

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH HOÁ GIẢI PHÁP GIẢM PHÁT THẢI NO_x TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL THỂ HỆ CỬ BẰNG KHÍ GIÀU NI TƠ

Nguyễn Thanh Bình¹, Nguyễn Trung Kiên¹, Trịnh Xuân Phong¹, Nguyễn Đức Khánh²

Tóm tắt: Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng giảm phát thải NO_x trên động cơ diesel thể hệ cử sử dụng hỗn hợp khí giàu ni tơ NEA (Nitrogen Enriched Air). Khí giàu ni tơ NEA được cung cấp vào động cơ bằng cách bố trí một vòi phun khí ni tơ trên đường nạp, phía sau kết làm mát khí tăng áp trước khi vào động cơ. Lưu lượng khí ni tơ phun vào đường nạp được điều chỉnh để có thể đạt được tỷ lệ khối lượng của ni tơ trong không khí nạp lớn hơn 77 %. Kết quả nghiên cứu cho thấy, sử dụng khí giàu ni tơ trong vùng tải vừa và nhỏ có khả năng giảm thiểu rất tốt phát thải độc hại NO_x . Trong khi đó, công suất của động cơ không bị ảnh hưởng với tỷ lệ cung cấp ni tơ nhỏ hơn 80%. Các thành phần phát thải độc hại khác của động cơ như CO và soot có xu hướng giảm ở một số chế độ làm việc. Có thể thấy, việc sử dụng khí giàu ni tơ là một giải pháp hiệu quả để giảm phát thải NO_x mà không gây ảnh hưởng nhiều tới tính năng kỹ thuật và các thành phần phát thải khác của động cơ.

Từ khóa: Phát thải động cơ diesel, giảm thiểu NO_x , NEA.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Phát thải ô xit ni tơ (NO_x) là một trong những thành phần phát thải độc hại chính của động cơ diesel. NO_x là sản phẩm của quá trình ô xy hóa ni tơ ở điều kiện nhiệt độ cao. Nhiều công nghệ liên quan tới động cơ đã được áp dụng để giảm NO_x . Trong đó, luân hồi khí thải EGR (Exhaust Gas Recirculation) là một trong những biện pháp hữu hiệu để giảm sự hình thành NO_x trên động cơ diesel. Tuy nhiên, giải pháp EGR có nhiều nhược điểm như: khí nạp bẩn hơn do các chất thải dạng hạt trong khí thải luân hồi, tuổi thọ và độ bền của động cơ giảm do ảnh hưởng của axit, khí luân hồi có nhiệt độ cao sẽ giảm hệ số nạp và động cơ làm việc kém ổn định, dao động giữa các chu kỳ lớn. Ngoài ra, khi thực hiện luân hồi khí thải sẽ làm tăng hàm lượng phát thải dạng hạt PM (Particulate Matter) và khói đen, đặc biệt là ở chế độ tải lớn (Ladommatos et al. 1996; Kreso et al. 1998). Ngoài ra, thực thi luân hồi khí thải còn ảnh

hưởng đến chất lượng dầu bôi trơn (Leet, Matheausand Dickey 1998) và gây mài mòn piston, xylanh, giảm độ bền và tuổi thọ của động cơ (Dennis, Garner and Taylor 1999; Nagai et al. 1983; Nagaki and Korematsu 1995).

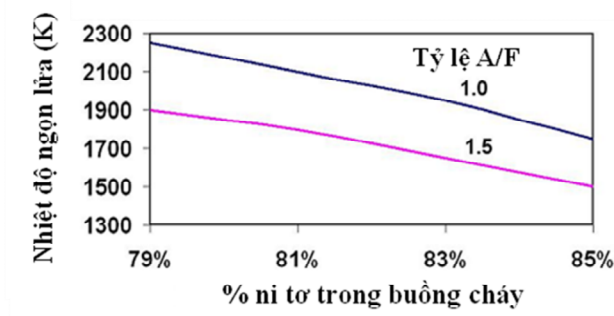
Một số giải pháp khác đã được nghiên cứu để giảm thiểu NO_x và khắc phục được những nhược điểm còn tồn tại của phương pháp EGR. Các nhà nghiên cứu tập trung đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ ôxy/ni tơ trong khí nạp tới quá trình hình thành phát thải NO_x trong động cơ (Plee, Ahmad and Myers 1981; Röpke, Schweimer, and Strauss 1995; Lapuerta, Salavert, and Doménech 1995; Li et al. 1997). Các nghiên cứu chỉ ra rằng hàm lượng ni tơ trong khí nạp có ảnh hưởng lớn tới sự hình thành phát thải NO_x .

