

ẢNH HƯỞNG TỐC ĐỘ VÒNG QUAY ĐỘNG CƠ DIESEL HINO XZU650 ĐẾN NỒNG ĐỘ PHÁT THẢI KHÍ XẢ

INFLUENCE OF HINO XZU650 DIESEL ENGINE ROTATION SPEED ON EXHAUST GAS EMISSIONS CONCENTRATION

Tăng Bá Đại, Nguyễn Thị An Khang, Ngô Phi Hùng, Lê Thế Quốc Hưng
Trường Đại học Công nghiệp Việt – Hung

TÓM TẮT

Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ vòng quay (RPM) động cơ Diesel HiNo đến nồng độ phát thải các chất ô nhiễm trong khí thải như CO_2 , NOx và PM (hạt bụi). Nghiên cứu được thực hiện thông qua việc mô phỏng và phân tích nồng độ khí thải ở các dải tốc độ vòng quay khác nhau. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, ở tốc 700(v/p), nồng độ NOx và PM tăng cao do quá trình cháy không hoàn toàn, ở tốc độ 2600(v/p), nồng độ NOx và PM có xu hướng giảm mạnh. Hàm lượng khí CO_2 có xu hướng giảm khi vòng quay của động cơ ở mức 1400 đến 2000 (v/p). Trên cơ sở kết quả đạt được, nghiên cứu đã đề xuất dải tốc độ vòng quay phù hợp qua đó giúp tối ưu hóa hiệu suất hoạt động của động cơ, đồng thời giảm thiểu khí thải độc hại, góp phần bảo vệ môi trường.

Từ khóa: Động cơ diesel; Vòng quay của động cơ; Khí thải.

ABSTRACT

The paper focuses on studying the effect of rotational speed (RPM) of HiNo Diesel engine on emission concentrations of pollutants in exhaust gas such as CO_2 , NOx and PM (particulate matter). The study was conducted through simulation and analysis of exhaust gas concentrations at different rotational speed ranges. Research results show that, at 700 (rpm), NOx and PM concentrations increase due to incomplete combustion, at 2600 (rpm), NOx and PM concentrations tend to decrease sharply. CO_2 content tends to decrease when the engine speed is between 1400 and 2000 (r/p). Based on the results achieved, the study proposed a suitable rotation speed range to help optimize engine performance, while minimizing toxic emissions, contributing to environmental protection.

Keywords: Diesel engine; Engine rotation; Exhaust emissions.



1. GIỚI THIỆU

Ô nhiễm không khí đang trở thành mối đe dọa nghiêm trọng đối với môi trường sống, gây ra những hậu quả nặng nề cho sức khỏe cộng đồng và nền kinh tế, chi phí để nghiên cứu các biện pháp kiểm soát ô nhiễm có thể sử dụng khoảng 2,1 – 3,7% GDP vào năm 2030. Tuy nhiên, với những chi phí do ô nhiễm gây hại ra còn lớn hơn rất nhiều, điều này khẳng định rằng đầu tư vào việc cải thiện chất lượng không khí là một giải pháp tiết kiệm và bền vững hơn.

Sự phát triển của ngành công nghiệp vận hành tải với nhu cầu sử dụng động cơ Diesel ngày càng tăng đã đặt ra những vấn đề về ô nhiễm môi trường. Động cơ diesel, dù nổi bật với hiệu suất cao và khả năng tiết kiệm nhiên liệu, nhưng lại là nguồn phát thải đáng kể các chất gây ô nhiễm như CO₂, NO_x và PM.

Quá trình cháy trong cơ đốt là quá trình oxy hóa nhiên liệu [1-4], giải phóng năng lượng cần thiết để động cơ hoạt động, chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như nhiệt độ, áp suất, tỷ lệ hòa trộn nhiên liệu và không khí,... cùng các điều kiện vận hành khác. Trong quá trình cháy, các chất hợp chất trung gian phức tạp được hình thành, bao gồm các hợp chất và sản phẩm cháy, sự hình thành trong nồng độ phát thải khí xả, bao gồm các chất: NO_x (Ôxít Nitơ) là sản phẩm chính của phản ứng oxy hóa Nitơ trong không khí, gây ra ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe con người. CO (Carbon Monoxide): Là sản phẩm của sự cháy không hoàn toàn, có thể gây độc hại cho sức khỏe khi nồng độ cao. CO₂ (Carbon Dioxide): Là một sản phẩm cháy hoàn toàn, tuy không độc hại trực tiếp nhưng lại là khí gây hiệu ứng nhà kính, góp phần vào biến đổi khí hậu. HC (Hydrocacbon chưa cháy hết): Là các hợp chất chưa được oxy hóa hoàn toàn trong quá trình

cháy, gây ô nhiễm không khí và tạo ra mùi khó chịu. PM (Particulate Matter): Là các hạt bụi hình thành trong quá cháy, gây hại cho sức khỏe hô hấp và môi trường.

