

THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ BỘ XỬ LÝ KHÍ THẢI DOC-DPF-SCR TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL XE TẢI ĐANG LƯU HÀNH

EXPERIMENTING AND EVALUATING THE EFFICIENCY OF DOC-DPF-SCR EXHAUST GAS AFTER-TREATMENT UNIT ON TRUCK DIESEL ENGINES IN CIRCULATION

Nguyễn Mạnh Dũng^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.051>

TÓM TẮT

Phương tiện giao thông vận tải nói chung và động cơ đốt trong nói riêng đã và đang góp phần quan trọng vào quá trình công nghiệp hóa - hiện đại hóa đất nước nhưng mặt trái của nó cũng đang gây ra những tác động xấu đến môi trường, gây nguy hại cho sức khỏe của con người. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu và phân tích hiệu quả xử lý khí thải khi chạy thực nghiệm bộ xúc tác DOC-DPF-SCR để làm giảm các chất thải độc hại trên động cơ diesel đang lưu hành tại. Trên cơ sở đã tiến hành nghiên cứu, phân tích, mô phỏng, lựa chọn phương án tối ưu và thực hiện thiết kế, chế tạo bộ xử lý DOC-DPF-SCR phù hợp với việc lắp đặt để chạy thực nghiệm trên động cơ diesel mẫu (D4BB) đang hoạt động. Tiến hành lắp đặt bộ xúc tác trên băng thử AVL-Boost hiện đại và chạy thực nghiệm theo điều kiện vận hành thực tế. Kết quả giảm phát thải các chất thải độc hại ra môi trường đối với phương tiện giao thông cho thấy hiệu quả của hướng nghiên cứu, ứng dụng, độ tin cậy trong nghiên cứu để có thể tiến hành, triển khai, áp dụng trên phạm vi rộng.

Từ khóa: Động cơ diesel, xử lý khí thải, xử lý xúc tác, lọc hạt.

ABSTRACT

Transportations in general and internal combustion engines in particular have been making an important contribution to the process of industrialization and modernization of the country, but its negative side is also causing adverse impacts on the environment, endangering human health. This paper presents the research results and analyzes the efficiency of exhaust gas after-treatment when running the experimental DOC-DPF-SCR catalyst to reduce toxic wastes on truck diesel engines circulating in Vietnam. On the basis of conducting research, analysis, simulation, selecting the optimal solution and designing and manufacturing a DOC-DPF-SCR processor suitable for installation to run experiments on the sample diesel engine (D4BB) in operation. Install the catalyst sets on a modern AVL-Boost test bench and run the test according to current standards. The results of reducing the emission of hazardous wastes into the environment by means of transport show the effectiveness of research direction, application, and reliability in research so that it can be conducted, deployed and applied on a large scale, on a wide range.

Keywords: Diesel engine, exhaust after-treatment, selective catalyst reduction, particulate matter.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: dungnm@hauivn

Ngày nhận bài: 28/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

DANH MỤC KÝ HIỆU

aq: Biểu thị cho nước

g: Biểu thị cho chất khí

NB: Động cơ nguyên bản

s: Biểu thị cho chất rắn

DOC: Diesel Oxidation Catalyst (bộ xúc tác oxy hóa)

DPF: Diesel Particulate Filter (bộ lọc phát thải hạt)

SCR: Selective Catalyst Reduction (bộ xúc tác khử NO_x)

PM: Phát thải hạt

AVL-Boost: Phần mềm mô phỏng một chiều của hãng AVL (Áo)

XLKT: Xử lý khí thải

1. GIỚI THIỆU

Phương tiện giao thông vận tải nói chung và động cơ đốt trong nói riêng đã và đang góp phần quan trọng vào quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước nhưng mặt trái của nó cũng đang gây ra những tác động xấu đến môi trường, gây nguy hại cho sức khỏe của con người và làm suy giảm chất lượng cuộc sống nhất là cuộc sống ở các đô thị lớn. Khí thải từ các phương tiện tham gia giao thông hiện nay đang là một trong những tác nhân lớn nhất làm ảnh hưởng đến quá trình biến đổi khí hậu. Theo đánh giá của các chuyên gia, ô nhiễm không khí ở các đô thị lớn ở nước ta như Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh do phương tiện giao thông gây ra chiếm tỉ lệ khoảng 70%. Trong đó hàm lượng phát thải của các phương tiện sử dụng nhiên liệu diesel chiếm một tỷ lệ đáng kể. Đối với động cơ sử dụng nhiên liệu xăng là tác nhân chính gây nên ô nhiễm CO và HC trong khi đó động cơ sử dụng nhiên liệu diesel lại là tác nhân chính gây ô nhiễm PM, NO_x và SO_x.