Olikara và Borman (1975) đã thực hiện nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng ni tơ trong khí nạp đến nhiệt độ đoạn nhiệt của ngọn lửa. Kết quả nghiên cứu thể hiện trên Hình 1 cho thấy nhiệt độ đoạn nhiệt của ngọn lửa giảm mạnh khi hàm lượng ni tơ trong khí nạp tăng lên ở cùng một tỷ lệ không khí nhiên liệu A/F (Air/Fuel). Cụ thể, khi

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

²Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

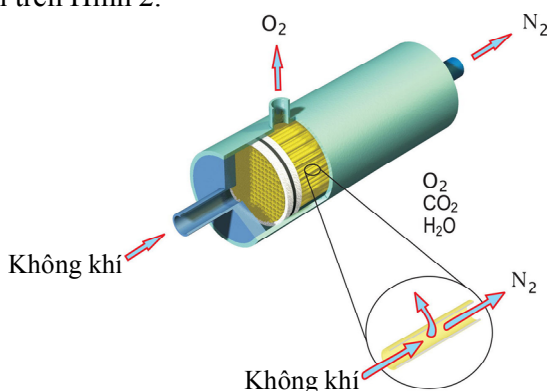
hàm lượng ni tơ trong khí nạp tăng từ 79% đến 83% thì nhiệt độ của ngọn lửa giảm khoảng 250K.



Hình 1. Quan hệ giữa nhiệt độ ngọn lửa và nồng độ ni tơ

Sử dụng khí nạp với hàm lượng ni tơ cao hay còn gọi là khí giàu ni tơ NEA (Nitrogen Enriched Air) có thể khắc phục được những nhược điểm của phương pháp EGR. Những ưu điểm có thể kể đến của phương pháp dùng khí NEA như: khí nạp mới sạch hơn nên không ảnh hưởng tới tuổi thọ và độ bền của động cơ; khí nạp không bị gia nhiệt nên không làm giảm hệ số nạp; động cơ làm việc ổn định hơn. Tuy nhiên, để áp dụng phương pháp này, cần có thiết bị tách không khí đặc biệt lắp trên đường nạp. Điều này có thể gây tổn thất về lưu lượng và áp suất khí nạp cũng như làm hệ thống nạp trở nên phức tạp hơn.

Nhiều nghiên cứu tạo khí NEA để cung cấp cho động cơ đã được thực hiện, trong đó có thể kể đến nghiên cứu của Poola và cộng sự (Poola et al. 1998). Nguyên lý hoạt động ống tách khí được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Nguyên lý làm việc của ống tách khí

Như thể hiện trên Hình 2, khi không khí có áp suất cao đi qua ống, sự chênh lệch áp suất bên trong và bên ngoài ống làm cho những phân tử nặng hơn như ô xy, CO₂ và hơi nước được ưu tiên đi qua thành ống ra ngoài môi trường còn ni tơ thì di chuyển dọc theo màng lọc đến đầu ra của ống tách khí. Đầu ra của ống tách khí là không khí được làm giàu ni tơ. Bộ tạo khí NEA có thể lắp trực tiếp trên đường nạp để cung cấp khí nạp cho động cơ. Màng tách khí dạng ống có thể hoạt động ở độ chênh áp suất trước và sau ống khá nhỏ và hiệu suất làm giàu ni tơ cao.

Với mục đích làm rõ hơn ảnh hưởng của khí giàu ni tơ tới thành phần phát thải NO_x trên động cơ diesel thể hệ cũ, nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu bằng công cụ mô phỏng. Trong đó, mô hình mô phỏng một chiều được xây dựng trên phần mềm mô phỏng nhiệt động học AVL Boost. Phần mềm AVL Boost được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu lý thuyết về chu trình nhiệt động học của động cơ. Phần mềm cho phép tính toán mô phỏng được chu trình làm việc của động cơ và dự đoán được hàm lượng của các thành phần phát thải độc hại. Quá trình nghiên cứu mô phỏng được thực hiện trên đối tượng động cơ diesel D1146Ti. Đây là loại động cơ diesel thể hệ cũ, không trang bị hệ thống xử lý khí thải vì vậy hàm lượng phát thải độc hại rất cao, đặc biệt là NO_x và khói đen. Nghiên cứu đã đánh giá được ảnh hưởng của tỷ lệ ni tơ trong khí nạp tới các thông số kỹ thuật và phát thải độc hại chính của động cơ. Những kết quả chỉ ra trong nghiên cứu này là cơ sở để thực hiện những giải pháp giảm thiểu phát thải độc hại từ động cơ diesel thể hệ cũ đang lưu hành tại Việt Nam.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Xây dựng mô hình mô phỏng

Đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel thể hệ cũ D1146Ti. Đây là động cơ tăng áp bằng tua bin máy nén, sử dụng hệ thống nhiên liệu cơ khí và không trang bị hệ thống xử lý khí thải. Các thông số cơ bản của động cơ thể hiện trong Bảng 1. Dựa

trên các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất cũng như các thông số đo đạc trên động cơ thực tế, mô

hình động cơ được xây dựng trên AVL Boost như thể hiện trên Hình 3.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của động cơ D1146Ti

TT	Thông số	Đơn vị
1	Tên	D1146Ti
2	Số xylanh (-)	6 xylanh thẳng hàng, tăng áp
3	Kiểu (-)	Cháy do nén
4	Đường kính x hành trình (mm)	111x139
6	Công suất định mức-tốc độ (kW-v/ph)	154-2200
7	Mô men lớn nhất-tốc độ (Nm-v/ph)	880-1600
8	Tỷ số nén	16,7

