

Xây dựng đặc tính biểu diễn sự ảnh hưởng của lớp cặn trong bầu làm mát dầu bôi trơn tới nhiệt độ dầu bôi trơn động cơ diesel

■ **THS. NGUYỄN MINH ĐỨC^(*); THS. VŨ ĐỨC ANH; THS. VŨ ANH TUẤN**

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: ^(*)ducnm@vamaru.edu.vn

TÓM TẮT: Dựa vào các phương trình truyền nhiệt, phương trình cân bằng nhiệt, bài báo giới thiệu cách xây dựng đặc tính biểu diễn mối quan hệ giữa chiều dày lớp cặn bám trên bề mặt trao đổi nhiệt và nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ diesel tàu thủy khi điều kiện khai thác của động cơ không thay đổi, từ đó xác định được sự ảnh hưởng của lớp cặn bám trên bề mặt trao đổi nhiệt tới quá trình công tác của động cơ.

TỪ KHÓA: Bầu làm mát dầu bôi trơn, lớp cặn, ảnh hưởng, nhiệt độ dầu bôi trơn.

ABSTRACT: Based on the heat transfer equations and heat balance equations, the article introduces how to build the characteristic that reflects the relationship between the scale thickness of lubricating oil cooler and temperature of lubricating oil in the diesel engine. Therefore, the influence of the scale layer of lubricating oil cooler on the working process of diesel engine is determined.

KEYWORDS: Lubricating oil cooler, scale layer, influence, lubricating oil temperature.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sau một thời gian khai thác, tình trạng kỹ thuật của các bầu làm mát động cơ diesel thay đổi theo hướng xấu đi, điều này ảnh hưởng xấu tới sự công tác của động cơ. Ta có thể gián tiếp xác định độ dày cặn tương đối chính xác thông qua các thông số thực tế như nhiệt độ vào ra của môi chất, lưu lượng môi chất qua bầu làm mát và thông qua bài toán nhiệt. Sau đó, đối chiếu chiều dày lớp cặn bám trên bề mặt trao đổi nhiệt của bầu làm mát ở điều kiện hiện tại với đặc tính, từ đó đánh giá khả năng làm việc thiết bị trao đổi nhiệt để đưa ra các biện pháp bảo dưỡng thiết bị. Xuất phát từ những vấn đề trên, tác giả chọn tính toán và phân tích cho một thiết bị trao đổi nhiệt là bầu làm mát dầu bôi trơn dạng tấm.

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

Trong thực tế, hệ thống bôi trơn động cơ diesel tàu thủy

luôn được thiết kế với một hệ số dự trữ nhất định nhằm mục đích khi chế độ tải của động cơ thay đổi, tình trạng kỹ thuật bầu làm mát kém đi, bề mặt trao đổi nhiệt bản ở mức độ nào đó, một số tấm hoặc ống của bầu làm mát bị hỏng, hay nhiệt độ nước làm mát vào thiết bị thay đổi thì hệ thống bôi trơn vẫn hoạt động ổn định và tin cậy. Do đó, bầu làm mát dầu bôi trơn luôn được trang bị đồng thời một van điều chỉnh nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ. Van này có nhiệm vụ điều chỉnh lượng dầu bôi trơn đi tắt không qua bầu làm mát để duy trì nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ ổn định. Khi động cơ làm việc ở chế độ cao tải hoặc bề mặt trao đổi nhiệt của bầu làm mát bị bẩn, van này sẽ tăng dần lượng dầu bôi trơn đi qua bầu làm mát. Do đó, nếu độ dày lớp cặn còn nhỏ hơn giá trị cho phép, nhiệt độ của dầu bôi trơn vào động cơ vẫn được duy trì không đổi. Khi độ dày cặn đạt tới giá trị cho phép, van điều chỉnh nhiệt độ sẽ tăng lượng dầu bôi trơn qua bầu làm mát tới mức tối đa. Nếu độ dày cặn tiếp tục tăng lên, nhiệt độ của dầu bôi trơn vào động cơ sẽ tăng lên theo sự tăng của chiều dày cặn bám trên bề mặt trao đổi nhiệt. Như vậy, khi độ dày cặn nhỏ hơn giá trị cho phép δ_{ch} , nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ có giá trị không đổi. Khi chiều dày cặn lớn hơn giá trị cho phép, nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ sẽ tăng lên theo sự tăng của lớp cặn.

