

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO ÁP SUẤT PHUN NHIÊN LIỆU TRÊN ĐƯỜNG ỐNG CAO ÁP ĐỂ CHẨN ĐOÁN TRẠNG THÁI KỸ THUẬT CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL MÁY CHÍNH TÀU CÁ

STUDYING, DESIGNING AND MANUFACTURING THE FUEL PRESSURE MEASURING EQUIPMENT IN THE HIGH PRESSURE PIPES TO DIAGNOSTIC TECHNICAL STATUS OF THE MAIN DIESEL ENGINE OF FISHING VESSELS

Hồ Đức Tuấn¹, Đoàn Phước Thọ¹

¹Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Nha Trang

Tác giả liên hệ: Hồ Đức Tuấn (Email: tuanhhd@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 29/04/2020; Ngày phản biện thông qua: 20/05/2020; Ngày duyệt đăng: 18/06/2020

TÓM TẮT

Áp suất phun nhiên liệu của hệ thống phun nhiên liệu động cơ diesel phụ thuộc vào bơm cao áp và ảnh hưởng trực tiếp đến cấu trúc tia phun nhiên liệu, dẫn đến thay đổi quá trình hình thành hỗn hợp cháy và cháy nhiên liệu, làm ảnh hưởng đến trạng thái kỹ thuật của động cơ như công suất và phát thải.... Việc xác định áp suất phun trực tiếp ở trên tàu cá đang hoạt động là công việc bất khả thi. Do vậy, thiết kế, chế tạo thiết bị đo diễn biến áp suất trên đường ống cao áp thay vì đo áp suất phun để kịp thời sửa chữa, bảo dưỡng hệ thống phun nhiên liệu, đặc biệt là bơm cao áp sẽ giúp nâng cao hiệu suất làm việc và ngăn ngừa các sự cố xảy ra đối với động cơ diesel máy chính tàu cá. Bài báo này trình bày phương án thiết kế và thiết kế, chế tạo thiết bị đo áp suất áp suất trên đường ống cao áp có kết nối máy tính phục vụ chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ diesel tàu cá.

Từ khóa: Áp suất phun nhiên liệu, động cơ diesel, bơm cao áp, hệ thống phun nhiên liệu

ABSTRACT

The fuel injection pressure of a diesel engine fuel injection system depends on the high pressure pump and directly affects to spray structure, leading to changes in the process of combustion mixture formation and burning fuel, affects on power and emissions of engine. Determining direct injection pressure on operating fishing vessels is an impossible task. Therefore, determining reduction level of pressure in the high pressure pipes to timely repair and maintenance of fuel injection systems, especially high-pressure pumps, will help improve working efficiency and prevent incidents for main diesel engine. This paper presents a solution to design and manufacture the device to measure fuel pressure in the high pressure pipes connected to computer in order to diagnose the status of the main diesel engines of fishing vessels.

Keywords: fuel injection pressure, diesel engine, high pressure pump, fuel injection system.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề an toàn, tin cậy cho tàu cá phụ thuộc lớn vào tình trạng máy chính tàu cá. Chính vì vậy việc kiểm định máy chính tàu cá trở nên cấp thiết. Công tác đăng kiểm tàu cá ở nước ta luôn gặp khó khăn khi phải xác định các thông số phản ánh trạng thái kỹ thuật của máy chính để có thể quyết định cho tàu tiếp tục hoạt động hay buộc phải dừng phương tiện để sửa chữa. Yêu cầu của công tác này là phải nhanh, thiết bị đo kiểm nhỏ gọn và phải có tính thuyết phục để đưa vào tiêu chuẩn quy phạm của Đăng kiểm,

phục vụ đắc lực cho việc quản lý kỹ thuật và hành chính.

Việc chế tạo thiết bị để chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ máy chính, từ đó đề xuất xây dựng tiêu chuẩn kiểm định mức độ an toàn kỹ thuật là cơ sở chính để nâng cao mức độ an toàn và hiệu quả khai thác đội tàu đánh cá của Việt Nam mà đặc biệt là tàu khai thác xa bờ.

Vì vậy, triển khai thiết kế và chế tạo thiết bị đo sự sụt giảm áp suất trên ống cao áp để đánh giá trạng thái kỹ thuật của động cơ diesel làm máy chính tàu cá khi tàu đang hoạt động là hết sức

cần thiết, thông qua đó sẽ nâng cao được sự an toàn và tin cậy của động cơ diesel đang khai thác.

