , φ_σ , $P_i(V_i)$. Tuy nhiên trong mỗi phương pháp lại sử dụng một số thông số khác biệt nhau. Trong phương pháp của Xavoxkin sử dụng một số hệ số thực nghiệm như: hệ số tập trung ứng suất k_{tus} ; biên độ ứng suất $\sigma_a = 3\sigma$ và giới hạn mỏi cho phép $[\sigma_{-1k}]$. Trong phương pháp của Puzankov có xét tới một loạt hệ số thực nghiệm như: $n_L = n_\sigma^m$; $n_\sigma = n_1 n_2 n_3 n_4$; $n_2 = S_1 S_2 S_3$ hay $n_L = n_\sigma^m = (n_1 n_2 n_3 n_4)^m = (n_1 S_1 S_2 S_3 n_3 n_4)^m$ và hàm lũy thừa $S_\sigma = Q\sigma^r$. Những khác biệt này dẫn đến kết quả tính toán là khác nhau.



4. Kết luận

Kết quả tính toán theo hai phương pháp nói trên là khác biệt nhau một cách đáng kể, trong đó giá trị tính toán tuổi bền mỗi theo phương pháp của Puzankov nhỏ hơn khá nhiều so với phương pháp của Xavoxkin. Như vậy có thể thấy phương pháp của Puzankov thiên về an toàn hơn. Do đó trong tình hình hiện nay, nên chọn phương pháp này cho việc đánh giá tuổi bền mỗi kết cấu bộ phận chạy đầu máy, toa xe trong điều kiện Việt Nam. Tiếp theo cần mở rộng phạm vi nghiên cứu với một số phương pháp khác để có cơ sở so sánh, đối chứng và lựa chọn phương pháp phù hợp trong điều kiện Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

1. Ngô Văn Quyết (1999), *Cơ sở lý thuyết môi*, Nhà xuất bản Giáo dục.
2. Phan Văn Khôi (1997), *Tuổi thọ môi của kết cấu thép ở ngoài biển*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
3. Phan Văn Khôi (2001), *Cơ sở đánh giá độ tin cậy*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
4. Phạm Lê Tiến (2011), *Nghiên cứu đánh giá tuổi bền mỗi và tuổi thọ mỗi của khung giá chuyển hướng và trục bánh xe đầu máy D19E vận dụng trên đường sắt Việt Nam*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông vận tải.
5. Đỗ Đức Tuấn (2011), *Nghiên cứu thử nghiệm độ bền thùng xe, bộ xe và giá chuyển hướng toa xe khách Rumani sử dụng tại Xí nghiệp toa xe Sài Gòn*, Đề tài NCKH cấp Bộ, mã số B2010-04-111, Trường Đại học Giao thông vận tải.
6. Đỗ Đức Tuấn (2014), *Nghiên cứu đánh giá độ bền và tuổi bền mỗi 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.
7. Xavoxkin A.H. (1965), *Issledovanie ustalostnoi prochnosti ramy telezhki electropoezda EP2*, MIIT-Transport, Moskva.
8. Xavoxkin A.H., Burchak G.P., (1990), *Prochnost i bezotkaznost podvizhnovo sostava zheleznynykh dorog*, Mashinostoenie, Moskva.
9. Puzankov A.D., (1999), *Nadiezhnost konstruksii lokomotivov*, MIIT, Moskva.
10. Puzankov A.D., (2006), *Nadiezhnost lokomotivov*, MIIT, Moskva.
11. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn (2017), “Xây dựng chương trình tính toán tuổi bền mỗi khung giá chuyển hướng đầu máy, toa xe theo phương pháp tổn thương tích lũy của Xavoxkin và Puzankov”, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 56:17-22.