Các sản phẩm cháy này không ảnh hưởng chỉ đến chất lượng không khí mà còn tác động trực tiếp đến hiệu suất của động cơ, do đó công việc nghiên cứu tốc độ vòng quay của động (RPM) cơ là rất quan trọng trong việc giảm thiểu ô nhiễm môi trường trường.

Động cơ Diesel HINO XZU650 là một mẫu xe tải hạng nhẹ theo tiêu chuẩn Enro 4. Thông số kỹ thuật được mô tả như (Bảng 1).

Bảng 1. Thông số động cơ Diesel HINO (HINO XZU650 - động cơ N04C-UV Euro 4)

Thông số	Giá trị
Mã động cơ	N04C-UV Euro 4
Số xy lanh	4
Đường kính xy lanh (mm)	104
Hành trình piston (mm)	118
Thể tích công tác (cm ³)/Thể tích xi lanh	4009
Tỷ số nén	18:1
Công suất định mức (kW)/vòng quay (vg/ph)	100/2600
Công suất cực đại (KW/rpm)	136/150 PS
Mô men cực đại (N.m)/vòng quay (vg/ph)	400/1600 390/420 N.m

Trong bối cảnh ngày càng có nhiều quy định khắt khe về phát thải, việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến nồng độ khí thải, đặc biệt là tốc độ quay của động cơ cơ (RPM), trở thành vấn đề quan trọng. Cơ chế quay tốc độ không ảnh hưởng chỉ đến hiệu suất hoạt động mà còn quyết định mức độ phát thải của các chất ô nhiễm [5].

2. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Nghiên cứu tập trung đánh giá ảnh hưởng của tốc độ vòng quay động cơ Diesel HiNo (RPM) đến phát thải các chất ô nhiễm trong khí xả, bao gồm NO_x, CO₂ và PM, thông qua mô phỏng bằng phần mềm Diesel RK. Các kết quả chính của mô phỏng cho thấy mối quan hệ chặt chẽ giữa nhiên liệu với tốc độ vòng quay của động cơ cũng như mức độ phát thải khí xả, cụ thể (bảng 2):

Bảng 2. Mối quan hệ giữa tốc độ vòng quay và mức độ tiêu thụ nhiên liệu với lượng phát thải khí xả

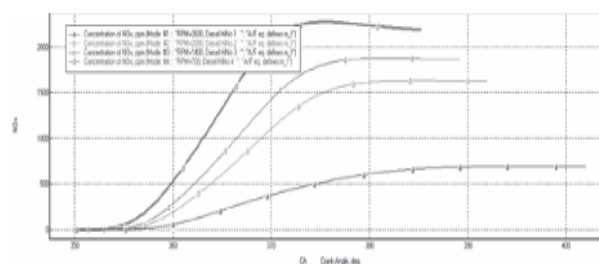
TT	Tốc độ vòng quay (RPM)	Mức tiêu thụ nhiên liệu (kg/kWh)	Phát thải dạng hạt PM (g/kWh)	Phát thải khí carbon dioxide (g/kWh)	Phát thải khí NO _x (g/kWh)
1	700.00	0.25316	0.19848	815.75	2028.3
2	1400.0	0.21568	0.11439	694.98	1742.0
3	2000.0	0.21144	0.09094	681.30	1524.3
4	2600.0	0.21796	0.04437	702.32	656.90

- Khi động cơ hoạt động ở tốc độ quay thấp (700 vòng/phút): Mức tiêu thụ nhiên liệu ở giai đoạn này tương đối cao. Do vòng quay thấp, quá trình cháy diễn ra trong buồng đốt không hoàn toàn, dẫn đến sự gia tăng nồng độ của HC và hàm lượng CO₂. Điều này là do hydrocarbon chưa cháy hết, tạo ra các hợp chất khí không mong muốn. Ở giai đoạn này, phát thải dạng hạt (PM) và phát thải dạng khí tăng lên đáng kể, tạo điều kiện thuận lợi cho phản ứng oxy hóa nitơ (NO_x), vì NO_x không chỉ gây ô nhiễm không khí mà còn là nguyên nhân chính gây mưa axit và các bệnh về đường hô hấp.

