

VẤN ĐỀ TRAO ĐỔI

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT BỘ THÔNG SỐ CHẨN ĐOÁN TRẠNG THÁI KỸ THUẬT CHO MÁY CHÍNH TÀU CÁ VIỆT NAM

STUDY ON THE PROPOSAL OF DIAGNOSTIC PARAMETER SET OF TECHNICAL STATE IN ACCORDANCE WITH THE MAIN ENGINE OFFISHING VESSEL OF VIETNAM.

Hồ Đức Tuấn¹, Mai Đức Nghĩa²

Ngày nhận bài: 7/1/2019; Ngày phân biện thông qua: 21/3/019; Ngày duyệt đăng: 26/3/2019

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu các thông số chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ diesel, đặc điểm của động cơ diesel dùng làm máy chính tàu cá. Từ đó phân tích cơ sở lý thuyết và thực tiễn nhằm đề xuất bộ thông số dùng để chẩn đoán trạng thái kỹ thuật phù hợp với máy chính tàu đánh cá Việt Nam.

Từ khóa: động cơ diesel tàu thủy, trạng thái kỹ thuật, thông số chẩn đoán, tàu cá.

ABSTRACT

This paper introduces diagnostic parameters of diesel engines technical state, characteristics of diesel engine used as main engines on fishing vessels. Based on these factors, the theoretical and practical basis is analyzed to propose a set of parameters used to diagnose the technical state in accordance with the main engines of fishing vessels of Vietnam.

Keywords: marine diesel engine, technical state, diagnosticparameter, fishing vessel.

I. MỞ ĐẦU

Theo số liệu của Cục Khai thác và Bảo vệ Nguồn lợi Thủy sản (Tổng cục Thủy sản, Bộ NN&PTNT), tính đến năm 2017, cả nước có khoảng 120.000 tàu cá, trong đó số tàu hoạt động xa bờ (loại 90 CV trở lên) là 27.000 tàu[3].Đội tàu này có thể hoạt động ở vùng biển cách bờ đến 200 hải lý và hầu như không có cảng trú, các động cơ diesel dùng làm máy chính trên tàu phần lớn là động cơ cũ (gồm cả động cơ ô tô). Điều đó dẫn đến giảm độ an toàn, tin cậy trong quá trình khai thác; hiệu quả sử dụng thấp và đặc biệt là có thể hư hỏng đột ngột trên biển gây nguy hiểm cho người và tàu.

Nghề cá Việt Nam là nghề cá nhân dân, do vậy, việc sử dụng máy chính hoàn toàn theo tập quán của ngư dân. Công tác bảo dưỡng, sửa chữa không theo tiêu chuẩn, hư đâu sửa đó. Sự giám sát kỹ thuật máy chính của cơ quan Đăng kiểm gần như bỏ ngỏ vì không có thiết bị kiểm

tra. Hẳn nhiên là công tác chẩn đoán trạng thái kỹ thuật máy chính là hoàn toàn xa lạ.

Chẩn đoán kỹ thuật là tổng hợp tất cả các biện pháp để xác định trạng thái của một hệ thống kỹ thuật và nhận biết các hư hỏng mà không cần tháo rời [2]. Vấn đề an toàn, tin cậy cho tàu phụ thuộc lớn vào tình trạng máy chính, vì vậy, việc chẩn đoán trạng thái kỹ thuật của máy chính tàu cá trở nên cấp thiết.

Thông số chẩn đoán là thông số biểu hiện kết cấu được chọn trong quá trình chẩn đoán, nhưng không phải toàn bộ các thông số biểu hiện kết cấu sẽ được coi là thông số chẩn đoán [2], [5]. Thông số dùng đánh giá tình trạng kỹ thuật của động cơ diesel máy chính tàu cá Việt Nam cần thỏa mãn:

- Đủ cơ sở lý thuyết và độ tin cậy;
- Có ảnh hưởng lớn đến tình trạng kỹ thuật của máy chính tàu cá;

Bài báo này sẽ trình bày cơ sở đề xuất bộ thông số chẩn đoán phù hợp cho động cơ diesel dùng làm máy chính tàu cá Việt Nam.