2.2. Mô hình cháy

Mô hình tính toán phát thải độc hại của động cơ sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình AVL MCC (Mixing Controll Combustion). Mô hình MCC có thể dự đoán được tốc độ tỏa nhiệt và tính toán được các thành phần phát thải độc hại chính của động cơ diesel như NO_x, bồ hóng (soot) và mônô xít cacbon (CO). Theo mô hình MCC, tốc độ tỏa nhiệt được xác định từ quá trình cháy đồng nhất và quá trình cháy khuếch tán theo phương trình 1:

$$\frac{dQ}{d\alpha} = \frac{dQ_{PMC}}{d\alpha} + \frac{dQ_{MCC}}{d\alpha} \quad (1)$$

Hàm Viber được sử dụng để xác định tốc độ tỏa nhiệt từ quá trình cháy hỗn hợp đồng nhất như thể hiện trong phương trình 2 và 3:

$$\left(\frac{dQ_{PMC}}{d\alpha} \right) = \frac{a}{\Delta\alpha_c} \cdot (m+1) \cdot y^m \cdot e^{-a \cdot y^{(m+1)}} \quad (2)$$

$$y = \frac{\alpha - \alpha_{id}}{\Delta\alpha_c} \quad (3)$$

Trong đó: Q_{PMC} là lượng nhiệt trong giai đoạn cháy đồng nhất, Q_{MCC} là nhiệt trong giai đoạn cháy khuếch tán, α là góc quay trục khuỷu (độ trục khuỷu), $\Delta\alpha_c$ là thời gian cháy đồng nhất, α_{id} thời gian cháy trễ, m và a là hai hệ số xác định của phương trình Vibe.

Quá trình cháy trễ được mô hình hóa theo phương pháp Arrhenius and Magnussen (Magnussen and Hjertager 1976, Chmela et al.

2007). Trong đó, thời gian cháy trễ α_{id} được tính từ thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu tới khi quá trình cháy diễn ra. Tốc độ tỏa nhiệt trong giai đoạn cháy khuếch tán được xác định là hàm số của lượng nhiên liệu (f_1) và mật độ năng lượng rớt trong buồng cháy (f_2) như thể hiện trong phương trình 4:

$$\frac{dQ_{MCC}}{d\alpha} = C_{comb} \cdot f_1(M_F, Q) \cdot f_2(k, V) \quad (4)$$

Trong đó:

$$f_1(M_F, Q) = M_F - \frac{Q}{LHV}$$

$$f_2(k, V) = \exp\left(C_{rate} \cdot \frac{\sqrt{k}}{V}\right), \quad C_{comb} \text{ là hằng số}$$

cháy, C_{rate} hằng số tốc độ hòa trộn, k là mật độ năng lượng rớt, M_F là lượng nhiên liệu bay hơi, LHV là nhiệt trị thấp của nhiên liệu, Q là lượng nhiệt tích lũy, và V là thể tích xylanh.

2.3. Quy trình nghiên cứu

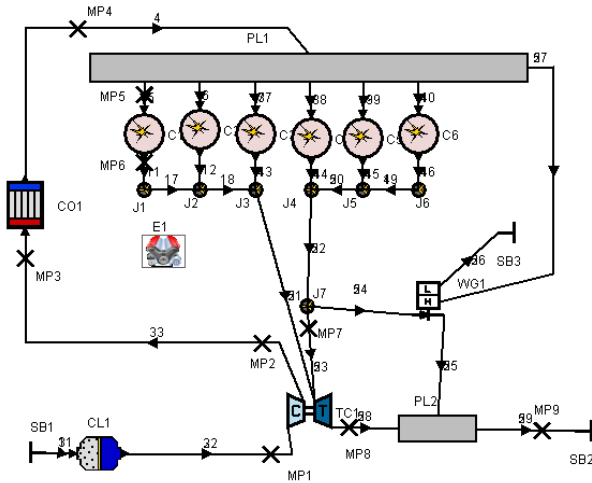
Quy trình nghiên cứu được thực hiện theo các bước sau đây:

- **Bước 1:** Xây dựng mô hình động cơ D1146Ti nguyên bản (Hình 3), tiến hành đánh giá độ chính xác bằng cách so sánh một số kết quả tính toán mô phỏng với kết quả đo đạc và tiến hành những hiệu chỉnh để mô hình đạt được độ tin cậy cần thiết.

- **Bước 2:** Tiến hành điều chỉnh lại kết cấu đường nạp của động cơ để có được mô hình động cơ sử dụng khí giàu ni tơ như thể hiện trên Hình 4. Phần tử I1 được sử dụng để cung cấp

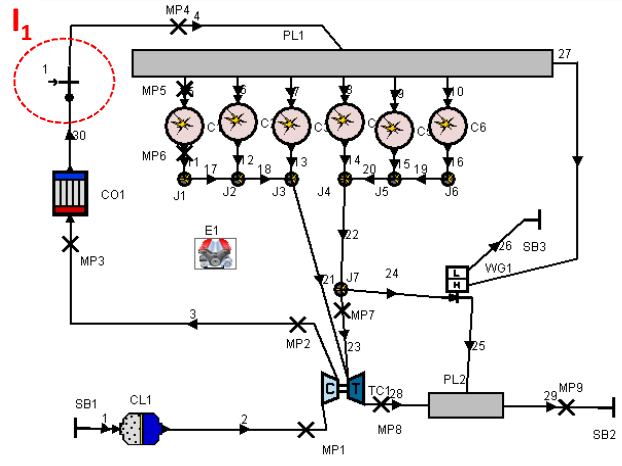
khí ni tơ vào đường nạp của động cơ, phía sau kết làm mát khí nạp.