- Tốc độ quay trung bình 1400 đến 2000(v/p): Tốc độ vòng quay tăng đồng nghĩa với việc nhiên liệu được đốt cháy triệt để, hàm lượng CO₂ giảm do quá trình chuyển hóa năng lượng tốt hơn. Đồng thời, sự hình thành của NO_x và PM cũng giảm do điều kiện cháy tốt,

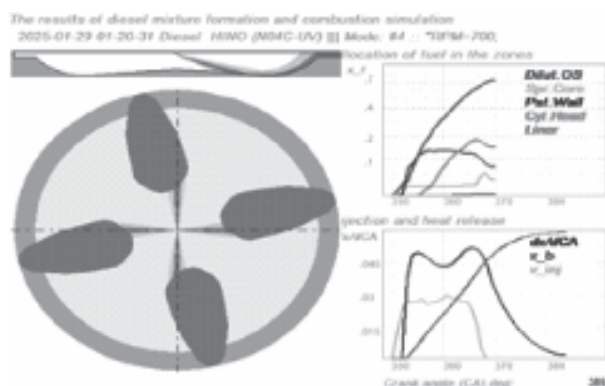
hạn chế khả năng phát sinh các hợp chất không mong muốn trong quá trình cháy. Nhìn chung, ở dải tốc độ này, động cơ đạt được sự cân bằng tốt giữa hiệu suất và nhiên liệu.

- Tốc độ quay cao 2600 (v/p): Khi tốc độ vòng quay cao, nồng độ NO_x và PM giảm mạnh, hàm lượng phát thải khí carbon dioxide có xu hướng tăng nhẹ. Đây là dải tốc độ lý tưởng, nơi động cơ hoạt động hiệu quả nhất với mức phát thải ô nhiễm thấp nhất.



Hình 1. Mối quan hệ giữa hàm lượng NO_x với dải tốc độ vòng quay động cơ

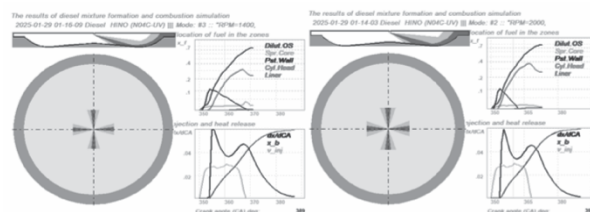
NO_x tăng theo góc quay trục khuỷu từ 355 tại 374 độ (vòng quay trục khuỷu), khi vòng quay thay đổi, giá trị NO_x cũng thay đổi theo (Hình 1). Điều này phản ánh mối quan hệ giữa tốc độ cơ và sự hình thành khí thải NO_x. Ngoài ra, khi động cơ chạy ở vòng quay thấp, sự đốt cháy không hoàn toàn có thể tạo ra NO_x không phải ở mức độ thấp nhất mà còn có thể tạo ra yếu tố như: Thời gian cháy lâu hơn, thậm chí cháy không hết,... nồng độ NO_x cao nhất (gần 2000 ppm), đạt đỉnh sớm hơn so với các đường khác, điều này cho thấy tốc độ phun nhiên liệu cao (7%) tạo ra nhiệt độ cháy cao hơn. Khi tốc độ động cơ tốc độ (700 RPM) và lượng nhiên liệu nhỏ (3%) làm giảm quá trình và nhiệt độ cháy, nồng độ NO_x ở mức trung bình (khoảng 1000-1500 ppm).



Hình 2. Biểu đồ mô phỏng quá trình hình thành hỗn hợp diesel với tốc độ vòng quay động cơ 700 (v/p)

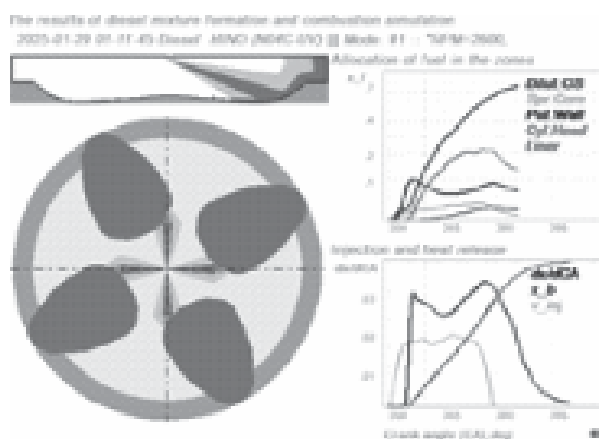
Vùng RPM thấp (Hình 2) thường có thời gian cháy dài hơn, tạo điều kiện cho hỗn hợp nhiên liệu – không khí cháy gần hoàn toàn. Hiệu quả cháy có thể thấp hơn vùng tối ưu, dẫn đến tăng phát thải các khí như PM hoặc HC (hydrocarbon không cháy hết). Nhiệt độ cháy thấp hơn làm khả năng cháy không hoàn toàn sẽ tăng CO và HC. Nếu nhiên liệu không hòa trộn đều với không khí, khả năng cháy không hoàn toàn sẽ cao dẫn đến PM và HC tăng. Nhiệt độ thấp hơn tại tốc độ 700 RPM sẽ giữ lượng

NO_x thấp. Phát thải PM và HC có thể tăng nếu nhiên liệu cháy không hết. Lượng CO sẽ tăng ở các khu vực có lượng oxy thấp.