II. ĐỐI TƯỢNG, VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU:

1. Đối tượng nghiên cứu:

- Chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ diesel thông qua diễn biến áp suất nhiên liệu trên đường ống cao áp;
- Thiết bị đo áp suất trên đường ống cao áp có kết nối máy tính.

2. Phương pháp nghiên cứu:

Trong triển khai nghiên cứu đề tài, tác giả sẽ sử dụng các phương pháp nghiên cứu cơ bản sau:

2.1. Nghiên cứu lý thuyết

- Chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ đốt trong; Áp suất phun và ảnh hưởng của áp suất phun đến các thông số phản ánh trạng thái kỹ thuật của động cơ diesel làm cơ sở xác định giới hạn sửa chữa của hệ thống phun nhiên liệu;
- Quy hoạch và xử lý số liệu thực nghiệm;
- Công nghệ chế tạo máy;
- Vi mạch và phần mềm kết nối thiết bị đo với máy tính.

2.2. Nghiên cứu thực nghiệm

- Chế tạo và thử nghiệm thiết bị;
- Thực nghiệm đo áp suất phun trên đường ống cao áp của động cơ diesel có kết nối với máy tính và xử lý số liệu thực nghiệm.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

1. Khái niệm về thông số chẩn đoán và thông số đánh giá trạng thái kỹ thuật động cơ

1.1. Thông số chẩn đoán

Các thông số biểu hiện kết cấu như: Số vòng quay, áp suất nén, áp suất cháy, áp suất

các te, áp suất phun nhiên liệu, độ khói khí thải, mức tiêu hao nhiên liệu...là các thông số có thể lựa chọn làm thông số chẩn đoán để đánh giá trạng thái kỹ thuật của động cơ.

1.2. Thông số trạng thái kỹ thuật động cơ

Đối với động cơ diesel, các thông số sau thường được dùng để phản ánh trạng thái kỹ thuật của động cơ như diesel như: Công suất, mô men, suất tiêu hao nhiên liệu, phát thải bồ hóng, phát thải NOx.

Do đó, việc lựa chọn thiết kế chế tạo thiết bị đo áp suất trên đường ống cao áp là phù hợp với mục tiêu nghiên cứu của đề tài.

2. Phương án thiết kế thiết bị chẩn đoán

2.1. Thiết kế hệ thống chung

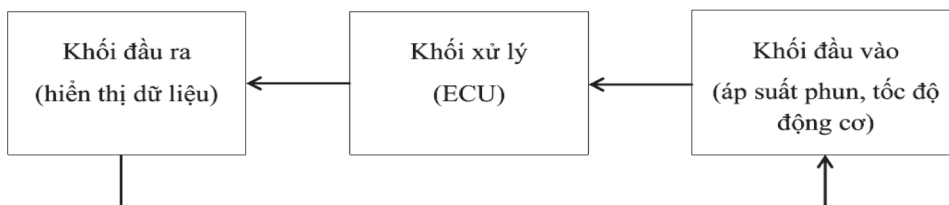
Phương án thiết kế là một khâu hết sức quan trọng trong toàn bộ quá trình thiết kế và chế tạo thiết bị. Vì vậy, sẽ ưu tiên cho những chỉ tiêu sau:

Chỉ tiêu kỹ thuật: Đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật đo (đài áp suất, nhiệt độ... thể hiện trong Bảng 1) và có độ tin cậy trong quá trình đo đạc, ghi nhận dữ liệu.

Chỉ tiêu kinh tế: Quá trình thiết kế, chế tạo các chi tiết, lựa chọn linh kiện điện tử và lắp ráp hoàn chỉnh thiết bị cần ưu tiên giá thành nhưng phải tuân thủ chặt chẽ chỉ tiêu kỹ thuật;

Chỉ tiêu sử dụng: Đảm bảo tính sử dụng lâu dài, vận hành, đo đạc dễ dàng, ngoài ra còn có thể khắc phục sửa chữa khi thiết bị gặp sự cố bất trắc.