• **Bước 3:** Tiến hành mô phỏng quá trình làm việc của động cơ ở chế độ tốc độ 1000, 1600 và 2200 v/ph, tải thay đổi lần lượt từ



Hình 3. Mô hình động cơ D1146Ti nguyên bản

25%, 50% và 75% tương ứng lượng nhiên liệu cung cấp trên chu trình là 22, 44 và 66 mg/chu trình. Tỷ lệ ni tơ trong khí nạp được điều chỉnh nhờ thay đổi lượng ni tơ cung cấp bởi phần tử I1.



Hình 4. Mô hình động cơ có vòi phun ni tơ

Ở mỗi một chế độ làm việc của động cơ, tỷ lệ ni tơ trong khí nạp $x(\%)$ được xác định theo phương trình 5:

$$x = \frac{\sum m_{N2}}{m_{kk}} = \frac{m_{N2} + 0,77 \times m_{MP3}}{m_{MP4}} \quad (5)$$

Trong đó, $\sum m_{N2}$ là tổng lượng ni tơ nạp vào động cơ (kg/h), m_{N2} là lượng ni tơ cung cấp bổ sung vào đường nạp từ vòi phun I1(kg/h), $m_{kk} = m_{MP4}$ là tổng lượng không khí nạp bao gồm ni tơ bổ sung (kg/h), m_{MP3} là lượng khí nạp (kg/h). Những đại lượng m_{N2} , m_{MP3} , m_{MP4} được xác định từ kết quả mô phỏng.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

3.1 Đánh giá độ chính xác của mô hình

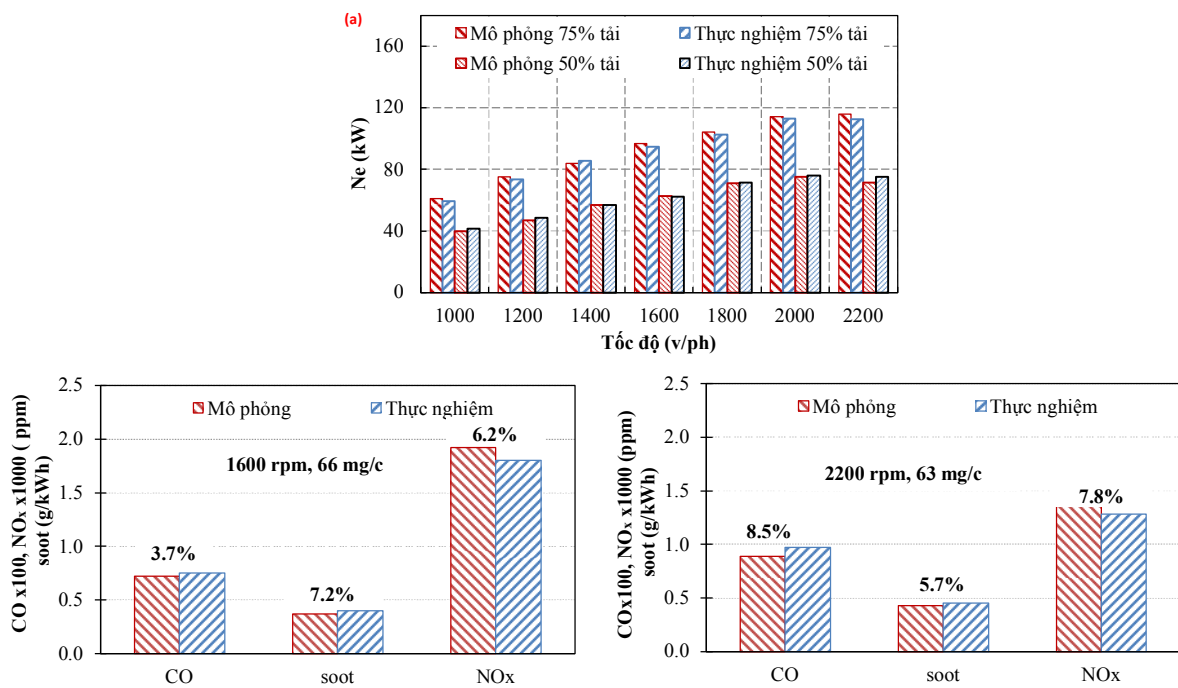
Độ tin cậy của mô hình được đánh giá bằng cách so sánh kết quả mô phỏng và thí nghiệm như thể hiện trên Hình 5. Sự sai lệch giữa công suất mô phỏng và thực nghiệm ở 75% tải và 50% tải được thể hiện trong Hình 5-a. Ngoài ra, các thành phần phát thải NO_x , CO và soot được so sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm ở hai chế độ tốc độ 1600 v/ph (Hình 5-b) và 2200 v/ph (Hình 5-c) ứng với tải 75%. Kết quả so sánh

