

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THỬ NGHIỆM HỆ THỐNG HOÀN LƯU KHÍ THẢI ĐỘNG CƠ HANSHIN 6LU32 RESEARCH ON DESIGN AND EXPERIMENT MANUFACTURE OF THE EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM FOR ENGINE HANSHIN 6LU32

NGUYỄN ĐẠI AN*, ĐẶNG VĂN UY, NGUYỄN HUY HÀO

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: annd.mtb@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu tính toán, thiết kế và chế tạo thử nghiệm hệ thống hoàn lưu khí thải cho động cơ diesel HANSHIN 6LU32 thuộc Trung tâm nghiên cứu hệ động lực tàu thủy - Khoa Máy tàu biển, nhằm mục đích giảm thiểu phát thải khí NO_x trong khí thải của động cơ diesel đáp ứng Phụ lục VI Công ước Marpol 73/78 về bảo vệ môi trường biển của Tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO).

Từ khóa: Hệ thống hoàn lưu khí thải, động cơ diesel, phát thải khí NO_x , Công ước Marpol 73/78, môi trường biển.

Abstract

The article introduces the results of research on calculation, design and experiment manufacture of Exhaust Gas Recirculation system for the diesel engine HANSHIN 6LU32 in the Research Center of Marine Propulsion Plan - Marine Engineering Faculty, with aim of reducing NO_x emission in the exhaust gases to meet Annex VI of the International Convention for the Prevention of Pollution from ships Marpol 73/78.

Keywords: Exhaust Gas Recirculation system, diesel engine, NO_x emissions, Marpol 73/78 Convention, marine environment.

1. Mở đầu

Một trong các biện pháp khá hiệu quả và được áp dụng nhiều trên thực tế nhằm làm giảm phát thải khí NO_x của động cơ diesel là sử dụng công nghệ hoàn lưu khí thải EGR (Exhaust Gas Recirculation). Tuy nhiên, việc trộn lẫn và kiểm soát tỷ lệ khí thải hoàn lưu như thế nào lại là vấn đề không đơn giản. Bởi vì một khi tải của động cơ thay đổi bất thường, nhất thiết phải duy trì được tỷ lệ khí thải hoàn lưu ổn định, hơn nữa mức độ đồng thể giữa không khí nạp và khí thải hoàn lưu cũng là một trong các yếu tố quyết định chất lượng làm việc của động cơ diesel.

Việc nghiên cứu thiết kế và tạo ra thiết bị nhằm

hòa trộn không khí và khí thải hoàn lưu một cách tốt nhất trước khi nạp vào động cơ là việc hết sức cần thiết, và việc kiểm soát tỷ lệ không khí - khí thải hoàn lưu cũng là nhiệm vụ không kém phần quan trọng. Trên thực tế, người ta có thể áp dụng các phương án khác nhau để cấp khí thải hoàn lưu vào động cơ như: sử dụng hệ thống hoàn lưu áp suất cao, hệ thống hoàn lưu áp suất thấp, cấp vào cửa hút của máy nén tăng áp, hoặc cấp vào phía sau máy nén,... Mỗi một giải pháp cấp khí thải hoàn lưu vào động cơ đều có những ưu nhược điểm khác nhau, vì thế phụ thuộc vào loại động cơ, nhiên liệu sử dụng, công suất động cơ, mà người ta có thể lựa chọn hệ thống thích hợp.

Bài báo trình bày tính toán, thiết kế, chế tạo thử nghiệm thành công hệ thống hoàn lưu khí thải trực tiếp vào cửa hút của máy nén tăng áp cho động cơ HANSHIN 6LU32 thuộc Trung tâm nghiên cứu hệ động lực tàu thủy - Khoa Máy tàu biển trong trường hợp không sử dụng và có sử dụng hoàn lưu khí thải (EGR) với tỷ lệ 20% ở các chế độ 50%, 75% và 85% tải làm cơ sở để triển khai áp dụng cho các động cơ tàu thủy trên đội tàu biển Việt Nam nhằm giảm hàm lượng NO_x trong khí thải động cơ.

2. Nội dung

2.1. Lựa chọn giải pháp trộn không khí sạch và khí thải hoàn lưu

Trên thực tế, có nhiều giải pháp để hoàn lưu khí thải vào động cơ diesel như:

- Cấp khí thải vào sau máy nén của tua bin tăng áp sử dụng vòi phun kiểu ống venturi;
- Cấp khí thải vào cửa hút của máy nén của tua bin tăng áp.

