



RELIABILITY EVALUATION OF THE CRANKSHAFT BEARING SYSTEM IN D19E LOCOMOTIVE ENGINES USED IN VIETNAM RAILWAYS

Tran Van Hieu¹, Do Duc Tuan^{2*}, Nguyen Duc Toan²

¹University of Transport Technology, No 54 Trieu Khuc Street, Hanoi, Vietnam

²University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 12/02/2025

Revised: 07/11/2025

Accepted: 09/01/2026

Published online: 15/02/2026

<https://doi.org/10.47869/tcsj.77.2.5>

* Corresponding author

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: +84913905814

Abstract. For imported mechanical equipment, including the CAT 3512B engine used on the China-manufactured D19E diesel locomotive, the documentation supplied by manufacturers is typically restricted to fundamental technical specifications. In contrast, reliability-related parameters established during the design and production stages, which are essential for operational performance and maintenance planning, are seldom made available. Consequently, it becomes necessary to evaluate the reliability of key locomotive subsystems, particularly the engine crankshaft bearing system. The crankshaft bearing system of a diesel engine is composed of journal bearings operating under hydrodynamic lubrication. From the standpoint of reliability engineering, this system may be modeled as a series configuration consisting of multiple components, in which failure of any individual element can lead to functional failure of the entire system. Accordingly, this study was performed in order to apply reliability theory to journal bearing interfaces in order to estimate the reliability of each individual joint and to assess the overall reliability of the crankshaft bearing system of the CAT 3512B engine installed on the D19E diesel locomotive before operational deployment.

Keywords: crankshaft bearing system, CAT 3512B engine, D19E diesel locomotive, reliability, Vietnam Railways.



ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA HỆ GỐI ĐỖ TRỤC KHUYỬ ĐỘNG CƠ ĐẦU MÁY D19E SỬ DỤNG TRÊN ĐƯỜNG SẮT VIỆT NAM

Trần Văn Hiếu¹, Đỗ Đức Tuấn^{2*}, Nguyễn Đức Toàn²

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Số 54 Triều Khúc, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 12/02/2025

Ngày nhận bài sửa: 07/11/2025

Ngày chấp nhận đăng: 09/01/2026

Ngày xuất bản Online: 15/02/2026

<https://doi.org/10.47869/tcsj.77.2.5>

* Tác giả liên hệ

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: +84913 905 814

Tóm tắt. Với các sản phẩm cơ khí được nhập khẩu, trong đó có động cơ CAT 3512B của đầu máy diesel D19E xuất xứ từ Trung Quốc, thông tin do nhà sản xuất cung cấp chỉ giới hạn ở các thông số kỹ thuật cơ bản, trong khi các chỉ tiêu về độ tin cậy của đối tượng sau quá trình thiết kế, chế tạo, vốn có ý nghĩa quyết định đối với khai thác và bảo trì, hầu như không được công bố. Điều này đặt ra yêu cầu cần đánh giá mức độ tin cậy của các hệ thống quan trọng trên đầu máy, trong đó có hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ. Hệ gối đỡ trục khuỷu của động cơ diesel bao gồm các ổ trượt làm việc trong điều kiện bôi trơn thủy động. Xét theo quan điểm độ tin cậy, đây là một hệ thống gồm nhiều phần tử làm việc nối tiếp, trong đó hỏng hóc của bất kỳ phần tử nào cũng có thể dẫn đến mất khả năng làm việc của toàn hệ thống. Vì vậy, nghiên cứu này được triển khai với mục tiêu là ứng dụng lý thuyết độ tin cậy cho các mối ghép ổ trượt nhằm xác định độ tin cậy riêng rẽ của từng môi ghép và đánh giá độ tin cậy tổng hợp của hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B trên đầu máy D19E sau khi chế tạo, trước khi đưa vào sử dụng.

Từ khóa: gối đỡ trục khuỷu, động cơ CAT 3512B, đầu máy D19E, độ tin cậy, đường sắt Việt Nam.

@ 2026 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay khoảng 250 đầu máy diesel gồm 13 chủng loại với dải công suất từ 500 đến

2.000 mã lực đang được sử dụng trong đường sắt Việt Nam (ĐSVN). Đầu máy D19E có công suất 1.900 mã lực, truyền động điện, do Công ty đầu máy Tư Dương Trung Quốc sản xuất, với số lượng 80 chiếc, chiếm tỷ lệ khoảng 30% về mặt số lượng và 40% về tổng công suất và hiện là nguồn sức kéo chủ lực của ngành ĐSVN. Hiện nay đầu máy D19 được sử dụng tại 2 xí nghiệp: đầu máy Hà Nội và Sài Gòn thuộc Tổng công ty Đường sắt Việt Nam. Động cơ diesel sử dụng trên đầu máy D19E là loại động cơ CATERPILAR 3512B, do Mỹ sản xuất, là loại động cơ có công suất lớn, có nhiều tính năng ưu việt, hiệu suất cao, tiêu hao nhiên liệu thấp, làm việc ổn định và tin cậy, tuổi thọ cao, chi phí cho bảo dưỡng sửa chữa thấp. Tuy vậy, phía nhà sản xuất mới chỉ công bố các thông số kỹ thuật mang tính cơ bản, trong khi những chỉ tiêu liên quan đến độ tin cậy trong suốt các giai đoạn thiết kế và chế tạo, vốn là thông tin thiết yếu đối với đơn vị sử dụng, lại chưa được cung cấp. Do đó, yêu cầu đặt ra là phải tiến hành đánh giá mức độ tin cậy của đối tượng nêu trên sau khi hoàn thành thiết kế, chế tạo và trước thời điểm đưa vào khai thác.