Khi động cơ làm việc, dầu bôi trơn nhận nhiệt từ động cơ ($Q_{mang ra}$), sau đó truyền lại cho nước biển tại bầu làm mát ($Q_{trao đổi}$), dầu bôi trơn sau khi được làm mát sẽ quay lại bôi trơn, làm mát động cơ. Một yêu cầu đặt ra đối với bầu làm mát dầu bôi trơn là phải luôn duy trì nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ ổn định, tức là $Q = Q_{mang ra} = Q_{trao đổi}$.

$$- \text{Phương trình truyền nhiệt } Q = k.F.\Delta t. \quad (1)$$

Q - Dòng nhiệt (lượng nhiệt trao đổi giữa hai chất tải nhiệt trong một đơn vị thời gian); W;

k - Hệ số truyền nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt; W/m.⁰K;

F - Diện tích bề mặt trao đổi nhiệt; m²;

Δt - Độ chênh nhiệt độ trung bình.

- Nhiệt lượng dầu bôi trơn mang ra khỏi động cơ:

$$Q = G_1 C_{p1} (t_T - t_V) \quad (2)$$

- Phương trình cân bằng năng lượng tại sinh hàn dầu bôi trơn: $Q = W_1 (t_1' - t_1'') = W_2 (t_2'' - t_2')$ (3)

Chỉ số "1" tương ứng với dầu bôi trơn. Chỉ số "2" tương ứng với nước biển;

Dấu "" tương ứng với các thông số khi đi vào bầu làm mát;

Dấu "" tương ứng với các thông số khi đi ra khỏi bầu làm mát;

$W = G_q \cdot C_p$ - Nhiệt dung toàn phần; $w/^\circ K$;

$G_1 = V_1 \cdot \rho_1$ - Lưu lượng khối lượng dầu bôi trơn qua động cơ; kg/s ;

V_1 - Lưu lượng thể tích dầu bôi trơn qua động cơ; m^3/s ;

ρ_1 - Khối lượng riêng dầu bôi trơn; kg/m^3 ;

G_{1q}, G_2 - Lưu lượng khối lượng dầu bôi trơn và nước biển qua bầu làm mát; kg/s ;

C_{p1}, C_{p2} - Nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp của dầu bôi trơn và nước biển; $J/kg \cdot ^\circ K$;

t - Nhiệt độ; $^\circ C$;

t_r - Nhiệt độ dầu bôi trơn ra khỏi động cơ; $t_r = t_v$;

t_v - Nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ.

Tác giả đưa ra một số giả thiết: Động cơ làm việc ở cùng một điều kiện khai thác, nhiệt độ nước biển không thay đổi, dòng môi chất lưu động liên tục và ổn định, tốc độ lưu động của dòng tại mọi tiết diện là như nhau. Bỏ qua tổn thất nhiệt do tản nhiệt ra ngoài môi trường và khi môi chất lưu động trong hệ thống đường ống và thiết bị trao đổi nhiệt. Bề dày cáu cặn dải đều trên toàn bộ diện tích bề mặt trao đổi nhiệt, khi tính toán ta lấy bề dày cáu cặn là bề dày trung bình xét trên toàn bộ diện tích bề mặt trao đổi nhiệt.