¹ Trường Đại học Nha Trang.

² TTường Sĩ quan Không Quân

II. NỘI DUNG

1. Giới thiệu thông số chẩn đoán động cơ

1.1. Yêu cầu đối với các thông số chẩn đoán

Các thông số biểu hiện kết cấu được dùng làm thông số chẩn đoán phải thỏa mãn các yêu cầu sau [2], [5]

Tính hiệu quả: Cho phép dựa vào thông số đó để chẩn đoán được trạng thái kỹ thuật của đối tượng chẩn đoán;

Tính đơn trị: Ứng với mỗi trị số của thông số kết cấu chỉ có một trị số của thông số chẩn đoán hay ngược lại;

Tính nhạy: Đảm bảo khả năng phân biệt sự biến đổi tương ứng giữa thông số chẩn đoán theo thông số kết cấu;

Tính ổn định: Các giá trị biểu hiện quy luật giữa thông số biểu hiện kết cấu và thông số kết cấu phải có độ lệch bình phương nhỏ;

Tính thông tin: Các thông số chẩn đoán cần phải thể hiện rõ hiện tượng và trạng thái kỹ thuật;

Tính công nghệ: Các thông số chẩn đoán cần được chọn sao cho thuận lợi cho việc đo, khả năng có thiết bị đo, qui trình đo đơn giản, giá thành đo nhỏ...

1.2. Các thông số chẩn đoán của động cơ diesel

Đối với động cơ diesel, chẩn đoán kỹ thuật cho khả năng đánh giá tức thời tình trạng kỹ thuật của động cơ. Chẩn đoán giúp người sử dụng động cơ đưa ra quyết định hợp lý về sự cần thiết của các biện pháp bảo trì và bảo dưỡng nhờ sự phân tích sự thay đổi mối quan hệ giữa các thông số chẩn đoán khác nhau ứng với các thông số kết cấu. Việc áp dụng các thông số chẩn đoán đơn lẻ để chẩn đoán tình trạng kỹ thuật cho động cơ diesel được trang bị cho tàu cá Việt Nam sẽ gặp rất nhiều khó khăn do phần lớn là động cơ cũ, không có hồ sơ kỹ thuật, việc khai báo công suất của động cơ thường theo kinh nghiệm của ngư dân. Hơn nữa, chúng ta không thể tháo động cơ từ tàu lên bộ thử để xác định công suất cũng như các thông số kỹ thuật của chúng. Vì vậy, cần thiết phải nghiên cứu một bộ thông số chẩn đoán đủ tin cậy có khả năng đo và thực hiện di động ngay ở trên tàu để chẩn đoán tình trạng kỹ thuật của máy chính.

Các thông số biểu hiện kết cấu như: Tốc độ quay; Mô men và công suất; Áp suất nén và lưu lượng khí lọt xuống các te; Áp suất và lưu lượng phun nhiên liệu; Áp suất cháy; Độ khối và nhiệt độ khí thải; Mức tiêu hao nhiên liệu và dầu bôi trơn... là các thông số có thể lựa chọn làm thông số chẩn đoán để đánh giá tình trạng kỹ thuật của động cơ diesel [1], [2],[5], [9].

2. Thông số kỹ thuật máy chính thường gặp của tàu cá Việt Nam

Động cơ diesel nói chung và động cơ diesel dùng trong tàu cá nói riêng là loại động cơ đốt cháy nhiên liệu bằng quá trình nén hay còn gọi là tự bốc cháy. Về nguyên lý hoạt động và cấu trúc của tất cả các loại động cơ diesel thùy và bộ điều cơ bản giống nhau. Động cơ diesel dùng trong tàu cá là loại động cơ trung cao tốc có số vòng quay từ 1500-3000 v/p [11], nhưng do đặc điểm của nghề nghiệp thường xuyên làm việc trong môi trường ẩm ướt, điều kiện vận hành khắc nghiệt hơn so với động cơ diesel bộ, do vậy động cơ diesel dùng cho tàu cá cần có công suất lớn, có khả năng hoạt động ổn định trong một thời gian dài, liên tục, trong môi trường thường xuyên có sự thay đổi về các điều kiện vật lý (nhiệt độ, độ ẩm...) và hóa học (tỉ lệ muối trong không khí).