Theo yêu cầu về nhiệm vụ của từng khối, bộ xử lý tín hiệu đo (hình 1) gồm 3 khối chính: *Khối đầu vào*, *khối xử lý trung tâm* và *khối đầu ra*.



Hình 1. Sơ đồ khối bộ xử lý tín hiệu đo

a. Khối đo thông số đầu vào

Nhiệm vụ của khối đầu vào là thu thập các tín hiệu đo từ các cảm biến và gửi tới khối xử lý trung tâm, gồm có các phần tử:

- **Cảm biến tốc độ:** Có nhiệm vụ báo tín hiệu cho ECU khi động cơ làm việc, trên cơ sở số vòng quay đo được trong một phút, ECU sẽ tính toán giá trị của tốc độ quay sang độ góc quay trực khuỷu.

- **Cảm biến áp suất:** Có nhiệm vụ chuyển đổi tín hiệu của áp suất thành tín hiệu điện đưa tới ECU, đối với loại cảm biến áp suất có trên thị trường thường có độ phân giải thấp cần thiết kế thêm một mạch khuếch đại, để tín hiệu truyền đến ECU đủ lớn.

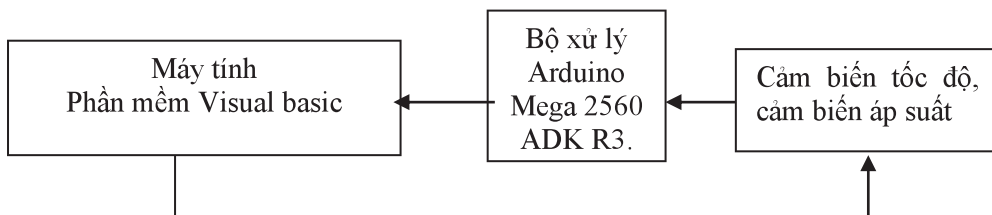
b. Khối xử lý trung tâm

Khối xử lý (ECU) sau khi nhận tín hiệu sẽ tiến hành chuyển đổi, tính toán, phân tích và xuất các tín hiệu điều khiển cho khối đầu ra.

c. Khối đầu ra

Khối đầu ra của bộ xử lý tín hiệu đo bao gồm thiết bị hiển thị và ghi nhận dữ liệu đo (máy tính). Máy tính với chương trình đo và hiển thị được thực hiện trên giao diện phần mềm, có thiết kế cổng kết nối tới ECU, có thể hiệu chỉnh và thiết lập các chế độ để phục vụ đo đạc và lưu trữ dữ liệu theo yêu cầu.

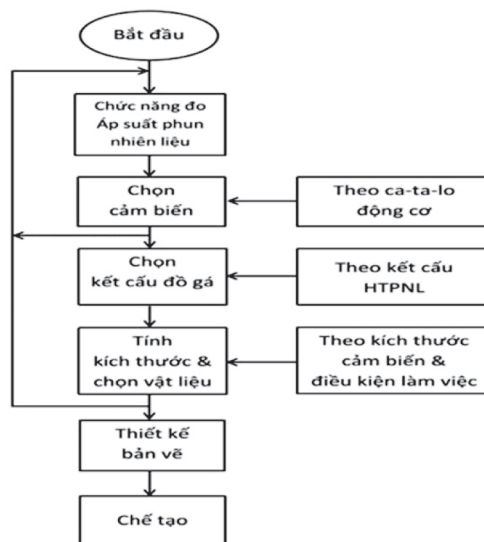
Qua phân tích nhiệm vụ của từng khối trong thiết bị chẩn đoán, tác giả nhận thấy phương án thiết kế bộ xử lý tín hiệu đo có kết nối máy tính là khá phức tạp, trong khi đó trên thị trường phổ biến một bộ tích hợp thông minh (đo và xử lý tín hiệu) có độ chính xác cao, được ứng dụng nhiều trong đo lường kỹ thuật đó là bộ xử lý thông minh Arduino Mega 2560 ADK R3 của Italia chế tạo [3]. Bộ xử lý này có thể kết nối cảm biến và hiển thị kết quả trên máy tính thông qua phần mềm Visual Basic. Người dùng thiết kế các mạch đo theo yêu cầu trên phần mềm Visual Basic và cài đặt vào bộ xử lý Arduino Mega 2560 ADK R3, kết nối và thiết lập các thông số đầu vào tạo thành hệ điều khiển hoàn chỉnh. Sơ đồ khối hệ thống đo sử dụng bộ Arduino được trình bày trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống đo sử dụng bộ xử lý thông minh Arduino Mega 2560

Quá trình thiết kế đồ gá cảm biến được thực hiện theo trình tự của sơ đồ hình 3. Sau khi lựa chọn được đồ gá đáp ứng đúng yêu cầu của quá

trình thiết kế, đồ gá cảm biến áp suất sẽ được gia công cơ khí cho phù hợp với kích thước cảm biến và điều kiện làm việc thực tế.