giữa mô phỏng và thực nghiệm cho thấy công suất có giá trị sai lệch lớn nhất -4,9% tại tốc độ 2200 v/ph, 50% tải. Trong khi đó, đối với mô hình phát thải, giá trị sai lệch của NO_x là 6,2% và 7,8%, CO là 3,7% và 8,5%; soot là 7,2% và 5,7% tại tốc độ 1600 và 2200 v/ph (Khổng Vũ Quảng nnk. 2012). Nhìn chung, giữa kết quả mô phỏng và thí nghiệm có sự sai lệch ở mức độ cho phép với sai lệch lớn nhất là 8,5%. Mô hình được sử dụng để thực hiện các tính toán, nghiên cứu tiếp theo.

Hình 6 thể hiện diễn biến công suất có ích của động cơ theo tỷ lệ tỷ lệ ni tơ trong khí nạp ở chế độ tốc độ 1600 và 2200 v/ph, 75% tải. Kết quả cho thấy, khi sử dụng NEA, công suất của động cơ có xu hướng cải thiện ở những chế độ có tỷ lệ ni tơ nhỏ. Khi tăng tỷ lệ ni tơ thì công suất động cơ có xu hướng tăng nhẹ, khoảng 0,75% ở tốc độ 1600 v/ph ứng với tỷ lệ ni tơ khoảng 80%. Ở tốc độ 2200 v/p thì công suất có xu hướng tăng khoảng 0,5% ứng với tỷ lệ ni tơ từ 78% đến 80%. Với tỷ lệ ni tơ lớn hơn 80% thì công suất có xu hướng giảm. Nguyên nhân là do ni tơ như là một

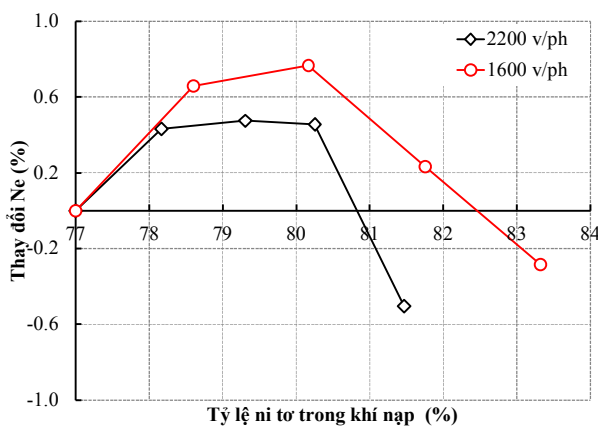
khí tro làm tăng nhiệt dung riêng của môi chất (khoảng $\frac{1}{2}$ so với CO_2), đồng thời lượng oxy giảm

mạnh làm thay đổi cấu trúc của ngọn lửa cháy và thời gian cháy.



Hình 5. So sánh các thành phần phát thải tại chế độ tải 75%

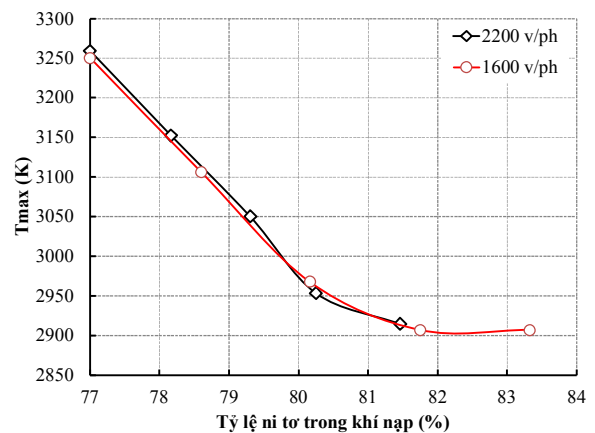
3.2. Ảnh hưởng của NEA tới công suất của động cơ



Hình 6. Diễn biến công suất có ích theo tỷ lệ ni tơ trong khí nạp

Sự thay đổi nhiệt dung riêng của môi chất cũng như sự suy giảm hàm lượng oxy làm giảm nhiệt độ quá trình cháy như thể hiện trên Hình 7. Khi tăng tỷ lệ ni tơ từ 77% đến 82% thì nhiệt

độ cực đại trong buồng cháy giảm 320K ở hai tốc độ 1600 và 2200 v/ph. Điều này không những ảnh hưởng tới công suất của động cơ mà còn ảnh hưởng mạnh tới diễn biến các thành phần phát thải độc hại, đặc biệt là phát thải NO_x , khi mà nhiệt độ cháy là yếu tố chính hình thành phát thải độc hại này.