Các thành phần phát thải độc hại chính (HC, CO, NO_x, PM) trên một số phương tiện (động cơ) đang lưu hành, công nghệ cũ thường phát thải nhiều hơn so với khi xuất xưởng nên khó đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải ngày càng nghiêm ngặt hiện nay. Việc nghiên cứu, áp dụng các công nghệ mới, phải pháp phù hợp có thể triển khai, ứng dụng cho các phương tiện trên mang lại hiệu quả thiết thực cho các phương tiện vận tải đang lưu hành, góp phần vào việc giảm thiểu ô nhiễm môi trường, đáp ứng các tiêu chuẩn hiện hành, tăng hiệu quả sử dụng là việc làm thiết thực, cấp bách, tiết kiệm.

Trên cơ sở phân tích và đánh giá các giải pháp tổng thể giảm phát thải cho động cơ diesel [1-4], phương án sử dụng kết hợp các bộ xử lý xúc tác DOC-DPF-SCR có ưu điểm hiệu suất chuyển đổi cao, không ảnh hưởng nhiều đến công suất của động cơ và hoàn toàn khả thi.

Băng thử AVL-Boost hiện đại, có thiết bị phân tích khí thải FTIR phân tích các chất thải truyền thống như: NO_x, CO, CO₂, HC, PM và có thể phân tích được 22 chất thải phi truyền thống khác như: fomandehit, axetandehit, hydroxyanua, COS, NMH.



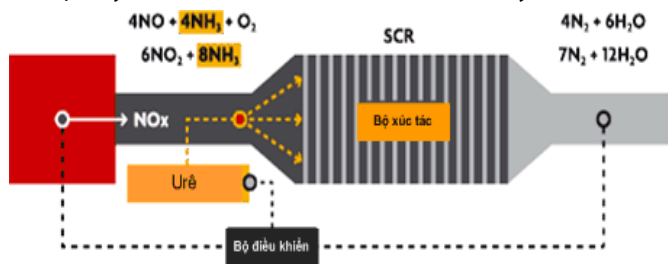
Hình 1. Động cơ D4BB lắp bộ DOC-DPF-SCR trên băng thử

Thông qua các kết quả đạt được cho thấy việc ứng dụng biện pháp xử lý xúc tác khử SCR kết hợp với sử dụng bộ xúc tác oxy hóa DOC và bộ lọc phát thải hạt DPF trên động cơ diesel có tính khả thi cao.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT LỰA CHỌN DOC-DPF-SCR ĐỂ XỬ LÝ KHÍ XẢ

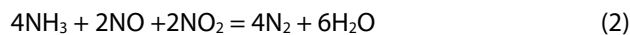
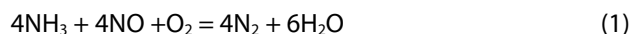
2.1. Mô tả hoạt động xử lý khí xả trong SCR, DOC, DPF

Bộ xử lý xúc tác khử NO_x - SCR (Selective Catalyst Reduction)

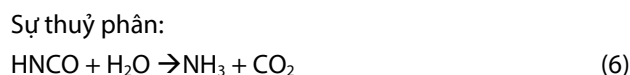
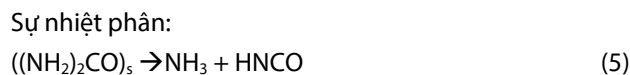
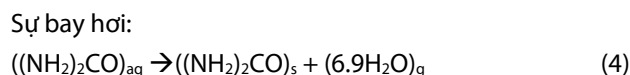


Hình 2. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống SCR [12]

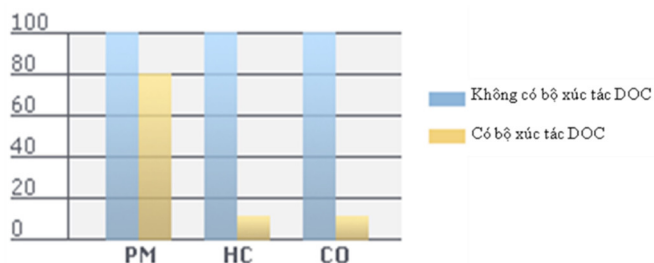
Quá trình xử lý NO_x xảy ra trong hệ thống SCR bao gồm 1 chuỗi các phản ứng hóa học gồm 3 giai đoạn chính [7]:



Trước khi phản ứng với NO_x, urê trải qua 3 phản ứng chính:

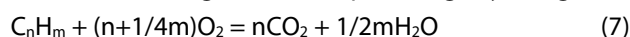


Giảm phát thải hạt CO, HC và PM bằng bộ DOC (Diesel Oxidation Catalyst)



Hình 3. Hiệu quả giảm phát thải độc hại trên động cơ diesel của bộ xúc tác oxy hóa DOC [4]

Dưới tác dụng của các chất xúc tác Platinum và Pladium làm cho các phản ứng oxy hóa diễn ra dễ dàng ngay cả ở nhiệt độ thấp (làm giảm nhiệt độ phản ứng oxy hóa của HC và CO từ 600°C xuống 250°C). Các phản ứng oxy hóa gồm:



Các hydro cacbon trong khí thải động cơ có thể ở dạng hơi hoặc ngưng tụ ở dạng lỏng. Trong cả hai trạng thái, các hydro cacbon đều được oxy hóa và chuyển thành CO₂ và nước. Trường hợp không có bộ DOC, thành phần hydro cacbon lỏng sẽ thải ra ngoài dưới dạng PM. Do đó, sử dụng bộ DOC không những làm giảm đáng kể lượng CO, HC mà còn làm giảm lượng phát thải hạt PM như thể hiện trên hình 3.

Tuy nhiên, bên cạnh đó, bộ DOC cũng thúc đẩy một số phản ứng oxy hóa và tạo thành các sản phẩm không mong muốn khác:



Sự hình thành H₂SO₄ trong bộ DOC làm giảm hiệu quả của các chất xúc tác, khí thải ra ngoài môi trường sẽ ngưng tụ thành các hạt làm tăng lượng phát thải PM. Mức độ tăng PM do hình thành các hạt H₂SO₄ có liên quan mật thiết đến hàm lượng lưu huỳnh chứa trong nhiên liệu. Việc NO

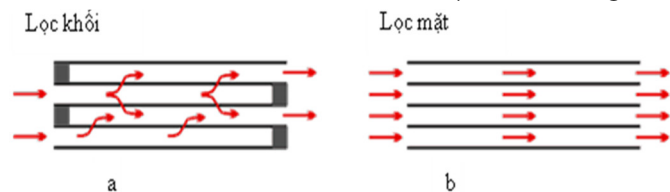
chuyển thành NO₂ khi qua bộ DOC không làm thay đổi tổng lượng NO_x trong khí thải nhưng làm tăng lượng NO₂, đây là chất khí độc hại hơn đối với sức khỏe con người và môi trường so với NO.

Bộ xúc tác oxy hóa DOC thường được lắp trên đường thải ở vị trí gần động cơ. Nhiệt giải phóng từ quá trình oxy hóa CO và HC sẽ làm tăng nhiệt độ khí thải sau khi ra khỏi bộ xúc tác DOC được ứng dụng cho việc tái sinh thiết bị lọc các chất thải dạng hạt PM. Thêm vào đó nhiệt này còn được lợi dụng trong việc cải thiện quá trình chuyển hóa NO thành NO₂ trong khí thải điều này sẽ nâng cao hiệu suất của bộ xúc tác NO_x [11].

Phần lõi của bộ DOC thường được làm bằng gốm hoặc kim loại với cấu trúc dạng tổ ong trong đó khí thải đi qua các ống trong thân có đường kính khoảng 1mm. Trên bề mặt của lõi được tráng một lớp vật liệu trung gian là Al₂O₃ làm tăng diện tích bề mặt tham gia phản ứng. Chất xúc tác oxy hóa được tráng trên lớp trung gian. Chất xúc tác oxy hóa thường được dùng là các kim loại quý như Pt, Pd trong các bộ DOC có nhiệm vụ chính là giảm CO và HC. Chất xúc tác Pt thường cho hiệu suất chuyển đổi CO cao và nhiệt độ làm việc của bộ DOC thấp. Khi hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu thấp, chất xúc tác có thể dùng đồng thời Pt và Pd. Đối với bộ DOC với nhiệm vụ chính là giảm lượng PM thì chất xúc tác có thể là một số kim loại cơ bản như Ce, Fe, V, Cu... Các chất xúc tác này có tác dụng thúc đẩy quá trình bẻ gãy và oxy hóa một phần các hydro cacbon mạch dài, thành phần có trong PM, qua đó lượng PM giảm. Với bộ DOC loại này, để làm tăng hiệu suất chuyển đổi HC và CO, một lượng nhỏ Pt cũng được thêm vào làm chất xúc tác. Một số bộ DOC còn sử dụng thêm chất zeolite trên bề mặt lớp trung gian để làm tăng hiệu suất chuyển đổi HC, nhất là khi nhiệt độ bộ DOC còn thấp như khi động cơ mới khởi động. Zeolite hấp thụ và giữ lại HC trên bề mặt lõi lọc khi nhiệt độ bộ DOC còn thấp dưới khoảng 250°C. Khi nhiệt độ bộ DOC tăng lớn hơn 250°C, zeolite nhả thành phần HC ra, khi này các chất xúc tác đã đến nhiệt độ làm việc và HC được oxy hóa [11].