Vì vậy, nội dung nghiên cứu nhằm áp dụng lý thuyết độ tin cậy để đánh giá hệ gối đỡ trực khuỷu của động cơ diesel, được xem như một hệ thống các ổ trượt bôi trơn thủy động liên kết nối tiếp. Trên cơ sở đó, xác định độ tin cậy của từng mối ghép cổ trục - bạc trục và cổ biên - bạc biên, có xét đến ảnh hưởng của các yếu tố làm việc. Đồng thời, đánh giá độ tin cậy tổng hợp của hệ gối đỡ trực khuỷu đối với động cơ CAT 3512B lắp trên đầu máy D19E trong điều kiện khai thác trên đường sắt Việt Nam.

2. KẾT CẤU HỆ GỐI ĐỠ TRỰC KHUYỮ ĐỘNG CƠ CAT 3512B TRÊN ĐẦU MÁY D19E

2.1. Thông số kỹ thuật của động cơ CAT 3512B

Các thông số kỹ thuật của động cơ CAT 3512B được trình bày trong Bảng 1 [1, 2].

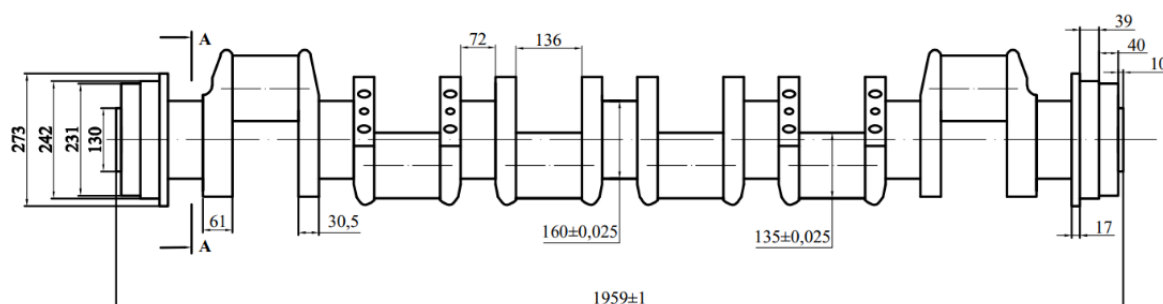
Bảng 1. Thông số kỹ thuật của động cơ CAT 3512B.

TT	Thông số	Giá trị
1	Nước chế tạo	Trung Quốc
2	Loại động cơ diesel	CAT 3512B
3	Số kỳ động cơ, τ	4
4	Số xi lanh, i	12
5	Cách bố trí xylanh	Hình chữ V
6	Phương thức nạp khí	có tăng áp
7	Tỷ số nén, ε	14:1
8	Công suất định mức N_e , mã lực (HP)/kW	1900/1455
9	Vòng quay định mức của trục khuỷu n , v/ph (r/m)	1800
10	Vòng quay không tải n_{min} , v/ph (r/m)	600
11	Đường kính xylanh D , mm	170
12	Hành trình pittông S , mm	190
13	Dung tích xi lanh, lít	51,8
14	Thứ tự làm việc của các xylanh	1, 12, 9, 4, 5, 8, 11, 2, 3, 10, 7, 6
15	Suất tiêu thụ nhiên liệu g_e , g/kWh	197

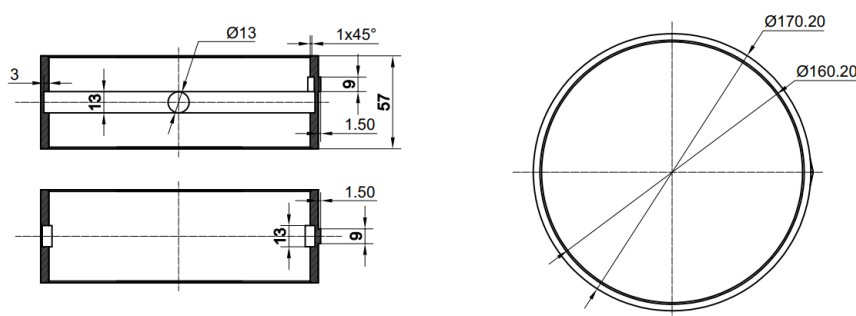
16	Góc mở sớm xupáp nạp $\alpha_1 = 16^0$	16^0
17	Góc đóng muộn xupáp nạp: $\alpha_2 = 36^0$	36^0
18	Góc mở sớm xupáp xả $\beta_1 = 60^0$	60^0
19	Góc đóng muộn xupáp xả $\beta_2 = 16^0$	16^0
20	Góc đóng muộn xupáp xả $\beta_2 = 16^0$	16^0
21	Góc phun sớm φ	13^0