Giải pháp được lựa chọn là hệ thống áp suất thấp. Giải pháp này có những ưu điểm sau:

- Khí thải hoàn lưu được cấp chủ động thông qua ứng dụng quạt tăng áp;
- Giải pháp này thích hợp đối với các động cơ công suất lớn, cần cấp một lượng khí thải hoàn lưu tương đối lớn;

- Hệ thống có cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo và bảo dưỡng;

- Có thể kiểm soát được lượng khí thải hoàn lưu một cách chính xác.

Tuy nhiên, bên cạnh những ưu điểm trên, cần đặc biệt lưu ý về khả năng làm bẩn cánh của máy nén tăng áp trong quá trình khai thác do chất lượng của khí thải không đảm bảo.

Phương pháp cấp khí thải hoàn lưu vào cửa hút của máy nén là giải pháp công nghệ tương đối đơn giản. Theo phương pháp này, khí thải hoàn lưu được dẫn đến và cấp ngay vào cửa hút của máy nén tăng áp. Tại đây, không khí sạch cùng với khí thải hoàn lưu được trộn với nhau và tăng áp trước khi cấp vào động cơ. Trên Hình 1 trình bày sơ đồ nguyên lý của phương pháp cấp khí thải hoàn lưu vào trước máy nén của tua bin tăng áp động cơ HANSHIN 6LU32. Ở trường hợp này, khí thải sau khi được xử lý ở tháp lọc khí thải (4), được làm sạch tại phin lọc (5) sẽ được quạt (11) đẩy tới hòa trộn với không khí (10) trước khi vào máy nén của tua bin tăng áp (2), sau khi tăng áp, hỗn hợp sẽ được làm mát tại bầu làm mát (8) trước khi cấp vào cửa nạp của động cơ (1). Vấn đề hòa trộn không khí với khí thải hoàn lưu và kiểm soát tỷ lệ khí thải hoàn lưu trong hỗn hợp được đo đạc bằng áp kế (6), lưu lượng kế (7) và phân phối vào máy nén tăng áp bằng thiết bị (9).

Hệ thống hoàn lưu khí thải được thiết kế, chế tạo và lắp đặt hoàn chỉnh trên động cơ HANSHIN 6LU32 thuộc Trung tâm nghiên cứu hệ động lực tàu thủy - Khoa Máy tàu biển (Hình 2).

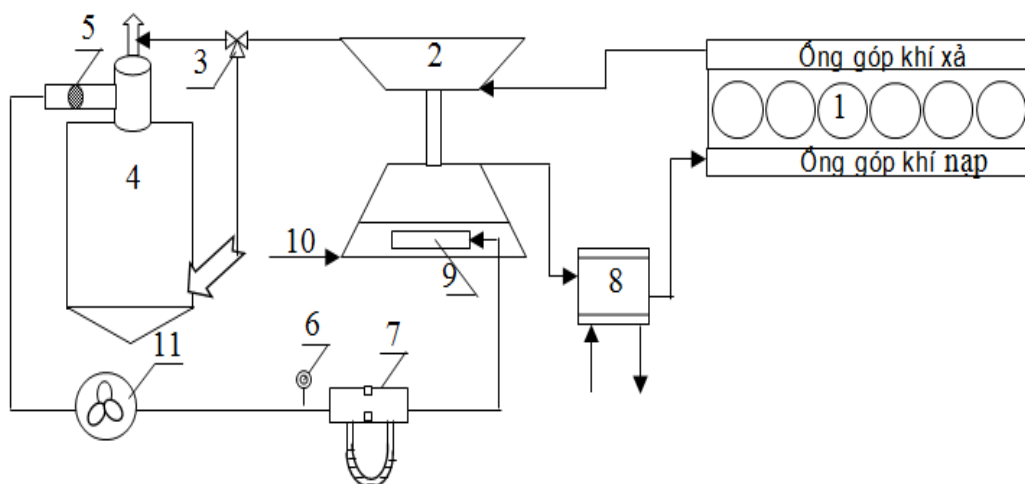


Hình 2. Hệ thống hoàn lưu khí thải trên động cơ 6LU32

1. Cửa hút của máy nén tăng áp;
2. Cửa cấp khí thải hoàn lưu;
3. Van điều chỉnh lưu lượng khí thải;
4. Quạt tăng áp khí thải;
5. Đường dẫn khí thải hoàn lưu; 6. Tháp lọc khí thải.