Các thông số kỹ thuật liên quan tới vấn đề nghiên cứu được trình bày tại Bảng 1

Bảng 1. Tổng hợp thông số kỹ thuật các họ máy chính tàu cá thường gặp [3]

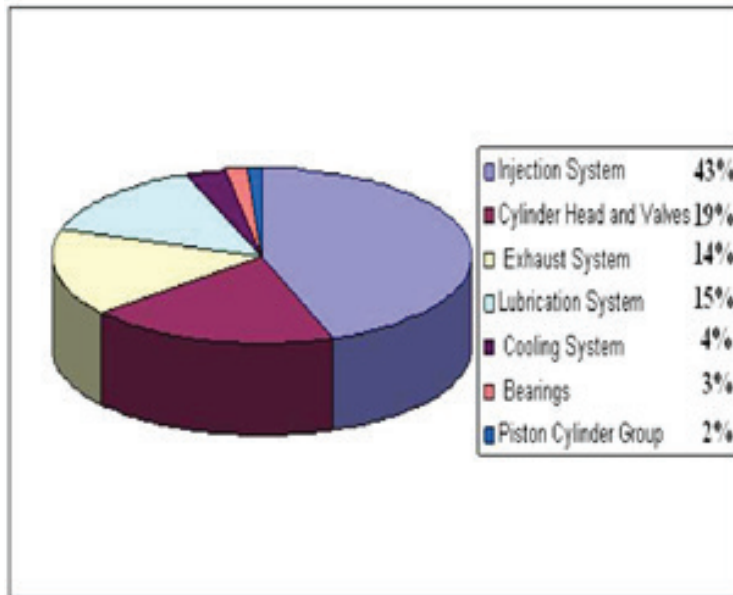
Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Tốc độ quay định mức	n	v/ph	1800-2200
Tỉ số nén	ϵ	-	14-17
Áp suất cuối kỳ nén	p_c	kG/cm ²	35-45
Kiểu buồng cháy	-	-	Thống nhất
Hệ thống phun	-	-	Trực tiếp, vòi phun nhiều lỗ
Áp suất phun	p_{mj}	kG/cm ²	200-250
Nhiệt độ khí xả (lớn nhất cho phép)	T_x	°C	450-550

3. Cơ sở đề xuất bộ thông số chẩn đoán tình trạng kỹ thuật máy chính tàu cá

3.1. Các lỗi thường gặp ở động cơ diesel

Hình 1 thống kê tỷ lệ % các dạng lỗi thường xảy ra trong quá trình khai thác và sử dụng động cơ diesel [12]. Biểu đồ hình 1 cho thấy, phần lớn các lỗi xảy ra trong động cơ chủ yếu là hư hỏng của hệ thống phun nhiên liệu (43%), tiếp đến là hệ thống trao đổi khí (33%), cả hai

dạng hư hỏng của hệ thống phun nhiên liệu là trao đổi khí của động cơ diesel theo thống kê chiếm hơn 2/3 các hư hỏng của động cơ (76%). Những lỗi hệ thống này có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất làm việc, phát thải của khí thải, tiếng ồn của động cơ diesel, do vậy cần phải đặc biệt quan tâm đến các thông số chẩn đoán của hai hệ thống này.



Hình 1. Các lỗi chính ở động cơ diesel [12]

3.2. Đề xuất các thông số chẩn đoán

Các thông số chẩn đoán được đề xuất gồm: áp suất phun nhiên liệu (P_{inj}), lượng nhiên liệu chu trình (g_{ct}) và áp suất cuối kỳ nén (P_c). Tình trạng kỹ thuật được thể hiện qua các thông số chính sau: Công suất (N_e), suất tiêu hao nhiên liệu (g_e) và phát thải (r)... Do đó, nghiên cứu xử lý các mối quan hệ của áp suất phun nhiên liệu (p_{inj}), lượng nhiên liệu chu trình (g_{ct}) và áp suất cuối kỳ nén (p_c) đến công suất (N_e), suất tiêu hao nhiên liệu (g_e) và phát thải (r) chính là lõi của kỹ thuật chẩn đoán (Hình 2) Thông qua việc xác định p_{inj} , g_{ct} , P_c , ... có thể đánh giá được trạng thái kỹ thuật của động cơ diesel, giúp cho công tác khai thác động cơ được an toàn và kịp thời ngăn ngừa, khắc phục sự cố hư hỏng.