2.2. Kết cấu trục khuỷu, bạc trục, bạc biên động cơ CAT 3512B

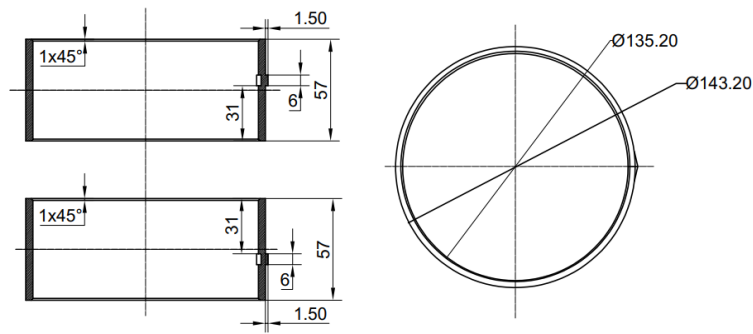
Trục khuỷu động cơ CAT 3512B có 7 cổ trục và 6 cổ biên. Tất cả 7 cổ trục đều có đường kính danh nghĩa ban đầu bằng nhau $d_{ct} = 160$ mm. Chiều dài các cổ trục bằng nhau là $l_{ct} = 72$ mm. Đường kính danh nghĩa ban đầu của tất cả các bạc cổ trục (từ 1 đến 7) là như nhau, bằng 160 mm. Chiều dài các bạc cổ trục là như nhau, bằng 57 mm. Đường kính danh nghĩa các cổ biên bằng nhau là 135 mm, chiều dài các cổ biên là giống nhau, bằng 136 mm. Chiều dài các bạc cổ biên là như nhau, bằng 57 mm. Kết cấu trục khuỷu và bạc trục được giới thiệu trên các Hình 1,2,3 [2].



Hình 1. Kết cấu trục khuỷu động cơ CAT 3512B [2].



Hình 2. Kết cấu bạc lót cổ trục khuỷu [2].



Hình 3. Kết cấu bạc lót cổ biên [2].

2.3. Thông số kỹ thuật của hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B

2.3.1. Độ nhám bề mặt

Độ nhám của cổ trục: $R_{z1} = 1,6 - 0,05 \mu\text{m}$ và của bạc trục: $R_{z2} = 10 - 3,2 \mu\text{m}$ [3,4].

2.3.2. Hệ số dẫn dài

Hệ số dẫn dài của cổ trục: $\alpha_{tr} = 12 \cdot 10^{-6}$ và của bạc trục: $\alpha_b = 17 \cdot 10^{-6}$ [3,4].

2.3.3. Chiều dày màng dầu bôi trơn tối hạn

Thông số này được tính như sau: [4]

$$h_{th} = R_{z1} + R_{z2} \quad (1)$$

Xét trường hợp bất lợi nhất:

$$h_{th} = R_{z1} + R_{z2} = 0,1 \mu\text{m} + 3,2 \mu\text{m} = 3,3 \mu\text{m} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ mm}. \quad (2)$$

2.3.4. Tính toán tải trọng $\bar{F}_r$ và độ lệch chuẩn s_{F_r}

Lực này không được nhà sản xuất cung cấp nên cần phải tiến hành tính toán chu trình công tác của động cơ CAT 3512B từ các thông số kỹ thuật đã biết (Bảng 1). Quá trình tính toán được tiến hành trên cơ sở các tài liệu [5, 6, 7, 8], từ đó xác định được lực khí thể lớn nhất tác dụng lên đỉnh pittông ở quá trình cháy, sau đó tính được lực hướng kính tác dụng lên các cổ trục, cổ biên. Các kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán tải trọng $\bar{F}_r$ và độ lệch chuẩn s_{F_r} .

TT	Thông số	Giá trị
1	Tải trọng lớn nhất tại cổ biên $F_{r,cb,max}$, kN	164,7
2	Tải trọng trung bình tại cổ biên $\bar{F}_{r,cb}$, kN	40,049
3	Độ lệch chuẩn của tải trọng tại cổ biên $s_{F_{r,cb}}$, kN	31,568
4	Tải trọng lớn nhất tại cổ trục $F_{r,ct,max}$, kN	140,210
5	Tải trọng trung bình tại cổ trục $\bar{F}_{r,ct}$, kN	57,337

6	Độ lệch chuẩn của tải trọng tại cổ trục $S_{F_{r,ct}}$, kN	24,173
---	---	--------

Các thông số kỹ thuật của hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B được thể hiện trong Bảng 3 [1,2, 3, 4, 9].

Bảng 3. Thông số kích thước của hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B.

TT	Thông số	Cổ trục - bạc trục		Cổ biên - bạc biên	
		Cổ trục	Bạc trục	Cổ biên	Bạc biên
1	Đường kính cổ d , mm	$d_{ct} = 160 \pm 0,025$	-	$d_{cb} = 135 \pm 0,025$	-
3	Đường kính bạc, mm				
3a	Đường kính ngoài D_n , mm	-	$D_{bt,n} = 170,20$	-	$D_{bb,n} = 135,2$
3b	Đường kính trong D_t , mm	-	$D_{bt,tr} = 160,20$	-	$D_{bb,tr} = 143,2$
4	Chiều dày bạc a , mm	-	$a_{bt} = 10$	-	$a_{bb} = 8,0$
6	Độ nhám bề mặt của cổ trục R_{z1} , μm	0,1		0,1	
7	Độ nhám bề mặt của bạc trục, μm R_{z2}		3,2		3,2
8	Hệ số dẫn dài của trục α_2	$12 \cdot 10^{-6}$		$12 \cdot 10^{-6}$	
9	Hệ số dẫn dài của bạc α_1		$17 \cdot 10^{-6}$		$17 \cdot 10^{-6}$

3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA HỆ GỐI ĐỠ TRỤC KHUYU ĐỘNG CƠ CAT 3512B TRÊN ĐẦU MÁY D19E

Sử dụng phần mềm chuyên dùng [10], tiến hành đánh giá độ tin cậy cho hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B trên đầu máy D19E.

