

VẤN ĐỀ TRAO ĐỔI

LỰA CHỌN CÁC THÔNG SỐ KIỂM TRA AN TOÀN KỸ THUẬT MÁY CHÍNH TÀU CÁ

CHOOSING THE TECHNICAL SAFETY INSPECTION PARAMETERS FOR THE MAIN ENGINE OF FISHING VESSELS

Phùng Minh Lộc<sup>1</sup>, Phạm Trọng Hợp<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kỹ thuật giao thông

Tác giả liên hệ: Phùng Minh Lộc (Email: locpm@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 07/12/2019; Ngày phản biện thông qua: 10/03/2020; Ngày duyệt đăng: 24/03/2020

TÓM TẮT

Máy chính tàu cá hầu hết là động cơ diesel 4 kỳ, trung-cao tốc. Bài báo này trình bày các thông số kiểm tra, chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ diesel; Từ đó phân tích chọn các thông số phù hợp để kiểm tra an toàn kỹ thuật phục vụ đăng kiểm máy chính tàu cá Việt Nam.

**Từ khóa:** Máy chính tàu cá, chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ diesel, thông số kiểm tra an toàn kỹ thuật.

ABSTRACT

The main engine of the fishing vessel is mostly a 4-stroke, medium and highspeed diesel engine. This paper presented the inspection and diagnosis parameters of the technical status of diesel engine; The paper then analyzed and selected, the appropriate parameters to inspect technical safety in order to register the main engine of fishing vessel in Viet Nam.

**Keywords:** Main engine of a fishing vessel, diagnosis of the diesel engine technical status, the technical safety inspection parameters.

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 2018, cả nước có 96.000 tàu cá, số tàu này ngoài việc tham gia phát triển kinh tế biển còn góp phần quan trọng bảo vệ an ninh chủ quyền biển, đảo quốc gia.

An toàn kỹ thuật máy chính tàu thủy nói chung và tàu cá nói riêng có ý nghĩa sống còn đối với con tàu. Việc đảm bảo an toàn cho người và tàu cá hoạt động sản xuất ở biển cả luôn là mối quan tâm của người dân và là sự trăn trở của các ngành, các cấp nói chung và của hệ thống đăng kiểm tàu cá nói riêng.

Đăng kiểm là cơ quan nhà nước có chức năng kiểm tra, giám sát, xác nhận việc tuân thủ các tiêu chuẩn bảo đảm an toàn vận hành các phương tiện cơ giới đường bộ và đường thủy, an toàn của người và hàng hóa ở trên các

phương tiện đó. Đăng kiểm tàu cá thực hiện việc quản lý kỹ thuật, kiểm tra an toàn kỹ thuật từ khi thiết kế, đóng mới đến quá trình khai thác, nhằm đảm bảo an toàn cho người và tàu cá trong những điều kiện nhất định. Tàu cá chiều dài từ 12 mét, lắp máy có tổng công suất máy chính từ 20 CV trở lên thuộc diện phải đăng kiểm.

Hiện nay, vấn đề tổ chức, xây dựng lực lượng, đầu tư cơ sở vật chất phục vụ công tác đăng kiểm tàu cá nói chung và máy chính nói riêng trong hệ thống cơ quan đăng kiểm tàu cá chưa được quan tâm thỏa đáng. Công tác kiểm tra an toàn kỹ thuật máy chính gần như không có thiết bị kiểm tra đánh giá tình trạng kỹ thuật, diễn biến về an toàn kỹ thuật và tuổi thọ của máy. Về quản lý kỹ thuật, chưa xây dựng các tiêu chuẩn, quy phạm, quy trình kiểm tra an toàn kỹ thuật máy chính (chủ yếu dựa vào quy

chuẩn của tàu giao thông).

Vì điều này, bài báo sẽ phân tích lựa chọn một số thông số kiểm tra an toàn kỹ thuật nhằm làm cơ sở để thiết kế, chế tạo hệ thống thiết bị và đề xuất tiêu chuẩn phục vụ đăng kiểm máy chính tàu cá nước ta.