2.2. Tính toán thiết kế hệ thống cấp khí thải hoàn lưu

Thực tế, hệ thống cấp khí thải hoàn lưu vào cửa nạp của động cơ diesel là hệ thống không quá phức tạp. Trong quá trình tính toán thiết kế, điều quan trọng nhất đó là tính được đường kính đường ống dẫn khí thải hoàn lưu đến cửa nạp của máy nén tăng áp, tiếp theo là lựa chọn đặc tính kỹ thuật của quạt tăng áp (năng suất và áp suất tăng áp) và sau cùng là lựa chọn van bướm và lưu lượng kế.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống hoàn lưu khí xả lắp đặt trên động cơ Hanshin 6LU32 [1]

- 1- Động cơ Hanshin 6LU32; 2 - Tua bin tăng áp; 3- Van trích khí xả; 4- Tháp lọc SO_x; 5 - Phin lọc khí xả;
- 6 - Áp kế; 7 - Đo lưu lượng khí xả; 8 - Bầu làm mát khí tăng áp; 9 - Cửa cấp khí xả hoàn lưu;
- 10 - Không khí vào máy nén tăng áp; 11- Quạt khí xả hoàn lưu.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ HANSHIN 6LU32 [2]

STT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Động cơ HANSHIN	6LU32		
2	Số xi lanh	i		6
3	Vòng quay định mức	n_{dm}	vòng/phút	340
4	Công suất định mức	Ne_{dm}	kW/hp	970/1300
5	Đường kính xi lanh	D	mm	320
6	Hành trình piston	S	mm	510
7	Tốc độ trung bình piston	W	m/s	5,78
8	Áp suất cháy lớn nhất	Pz	kG/cm ²	90
9	Góc phun sớm	φ_{ps}	° gqtk	11
10	Suất tiêu hao nhiên liệu	g_e	g/kW.h	200

Việc tính toán, thiết kế hệ thống hoàn lưu khí thải cho động cơ diesel 6LU32 được thực hiện dựa trên các thông số kỹ thuật của động cơ (Bảng 1) và các yêu cầu kỹ thuật cơ bản sau đây [1]:

Lưu lượng khí thải hoàn lưu: (20-30%);

Lưu lượng khí nạp vào động cơ lớn nhất theo yêu cầu: $\dot{m}_{nap} = 4701,79 \text{ m}^3/\text{h}$;

Đường kính ống dẫn khí nạp từ máy nén đến bầu sinh hàn: 158mm.

2.2.1. Tính toán đường kính ống dẫn

Việc thiết kế và chế tạo hệ thống cấp khí thải hoàn lưu vào cửa hút máy nén được bắt đầu từ tính đường kính của đường ống cấp khí thải này. Phương pháp tính đơn giản nhất chính là tính theo tỷ lệ giữa lưu lượng khí thải hoàn lưu và tổng lưu lượng khí nạp vào động cơ [4, 5]:

$$EGR [\%] = \left(\frac{\dot{m}_{EGR}}{\dot{m}_{air} + \dot{m}_{EGR}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

$$\dot{m}_{nap} = \dot{m}_{air} + \dot{m}_{EGR}$$

Vậy với thiết kế có thể sử dụng đến 30% lượng khí thải lưu hồi, thì theo công thức trên sẽ tính được giá trị của lượng khí thải lưu hồi cần thiết:

$$\dot{m}_{EGR} = 30\% \dot{m}_{nap} \quad (2)$$

Thay số vào sẽ có:

$$\dot{m}_{EGR} = 0,3 \times 4701,79 = 1410,537 \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (3)$$

Vậy đường kính ống dẫn khí thải hoàn lưu được xác định [4, 5]:

$$d_{EGR} = \sqrt{\frac{d_1^2}{3}} = \sqrt{\frac{158^2}{3}} = 91,22 \text{ (mm)} \quad (4)$$

2.2.2. Lựa chọn quạt tăng áp

Quạt tăng áp được trang bị cho hệ thống hoàn lưu khí thải với chức năng cấp lượng khí thải cần thiết

theo thiết kế vào cửa nạp động cơ, tạo được áp suất phù hợp và đảm bảo được độ bền, độ tin cậy.

Trên Bảng 2 là những thông số kỹ thuật yêu cầu đối với quạt tăng áp khí thải hoàn lưu cấp vào động cơ.