Lọc hạt PM bằng bộ lọc PDF (Diesel Particulate Filter)

Thành phần phát thải hạt PM gần như không bị oxy hóa trong các bộ xử lý do nhiệt độ khí thải thấp. Do đó, để giảm thành phần PM thường dùng biện pháp tách PM trong khí thải bằng lọc cơ học. Hiện nay, động cơ diesel hiện đại thường dùng bộ lọc PM để ngăn và giữ lại ở lõi lọc các tạp chất rắn chủ yếu là bồ hóng nên còn gọi là bộ lọc. Bộ lọc PM hiện nay gồm hai loại chính là bộ lọc bề mặt và bộ thể tích. Các lỗ của lõi lọc bề mặt có đường kính nhỏ hơn kích thước hạt PM cần lọc, do đó hạt PM bị giữ trên bề mặt của lõi lọc. Lọc bề mặt có thể lọc được 85% PM chủ yếu là bồ hóng.



Hình 4. Lọc khối và lọc bề mặt

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trên cơ sở mô phỏng quá trình xử lý khí xả bằng phần mềm AVL-Boost để xác định hiệu quả xử lý, xác định các phương án tối ưu cho việc lựa chọn kích thước bộ xử lý xúc tác phù hợp mới mẫu động cơ thử nghiệm trước khi thiết kế, chế tạo bộ xúc tác.

Thiết kế, chế tạo hệ thống phun urê và xác định đặc tính phun urê theo thời gian thực.

Thực nghiệm theo phương pháp thử nghiệm đối chứng. Quá trình chạy thực nghiệm tại phòng thử nghiệm AVL-Boost, trường Đại học Công nghệ giao thông Vận tải (hình 1).

Thông qua kết quả thực nghiệm, đánh hiệu quả xử lý các chất thải độc hại về công suất, suất tiêu hao nhiên liệu, hiệu suất xử lý các chất thải độc hại của động cơ diesel nguyên bản không lắp bộ xử lý khí xả và động cơ sau khi lắp bộ xử lý khí xả.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các nghiên cứu đã công bố [7, 8], nghiên cứu lý thuyết đã mô phỏng tính được kích thước sơ bộ của các bộ xúc tác trên động cơ xe tải nhẹ [8]. Kết quả tính toán mô phỏng đã lựa chọn ra được kích thước cơ bản của 3 bộ xúc tác DOC, DPF và SCR lần lượt là đường kính $\phi 150\text{mm}$, chiều dài 240mm và mật độ lỗ 400 cell/inch², lượng kim loại quý Pt, Pd được sử dụng trong bộ DOC là 2,1 gam, lượng Zeolite và V của bộ xúc tác SCR là 280 gam.

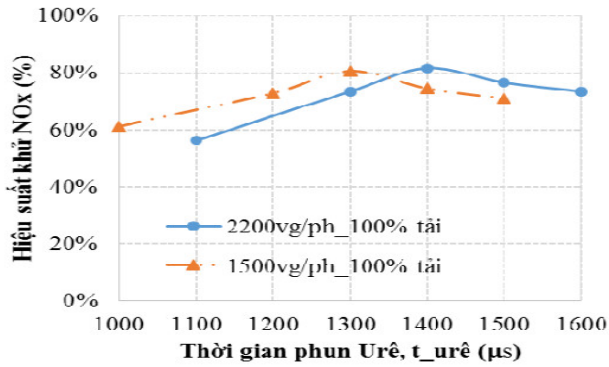
Mục tiêu của nghiên cứu nhằm vào xe tải hạng nhẹ chạy trong thành phố, chính vì vậy khi chạy trong thành phố các xe tải thường làm việc ở tốc độ vòng quay khoảng 1000 đến 2200vg/ph. Chính vì vậy, khi tiến hành chạy thử nghiệm đã chọn phương pháp thử nghiệm theo đường đặc tính ngoài trong phạm vi tốc độ động cơ từ 1000vg/ph đến tốc độ 2200vg/ph để đánh giá các thông số mômen (Me), công suất (Ne), suất tiêu thụ nhiên liệu (ge), nồng độ phát thải độc hại của động cơ trước và sau khi sử dụng các bộ xử lý khí thải. Tại các điểm trên đường đặc tính ngoài, lượng nhiên liệu cung cấp cho 1 chu trình gct là không đổi.