## II. NỘI DUNG

### 1. Giới thiệu về thông số kiểm tra, chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ diesel

Việc kiểm tra trạng thái an toàn kỹ thuật máy chính thông qua:

(1) Tháo động cơ kiểm tra đo đạc trực tiếp, so trị số đo với tiêu chuẩn;

(2) Kiểm tra gián tiếp, không cần tháo động cơ (còn gọi là chẩn đoán trạng thái kỹ thuật).

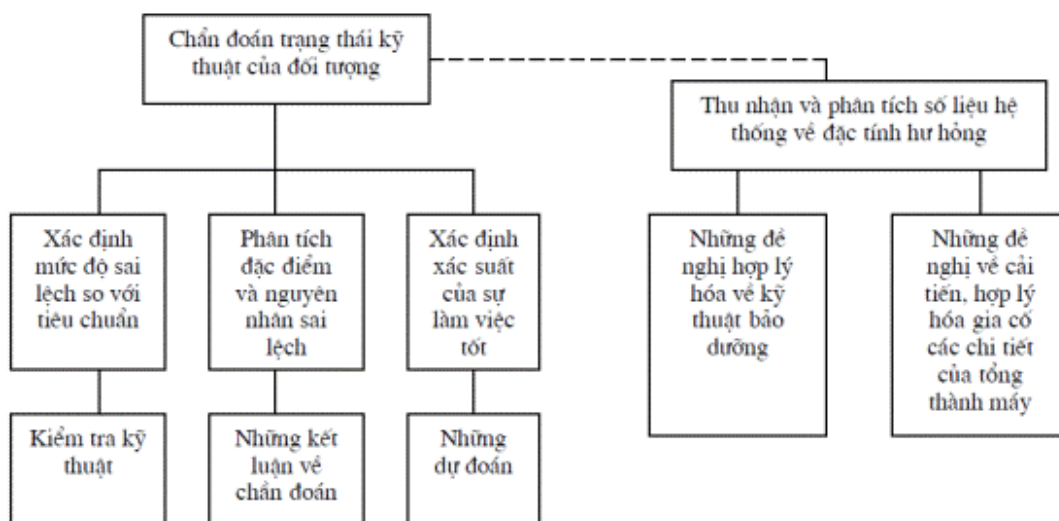
Chẩn đoán là công tác nhằm xác định trạng thái kỹ thuật tại một thời điểm nào đó (offline) của động cơ để dự báo tuổi thọ làm việc tiếp tục hoặc không mà không cần phải tháo nó. Phương pháp chẩn đoán là thông qua thử nghiệm, thăm dò, phân tích các hiện tượng, biểu hiện thu thập được để đánh giá, xác định trạng thái kỹ thuật của động cơ [9]

Trạng thái kỹ thuật của động cơ được hiểu là tình trạng kỹ thuật của các chi tiết, cụm chi tiết và hệ thống của động cơ. Chúng được thể hiện thông qua một tập hợp các thông số trạng thái (gồm thông số cấu trúc, thông số làm việc - thể hiện đặc tính làm việc) các bộ phận và hệ thống của động cơ. Đánh giá trạng thái kỹ thuật tức là

đánh giá tình trạng kỹ thuật của các hệ thống, cụm chi tiết và chi tiết của động cơ. Trạng thái kỹ thuật của động cơ thay đổi thường xuyên theo hướng xấu đi trong quá trình sử dụng do mòn, mỏi, lão hóa của các chi tiết, cụm chi tiết và hệ thống. Nếu động cơ ở tình trạng kỹ thuật kém đến mức các thông số kiểm tra an toàn kỹ thuật không đạt tiêu chuẩn thì không cho phép nó tiếp tục làm việc. Nếu có chi tiết hay cụm chi tiết, hệ thống nào đó hoạt động không bình thường, bị hư hỏng không thể làm việc được thì động cơ ở trạng thái sự cố, hỏng hóc cần được bảo dưỡng, khắc phục, sửa chữa. Xác định trạng thái kỹ thuật hiện hữu của động cơ có ý nghĩa quan trọng đối với việc bảo đảm thông số kỹ thuật tốt, đảm bảo an toàn và kinh tế vận hành và kéo dài tuổi thọ cho động cơ.