Quá trình tính toán được tiến hành theo các bước sau:

- Xác định lưu lượng dầu bôi trơn qua bơm thông qua công suất tiêu thụ của động cơ điện lai bơm;

- Tính nhiệt lượng dầu bôi trơn nhận từ động cơ;

- Dựa vào phương trình cân bằng nhiệt tính lưu lượng dầu bôi trơn và nước biển qua bầu làm mát;

- Tính tốc độ lưu động của các môi chất qua bầu làm mát;

- Xác định chế độ chảy, tính các tiêu chuẩn đồng dạng, từ đó tính được hệ số tỏa nhiệt đối lưu;

- Tính hệ số truyền nhiệt của bầu làm mát khi không có cáu cặn;

- Tính độ chênh nhiệt độ trung bình; tính diện tích trao đổi nhiệt hiện tại của bầu làm mát;

- Tính hệ số truyền nhiệt hiện tại của bầu làm mát thông qua phương trình truyền nhiệt;

- Tính được chiều dày cáu cặn ở điều kiện hiện tại. Đối chiếu chiều dày lớp cáu cặn ở điều kiện hiện tại với đặc tính, từ đó đánh giá khả năng làm việc của bầu làm mát để đưa ra các biện pháp bảo dưỡng thiết bị;

- Xác định công suất của bơm dầu bôi trơn (giả sử là động cơ điện 1 pha) $N_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \eta_1$ (4)

+ N_1 - Công suất động cơ điện lai bơm; w ;

+ U_1 - Giá trị điện áp của động cơ điện lai bơm; V ;

+ I_1 - Cường độ dòng điện của động cơ điện lai bơm; A ;

+ η_1 - Hiệu suất của bơm (hiệu suất của bơm cho trong lý lịch của bơm $\eta = 0,8 \div 0,9$).

- Xác định lưu lượng dầu bôi trơn qua bơm:

$$V_1 = \frac{N_1}{p_1} \quad (5)$$

+ p_1 - Áp suất dầu bôi trơn qua bơm.

- Xác định nhiệt lượng dầu bôi trơn nhận từ động cơ theo công thức (2).

- Xác định lưu lượng dầu bôi trơn và nước biển qua bầu làm mát.

Từ công thức (3) ta có:

$$V_{1q} = \frac{Q}{C_{p1} \rho_1 (t'_1 - t''_1)} \quad (6)$$

$$V_2 = \frac{Q}{C_{p2} \rho_2 (t''_2 - t'_2)} \quad (7)$$

+ Q - Nhiệt lượng trao đổi tại thiết bị bằng nhiệt lượng dầu bôi trơn nhận từ động cơ; w ;

+ V_{1q} - Lưu lượng dầu bôi trơn qua thiết bị; m^3/s .

- Xác định tốc độ lưu động của môi chất qua thiết bị

$$\omega = \frac{2V}{\alpha \cdot H \cdot n} \quad (8)$$

+ ω - Tốc độ lưu động của thiết bị; m/s ;

+ n - Số tấm trao đổi nhiệt của thiết bị;

+ a, H - Khoảng cách giữa hai tấm và chiều cao của tấm; m ;

+ V - Lưu lượng môi chất qua bầu làm mát, đối với dầu bôi trơn là V_{1q} ; phía nước biển là V_2 ; m^3/s .

- Tính các tiêu chuẩn đồng dạng: $Gr = \frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2}$ tiêu chuẩn Grasshoft.

$Pr = \frac{\nu}{a}$ tiêu chuẩn Prandtl; $Re = \frac{\omega l}{\nu}$ tiêu chuẩn Reynold đặc trưng cho chế độ chảy của môi chất.

- Xác định tiêu chuẩn Nusselt (Nu): Theo tài liệu [2] ta có thể xác định như sau:

Khi môi chất chảy tầng:

$$Nu_f = 1,86 \left(Re_f Pr_f \frac{d_{td}}{L} \right)^{0,33} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (9)$$

Khi môi chất chảy rối:

$$Nu_f = 0,021 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (10)$$

Khi chảy chuyển từ chảy tầng sang chảy rối:

$$Nu_f = 0,0033 Re_f Pr_f^{0,37} \quad (11)$$

d_{td} - Đường kính tương đương của khe hẹp; $d_{td} = 2\delta$; m ;

L - Chiều dài của khe hẹp; m .

- Xác định hệ số tỏa nhiệt đối lưu:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (12)$$

+ λ - Hệ số dẫn nhiệt của môi chất; $w/m \cdot ^\circ K$;

+ l - Kích thước xác định; m .