Việc tính toán thiết kế, chế tạo hệ thống xử lý khí thải diesel cho xe tải với công suất dưới 100kW đã được thực hiện [8]. Do đó, động cơ D4BB được lựa chọn, công suất 59kW, mômen cực đại tại tốc độ 2200vg/ph. Vì vậy, nghiên cứu đã lựa chọn tốc độ 2200 vg/ph và tốc độ trung gian 1500vg/ph để khảo sát đặc tính tải của động cơ.

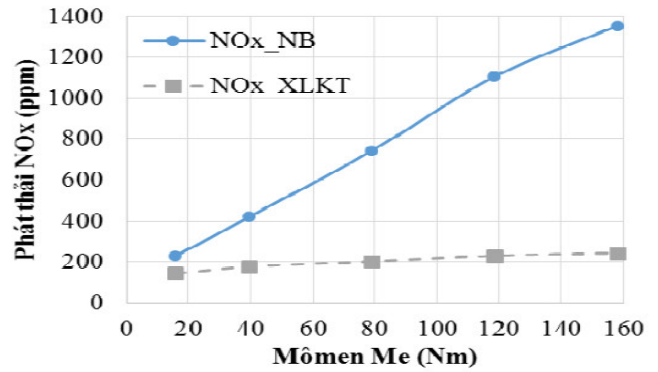
3.1. Các kết quả

Hiệu suất khử NO_x theo đặc tính vòi phun ở chế độ 100% tải, tốc độ 1500 và 2200vg/ph

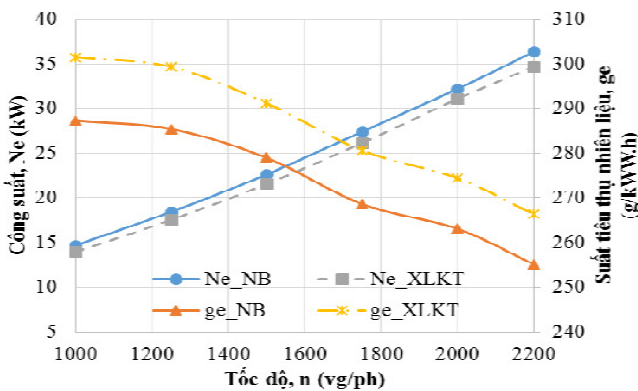
Hình 6 cho thấy sự thay đổi giá trị công suất và suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ trước và sau khi lắp bộ xử lý tại 100% tải. Kết quả cho thấy công suất của động cơ trung bình trên toàn dải tốc độ thử nghiệm của động cơ lắp bộ xử lý khí thải giảm so với động cơ nguyên bản. Trong đó công suất trung bình trên toàn dải tốc độ giảm 4,50% khi động cơ lắp bộ xử lý khí thải DOC+DPF+SCR. Đồng thời kết quả trên hình 6 cũng thể hiện suất tiêu thụ nhiên liệu trung bình trên toàn dải tốc độ của động cơ tăng 4,57% khi lắp các bộ xử lý khí thải.



Hình 5. Hiệu suất khử NO_x theo đặc tính vòi phun với chế độ 100% tải ở tốc độ 1500vg/ph và 2200vg/ph