Đối với máy chính, chẩn đoán kỹ thuật cho khả năng đánh giá tình trạng 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 (Hình 1).

Như vậy, đó là một trong những biện pháp hữu hiệu nhất nhằm tăng tuổi thọ, độ tin cậy, ... Giảm chi phí đại tu bảo dưỡng, sửa chữa, cảnh báo sớm về an toàn kỹ thuật. Với công tác đăng kiểm, biện pháp này rút ngắn thời gian và giảm chi phí đăng kiểm mà vẫn đảm bảo cho sự an toàn của tàu trước khi cấp giấy phép đi biển.



Hình 1. Sơ đồ chẩn đoán trạng thái kỹ thuật [1].

Trong quá trình chẩn đoán, cần có thông số biểu hiện kết cấu để xác định trạng thái kết cấu bên trong, vì vậy, 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.

Các thông số biểu hiện kết cấu như: Số vòng quay, mô men, công suất, áp suất nén, áp suất cháy, áp suất các te, độ khối khí thải, mức tiêu hao nhiên liệu... là các thông số có thể lựa chọn làm thông số chẩn đoán để đánh giá tình trạng kỹ thuật của động cơ, vì thỏa mãn các yêu cầu được trình bày sau đây [1], [9]:

- *Đảm bảo tính hiệu quả*: Cho phép dựa vào thông số đó để chẩn đoán được tình trạng kỹ thuật của đối tượng hoặc một phần của đối tượng chẩn đoán;

- *Đảm bảo tính đơn trị*: Mỗi quan hệ của thông số kết cấu và thông số chẩn đoán là các hàm đơn trị trong khoảng đo, nghĩa là trong khoảng xác định thì ứng với mỗi trị số của thông số kết cấu chỉ có một trị số của thông số chẩn đoán hay ngược lại;

- *Đảm bảo tính nhạy*: Tính nhạy của thông tin trong quan hệ giữa thông số kết cấu và thông số chẩn đoán đảm bảo khả năng phân biệt sự biến đổi tương ứng giữa thông số chẩn đoán theo sự biến đổi của thông số kết cấu;

- *Đảm bảo tính ổn định*: Tính ổn định được đánh giá bằng sự phân bố giá trị của thông số chẩn đoán khi đo nhiều lần, trên nhiều đối tượng đồng dạng, sự biến động của các giá trị biểu hiện quy luật giữa thông số biểu hiện kết cấu và thông số kết cấu phải có độ lệch quân phương nhỏ;

- *Đảm bảo tính thông tin*: Các thông số chẩn đoán cần phải thể hiện rõ hiện tượng và trạng thái kỹ thuật, do vậy thông tin phải được phản ánh rõ nét khi mật độ phân bố của các trạng thái kỹ thuật càng tách biệt;

- *Đảm bảo tính công nghệ*: Các thông số chẩn đoán cần được chọn sao cho thuận lợi cho việc đo, khả năng của thiết bị đo, qui trình đo đơn giản, giá thành đo nhỏ... Đây là một yếu tố luôn thay đổi tùy thuộc vào các tiến bộ trong khoa học kỹ thuật đo lường.