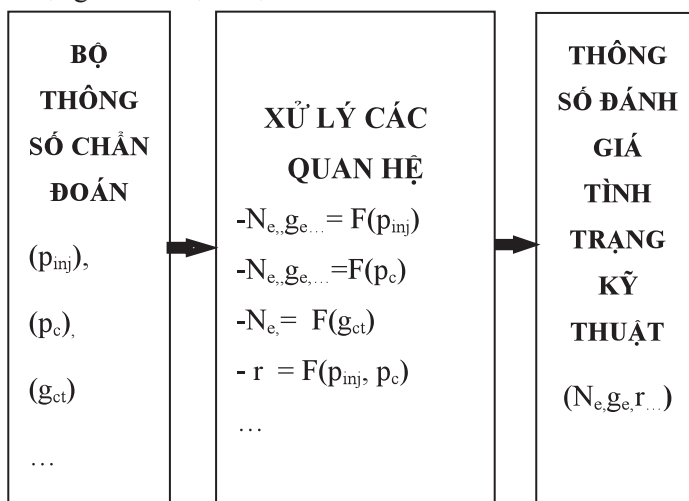
(a) Ảnh hưởng áp suất phun, áp suất cuối kỳ nén, lượng nhiên liệu theo chu trình

đến công suất (N_e), suất tiêu hao nhiên liệu có ích (g_e):

Áp suất phun nhiên liệu: Chúng ta biết rằng Một con tàu khi khai thác bình thường, trong điều kiện trạng thái kỹ thuật đảm bảo thì mức tiêu hao nhiên liệu chiếm khoảng 20-30% tổng giá cước của một hành trình [7]. Khi tình trạng kỹ thuật của hệ thống phun nhiên liệu không đảm bảo ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình phun nhiên liệu vào xy lanh động cơ, làm cho quá trình cháy xấu đi, mức tiêu hao nhiên liệu tăng lên. Trong hệ thống phun nhiên liệu (HTPNL) động cơ diesel tàu thủy, cụm bơm cao áp – vòi phun (BCA-VP) được coi là một trong các cụm chi tiết quan trọng nhất. Việc đảm bảo cho hệ thống phun nhiên liệu (HTPNL) hoạt động tốt có thể đưa về việc đảm bảo trạng thái kỹ thuật (TTKT) của cụm BCA-VP đạt yêu cầu cho phép. Sự thay đổi áp suất phun nhiên liệu trong

một phạm vi nhất định không có ảnh hưởng đến vị trí số của giai đoạn cháy trễ nhưng ảnh hưởng tới độ đồng đều của sự phun sương do ảnh hưởng đến sự phân bố các hạt nhiên liệu trong không khí. Chính điều này cũng dẫn đến quá trình cháy ở động cơ diesel là không tốt, suất tiêu hao nhiên liệu tăng, công suất của động cơ sẽ giảm, phát thải của động cơ xấu đi [6], [10]... Ngoài ra lượng nhiên liệu thực tế

được phun vào trong xy lanh động cơ trên mỗi chu trình công tác của động cơ (g_{ct}) cũng là thông số chịu ảnh hưởng của sự hao mòn của bộ đôi: Piston – xi lanh BCA; Kim phun – bộ VP, khe hở này tăng sẽ làm tăng lọt dầu hồi. Điều này dẫn đến nhiên liệu được phun vào động cơ sẽ giảm đi và đây cũng là một yếu tố có ảnh hưởng đến công suất của động cơ [10].