Hình 3. Biểu đồ mô phỏng quá trình hình thành hỗn hợp diesel với tốc độ vòng quay động cơ 1400-2000 (v/p)

• Vị trí nhiên liệu trong các vùng (Hình 3): Dilut.OS (khí thải pha loãng), Spr.Core (phun sương), Pat.Wall (thành piston), và Cyl.Head có thể cho thấy sự phân bố nhiên liệu không đồng đều. Khi nhiên liệu không cháy hoàn toàn (chẳng hạn nhiên liệu dính thành buồng đốt hoặc bị làm lạnh), sẽ dẫn đến phát thải các chất như hydrocarbon chưa cháy (HC) hoặc muội than (PM). Phun nhiên liệu và giải phóng nhiệt, quá trình cháy xảy ra nhanh sẽ tạo ra nhiều khí NO_x (oxit nitơ). Ngược lại, nếu nhiên liệu không cháy hoàn toàn hoặc cháy ở nhiệt độ thấp (cháy nghèo), sẽ sinh ra nhiều HC và CO (carbon monoxide).



Hình 4. Biểu đồ mô phỏng quá trình hình thành hỗn hợp diesel với tốc độ vòng quay động cơ 2600 (v/p)

Ở giai đoạn 2600 (RPM), hỗn hợp khí cháy tốt hơn khi tốc độ động cơ cao, chứng tỏ quá trình hòa trộn được cải thiện giúp tối ưu hóa quá trình cháy. Đường phun nhiên liệu có dạng sắc nét hơn, thời gian phun ngắn hơn so với 1400-2000 (v/p), phù hợp với tốc độ vòng quay cao. Thời gian hòa trộn nhiên liệu – không khí ngắn hơn, dẫn đến quá trình cháy diễn ra nhanh hơn, điều này dẫn đến giảm khả năng phát thải PM và NOx.

Nhận xét: Nếu giá trị này cao (Dilut. OS), nghĩa là pha loãng nhiên liệu với không khí tốt, thường giúp giảm NOx nhưng có thể làm tăng HC hoặc CO. Sự phân bố nhiên liệu tập trung nhiều trong các vùng (Spr.Core) hoặc (Pat.Wall), do đó có thể gây tăng PM và HC. Nếu quá trình cháy xảy ra đột ngột với giá trị dx/dCA cao, sẽ làm tăng NOx.

3. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu, có thể đưa ra một số khuyến nghị cho việc tối ưu hóa tốc độ quay động cơ Diesel Hino như sau:

- Với tốc độ quay động cơ: Nên vận hành động cơ ở tốc độ quay cao (2600 RPM), nơi mà các chất ô nhiễm như CO và HC được kiểm soát tốt, đồng thời NOx và PM ở mức chấp nhận được. Việc duy trì tốc độ vòng quay trong dải này sẽ giúp giảm thiểu ô nhiễm và tăng hiệu quả hoạt động của động cơ.

- Cải tiến công nghệ: Để giảm phát thải NOx ở tốc độ quay thấp, cần áp dụng các công

nghệ giảm thiểu NOx như hệ thống làm mát khí nạp, tái tuần hoàn khí thải (EGR), hoặc phát triển bộ lọc NOx (SCR) để giảm thiểu tác động của NOx đối với môi trường.

- Điều kiện vận hành: Cần theo dõi và điều chỉnh chế độ vận hành động cơ để duy trì mức độ tốc độ vòng quay cao. Việc này không chỉ giúp giảm ô nhiễm mà còn cải thiện tuổi thọ và hiệu quả của động cơ. ❖

Ngày nhận bài: **16/4/2025**

Ngày phản biện: **05/5/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Minh Trí, Lưu Quang Diệu, “*Phân tích ảnh hưởng của trạng thái kỹ thuật động cơ diesel đến mức tiêu thụ nhiên liệu*”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 64, 11/2020.
- [2]. Kupper, F. et al. (2018) “*Robust fuel consumption estimation for on-line optimization of diesel engines*”. IFAC Papers OnLine. Elsevier B.V., 51(31), pp. 233-239. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.10.042.
- [3]. Trần Ngọc Chân, “*Ô nhiễm không khí và xử lý khí thải*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
- [4]. Vladimir Lozhkina Olga Lozhkina ab Viktor Dobromirovc (2018), “*A study of air pollution by exhaust gases from cars in well courtyards of Saint Petersburg*”. Volume 36, 2018, Pages 453-458.
- [5]. Hoàng Văn Sĩ, Lê Văn Đồng, “*Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khí cháy đến độc tố khí thải NOx trên động cơ diesel GM Motori HRM494*”. Kỷ yếu Hội thảo cấp trường, Trường Đại học Giao thông vận tải, 2022.