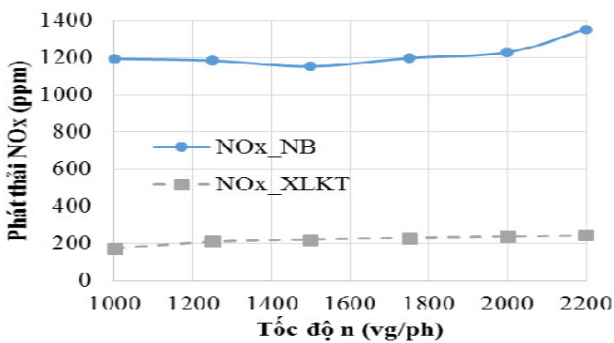


Hình 9. Phát thải NO_x theo đường đặc tính tải tại tốc độ 2200vg/ph

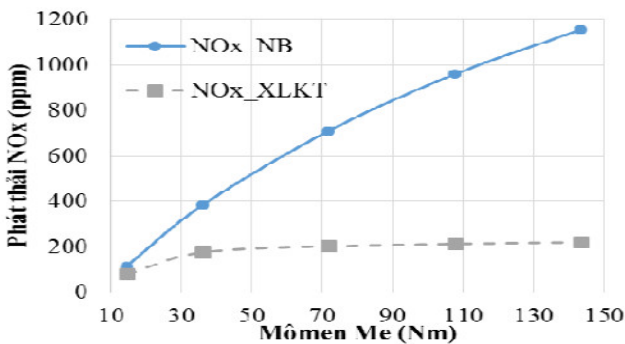


Hình 6. Công suất và suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ trước và sau khi lắp bộ xử lý khí thải DOC, DPF và SCR

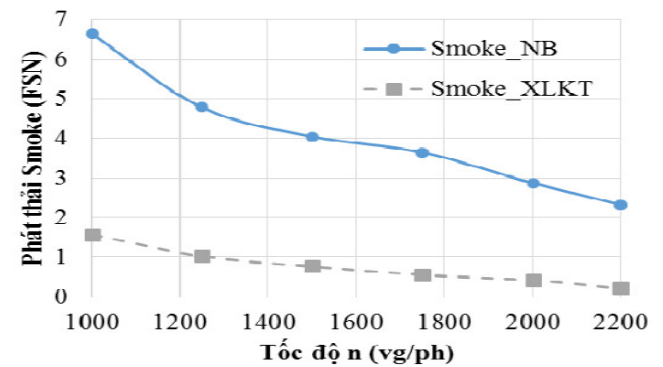
Đánh giá chất lượng phát thải của động cơ khi lắp các bộ xử lý khí thải



Hình 7. Phát thải NO_x theo đường đặc tính ngoài



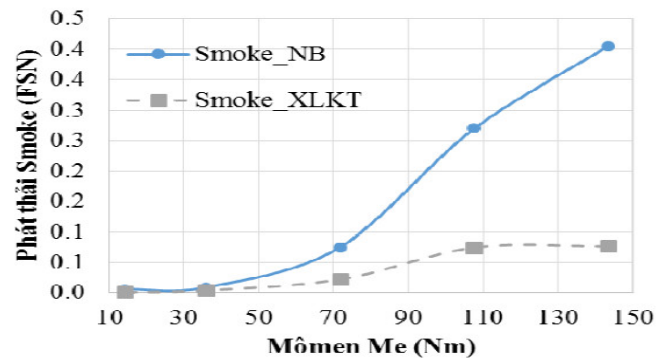
Hình 8. Phát thải NO_x theo đường đặc tính tải tại tốc độ 1500vg/ph



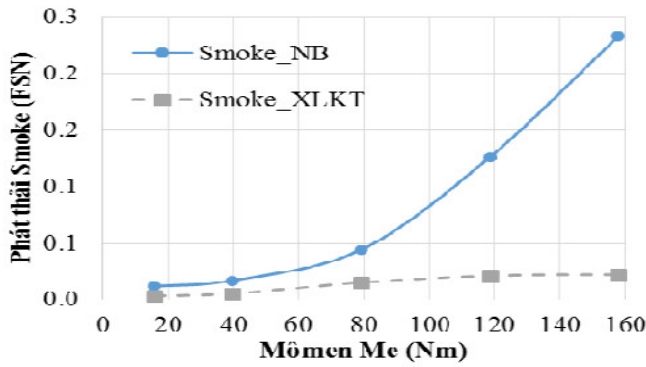
Hình 10. Phát thải độ khói theo đường đặc tính ngoài

Kết quả trên hình 7 - 9 thể hiện phát thải NO_x giảm đáng kể khi động cơ lắp thêm bộ DOC, DPF và SCR. Giá trị NO_x trung bình theo đường đặc tính ngoài và các đường đặc tính tải giảm lần lượt là 81,99%, 62,58% (1500vg/ph) và 65,53% (2200vg/ph) so với động cơ nguyên bản. Điều này chứng tỏ hiệu suất chuyển đổi của bộ SCR tương đối tốt ở các chế độ làm việc khác nhau của động cơ. Khi tăng tải của động cơ, nhiệt độ bộ xúc tác tăng cao thúc đẩy quá trình phản ứng khử NO_x thành N₂, vì vậy hiệu suất bộ xúc tác tăng khi tải tăng.