Hình 3. Sơ đồ trình tự thiết kế đồ gá cảm biến

2.2. Chế tạo đồ gá cảm biến

Đồ gá được chế tạo trên máy tiện và máy khoan CNC sau đó được liên kết ren với ống cao áp. Sản phẩm sau khi chế tạo như trên hình 4.



Hình 4. Đồ gá và cảm biến Huba



Hình 6. Cảm biến Huba

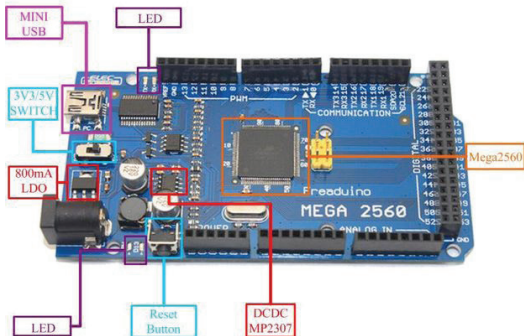
Bảng 1: Thông số kỹ thuật cảm biến Huba

Thông số	Giá trị
Kiểu cảm biến	Quang học
Kiểu tín hiệu xuất	TTL
Nguồn cấp	8 ÷ 24V xoay chiều
Nhiệt độ làm việc	- 20 ÷ 80°C
Độ phân giải	720 ÷ 1800 xung/vòng

3. Kết nối cảm biến áp suất và cảm biến tốc độ động cơ với bộ xử lý tín hiệu

3.1. Bộ xử lý tín hiệu Arduino Mega 2560 ADK R3

Bộ xử lý thông minh Arduino Mega 2560 ADK R3[7] là phiên bản nâng cấp của Arduino Mega 2560 được tích hợp thêm cổng USB có giá thành thấp, thích hợp ứng dụng trong đo đạc với ưu điểm gọn nhẹ, cơ động. Thiết bị này có độ chính xác cao trong thu nhận và xử lý dữ liệu, dễ sử dụng, tích hợp nhiều cổng kết nối đầu vào cho phép làm việc cùng lúc với nhiều loại cảm biến có chức năng đo khác nhau (hình 5). Lựa chọn bộ xử lý Arduino đáp ứng được yêu cầu thiết kế thiết bị chẩn đoán hệ thống nhiên liệu.



Hình 5. Kết cấu bộ xử lý thông minh Arduino Mega 2560 ADK R3

3.2. Cảm biến áp suất HUBA 520943S01QF21

Áp suất phun của động cơ Yanmar 4CHE là 23 bar, mẫu cảm biến áp suất được chọn có mác 520.943S01QF21 do nhà sản xuất HUBA - Nhật Bản chế tạo [4], thông tin chi tiết được trình bày trong các hình 6 và bảng 1.

3.3. Cảm biến góc quay trực khuỷu

Động cơ Yanmar 4CHE đạt công suất tối đa 70 Hp tại tốc độ 2300 v/ph, mẫu cảm biến góc quay được chọn loại PRI50 là sản phẩm của nhà sản xuất OPKON - Thổ Nhĩ Kỳ[5], thông tin chi tiết được trình bày trong hình 7 và bảng 2.