Hình 2. Sơ đồ thực hiện chẩn đoán động cơ diesel

Ảnh hưởng của p_{inj} , p_c , g_{ct} ... đến tình trạng kỹ thuật của động cơ diesel bước đầu được giải thích như sau:

Lượng nhiên liệu chu trình (g_{ct}) càng giảm thì công suất của động cơ cũng sẽ giảm theo do lượng nhiên liệu được đốt cháy sản sinh ra nhiệt năng để tạo ra công suất giảm đi.

Nói cách khác tính kinh tế kỹ thuật của động cơ sẽ giảm đi đáng kể khi tình trạng kỹ thuật của hệ thống phun nhiên liệu không đảm bảo.

Áp suất cuối quá trình nén (p_c) phụ thuộc nhiều vào nhóm bao kín buồng cháy gồm: Piston, xilanh, secmăng, gioăng đệm nắp xilanh, xupáp. Khi nhóm bao kín buồng cháy không kín do mòn, hư hỏng sẽ làm áp suất cuối kỳ nén giảm, nếu P_c giảm quá giới hạn cho phép thì động cơ không hoạt động được hoặc không thể mang tải.

Các hiện tượng mòn xupáp nạp và xupáp thải cũng như hư hỏng tại nắp xi lanh, tại gioăng nắp máy, nứt hoặc cháy piston cũng có thể là những nguyên nhân làm thay đổi áp suất nén của động cơ. Khi hư hỏng xéc măng, làm

hỏng chức năng làm kín, làm tăng lọt khí và tăng hao tổn áp suất nén trong xi lanh, từ đó làm giảm hiệu suất của quá trình cháy, giảm mô men sinh ra, dẫn đến chuyển động quay không đều của trục khuỷu, làm tăng tải trọng động lực học lên cơ cấu biên tay quay, đặc biệt lên các gối đỡ. Hư hỏng ở xéc măng càng tăng, càng làm giảm áp suất nén và mô men sinh ra trong xi lanh.

Việc xác định sự thay đổi của áp suất cuối quá trình nén P_c có thể thực hiện khi không cần mang tải cho động cơ hoặc thực hiện được ngay cả trong quá trình động cơ đang hoạt động. Do P_c chủ yếu dùng để đánh giá tình trạng kỹ thuật, giới hạn hao mòn nhóm piston - xilanh và chất lượng sửa chữa, điều chỉnh động cơ.

Mối quan hệ giữa p_{inj} , p_c với suất tiêu hao nhiên liệu có ích (g_i) và công suất động cơ (N_e):

Lượng tiêu hao nhiên liệu giờ (G_j): Hiệu quả biến đổi nhiệt năng thành cơ năng cũng đồng nghĩa với khái niệm "tính tiết kiệm nhiên liệu" của nó. Lượng nhiên liệu do động cơ tiêu thụ trong một đơn vị thời gian được gọi

là lượng tiêu hao nhiên liệu (G_e), G_e phụ thuộc diện tích mặt cắt lỗ phun, vận tốc phun và khối lượng riêng nhiên liệu [4], [6], [8], [10].

$$G_e = A_h \cdot v_1 \cdot \rho_1 \quad (1)$$

$$v_1 = C_d \cdot \left(\frac{2\Delta p}{\rho_1} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Với:

$\Delta p = (p_{inj} - p_c)$: độ chênh áp suất qua lỗ phun, MPa;

A_h : Diện tích mặt cắt lỗ phun, [m²];

ρ_1 : Khối lượng riêng nhiên liệu, [g/m³];

C_d : Hệ số giãn dòng của vòi phun, [-];

p_c : Áp suất cuối kỳ nén, [bar];

p_{inj} : Áp suất phun nhiên liệu, [bar];

v_1 : Vận tốc phun, [m/s];

Suất tiêu hao nhiên liệu có ích (g_e) và công suất động cơ (N_e): Lượng nhiên liệu do động cơ tiêu thụ để sinh ra một đơn vị công suất có ích trong một đơn vị thời gian được gọi là lượng tiêu hao nhiên liệu riêng có ích, gọi tắt là suất tiêu hao nhiên liệu có ích (g_e). Đơn vị thường dùng của suất tiêu hao nhiên liệu là g/kW.h. Có thể tính suất tiêu hao nhiên liệu bằng công thức sau:

$$g_e = \frac{G_e}{N_e} \quad [g/KW.h] \quad (3)$$

Với: N_e – Công suất động cơ [kW]