2.3. Kết quả thử nghiệm và bình luận

Sau khi tính toán, hệ thống hoàn lưu khí xả được chế tạo, lắp đặt trên động cơ và chạy thử nghiệm với hai loại nhiên liệu DO và FO ở điều kiện bình thường (không có hoàn lưu khí xả) và có hoàn lưu khí thải với tỷ lệ khí thải hoàn lưu là 20%, ở các chế độ tải khác nhau (50%, 75% và 85% tải) [1]. Hệ thống thử nghiệm động cơ 6LU32 trên bộ thử với phanh thử tải, hệ thống giám sát khí thải của hãng AVL (Cộng hòa Áo) và thiết bị đo TESTO 350 (Mỹ) [1]. Kết quả thu được thể hiện trên Bảng 3 và Bảng 4.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của quạt tăng áp [1, 3]

TT	Thông số kỹ thuật	Giá trị	Ghi chú
1	Năng suất	1500 - 2000 m ³ /h	
2	Áp suất	Max. 1,4 bar	
3	Nhiệt độ công tác	160°C	
4	Vật liệu		Thép các bon
5	Động cơ điện		Không tạo tia lửa

Tiêu chuẩn phát thải khí NO_x được qui định tại Phụ lục VI (MARPOL 73/78) áp dụng cho động cơ diesel thủy 6LU32 được cụ thể hóa như trên Bảng 5. Các kết quả thử nghiệm về phát thải khí NO_x được so sánh, đánh giá trong hai trường hợp sử dụng nhiên liệu DO và FO được thể hiện trên biểu đồ Hình 3 và Hình 4 [3].

Bảng 3. Kết quả phát thải khi sử dụng nhiên liệu DO

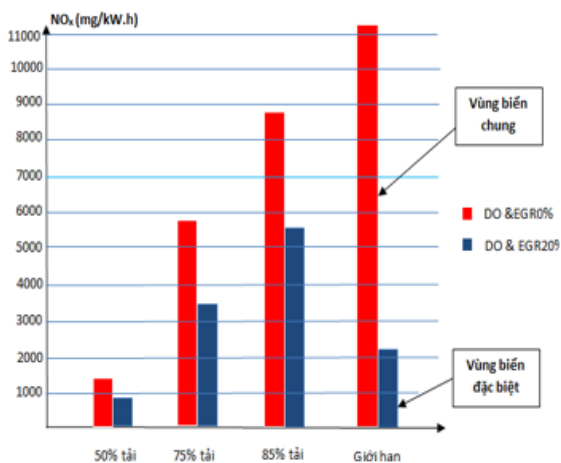
Nhiên liệu DO						
Thông số phát thải	Chế độ tải /vòng quay (EGR 0%)					
	50%/238v/ph		75%/273v/ph		85%/300v/ph	
	mg/Nm ³	mg/kW.h	mg/Nm ³	mg/kW.h	mg/Nm ³	mg/kW.h
NO _x	1702	1458	6926	5935	10371	8887
Nhiên liệu DO						
Thông số phát thải	Chế độ tải/vòng quay (EGR 20%)					
	50%/238v/ph		75%/273v/ph		85%/300v/ph	
	mg/Nm ³	mg/kW.h	mg/Nm ³	mg/kW.h	mg/Nm ³	mg/kW.h
NO _x	1058	906	4144	3525	6523	5559

Bảng 4. Kết quả phát thải khi sử dụng nhiên liệu FO

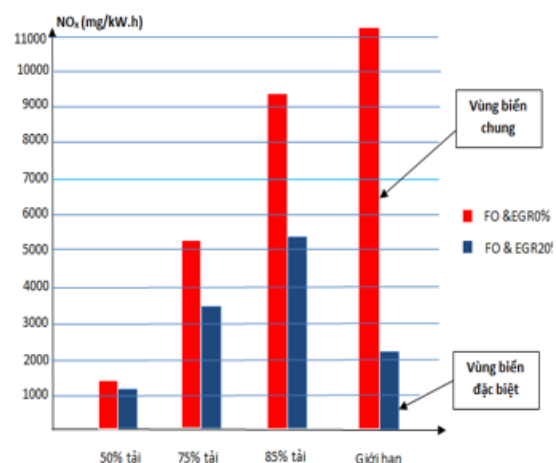
Nhiên liệu FO						
Thông số phát thải	Chế độ tải/ vòng quay (EGR 0%)					
	50%/240v/ph		75%/275v/ph		85%/300v/ph	
	mg/Nm ³	mg/kW.h	mg/Nm ³	mg/kW.h	mg/Nm ³	mg/kW.h
NO _x	1650	1414	5910	5064,7	11015	9439,8
Nhiên liệu FO						
Thông số phát thải	Chế độ tải / vòng quay (EGR 20%)					
	50%/240v/ph		75%/275v/ph		85%/300v/ph	
	mg/Nm ³	mg/kW.h	mg/Nm ³	mg/kW.h	mg/Nm ³	mg/kW.h
NO _x	1181	1012	4271	3660,2	6308	5406