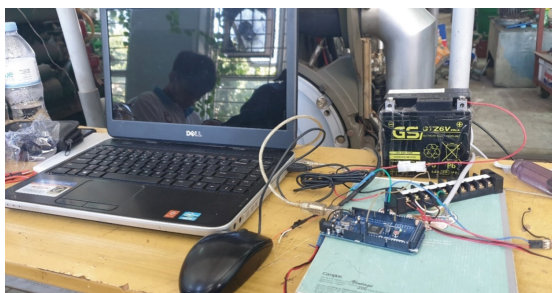
Hình 7. Cảm biến góc quay trực khuỷu PRI50

Bảng 2: Thông số kỹ thuật cảm biến PRI50

Thông số	Giá trị
Áp suất đo lớn nhất	250 bar
Nguồn cấp	7 ÷ 33 V xoay chiều
Nhiệt độ làm việc	- 40 ÷ 135°C
Thời gian đo	< 2 ms
Tần số đo	100 Hz

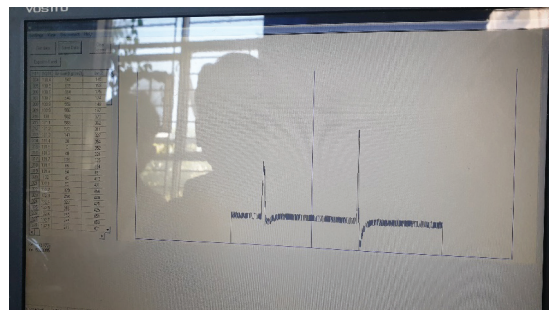
4. Kết nối các thiết bị - Viết chương trình điều khiển bằng phần mềm Visual Basic.

Trước khi viết chương trình, máy tính được kết nối với bộ xử lý thông minh và các cảm biến thông qua bộ xử lý, có cấp điện nguồn để phần mềm nhận dạng tín hiệu (hình 8). Phần mềm Visual Basic [6] sau khi cài đặt và lập trình trên máy tính, khởi động chương trình chính, các thông số từ các cảm biến sẽ được một mạch điện tử thu nhận, xử lý và chuyển đổi thành các thông số cần đo. Dữ liệu sẽ được gửi về máy tính, một phần mềm giao diện người máy cho phép hiển thị các giá trị tức thời về công suất và số vòng quay, lượng nhiên liệu tiêu thụ và được hiển thị dưới hai dạng biểu bảng và đồ thị. Từ các kết quả này có thể dễ dàng xác định vùng làm việc kinh tế ứng với từng mức tải cụ thể. Ngoài ra kết quả đo cũng sẽ được tự động lưu lại trong máy tính dưới định dạng Excel thuận tiện cho việc xử lý số liệu sau này.

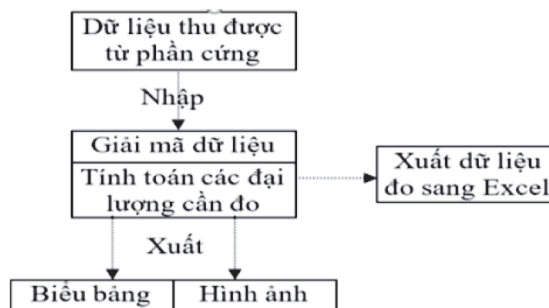


Hình 8. Kết nối cảm biến với bộ xử lý tín hiệu và máy tính

Màn hình chính gồm 2 khung theo dõi, cho phép hiển thị các giá trị dữ liệu tức thời trên đồ thị để tiện so sánh và hiển thị dữ liệu dưới dạng số (hình 9). Phương án lưu trữ số liệu và đồ thị biểu bảng, hình ảnh được thực hiện như sơ đồ hình 10.



Hình 9. Ghi nhận dữ liệu áp suất trong ống cao áp từ thiết bị đo Sơ đồ khối phương án thu nhận và lưu dữ liệu