Dưới đây giới thiệu một số phương pháp nhận biết hư hỏng dựa theo các thông số chẩn đoán đã và đang sử dụng cho động cơ diesel (cả trong nước và nước ngoài)

(1) *Phân tích áp suất cháy, áp suất phun trong xi lanh*

Áp suất cháy có thể đo trực tiếp bằng cảm biến áp điện có độ nhạy cao hoặc xác định gián tiếp qua lực tác động lên bu lông nắp xy lanh. Áp suất phun có thể xác định bằng cảm biến áp điện đặt trong vòi phun hoặc xác định gián tiếp thông qua xung áp suất tác động lên thành ống cao áp. Phân tích phối hợp quá trình áp suất cháy và áp suất phun trong xi lanh sẽ nhận biết được trạng thái kỹ thuật của động cơ qua việc đánh giá quá trình cháy và quá trình phun [1], [2].

(2) *Phân tích nhiệt độ*

Nhiệt độ là thông số quan trọng để đánh giá trạng thái hoạt động của động cơ, đặc biệt là quá trình biến đổi năng lượng. Trạng thái hoạt động của động cơ được giám sát một cách đơn giản bằng đồng hồ nhiệt độ dầu, nhiệt độ nước làm mát trên ca bin. Để nhận biết trạng thái kỹ thuật của động cơ bằng cách sử dụng phương pháp phân tích nhiệt độ khí thải, các thông số chẩn đoán được chọn là: Nhiệt độ trung bình của khí thải khi ra khỏi xi lanh; Tích phân nhiệt độ trung bình trong một chu trình nhiệt động; Giá trị cực đại của nhiệt độ trong khí thải [1], [4].

Để thực hiện phương pháp phân tích nhiệt độ khí thải, cần có các cảm biến nhiệt độ phù hợp, có độ bền nhiệt và độ nhạy rất cao. Việc phân tích nhiệt độ để đánh giá quá trình tạo thành hỗn hợp và quá trình cháy có thể thực hiện bằng cách đo trực tiếp nhiệt độ khí thải ngay tại đường thải của động cơ hoặc được thiết kế như là một phần tử cảm biến giám sát hoạt động lâu dài trên động cơ.

(3) *Phân tích thành phần khí thải và độ khối khí thải*

Đối với động cơ diesel, ngoài việc đánh giá bằng mắt về màu sắc và độ đậm đặc của khí thải có thể sử dụng các thiết bị đo khối theo độ đen kiểu giấy lọc và độ mờ hay độ đục bằng thiết bị quang học. Các thiết bị này đã được sử

dụng trong kiểm định động cơ diesel theo tiêu chuẩn phát thải PM [1], [2].

(4) *Phân tích lưu lượng khí lọt xuống carte và áp suất carte*

Tăng lưu lượng khí lọt xuống carte và áp suất khí trong carte là dấu hiệu tăng khe hở nhóm piston - xéc măng - xi lanh. Hư hỏng cục bộ trong các xi lanh có thể nhận biết qua các xung áp suất xác định bởi cảm biến áp suất lắp tại cổ đô dầu. Đặc tính xung áp suất theo góc quay trục khuỷu có dạng hàm sin, biên độ áp suất tăng theo độ tăng khe hở nhóm piston-xi lanh [8], [9].

(5) *Phân tích công suất động cơ*

Công suất là một thông số chất lượng và thường được sử dụng để đánh giá tổng hợp trạng thái kỹ thuật của động cơ đốt trong. Sự thay đổi trạng thái kỹ thuật do hư hỏng hoặc do sai lệch hoạt động có thể là nguyên nhân thay đổi công suất ra của động cơ.

Phương pháp đánh giá công suất khi tăng tốc tự do cũng là phương pháp phân tích quá trình chuyển tiếp, tuy nhiên với trình độ kỹ thuật đo và xử lý tín hiệu tại các thời điểm ứng dụng, người ta tập trung thiết lập các hệ thống đo để xác định công suất cực đại trong quá trình tăng tốc tự do của động cơ diesel [7].