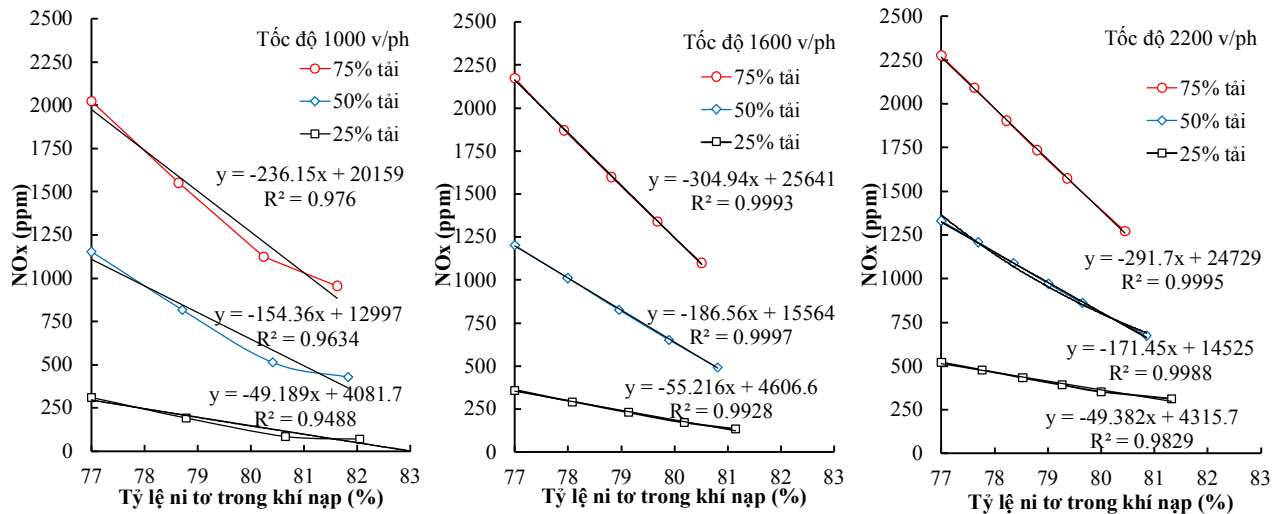


Hình 7. Diễn biến nhiệt độ lớn nhất trong buồng cháy theo tỷ lệ ni tơ trong khí nạp

3.3. Ảnh hưởng của NEA tới phát thải độc hại của động cơ

Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của khí giàu ni tơ đến các thành phần phát thải độc hại NO_x của động cơ được thể hiện trên Hình 8. Các đồ thị trên

Hình 8 cho thấy, khí giàu ni tơ có ảnh hưởng mạnh đến diễn biến thành phần phát thải NO_x . Thành phần phát thải này giảm mạnh khi mà nhiệt độ cháy và nồng độ ô xy trong buồng cháy giảm khi tăng tỷ lệ ni tơ trong khí nạp.



Hình 8. Phát thải NO_x theo tỷ lệ ni tơ trong khí nạp

Mối tương quan giữa thành phần phát thải NO_x và tỷ lệ ni tơ trong khí nạp được thể hiện qua phương trình hồi quy tổng hợp

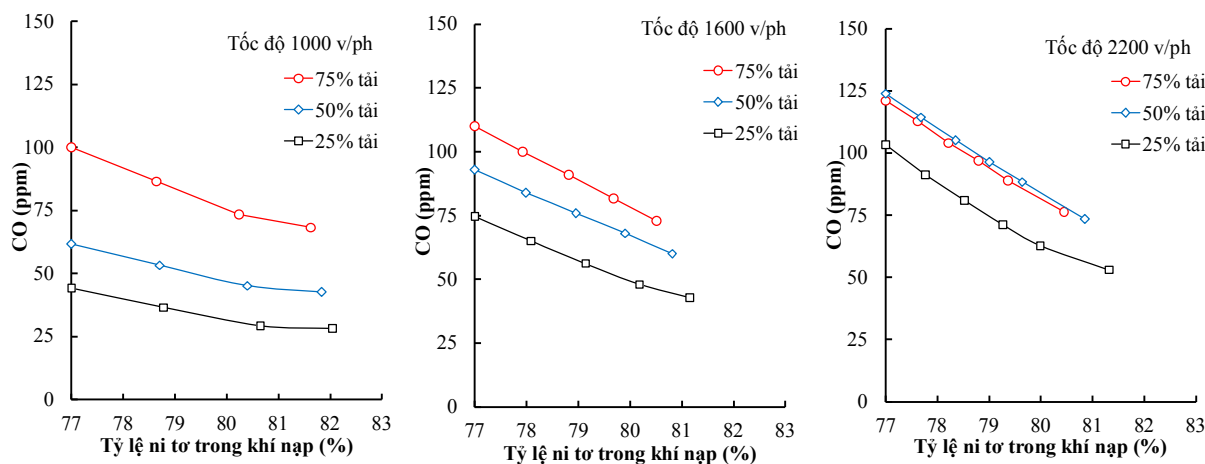
trong bảng 2. Các phương trình thể hiện trong bảng 2 được xây dựng bằng công cụ hồi quy tuyến tính.