Tốc độ lưu lượng phun nhiên liệu trong 1 giờ (\dot{m}_{inj}) xác định được lượng tiêu hao nhiên liệu giờ G_e (g/h) của động cơ, khi đó:

$$g_e = \frac{\dot{m}_{inj}}{N_e} \quad \text{với} \quad \dot{m}_{inj} = A_h \cdot v_1 \cdot \rho_1$$

trong đó: $v_1 = C_d \cdot \left(\frac{2\Delta p}{\rho_1} \right)^{1/2}$

$$\Rightarrow g_e = \frac{A_h \cdot C_d}{N_e} \cdot (2\rho_1 \cdot \Delta p)^{1/2} \quad (4)$$

$$\Rightarrow g_e N_e = \Delta p^{1/2} \cdot A_h \cdot C_d \cdot 2\rho_1^{1/2}$$

Đặt đại lượng $1/g_e = A_e$ (5)

$$\Rightarrow N_e = \Delta p^{1/2} \cdot A_e \cdot A_h \cdot C_d \cdot 2\rho_1^{1/2} \quad (6)$$

Mối quan hệ giữa lượng cung cấp nhiên liệu chu trình (g_{ct}) với N_e :

Lượng cung cấp nhiên liệu chu trình là tổng khối lượng nhiên liệu phun qua vòi phun trong một hành trình của piston BCA, cũng là khối

lượng nhiên liệu được phun trong một xy lanh trong một chu kỳ. Nó được xác định trên bề thử nhiên liệu hoặc bằng thử nghiệm động cơ diesel theo công thức [4], [6]:

$$g_{ct} = G_e / (60nzii_{ph}) \quad (7)$$

với: G_e – lượng cung cấp nhiên liệu cho động cơ trong một giờ, g/giờ;

z : số kỳ; i : số xy lanh;

i_{ph} – số lượng vòi phun được cung cấp từ một BCA.

Từ phương trình (3), (5) ta xác định được:

$$N_e = g_{ct} \cdot A_e \cdot 60nzii_{ph} \quad (8)$$

Từ các phương trình (4) và (6) cho thấy suất tiêu hao nhiên liệu riêng có ích g_e và công suất (N_e) của động cơ phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó có áp suất phun p_{inj} , áp suất cuối kỳ nén p_c . Từ phương trình (8) cho thấy N_e cũng phụ thuộc vào lượng cấp liệu chu trình (g_{ct}).

(b) Ảnh hưởng áp suất phun, áp suất cuối kỳ nén đến phát thải khí xả:

Như chúng ta biết, bồ hóng là chất ô nhiễm đặc biệt quan trọng trong khí xả động cơ diesel. Nó tồn tại dưới dạng những hạt rắn, không tan trong nước. Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu xây dựng các mô hình toán học để dự đoán các thông số đặc trưng của bồ hóng. Các mô hình tạo bồ hóng đơn giản, một chiều đã được thiết lập để tính toán ngọn lửa cháy bên ngoài khí quyển và bên trong buồng cháy động cơ. Các mô hình đa phương phức tạp hơn đã được xây dựng trong các phần mềm chuyên dùng mô phỏng động cơ. Dù các mô hình đơn giản hay phức tạp cũng đều dựa trên lý thuyết tạo bồ hóng nền tảng, trong đó lý thuyết Tesner-Magnussen được sử dụng rộng rãi [12]. Theo đó, phát thải bồ hóng nhận được sau van thải là hiệu số của lượng bồ hóng hình thành và lượng bồ hóng bị ô xy hóa. Trong đó, quá trình ô xy hóa bồ hóng phụ thuộc lớn vào nồng độ bồ hóng (C_s), động năng rời của ngọn lửa, thời gian phun và áp suất trong xy lanh tại thời điểm phun nhiên liệu [11]:

$$r_i = A \cdot C_s \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\gamma \cdot p_{inj} \cdot 6.n}{\Delta \theta \cdot C_d^2 \cdot (p_{inj} - p_c)} \quad (9)$$

Trong đó:

A: Hằng số;

r_i : Tốc độ ôxy hoá bồ hóng, [-];

γ : Hằng số thể hiện phần năng lượng rớt quá trình hình thành hỗn hợp, [-];

$\Delta\theta$: Thời gian phun nhiên liệu, [độ];

n : Tốc độ động cơ, [v/ph].