3.1. Xác định các thông số của dầu bôi trơn

Hiện nay tại các Xí nghiệp đầu máy của ĐSVN đang sử dụng các loại dầu bôi trơn như sau [11]: - Dầu Rubia Tir 7400; - Dầu EMD 40 với các thông số được thể hiện trong Bảng 4 [12].

Bảng 4. Thông số dầu bôi trơn EMD 40 và Rubia Tir.

TT	Thông số	Đơn vị	Rubia Tir 7400 [1]	Rubia Tir 7400	EMD 40
1	Khối lượng riêng tại 15°C, ρ_{15}	kg/m ³	883	885	(0,884 – 0,9) g/l
2	Độ nhớt động học tại 100°C, ν_{100}	mm ² /s	14,2	14,2	14,5 – 16,3 cSt

3	Độ nhớt động học tại 40°C, ν_{40}	mm ² /s	105	105	106 cSt
4	Chỉ số độ nhớt	-	142	142	95

Kết quả lựa chọn và tính toán các thông số của dầu bôi trơn được trình bày trên các Hình 4, 5, 6, 7.

THÔNG SỐ DẦU BÔI TRƠN

Tên loại dầu

Rubia Tir 7400

Khối lượng riêng của dầu ở 15°C, ρ_{15}

885 ÷ 885

kg/m³

Hằng số Vogel, a

0.076

cP

Hằng số Vogel, b

1030.99

°C

Hằng số Vogel, c

-104.85

°C

Độ nhớt động học ở 100°C, ν_{100}

14.2 ÷ 14.2

cSt

Độ nhớt động học ở 40°C, ν_{40}

105 ÷ 105

cSt

Bảng quy đổi khối lượng riêng

Bảng quy đổi độ nhớt

Thêm

Xóa

Sửa

Lưu

Hủy

Tên loại dầu

Rubia Tir 7400

EMD 40

Rubia Tir 7400 [1]

Hình 4. Tính toán thông số dầu Rubila Tir 7400.

Bảng quy đổi khối lượng riêng của dầu...

Bảng quy đổi khối lượng riêng của dầu bôi trơn
Rubia Tir 7400 với khối lượng riêng của dầu ở 15°C là 885.000 kg/m³

TT	T °C	$\rho(T)$, kg/m ³
1	0	894.292
2	5	891.195
3	10	888.098
4	15	885.000
5	20	881.903
6	25	878.805
7	30	875.708
8	35	872.610
9	40	869.513
10	45	866.415
11	50	863.318
12	55	860.220
13	60	857.123
14	65	854.025
15	70	850.928
16	75	847.830
17	80	844.733
18	85	841.635
19	90	838.538

Bảng quy đổi độ nhớt của dầu bôi trơn
Rubia Tir 7400

TT	T °C	ν , cSt	μ , Pa.s
1	0	1583.986	1.416547
2	5	1015.976	0.905433
3	10	677.555	0.601735
4	15	467.539	0.413772
5	20	332.447	0.293186
6	25	242.748	0.213328
7	30	181.483	0.158926
8	35	138.567	0.120915
9	40	107.818	0.093749
10	45	85.329	0.073930
11	50	68.576	0.059203
12	55	55.885	0.048073
13	60	46.121	0.039531
14	65	38.505	0.032884
15	70	32.487	0.027644
16	75	27.675	0.023464
17	80	23.787	0.020094
18	85	20.613	0.017349
19	90	17.998	0.015092

a. Quy đổi khối lượng riêng.

b. Quy đổi độ nhớt.

Hình 5. Kết quả quy đổi khối lượng riêng và độ nhớt dầu Rubila Tir 7400.

THÔNG SỐ DẦU BÔI TRƠN

Tên loại dầu: **EMD 40**

Khối lượng riêng của dầu ở 15°C, ρ_{15} : **884** ÷ **900** kg/m³

Hằng số Vogel, a : **0.076** cP

Hằng số Vogel, b : **1030.99** °C

Hằng số Vogel, c : **-104.85** °C

Độ nhớt động học ở 100°C, ν_{100} : **14.5** ÷ **16.3** cSt

Độ nhớt động học ở 40°C, ν_{40} : **106** ÷ **106** cSt

Tên loại dầu: **Rubia Tír 7400**
EMD 40
Rubia Tír 7400 [1]

Hình 6. Tính toán thông số dầu EMD 40.