Hình 10. Sơ đồ khối phương án thu nhận và lưu dữ liệu

5. Thử nghiệm thiết bị

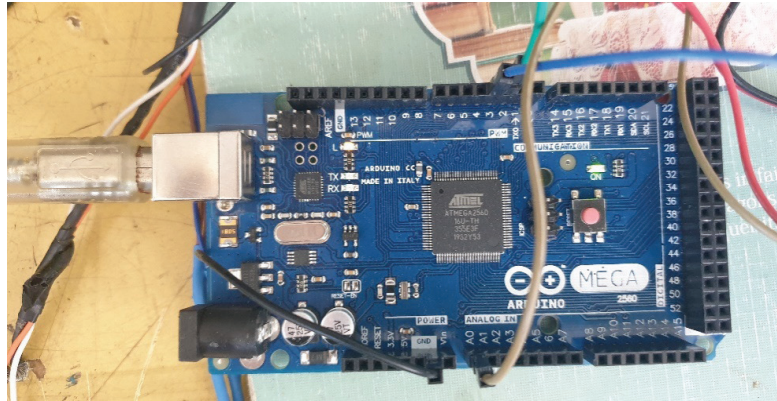
Sử dụng động cơ diesel 4CHE Yanmar do Nhật Bản chế tạo, trang bị tại phòng thí nghiệm Động lực - trường Đại học Nha Trang để tiến hành thử nghiệm thiết bị. Động cơ diesel 4CHE là động cơ cao tốc, 4 xy lanh, công suất 70hp/2300rpm, có số lượng tương đối nhiều tại các tỉnh Duyên hải Miền Trung và phía Nam Việt Nam [1], dùng làm máy chính trên tàu cá hoặc máy phụ lai máy phát điện.

5.1. Lắp cảm biến lên động cơ và kết nối bộ xử lý tín hiệu

Quá trình thử nghiệm thiết bị nhằm mục đích đánh giá khả năng làm việc và độ tin cậy của thiết bị sau khi chế tạo, cơ sở của việc đánh giá này dựa vào dữ liệu thu được và so sánh với giá trị áp suất phun của động cơ diesel theo nhà sản xuất. Cảm biến được lắp trên ống cao áp của xi lanh số 1(hình 11). Cảm biến được kết nối với bộ xử lý tín hiệu để liên kết cảm biến với máy tính (hình 12).



Hình 11. Cảm biến áp suất lắp trên đường ống cao áp



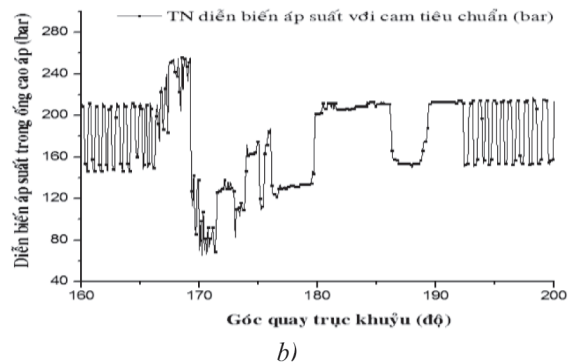
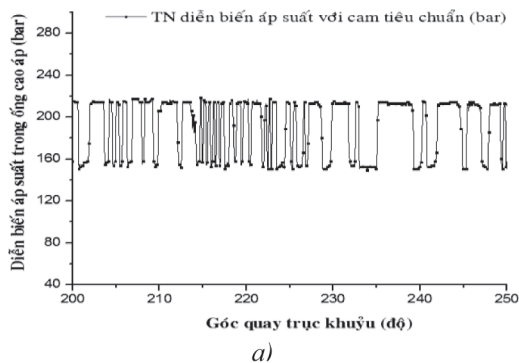
Hình 12. Bộ xử lý tín hiệu kết nối cảm biến với máy tính

5.2. Điều kiện thử nghiệm và kết quả đo diễn biến áp suất trên đường ống cao áp

Điều kiện tiến hành thử nghiệm động cơ được xác định theo điều kiện hoạt động thực tế diễn ra của động cơ diesel trên các loại tàu cá. Đối với các loại động cơ trên, mô men đạt giá trị lớn khi tốc độ đạt 60 ÷ 80% tốc độ định mức [3]. Sau khi kiểm tra hệ thống nước làm mát và khởi động, khi động cơ làm việc ổn định mới

tiến hành đo. Kết quả đo diễn biến áp suất trên đường ống cao áp được thể hiện dạng đường cong áp suất theo độ góc quay trục khuỷu.