Từ phương trình (9) cho thấy quá trình hình thành và phát thải ô nhiễm trong khí xả động cơ phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó có áp suất phun p_{inj} và cuối kỳ nén p_c .

Kết luận

Đối với động cơ diesel, chẩn đoán kỹ thuật cho khả năng đánh giá tình trạng có khả năng đo tức thời của động cơ nhằm đưa ra quyết định hợp lý về sự cần thiết của các biện pháp bảo trì và xác định đúng nguyên nhân hư hỏng nhờ quan hệ giữa các thông số khác nhau cũng như các mô hình chẩn đoán phù hợp. Để góp

phần đảm bảo sự an toàn cho tàu (và người), về nguyên tắc, cần phải tăng cường hoạt động chăm sóc, bảo dưỡng và đặc biệt là kiểm tra, giám sát, cảnh báo trong vận hành nhằm sớm phát hiện nguy cơ tiềm ẩn, ngăn ngừa sự cố ở nguồn động lực chính của con tàu là động cơ diesel máy chính.

Do đó, có thể thấy rằng việc chọn các thông số chẩn đoán: Áp suất phun nhiên liệu (p_{inj}), lượng nhiên liệu chu trình (g_{ct}) và áp suất cuối kỳ nén (p_c) có thể đáp ứng được cơ bản yêu cầu đánh giá tình trạng kỹ thuật của động cơ diesel máy chính tàu cá Việt Nam. Các thông số này cần được đưa vào hệ thống chẩn đoán thử nghiệm để xác định sự phù hợp với máy chính tàu cá Việt Nam.

III. TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- Đào Chí Cường (2006), Xây dựng hệ thống chẩn đoán dã ngoại cho động cơ diesel trên các phương tiện giao thông vận tải và máy chuyên dùng, đề tài NCKH cấp bộ, mã số B2006-21-02.
- Lê Văn Đĩnh, Bài giảng chẩn đoán Kỹ thuật, NXB Đại học hàng hải Việt Nam.
- Phùng Minh Lộc (2018), Thiết kế, chế tạo thiết bị cảnh báo sự cố hệ động lực tàu cá, đề tài NCKH cấp Bộ, mã số B2016 -TSN -02.
- Nguyễn Thạch (2015), Động cơ đốt trong tàu thủy, NXB Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- Trần Thanh Hải Tùng, Nguyễn Lê Châu Thành, Chẩn đoán trạng thái kỹ thuật ô tô, Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng, năm 2004.
- Nguyễn Tất Tiến (2003). Nguyên Lý động cơ đốt trong. NXB Giáo dục Hà nội.
- Nguyễn Văn Tuấn (2006), Nghiên cứu ảnh hưởng của hệ thống trao đổi khí đến các chỉ tiêu kỹ thuật động cơ Diesel tàu thủy đang khai thác ở Việt Nam, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, trường Đại học Hàng Hải Việt Nam.

Tiếng Anh

- Carsten Baumgarten, 2006, Mixture Formation in Internal Combustion Engines, Springer - Verlag Berlin Heidelberg.12
- Fathi Hassen Elamin. Fault Detection and Diagnosis in Heavy Duty Diesel Engines Using Acoustic Emission. A thesis submitted to the University of Huddersfield in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Huddersfield. November 2013.14
- Heywood, J.B, 1998, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, Singapore.15
- Kees Kuiken, 2008. Diesel engines for ship Propulsion and power Plants, Part I. Target Global Energy, Omen, The Netherlands.
- Magnussen BF, Hjertager BH. On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. In 16th Symp. (Int'l.) on Combustion, The Combustion Institute, 1976. 16.