Bảng 2. Mối quan hệ giữa NO_x và tỷ lệ ni tơ

Tốc độ (v/ph)	Tải (%)		
	25	50	75
1000	$y = -236,15x + 20159$ $R^2 = 0,976$	$y = -304,94x + 25641$ $R^2 = 0,9993$	$y = -291,7x + 24729$ $R^2 = 0,9995$
1600	$y = -154,36x + 12997$ $R^2 = 0,9634$	$y = -186,56x + 15564$ $R^2 = 0,9997$	$y = -171,45x + 14525$ $R^2 = 0,9988$
2200	$y = -49,189x + 4081,7$ $R^2 = 0,9488$	$y = -55,216x + 4606,6$ $R^2 = 0,9928$	$y = -49,382x + 4315,7$ $R^2 = 0,9829$

Cùng xu hướng với thành phần phát thải NO_x , việc tăng tỷ lệ ni tơ có xu hướng làm giảm một phần phát thải CO như thể hiện trên Hình 9. Khi cung cấp ni tơ vào đường nạp chỉ có ảnh hưởng chiếm chỗ của không

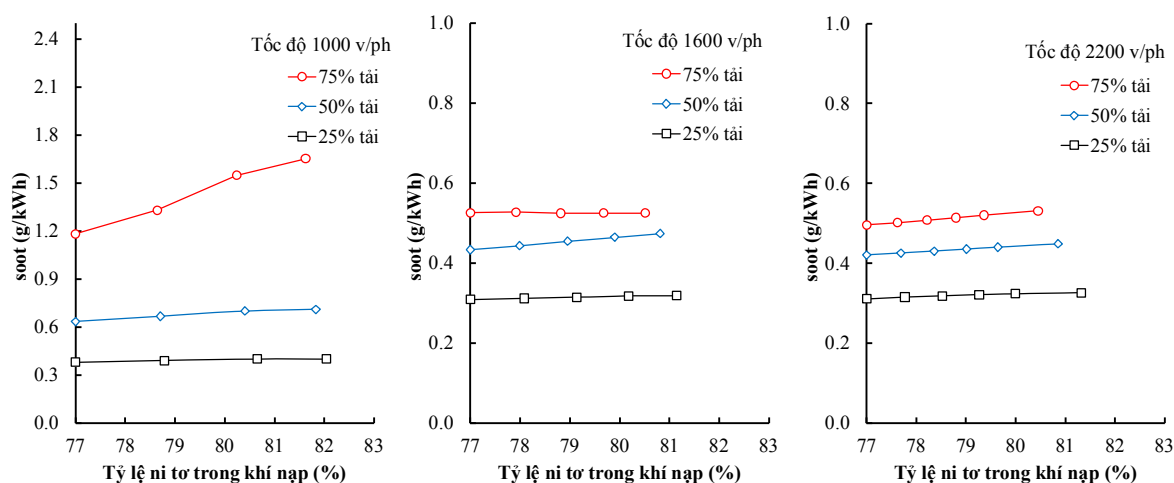
khí nạp mà không ảnh hưởng tới nhiệt độ khí nạp. Đồng thời, môi chất nạp đồng đều hơn nên giảm thiểu được các vùng cháy thiếu ô xy cục bộ khi sử dụng NEA với tỷ lệ ni tơ nhỏ (<82%).



Hình 9. Phát thải CO theo tỷ lệ ni tơ trong khí nạp

Ngược lại với xu hướng thay đổi của NO_x và CO, Hình 10 thể hiện diễn biến của phát thải soot theo tỷ lệ ni tơ trong khí nạp. Kết quả cho thấy sử dụng NEA có gây ảnh hưởng tới hình thành phát thải soot,

tuy nhiên mức độ không đáng kể. Bởi với tỷ lệ ni tơ trong khí nạp nhỏ hơn 82%, thì khí nạp vẫn tương đối đồng đều và không gây ảnh hưởng lớn tới quá trình ô xy hóa nhiên liệu trong buồng cháy.



Hình 10. Phát thải soot theo tỷ lệ ni tơ trong khí nạp

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu mô hình hóa giải pháp giảm phát thải NO_x trên động cơ diesel thể hệ cũ bằng khí giàu ni tơ NEA được thực hiện bằng công cụ mô phỏng một chiều. Các kết quả nghiên cứu có thể được tóm tắt như sau:

- Sử dụng NEA có thể cải thiện được công suất của động cơ với tỷ lệ ni tơ nhỏ hơn 81% ở vùng tải vừa và nhỏ mặc dù mức độ cải thiện không đáng kể. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng

tỷ lệ ni tơ cung cấp trên đường nạp, công suất động cơ sẽ giảm.

- Giải pháp sử dụng khí giàu ni tơ có khả năng giảm thiểu phát thải NO_x rất tốt đặc biệt là ở vùng tải vừa, còn ở vùng tải nhỏ thì hiệu quả giảm đi.

- Sử dụng khí giàu ni tơ không gây ảnh hưởng nhiều tới phát thải soot, trong khi đó phát thải CO có xu hướng giảm đáng kể.