- Tính hệ số truyền nhiệt của bầu làm mát khi không có cáu cặn:

$$k_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (13)$$

+ δ và λ - Chiều dày và hệ số dẫn nhiệt của tấm trao đổi nhiệt.

- Tính độ chênh nhiệt độ trung bình:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2)}{\ln \frac{(t'_1 - t''_2)}{(t''_1 - t'_2)}} \quad (14)$$

- Tính diện tích trao đổi nhiệt: $F = H \cdot L \cdot n$. (15)

- Tính hệ số truyền nhiệt hiện tại của bầu làm mát:

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta t} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (16)$$

- Tính độ dày cặn hiện tại của bầu làm mát:

$$\delta_c = \lambda_c \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_o} \right) \quad (17)$$

Nếu biết loại cặn bám trên bề mặt trao đổi nhiệt ta sẽ xác định được hệ số dẫn nhiệt của cặn λ_c , từ đó sẽ tính được độ dày cặn δ_c .

- Tính độ dày cặn lớn nhất cho phép của bầu làm mát (trạng thái tới hạn).

Khi van điều tiết nhiệt độ dầu bôi trơn điều chỉnh toàn bộ dầu bôi trơn sau khi công tác qua bầu làm mát mà nhiệt độ dầu bôi trơn ra khỏi động cơ vẫn được duy trì ổn định (ta gọi là trạng thái tới hạn), lúc đó chiều dày lớp cặn đã đạt tới giá trị lớn nhất cho phép (δ_{cth}).

$$\Delta t_{th} = \frac{(t_r - t_2') - (t_v - t_2)}{\ln \frac{(t_r - t_2')}{(t_v - t_2)}} \quad (18)$$

$$k_{th} = \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{th}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1th}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_{cth}}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (19)$$

Δt_{th} , k_{th} - Độ chênh nhiệt độ trung bình và hệ số truyền nhiệt tại trạng thái tới hạn;

α_{1th} , δ_{cth} - Hệ số tỏa nhiệt đối lưu phía dầu bôi trơn và chiều dày cặn tại thời điểm tới hạn. α_{1th} tính theo các công thức (12), trong đó Nu tính theo các công thức (9), (10) và (11) chú ý rằng tốc độ dầu bôi trơn lưu động qua bầu làm mát lúc này là:

$$\omega_{1th} = \frac{2V_1}{a \cdot H \cdot n} \quad \delta_{cth} = \lambda_c \left(\frac{1}{k_{th}} - \frac{1}{k_o} \right) \quad (20)$$

Ta sẽ xác định được δ_{cth} sau khi tính được hệ số truyền nhiệt tại trạng thái tới hạn k_{th} .

- Xây dựng đặc tính biểu diễn mối quan hệ giữa nhiệt độ dầu bôi trơn ra khỏi động cơ và chiều dày cặn:

Khi $\delta_c < \delta_{cth}$, nhiệt độ dầu bôi trơn ra khỏi động cơ không đổi $t_v = \text{const}$.

$$\text{Khi } \delta_c > \delta_{cth}, \text{ ta có: } t_v = \frac{Q \cdot m}{e^{k \cdot F \cdot m} - 1} + t_2' \quad (21)$$

Với: t_2' - Nhiệt độ nước biển.

Trong công thức (21), nếu ta coi k là biến (chiều dày cặn thay đổi) còn các thông số còn lại không đổi, nhiệt độ dầu bôi trơn ra vào động cơ là hàm số theo sự thay đổi của chiều dày cặn.

Ta có thể lập trình chương trình tính toán này bằng phần mềm Matlab, nhập các thông số của bầu làm mát như kích thước, nhiệt độ..., ta sẽ thu được đường đặc tính biểu diễn mối quan hệ giữa độ dày cặn và nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ.