Bảng 5. Tiêu chuẩn phát thải khí NO_x đối với động cơ 6LU32 [6]

Vùng khai thác	Tiêu chuẩn phát thải NO _x		Thời gian áp dụng
	mg/Nm ³	mg/kW.h	
Vùng biển chung	13430	11510	Từ 2011
Vùng biển đặc biệt (SECAs)	4320	2008	Từ 2016



Hình 3. Mức độ giảm phát thải NO_x khi động cơ sử dụng dầu DO và tỷ lệ hoàn lưu khí thải 20%



Hình 4. Mức độ giảm phát thải NO_x khi động cơ sử dụng dầu FO và tỷ lệ hoàn lưu khí thải 20%

Kết quả thử nghiệm cho thấy mức độ phát thải NO_x khi động cơ 6LU32 sử dụng nhiên liệu DO và FO với tỷ lệ hoàn lưu khí thải 20% giảm đáng kể so với khi không áp dụng hoàn lưu khí thải và nhỏ hơn khá nhiều so với tiêu chuẩn phát thải ở vùng biển chung.

3. Kết luận

Kết quả thiết kế lắp đặt và thử nghiệm hệ thống hoàn lưu khí thải (EGR) cho động cơ 6LU32 có thể khẳng định việc áp dụng giải pháp hoàn lưu khí thải cho động cơ tàu thủy và kết hợp với các giải pháp khác như lắp đặt tháp hấp thụ SO_x , NO_x , hệ thống trộn nhiên liệu nhũ tương,... mang lại hiệu quả rõ rệt về việc giảm thiểu phát thải khí độc hại do động cơ diesel tàu thủy gây ra, góp phần thực hiện phụ lục VI Công ước quốc tế MARPOL 73/78 nhằm bảo vệ môi trường biển. Đặc biệt là khi động cơ sử dụng hoàn lưu khí thải tỷ lệ ERG = 20% với nhiên liệu DO và FO ở các mức tải 50%, 75%, 85% đều thấp hơn tiêu chuẩn ở vùng biển chung. Còn ở vùng biển đặc biệt cần kết hợp nhiều biện pháp sơ cấp và thứ cấp thì mới đạt được tiêu chuẩn quy định. Việc thiết kế, lắp đặt hệ thống với các thiết bị bổ sung không quá phức tạp. Tuy nhiên đây mới chỉ là những kết quả bước đầu, được thực hiện trong phòng thí nghiệm, để có thể triển khai áp dụng cho đội tàu thì cần tiến hành thử nghiệm thực tế nhiều hơn nữa, đồng thời cần có sự đánh giá toàn diện về các chỉ tiêu kinh tế - năng lượng của động cơ cùng các chỉ tiêu phát thải khác. Trong thời gian tới nhóm nghiên cứu sẽ hướng tới việc thử nghiệm trên một số tàu cụ thể, để từ đó có thể đưa ra những đánh giá chính xác hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đặng Văn Uy và nhóm nghiên cứu. *Xây dựng lộ trình và giải pháp xử lý khí độc hại trong khí thải động cơ diesel thủy đáp ứng yêu cầu của công ước quốc tế MARPOL cho đội tàu biển Việt Nam*, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Mã số: MT171002, 2017.
- [2] Trung tâm Nghiên cứu hệ động lực tàu thủy, Khoa Máy tàu biển. *Hồ sơ kỹ thuật động cơ HANSHIN 6LU32*.
- [3] Phạm Xuân Dương (chủ biên) và các tác giả, *Kỹ thuật xử lý khí thải gây ô nhiễm từ động cơ diesel tàu thủy đáp ứng Phụ lục VI, Công ước MARPOL 73/78*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2021.
- [4] MAN Diesel & Turbo. *Basic Principles of Ship Propulsion*. Denmark 2013;
- [5] MAN Diesel & Turbo; *Exhaust Gas Emission Control Today and Tomorrow*. Copenhagen, Denmark, 2013.
- [6] Tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO), *NO_x Technical Code*, 2008.

Ngày nhận bài:	25/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	03/8/2021
Ngày duyệt đăng:	09/8/2021