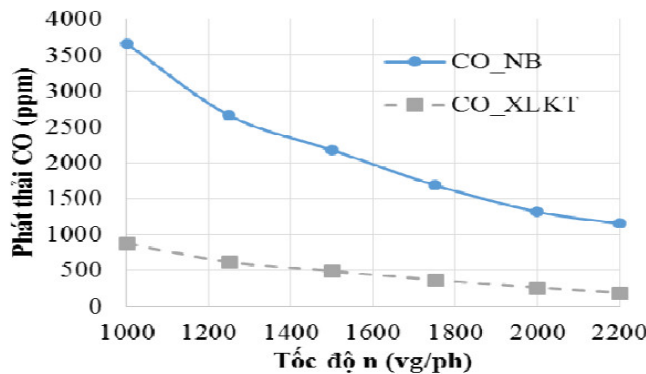
Kết quả trên hình 10 - 12 thể hiện phát thải độ khói của động cơ. Khi động cơ lắp bộ DOC, DPF và SCR thì độ khói trung bình theo đường đặc tính ngoài và theo hai đường đặc tính tải giảm lần lượt là 82,65%, 72,55% (1500vg/ph) và 77,08% (2200vg/ph) so với động cơ nguyên bản. Điều này chứng tỏ khả năng lọc muội than của bộ DPF tương đối tốt khi thử nghiệm ở các chế độ làm việc khác nhau của động cơ.



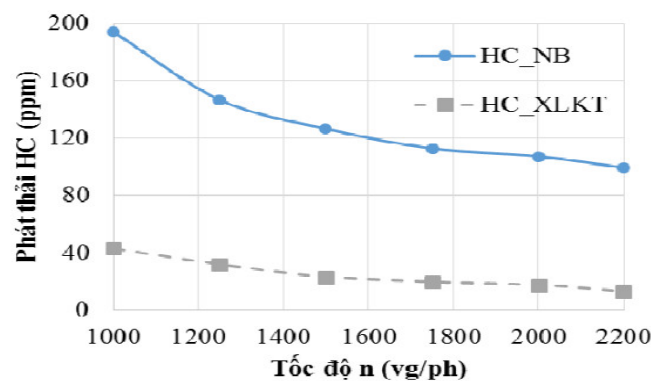
Hình 11. Phát thải độ khói theo đường đặc tính tải tại tốc độ 1500vg/ph



Hình 12. Phát thải độ khói theo đường đặc tính tải tại tốc độ 2200vg/ph



Hình 13. Phát thải CO theo đường đặc tính ngoài



Hình 14. Phát thải HC theo đường đặc tính ngoài

Dưới tác dụng của bộ xúc tác oxy hóa DOC và ảnh hưởng từ bộ DPF và SCR đã làm giảm đáng kể phát thải CO và HC so với động cơ nguyên bản trên toàn bộ các chế độ thử nghiệm. Giá trị CO, HC trung bình theo đường đặc tính ngoài giảm tương ứng là 78,61% và 81,57% so với động cơ nguyên bản. Kết quả thử nghiệm được thể hiện trên hình 13, 14.

Bảng 1. Kết quả giữa mô phỏng và thực nghiệm động cơ D4BB tại chế độ 2200vg/ph, 100% tải

Thành phần	Đơn vị	Mô phỏng	Thực nghiệm	Sai lệch (%)
Ne	kW	36,3	34,7	4,61
Me	Nm	158,71	151,63	4,67
ge	g/kW.h	255,04	266,34	-4,24
NO _x	ppm	250	244,37	2,30
CO	ppm	180	189,37	-4,95

3.2. Đánh giá kết quả chung

Kết quả chạy thực nghiệm giải pháp xử dụng bộ xúc tác oxy hóa DOC-DPF-SCR trên động cơ D4BB cho thấy sai lệch không nhiều về công suất và suất tiêu thụ nhiên liệu khi lắp và khi không lắp bộ xúc tác. Trong khi đó, nồng độ phát thải NO_x và phát thải độ khói giảm một lượng đáng kể so với động cơ nguyên bản. Kết quả thử nghiệm cũng cho thấy khi tăng tốc độ động cơ, hàm lượng muội có xu hướng giảm, điều này làm cho hiệu suất bộ lọc PDF tăng. Kết quả trong bảng 1 cũng cho thấy, khi so sánh ở chế độ tốc độ 2200vg/ph, 100% tải thì công suất của động cơ sai lệch 4,61%, suất tiêu thụ nhiên liệu sai lệch 4,24%, phát thải NO_x sai lệch 2,30%, phát thải CO sai lệch 4,95%, phát thải Soot (bồ hóng) sai lệch 4,76%.