Đường đặc tính công suất và đặc tính mô men khi tăng tốc tự do cũng có thể sử dụng để đánh giá trạng thái kỹ thuật của nhóm piston - xéc măng - xi lanh, hệ thống cung cấp nhiên liệu và hệ thống trao đổi khí. Dấu hiệu nhận dạng trạng thái kỹ thuật của động cơ còn được phát hiện khi phân tích tốc độ quay không tải cực đại, công suất cực đại, mô men cực đại với tốc độ quay tương ứng [3].

(6) *Phân tích lan truyền âm thanh*

Để đo lan truyền âm thanh, cần bố trí hệ thống đo và xử lý nhiều kênh. Sử dụng cảm biến góc quay trục khuỷu và cảm biến chu trình để tạo điều kiện biểu diễn tín hiệu lan truyền âm thanh theo góc quay trục khuỷu và thứ tự nổ các xi lanh. Nhờ phân tích lan truyền âm thanh có thể xác định được sự lặp lại có tính chất chu kỳ khi động cơ hoạt động, qua đó có thể phân tích, phát hiện được vị trí và các dạng hư hỏng [10].

(7) *Phân tích mức tiêu thụ nhiên liệu và dầu bôi trơn*

Với một động cơ có công suất đã cho, chi phí nhiên liệu và dầu bôi trơn có quan hệ trực tiếp với trạng thái kỹ thuật của động cơ. Do đó, tiêu thụ nhiên liệu và tiêu thụ dầu bôi trơn có thể sử dụng làm dấu hiệu nhận dạng để đánh giá tổng hợp trạng thái kỹ thuật của động cơ. Tiêu thụ dầu bôi trơn phụ thuộc nhiều vào tải trọng động cơ nên được đánh giá đồng thời theo tỷ lệ với tiêu thụ nhiên liệu. Tiêu thụ dầu bôi trơn và tiêu thụ nhiên liệu tăng theo mức độ hao mòn cặp lắp ghép piston - xéc măng - xy lanh. Sự thay đổi của đường cong chi phí nhiên liệu riêng có thể sử dụng để nhận biết trạng thái kẹt vòi phun trong động cơ diesel [7].

(8) *Phân tích dầu bôi trơn*

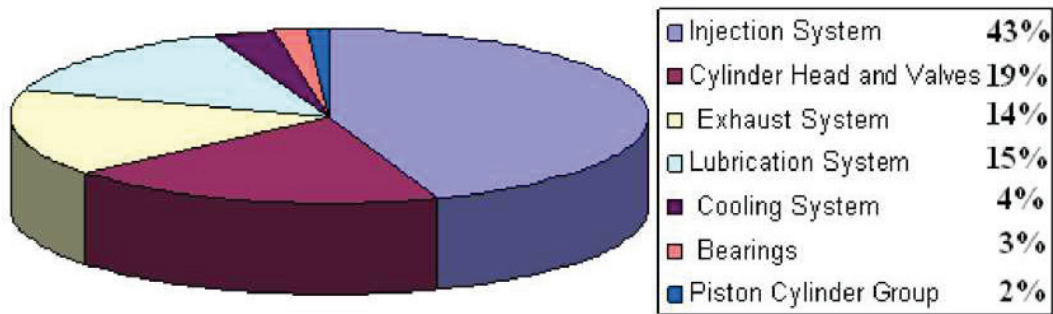
Tính bất thường của quá trình làm việc hoặc trạng thái cấu trúc của động cơ đốt trong có thể biểu hiện bởi sự thay đổi thành phần hoặc tính chất dầu bôi trơn [5].

(9) *Phân tích dao động*

Dao động phát sinh trên động cơ không chỉ do quá trình cháy giãn nở của môi chất trong xi lanh mà còn do va đập của các chi tiết trong cơ cấu xupáp, va đập trong quá trình làm việc của piston - xéc măng - xi lanh trong cơ cấu biên tay quay, cũng như các hiệu ứng cơ học khác xuất hiện khi động cơ làm việc. Dựa vào phân tích dao động có thể phát hiện các hư hỏng như chết xi lanh, tình trạng hao mòn của các chi tiết nhóm piston - xéc măng - xi lanh; Trục khuỷu - thanh truyền, đồng thời còn có thể phân biệt được sự hao mòn khác nhau ở các xi lanh khác nhau của động cơ [3], [4], [10].