Việc sử dụng khí giàu ni tơ với tỷ lệ phù hợp sẽ

giải quyết được đáng kể hàm lượng phát thải NO_x trên động cơ diesel thể hệ cũ và không gây ảnh hưởng nhiều đến tính năng kỹ thuật của động cơ. Giải pháp này có thể áp dụng trên các động cơ thể hệ cũ đang lưu hành khi những động cơ này có mức phát thải cao do sử dụng hệ thống cung cấp nhiên liệu cơ khí và không trang bị hệ thống xử lý khí thải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Khổng Vũ Quảng, Lê Anh Tuấn, Nguyễn Đức Khánh, Nguyễn Duy Tiến, Đinh Xuân Thành (2012), “*Nghiên cứu giảm phát thải độc hại cho động cơ diesel lắp trên xe buýt bằng phần mềm AVL – Boost*”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường Đại học kỹ thuật, số 91, ISSN 0868-3980.
- Chmela, F. G., Pirker, G. H., & Wimmer, A. (2007), “*Zero-dimensional ROHR simulation for DI diesel engines – A generic approach*”, Energy Conversion and Management, 48(11), 2942–2950. doi:10.1016/j.enconman.2007.07.004
- Dennis, A.J., C.P. Garner, and D.H.C. Taylor (1999), “*The Effect of EGR on Diesel Engine Wear*,” SAE Paper 1999-01-0839.
- Hitoshi Yokomura, Susumu Kohketsu and Koji Mori (2005), “*EGR System in a Turbocharged and Intercooled Heavy-Duty Diesel Engine – Expansion of EGR Area with Venturi EGR System*” – Mitsubishi Technical Review 2005.
- Kreso, A.M., J.H. Johnson, L.D. Gratz, S.T. Bagley, and D.G. Leddy, (1998), “*A Study of the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Heavy-Duty Diesel Engine Emissions*,” SAE Paper 981422.
- Ladommatos, N., R. Balian, R. Horrocks, and L. Cooper, (1996), “*The Effect of Exhaust Gas Recirculation on Soot Formation in a High-Speed Direct-Injection Diesel Engine*,” SAE Paper 960841.
- Lapuerta, M., J.M. Salavert, and C. Doménech, (1995), “*Modeling and Experimental Study about the Effect of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Engine Combustion and Emissions*,” SAE Paper 950216.
- Leet, J.A., A. Matheaus, and D. Dickey, (1998), “*EGR’s Effect on Oil Degradation and Intake System Performance*,” SAE Paper 980179.
- Li, J., J.O. Chae, S.B. Park, H.J. Paik, J.K. Park, Y.S. Jeong, S.M. Lee, and Y.J. Choi, (1997) “*Effect of Intake Composition on Combustion and Emission Characteristics of DI Diesel Engine at High Intake Pressure*,” SAE Paper 970322.
- Magnussen BF, Hjertager BH (1976), “*On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion*”, Symposium (International) on Combustion, Volume 16, Issue 1, 1977, Pages 719-729. doi:10.1016/S0082-0784(77)80366-4
- Nagai, T., H. Endo, H. Nakamura, and H. Yano, (1983), “*Soot and Valve Train Wear in Passenger Car Diesel Engine*,” SAE Paper 831757
- Nagaki, H., and K. Korematsu, (1995), “*Effect of Sulfur Dioxide in Recirculated Exhaust Gas on Wear within Diesel Engines*,” JSME Int’l J., Series B, Vol. 38, No. 3, pp. 465-474.
- Olikara, C., and G.L. Borman, (1975), “*A Computer Program for Calculating Properties of Equilibrium Combustion Products with Some Application to IC Engines*,” SAE Paper 750468.
- Plee, S.L., T. Ahmad, and J.P. Myers, (1981), “*Flame Temperature Correlation for the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Particulate and NO_x Emissions*,” SAE Paper 811195,

Poola, R.B., K.C. Stork, R. Sekar, K. Callaghan, and S. Nemser, (1998), “*Variable Air Composition with Polymer Membrane – A New Low Emissions Tool*,” SAE Paper 980178.

Röpke, S., G.W. Schweimer, and T.S. Strauss, (1995), “*NO_x Formation in Diesel Engines for Various Fuels and Intake Gases*,” SAE Paper 950213.

Abstract:

**MODELLING OF NO_x REDUCTION FROM OLD GENERATION DIESEL ENGINE
BY NITROGEN ENRICHED AIR**

This paper presents the study results of NO_x reduction on diesel engines by providing nitrogen enriched air (NEA) to the engine. NEA is provided to the engine by a nitrogen injector which is placed on the intake manifold after the intercooler. The mass flow of nitrogen injected to intake air was controlled to archive the proportion of nitrogen in intake air greater than 77% by mass. The results show that NEA could decrease NO_x emission at low and medium load conditions. The brake power of the engine could be enhanced slightly with the supplied ratio of nitrogen less than 80%. CO emission was decreased, and soot was constant. It can be concluded that using nitrogen-enriched air is a feasible solution for NO_x reduction while the effects on other exhaust pollutants and engine performance are eligible.

Keywords: Diesel emission, NO_x reduction, NEA.

Ngày nhận bài: 15/12/2021

Ngày chấp nhận đăng: 10/01/2022