Tác giả nhập thông số khai thác giả định của 1 bầu làm mát dầu bôi trơn dạng tấm có các thông số như sau vào phần mềm Matlab:

$n = 200$ tấm	$l = 0,8$ m	$H = 1,4$ m	$a = 0,002$ m	$\delta = 0,0005$ m
$U_1 = 440$ V	$I_1 = 68$ A	$\text{Cos}\phi = 0,8$	$p_1 = 4,5 \cdot 10^5$ N/m ²	$t_{v1} = 51,4$ °C
$t_{v1} = 47$ °C	$t_{v2} = 20$ °C	$t_{v2} = 23$ °C	$\lambda = 25$ W/m.°K	$\lambda_c = 1,8$ W/m.°K

Kết quả thu được:

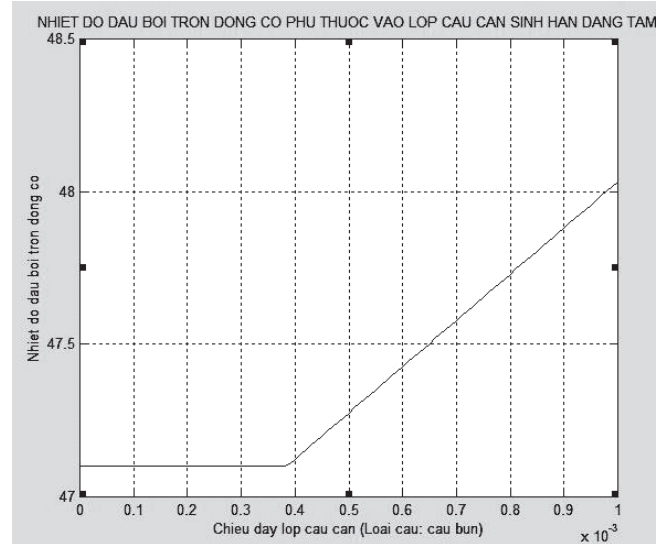
- Chiều dày lớp cặn hiện tại $\delta_c = 6,4 \cdot 10^{-5}$ m;

- Chiều dày lớp cặn lớn nhất cho phép:

$$\delta_{cth} = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ m;}$$

- Hệ số góc tiếp tuyến của đường đặc tính tại thời điểm có $\delta_c = \delta_{cth}$: 1514.

- Đặc tính biểu diễn mối quan hệ giữa nhiệt độ dầu bôi trơn động cơ và chiều dày cặn của bầu làm mát dầu bôi trơn.



Hình 2.1: Mối quan hệ giữa nhiệt độ dầu bôi trơn động cơ và chiều dày lớp cặn của sinh hàn dạng tấm

Như vậy, với các thông số như giả định, nếu chiều dày lớp cặn còn nhỏ hơn 0,39 mm thì nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ vẫn được duy trì ổn định theo giá trị đặt.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu cách xây dựng đặc tính biểu diễn mối quan hệ giữa nhiệt độ dầu bôi trơn vào động cơ diesel và độ dày cặn theo các thông số nhiệt độ vào và ra khỏi bầu làm mát dầu bôi trơn dạng tấm, từ đó có những nhận định tương đối nhanh chóng, chính xác tình trạng kỹ thuật của bầu làm mát. Trên cơ sở này, chúng ta có thể xây dựng bài toán tổng quát tính toán cho các dạng thiết bị trao đổi nhiệt khác. Kết quả nghiên cứu của bài báo cũng có thể mở rộng để tính nghiệm lại các hệ thống bôi trơn và làm mát của động cơ diesel tàu thủy sau khi thiết kế mới hoặc sửa chữa hoán cải.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT23-24.19.

Tài liệu tham khảo

- [1]. PGS. TS. Bùi Hải, TS. Dương Đức Hồng, TS. Hà Mạnh Thư (2001), *Thiết bị trao đổi nhiệt*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. PGS. TS. Bùi Hải, PGS. TS. Trần Thế Sơn (2006), *Kỹ thuật nhiệt*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

Ngày nhận bài: 20/02/2024

Ngày nhận bài sửa: 07/3/2024

Ngày chấp nhận đăng: 18/3/2024