## **2. Lựa chọn các thông số kiểm tra an toàn kỹ thuật máy chính tàu cá**

Hình 1, thống kê tỷ lệ % các dạng hao mòn, hư hỏng thường xảy ra trong quá trình khai thác và sử dụng động cơ diesel. Phần lớn các hư hỏng xảy ra trong động cơ là của hệ thống phun nhiên liệu (43%), tiếp đến là nắp xy lanh và hệ thống trao đổi khí (33%), chiếm hơn 3/4 các hư hỏng của động cơ (76%). Những hư hỏng này có ảnh hưởng trực tiếp đến công suất, hiệu suất, phát thải của khí thải, tiếng ồn, rung động và đặc biệt là sự an toàn kỹ thuật của máy



Hình 1. Phân bố các hư hỏng chính của động cơ diesel [11].

chính.

Tình hình xác định thông số kiểm tra, chẩn đoán nêu trên đối với động cơ diesel máy chính tàu cá Việt Nam hiện nay:

(1) Đo công suất (hay mô men) trực tiếp dưới tàu đòi hỏi thiết bị đắt tiền, quy trình đo phức tạp, chỉ thích hợp trên bờ;

(2) Đo suất tiêu hao nhiên liệu thì buộc phải đo được công suất, vì:

$$g_e = \frac{G_e}{N_e} \quad (1)$$

Trong đó:  $g_e$  - suất tiêu hao nhiên liệu có ích,

$G_e$  - lượng tiêu thụ nhiên liệu giờ,

$N_e$  - công suất có ích của động cơ;

(3) Giá trị cực đại của nhiệt độ trong khí thải, dễ đo nhưng đặc tính nhiệt độ này phụ thuộc vào tải, vì vậy không định được ngưỡng khi không đo công suất.

(4) Phân tích màu sắc, hàm lượng mạt kim loại trong dầu bôi trơn rất tốn thời gian và phải gửi mẫu đến các Trung tâm đo lường chất lượng; Việc so chuẩn ít khả thi;

(5) Phân tích lan truyền âm thanh cũng ít khả thi và không thể so chuẩn.

Mục tiêu của bài báo là cung cấp cơ sở ban đầu để “Thiết kế chế tạo hệ thống thiết bị và đề xuất tiêu chuẩn kiểm tra an toàn kỹ thuật động cơ diesel dùng làm máy chính trên tàu cá Việt Nam”, vì vậy, phải đáp ứng các tiêu chí sau:

- Thông số kiểm tra an toàn kỹ thuật phải ít nhưng đủ tính phổ quát;

- Thiết bị gọn, nhẹ, dễ sử dụng để cơ động đăng kiểm trực tiếp dưới tàu (khác hẳn đăng kiểm phương tiện cơ giới đường bộ, đặt cố

định);

- Giá thành phù hợp với nghề cá nhân dân.

Với ý tưởng trên và phổ hao mòn, hư hỏng của động cơ diesel mô tả ở Hình 1, trong các thông số để kiểm tra an toàn kỹ thuật đã nêu, tác giả đề xuất chọn các thông số áp dụng cho máy chính tàu cá:

(1) Áp suất phun nhiên liệu ( $p_{inj}$ )

Hệ thống phun nhiên liệu (HTPNL) trên máy chính tàu cá gồm: Bơm cao áp (BCA), đường ống cao áp và vòi phun (VP). Nhiên liệu được tăng áp đủ lớn tại BCA, qua ống cao áp dẫn tới VP để phun vào buồng cháy (BC). Áp suất nhiên liệu quyết định chất lượng phun và do đó, quyết định chất lượng quá trình đốt cháy nhiên liệu và giá trị các thông số công tác của động cơ. Sự cố HTPNL làm từng xi lanh hoặc máy chính ngừng hoạt động.