TT	T °C	$\rho(T)$, kg/m ³
1	0	901.366
2	5	898.244
3	10	895.122
4	15	892.000
5	20	888.878
6	25	885.756
7	30	882.634
8	35	879.512
9	40	876.390
10	45	873.268
11	50	870.146
12	55	867.024
13	60	863.902
14	65	860.780
15	70	857.658
16	75	854.536
17	80	851.414
18	85	848.292
19	90	845.170

TT	T °C	ν , cSt	μ , Pa.s
1	0	1571.556	1.416547
2	5	1008.003	0.905433
3	10	672.238	0.601735
4	15	463.870	0.413772
5	20	329.838	0.293186
6	25	240.843	0.213328
7	30	180.059	0.158926
8	35	137.480	0.120915
9	40	106.972	0.093749
10	45	84.659	0.073930
11	50	68.038	0.059203
12	55	55.446	0.048073
13	60	45.759	0.039531
14	65	38.203	0.032884
15	70	32.232	0.027644
16	75	27.458	0.023464
17	80	23.601	0.020094
18	85	20.452	0.017349
19	90	17.857	0.015092

a. Quy đổi khối lượng riêng.

b. Quy đổi độ nhớt.

Hình 7. Kết quả quy đổi khối lượng riêng và độ nhớt dầu EMD 40.

3.2. Xác định các thông số của mối ghép

3.2.1. Xác định các thông số của mối ghép cổ trục - bạc trục

Kết quả lựa chọn và tính toán các thông số của mối ghép được trình bày trên các Hình 8, 9.

THÔNG SỐ MỖI GHÉP

Tên mối ghép: **Cổ trục động cơ ĐM D19E**

Đường kính danh nghĩa mối ghép, d : **159.975** ÷ **160.025** mm

Chiều dài của ổ, l : **57** mm

Khe hở nhỏ nhất của mối ghép ở 25°C , δ_{0min} : **0.122** mm

Khe hở lớn nhất của mối ghép ở 25°C , δ_{0max} : **0.160** mm

Chiều dày bạc gối đỡ, a : **10** mm

Hệ số giãn dài của vật liệu bạc gối đỡ, α_1 : **0.000017**

Hệ số giãn dài của vật liệu ngỗng trục, α_2 : **0.000012**

Độ nhám bề mặt bạc gối đỡ, R_{z1} : **3.2** μm

Độ nhám bề mặt ngỗng trục, R_{z2} : **0.1** μm

☐ Bảng khe hở nhỏ nhất của mối ghép δ_{min} theo nhiệt độ

☐ Bảng khe hở lớn nhất của mối ghép δ_{max} theo nhiệt độ

☐ Bảng khe hở trung bình của mối ghép δ_{tb} theo nhiệt độ

Tên mối ghép

- Cổ biên động cơ ĐM D9E
- Cổ trục động cơ ĐM D9E
- Cổ trục động cơ ĐM D12E
- Cổ trục 1, 7 động cơ ĐM D12E
- Cổ trục 4 động cơ ĐM D12E
- Cổ biên động cơ ĐM D12E
- Cổ trục động cơ ĐM D13E
- Cổ trục 4 động cơ ĐM D13E
- Cổ biên động cơ ĐM D13E
- Cổ trục động cơ ĐM D19E**
- Cổ biên động cơ ĐM D19E
- Gối đỡ trục

Hình 8. Tính toán các thông số mối ghép cổ trục động cơ CAT 3512B.

Bảng khe hở trung bình của mối ghép
Cổ trục động cơ ĐM D19E theo nhiệt độ

TT	δ_{otb}, mm	a, mm	$t_0, ^{\circ}\text{C}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	δ_{tb}, mm
1	0.1410000000...	10	25	25	0.1410
2	0.1410000000...	10	25	30	0.1405
3	0.1410000000...	10	25	35	0.1400
4	0.1410000000...	10	25	40	0.1395
5	0.1410000000...	10	25	45	0.1390
6	0.1410000000...	10	25	50	0.1385
7	0.1410000000...	10	25	55	0.1380
8	0.1410000000...	10	25	60	0.1375
9	0.1410000000...	10	25	65	0.1370
10	0.1410000000...	10	25	70	0.1365
11	0.1410000000...	10	25	75	0.1360
12	0.1410000000...	10	25	80	0.1355
13	0.1410000000...	10	25	85	0.1350
14	0.1410000000...	10	25	90	0.1345
15	0.1410000000...	10	25	95	0.1340
16	0.1410000000...	10	25	100	0.1335
17	0.1410000000...	10	25	105	0.1330
18	0.1410000000...	10	25	110	0.1325
19	0.1410000000...	10	25	115	0.1320
20	0.1410000000...	10	25	120	0.1315
21	0.1410000000...	10	25	125	0.1310

Hình 9. Kết quả tính toán khe hở trung bình mối ghép cổ trục động cơ CAT 3512B.

3.2.2. Xác định các thông số của mối ghép cổ biên - bạc biên

Kết quả lựa chọn và tính toán các thông số của mối ghép được trình bày trên các Hình 10, 11.

THÔNG SỐ MỐI GHÉP

Tên mối ghép	Cổ biên động cơ ĐM D19E	
Đường kính danh nghĩa mối ghép, d	134.975 ÷ 135.025	mm
Chiều dài của ổ, l	57	mm
Khe hở nhỏ nhất của mối ghép ở 25°C, δ_{0min}	0.107	mm
Khe hở lớn nhất của mối ghép ở 25°C, δ_{0max}	0.14	mm
Chiều dày bạc gôi đỡ, a	8	mm
Hệ số giãn dài của vật liệu bạc gôi đỡ, α_1	0.000017	
Hệ số giãn dài của vật liệu ngồng trục, α_2	0.000012	
Độ nhám bề mặt bạc gôi đỡ, R_{z1}	3.2	μm
Độ nhám bề mặt ngồng trục, R_{z2}	0.1	μm

Tên mối ghép	Cổ biên động cơ ĐM D9E
Cổ trục động cơ ĐM D9E	
Cổ trục động cơ ĐM D12E	
Cổ trục 1, 7 động cơ ĐM D12E	
Cổ trục 4 động cơ ĐM D12E	
Cổ biên động cơ ĐM D12E	
Cổ trục động cơ ĐM D13E	
Cổ trục 4 động cơ ĐM D13E	
Cổ biên động cơ ĐM D13E	
Cổ trục động cơ ĐM D19E	
Cổ biên động cơ ĐM D19E	
Gôi đỡ trục	

Hình 10. Tính toán các thông số mối ghép cổ biên động cơ CAT 3512B.