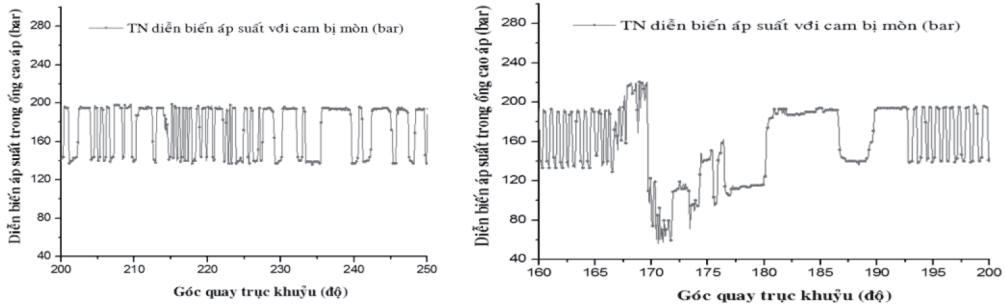
Kết quả đo diễn biến áp suất trên ống cao áp bằng thiết bị chế tạo, được thể hiện như trên hình 13, các giá trị cụ thể trình bày trong bảng 3. Thời gian ghi nhận dữ liệu và xử lý dữ liệu được xác định theo chu kỳ và tốc độ động cơ.



Hình 13. Kết quả đo áp suất trên ống cao áp.

Bảng 3. Kết quả thực nghiệm ở trên động cơ 4CHE ở 1400 v/ph

Áp suất trong ống cao áp, trung bình (bar)	Tải (%)	Công suất (kW)	G _e (g/h)	g _e (g/kW.h)	Khí thải NO _x (ppm)	Bồ hóng (N %)	Nhiệt độ khí thải (t°C)
214,52	0				172	2,46	163
	20	5,41	2618,05	483,92	408	3,01	227
	40	12,87	3925,48	305,02	592	3,83	251
	60	20,82	5462,35	262,36	726	6,27	314
	80	23,38	6578,13	281,35	785	8,12	329



Hình 14. Diễn biến áp suất trên ống cao áp trường hợp cam đã mòn

Bảng 4. Sự thay đổi công suất của động cơ theo áp suất trên ống cao áp,

Ghi chú	Trường hợp bơm cao áp làm việc với	Áp suất trong ống cao áp(bar)	Công suất (kW)
Chế độ thử nghiệm 40% tải, 1400 v/p	Cam tiêu chuẩn	214,52	12,87
	Cam bị mòn 9,3%	186,06	12,01
	Tăng (+), giảm (-)%	-13,27	-6,6

IV. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

1. Kết luận

Đã chế tạo thành công thiết bị và tổ chức thực nghiệm xác định ảnh hưởng của độ mòn các chi tiết trong bơm cao áp đến áp suất trên đường ống cao áp, công suất và phát thải của động cơ diesel 4CHE Yanmar dùng làm máy chính tàu cá. Khi độ mòn cam giảm đến 9,3% so với kích thước tiêu chuẩn, thì áp suất trên đường ống cao áp giảm đến khoảng 13,27%, dẫn đến công suất động cơ giảm khoảng 6,6%. Đây là cơ sở để chẩn đoán trạng thái kỹ thuật động cơ thông qua áp suất trên đường ống cao áp.

Thiết bị này sẽ là công cụ hữu hiệu phục vụ công tác chẩn đoán kỹ thuật động cơ diesel tàu cá.

2. Khuyến nghị

Cần đầu tư kinh phí để thiết lập:

- Ngân hàng áp suất trên đường ống cao áp tiêu chuẩn của các loại động cơ diesel tàu cá thường gặp;
- Tương quan giữa áp suất trên đường ống cao áp với sự suy giảm công suất, suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ, việc này được thực hiện như sau:

+ Xây dựng mô hình toán $N_e, g_e = F(p_{inj})$;

+ Viết phần mềm (cho thiết bị đo) tự động tính và đối chiếu với áp suất trên đường ống cao áp tiêu chuẩn (trường hợp hệ thống nhiên liệu mới đưa vào sử dụng hoặc mới đại tu xong), xuất kết quả đánh giá trạng thái kỹ thuật của động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phùng Minh Lộc - Huỳnh Lê Hồng Thái và 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*.
2. Phan Quốc Phô, Nguyễn Đức Chiến (2000), *Giáo trình cảm biến*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
3. Mollenhauer. K. H và Tschoeke (2010), *Handbook of Diesel Engines*, Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
4. <https://www.hubacontrol.com/en/products/pressure-transmitter>
5. <https://www.microlectra.com/p-opkon-mli-magnetic-linear-sensor-contactless-for-use-on-a-magnetic-band-5427>
6. <https://visualstudio.microsoft.com/fr/vs/whatsnew/?rr=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
7. <https://www.arduino.cc/>