(2) Áp suất cuối quá trình nén ( $p_c$ )

Áp suất cuối kỳ nén  $p_c$  là thông số phản ánh mức độ kín khít của nhóm các chi tiết bao kín buồng cháy: Piston - xéc măng - xy lanh, xupáp, đế xupáp và gioăng nắp xy lanh của động cơ. Ở trạng thái mòn giới hạn hoặc hư hỏng, động cơ rất yếu hoặc không thể khởi động, dẫn đến máy chính hoạt động kém hoặc tê liệt.

(3) Dao động bề đỡ trục khuỷu

Dao động là phản ứng của một hệ thống với một số lực, mô men kích động bên trong hoặc tác động từ bên ngoài. Hoạt động của động cơ diesel nhiều xi-lanh ảnh hưởng bất lợi đến tuổi thọ của các bộ phận máy chính và toàn bộ hệ động lực.

Trục khuỷu là một trong các bộ phận động cơ chịu ảnh hưởng của dao động cưỡng bức; Lực và mô men quán tính do sự thay đổi môi

chất định kỳ xảy ra trong piston động cơ tạo ra dao động ngang, dao động dọc trục, dao động xoắn. Ngoài ra, dao động của bản thân vỏ tàu cũng là nguồn dẫn đến hư hỏng trục. Nếu trục khuỷu hư hỏng thì hầu như không thể khắc phục trên biển.

Ngưỡng dao động này được quy định cụ thể của các cơ quan đăng kiểm có uy tín trên thế

giới [10].

Đăng kiểm tàu cá có chức năng kiểm tra an toàn kỹ thuật trước khi cấp phép cho tàu đi khai thác. Việc lựa chọn các thông số phù hợp sẽ tạo tiền đề để nghiên cứu thiết kế, chế tạo *Hệ thống thiết bị* và đề xuất *Tiêu chuẩn kiểm tra an toàn kỹ thuật* cho máy chính tàu cá Việt Nam.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

1. 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.
2. Lại Văn Định, Phạm Đức Minh (2002), Chẩn đoán tình trạng kỹ thuật động cơ theo điều kiện dã ngoại, tuyển tập Hội nghị khoa học VSAE - ICAT.
3. Đỗ Đức Lưu (2009), Động lực học và chẩn đoán động cơ diesel tàu thủy bằng dao động, NXB Giao thông vận tải.
4. Phùng Minh Lộc, Huỳnh Lê Hồng Thái, Hồ Đức Tuấn (2018). Lựa chọn các thông số cảnh báo sự cố hệ động lực tàu cá xa bờ. Tạp chí Khoa học – Công nghệ Thủy sản, Đại học Nha Trang, số 2/2018.
5. Nguyễn Tuấn Minh (2008), Chẩn đoán kỹ thuật động cơ diesel trên cơ sở phân tích tính chất lý hóa của dầu bôi trơn và hạt mài chứa trong dầu, Luận án tiến sĩ kỹ thuật - ĐHBK Hà Nội.
6. Nguyễn Khắc Trai (2004), Kỹ thuật chẩn đoán Ôtô, NXB Giao thông vận tải.
7. Bùi Hải Triều, Hàn Trung Dũng (2006), Xây dựng đặc tính công suất động cơ Diesel bằng phương pháp gia tốc, Hội nghị khoa học lần thứ 20, Phân ban Động cơ đốt trong, Đại học Bách Khoa Hà Nội.
8. 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.
9. 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.

### Tiếng Anh

10. Det Norske Veritas, Vibration class: Part 6 chapter 15 2004, Norway 2011
11. K. Mollenhauer, H. Tschöcke, Handbook of Diesel Engines, DOI 10.1007/978-3-540-89083-6, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.