Bảng khe hở trung bình của mối ghép theo nhiệt độ

TT	δ_{0tb}, mm	a, mm	$t_0, ^\circ C$	$t, ^\circ C$	δ_{tb}, mm
1	0.1235	8	25	25	0.1235
2	0.1235	8	25	30	0.1231
3	0.1235	8	25	35	0.1227
4	0.1235	8	25	40	0.1223
5	0.1235	8	25	45	0.1219
6	0.1235	8	25	50	0.1215
7	0.1235	8	25	55	0.1211
8	0.1235	8	25	60	0.1207
9	0.1235	8	25	65	0.1203
10	0.1235	8	25	70	0.1199
11	0.1235	8	25	75	0.1195
12	0.1235	8	25	80	0.1191
13	0.1235	8	25	85	0.1187
14	0.1235	8	25	90	0.1183
15	0.1235	8	25	95	0.1179
16	0.1235	8	25	100	0.1175
17	0.1235	8	25	105	0.1171
18	0.1235	8	25	110	0.1167
19	0.1235	8	25	115	0.1163
20	0.1235	8	25	120	0.1159
21	0.1235	8	25	125	0.1155

Hình 11. Kết quả tính toán khe hở trung bình mối ghép cổ biên động cơ CAT 3512B.

3.3. Xác định độ tin cậy hệ gỏi đỡ trực khuỷu động cơ CAT 3512B

Các thông số tính toán được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5. Thông số đầu vào tính toán độ tin cậy của mối ghép.

TT	Thông số của mối ghép	Tên mối ghép	
		Cổ trục động cơ D19E	Cổ biên động cơ D19E
1	Đường kính ban đầu của trục d , mm	159,975-160,025	134,975-135,025
2	Chiều dài cổ l , mm	72	136 1 cổ biên có 2 thanh truyền
	Chiều dài bạc, mm	57	57
3	Khe hở tối thiểu tại 25°C, $\delta_{\min}$	0,122	0,107
4	Khe hở tối đa tại 25°C, $\delta_{\max}$	0,160	0,140
5	Chiều dày bạc a , mm	10	8
6	Hệ số dẫn dài của bạc α_1	$17 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^{-6}$
7	Hệ số dẫn dài của trục α_2	$12 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-6}$
8	Độ nhám bề mặt của bạc R_{z1} , μm	3,2	3,2
9	Độ nhám bề mặt của cổ trục R_{z2} , μm	0,1	0,1
10	Tốc độ quay trục khuỷu, v/phút	1800	
11	Tải trọng hướng kính tại ổ trục $\bar{F}_r$, N	57337	40049
12	Độ lệch chuẩn s_F của $\bar{F}_r$, N	24173	31568
13	Dầu bôi trơn	Rubia Tir 7400, EMD40	

3.3.1. Xác định độ tin cậy mối ghép cổ trục - bạc trục

Kết quả tính toán được thể hiện trên các Hình 12, 13.

Như vậy, độ tin cậy của mối ghép cổ trục - bạc trục động cơ động CAT 3512B với vai trò là một phần tử, ở chế độ làm việc 85°C, với dầu bôi trơn Rubia Tir 7400 là: 0,9(10) hay 0,9⁽¹⁰⁾.

Lưu ý rằng, nếu độ tin cậy của phần tử nào đó có độ tin cậy là 0,999 thì có thể viết dưới dạng quy ước là 0,9(3) hay 0,9⁽³⁾.

3.3.2. Xác định độ tin cậy mối ghép cổ biên - bạc biên

Kết quả tính toán được thể hiện trên các Hình 14, 15.

Như vậy, độ tin cậy của mối ghép cổ biên - bạc biên động cơ động CAT 3512B với vai trò là một phần tử, ở chế độ làm việc 85°C, với dầu bôi trơn Rubia Tir 7400 là: 0,9(5) hay 0,9⁽⁵⁾.

ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA MỖI GHÉP BÔI TRƠN THỦY ĐỘNG

Tập tin

+ Tạo mới
Mở tệp
Lưu tệp
Tính toán

Thông số tính toán

Loại dầu Rubia Tír 7400

Loại mối ghép Cổ trục động cơ ĐM D19E

Nhiệt độ làm việc 85 °C

Tải trọng hướng kính trung bình F_{rtb} 57337 N

Hệ số an toàn khe hở tối hạn s 1

Sai lệch bình phương trung bình của F_{rtb}, s_{Fr} 24173 N

Số vòng quay của chi tiết bị bao, n 1800 vg/ph

Kết quả tính toán

$\mu_{tb} =$ 1.73489e-08 Ns/mm²

$d =$ 160.000 mm

$m' =$ 0.280119

$\delta_{tb} =$ 0.135000 mm

$l =$ 57.0 mm

$F_{tb} =$ 228299 N

$s_{\delta} =$ 0.00633333 mm

$l/d =$ 0.356250

$s_F =$ 10159.8 N

$s_{\mu} =$ 0.00000 Ns/mm²

$z =$ 6.51997

$h_{th} =$ 0.00330000 mm

Bảng tổng hợp kết quả tính toán

$\phi(z) =$ 0.9 (10)

Hình 12. Kết quả tính toán cho mối ghép cổ trục động cơ CAT 3512B.

Bảng tổng hợp kết quả tính toán				
Bảng tổng hợp kết quả tính toán độ tin cậy của mối ghép: Cổ trục động cơ ĐM D19E được bôi trơn bởi dầu: Rubia Tír 7400 ở nhiệt độ làm việc: 85°C				
TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính danh nghĩa mối ghép	d	160.000	mm
2	Chiều dài của ổ	l	57.0	mm
3	Tỷ số giữa chiều dài l và đường kính d	l/d	0.356250	
4	Hệ số phụ thuộc tỷ lệ l/d	m'	0.280119	
5	Chiều dày tối hạn của màng dầu bôi trơn	h_{th}	0.00330000	mm
6	Độ nhớt động lực trung bình của dầu bôi trơn	μ_{tb}	1.73489e-08	Ns/mm ²
7	Sai lệch bình phương TB của độ nhớt động lực	s_{μ}	0.00000	Ns/mm ²
8	Khe hở hướng kính trung bình của mối ghép	δ_{tb}	0.135000	mm
9	Sai lệch bình phương trung bình của khe hở	s_{δ}	0.00633333	mm
10	Khả năng tải trung bình	F_{tb}	228299	N
11	Sai lệch bình phương trung bình của khả năng tải	s_F	10159.8	N
12	Điểm phân vị	z	6.51997	
13	Độ tin cậy của mối ghép	$\phi(z)$	0.9 (10)	

Hình 13. Kết quả tính toán tổng hợp cho mối ghép cổ trục động cơ CAT 3512B.

ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA MỖI GHÉP BÔI TRƠN THỦY ĐỘNG

Tập tin

Thông số tính toán

Loại đầu Loại môi ghép

Nhiệt độ làm việc °C Tải trọng hướng kính trung bình F_{rtb} N

Hệ số an toàn khe hở tối hạn s Sai lệch bình phương trung bình của F_{rtb}, s_{Fr} N

Số vòng quay của chi tiết bị bao, n vg/ph

Kết quả tính toán

$\mu_{tb} =$ Ns/mm² $d =$ mm $m' =$

$\delta_{tb} =$ mm $l =$ mm $F_{tb} =$ N

$s_{\delta} =$ mm $l/d =$ $s_F =$ N

$s_{\mu} =$ Ns/mm² $z =$

$h_{th} =$ mm $\phi(z) =$

Hình 14. Kết quả tính toán cho mỗi ghép cổ biên động cơ CAT 3512B.

Bảng tổng hợp kết quả tính toán

Bảng tổng hợp kết quả tính toán độ tin cậy của môi ghép: Cổ biên động cơ ĐM D19E được bôi trơn bởi đầu: Rubia Tír 7400 ở nhiệt độ làm việc: 85°C

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính danh nghĩa môi ghép	d	135.000	mm
2	Chiều dài của ổ	l	57.0	mm
3	Tỷ số giữa chiều dài l và đường kính d	l/d	0.422222	
4	Hệ số phụ thuộc tỷ lệ l/d	m'	0.326459	
5	Chiều dày tối hạn của màng dầu bôi trơn	h_{th}	0.00330000	mm
6	Độ nhớt động lực trung bình của dầu bôi trơn	μ_{tb}	1.73489e-08	Ns/mm ²
7	Sai lệch bình phương TB của độ nhớt động lực	s_{μ}	0.000000	Ns/mm ²
8	Khe hở hướng kính trung bình của môi ghép	δ_{tb}	0.118700	mm
9	Sai lệch bình phương trung bình của khe hở	s_{δ}	0.00550000	mm
10	Khả năng tải trung bình	F_{tb}	180484	N
11	Sai lệch bình phương trung bình của khả năng tải	s_F	7870.41	N
12	Điểm phân vị	z	4.31652	
13	Độ tin cậy của môi ghép	$\phi(z)$	0.9 (05)	

Hình 15. Kết quả tính toán tổng hợp cho mỗi ghép cổ biên động cơ CAT 3512B.

3.4. Đánh giá độ tin cậy tổng thể của hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B

Theo lý thuyết độ tin cậy [13-17], độ tin cậy tổng hợp P_s của hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B được xác định bởi công thức:

$$P_s = \prod_{i=1}^n P_i = \left[\prod_{i=1}^n P_{cti} \right] \times \left[\prod_{j=1}^m P_{cbj} \right] \quad (3)$$

Trong đó: P_i - độ tin cậy của mỗi ghép thứ i nào đó; P_{cti} - độ tin cậy của mỗi ghép bạc trục - cổ trục thứ i , với $P_{cti} = \Phi(z_{cti})$ và $i = 1 \div n$; P_{cbj} - độ tin cậy của mỗi ghép bạc biên - cổ biên thứ j , với $P_{cbj} = \Phi(z_{cbj})$ và $j = 1 \div m$.

Trục khuỷu động cơ CAT 3512B gồm 7 cổ trục và 6 cổ biên. Ở trên đã xác định được độ tin cậy của các môi ghép. Từ đó, độ tin cậy tổng hợp của hệ gối đỡ trục khuỷu tại chế độ làm việc 85°C với dầu Rubia Tir 7400 được xác định như sau:

3.4.1. Đối với hệ gối đỡ cổ trục

$$P_{sct} = \prod_{i=1}^n P_i = \left[\prod_{i=1}^n P_{ict} \right] = \left[\prod_{i=1}^7 P_{ict} \right] = (0,999999999)^7 = 0,9999999993 = 0,9^{(9)3} \quad (4)$$

3.4.2. Đối với hệ gối đỡ cổ biên

$$P_{scb} = \prod_{i=1}^n P_i = \left[\prod_{j=1}^m P_{icb} \right] = \left[\prod_{j=1}^6 P_{icb} \right] = (0,99999)^6 = 0,9999400015 = 0,9^{(4)4} \quad (5)$$

3.4.3. Độ tin cậy tổng hợp

$$\begin{aligned} P_s &= \prod_{i=1}^n P_i = \left[\prod_{i=1}^n P_{ict} \right] \times \left[\prod_{j=1}^m P_{icb} \right] = \left[\prod_{i=1}^7 P_{ict} \right] \times \left[\prod_{j=1}^6 P_{icb} \right] = \\ &= (0,999999999)^7 \times (0,99999)^6 = 0,9997 = 0,9^{(3)7} \end{aligned} \quad (6)$$

Như vậy, độ tin cậy tổng hợp của hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B tại chế độ làm việc 85°C với dầu Rubia Tir 7400 là: 0,9997.

Độ tin cậy tổng hợp của hệ gối đỡ trục khuỷu động cơ CAT 3512B tại chế độ làm việc 85°C với dầu EMD 40 cũng có kết quả tương đương.

4. KẾT LUẬN

Kết quả tính toán cho thấy mỗi ghép giữa cổ trục và bạc trục của động cơ CAT 3512B có mức độ tin cậy cao hơn đáng kể so với mỗi ghép giữa cổ biên và bạc biên. Giá trị độ tin cậy tương ứng lần lượt đạt 0,9⁽¹⁰⁾ và 0,9⁽⁵⁾.

Tương tự, hệ gối đỡ cổ trục và bạc trục thể hiện độ tin cậy cao hơn đáng kể so với hệ gối đỡ cổ biên và bạc biên, với các giá trị lần lượt là 0,9⁽⁹⁾³ và 0,9⁽⁴⁾⁴.

Độ tin cậy của hệ gối đỡ trục khuỷu ở nhiệt độ làm việc 85°C đạt giá trị khá cao là 0,9997. Giá trị này phản ánh độ tin cậy ban đầu của hệ gối đỡ trước khi đưa vào khai thác. Đây là cơ sở tham chiếu quan trọng cho công tác bảo trì và sửa chữa đối với động cơ đầu máy D19E tại các xí nghiệp đầu máy của ĐSVN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tổng Công ty Đường sắt Việt Nam, Hồ sơ kỹ thuật đầu máy D19E, 2002.
- [2]. Caterpillar, Operation and Maintenance Manual, 3521B Petroleum Engine, 2010.
- [3]. Đỗ Đức Tuấn, Công nghệ sửa chữa đầu máy diesel, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 2005.
- [4]. Nguyễn Hữu Lộc, Cơ sở thiết kế máy, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2000.
- [5]. Nguyễn Đức Phú, Hướng dẫn làm đồ án môn học động cơ đốt trong, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1998.
- [6]. Vũ Ngọc Khiêm, Nguyên lý động cơ đốt trong, NXB GTVT, Hà Nội, 2017.
- [7]. Nguyễn Tất Tiến, Nguyên lý động cơ đốt trong, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2003.
- [8]. John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc Graw Hill, 1998.
- [9]. Tổng Công ty Đường sắt Việt Nam, Quy trình sửa chữa lớn đầu máy D19E, Hà Nội, 2017.
- [10]. Trần Văn Hiếu, Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn, Xây dựng phần mềm đánh giá độ tin cậy của hệ mối ghép ổ trượt trên cơ sở lý thuyết bôi trơn thủy động, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 76 (2025) 1215-1228. <https://doi.org/10.47869/tcsj.76.9.6>
- [11]. Tổng Công ty Đường sắt Việt Nam, Quy định về sử dụng dầu bôi trơn động cơ đầu máy, Hà Nội, 2016.
- [12]. Rohr, William Fredric, Experimental and theoretical investigation of lube oil performance and engine friction, PhD diss, University of Tennessee, 2013.
- [13]. Đỗ Đức Tuấn, Độ tin cậy và tuổi bền máy, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 2013.
- [14]. Phan Văn Khôi, Cơ sở đánh giá độ tin cậy, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2001.
- [15]. Nguyễn Hữu Lộc, Thiết kế và phân tích hệ thống cơ khí theo độ tin cậy, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006.
- [16]. Пузанков А.Д., Надёжность конструкций локомотивов, МИИТ, Москва, 1999.
- [17]. Пузанков А.Д., Надёжность локомотивов, МИИТ, Москва, 2006.