4. KẾT LUẬN

Với mục tiêu giảm phát thải độc hại trên động cơ diesel xe tải nhẹ đang lưu hành, tác giả đã sử dụng các giải pháp đó là: sử dụng bộ xúc tác SCR để giảm phát thải NO_x, sử dụng bộ lọc phát thải hạt DPF để giảm phát thải PM, đồng thời sử dụng bộ xúc tác oxy hóa DOC để giảm phát thải CO và HC.

Các kết quả nghiên cứu lý thuyết, nghiên cứu thực nghiệm và các đánh giá kết quả nêu trên đã phản ánh đúng dẫn hướng nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu, sử dụng, ứng dụng hiệu quả các công cụ hỗ trợ cần thiết để đạt được các mục tiêu đặt ra, đạt độ tin cậy cao.

Thông qua các kết quả đạt được của đề tài đã cho thấy việc ứng dụng biện pháp xử lý xúc tác khử SCR kết hợp với sử dụng bộ xúc tác oxy hóa DOC và bộ lọc phát thải hạt DPF trên động cơ diesel có tính khả thi cao.

Nghiên cứu chế tạo lõi xúc tác để làm chủ hoàn toàn công nghệ xử lý khí thải trên động cơ diesel.

Lắp động cơ lên xe tải nhẹ thực hiện chạy trên hiện trường và chạy bền bộ xúc tác.

Nghiên cứu phát triển và chuyển giao hệ thống xử lý khí thải lên động cơ diesel xe tải nhẹ cho các doanh nghiệp sản xuất và lắp ráp động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Avinash Kumar Agrawal, "Effect of EGR on the exhaust gas temperature and opacity in compression ignition engines," *Department of Mechanical Engineering and Environmental Engineering and Management, Indian Institute of Technology*, 29, 3, 275-284, 2004.
- [2]. Guido Lenaers, Martine Van Poppel, "On-board Emission and Odour Measurements on Euro 2 Buses Retrofitted with Different Combinations of PM Traps and SCR," *07NAPLES-14, SAE International*, 2007.
- [3]. Thierry Seguelong, Nicolas Weinstein, "Review of SCR Technologies for Diesel Emission Control," *European Experience and Worldwide Perspectives*, Aaqius & Aaqius, 2004.
- [4]. Dinh Xuan Thanh, Khong Vu Quang, Le Anh Tuan, Pham Van The, "Experimental study of the effects of exhaust gas recirculation on NO_x emissions of the D1146TI diesel engine," *Vietnam Journal Mechanical Engineering*, 01, 108-112, 2011.

[5]. Pham Minh Tuan, *Khi thai dong co va o nhiem moi truong*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, 2008.

[6]. Do Huu Duc, Vehicles and emission control. In *Proceedings of the National Conference on Clean Vehicles and Fuels*, Haiphong, 2009.

[7]. Tran Quang Vinh, Pham Minh Tuấn, Nguyen Manh Dung, "Use the SCR selective catalyst combined with the DOC-DPF cluster to treat diesel engine exhaust," *Vietnam Journal Mechanical Engineering, Special*, 113-121, 2014.

[8]. Nguyen Manh Dung, Pham Minh Tuan, Pham Huu Tuyen, Tran Quang Vinh, "Design and manufacture combined exhaust gas treatment unit DOC-DPF-SCR for diesel engines installed on trucks," *Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry*, 27, 80-82, 2015.

[9]. Colin R. Ferguson, Allan T. Kirkpatrick, *Internal Combustion Engine: Applied Thermoscience, Second edition*. John Wiley & Sons, Inc., 2001.

[10]. Helmut Tschooke, "Exhaust Gas Emissions and Reduction Potential for conventional Combustion Engines," *Traffic and Environment Workshop*, Hanoi, 2010.

[11]. Metkar P. S., Salazar N., Muncrief R., Balakotaiah V., Harold M. P., "Selective catalytic reduction of NO with NH₃ on iron zeolite monolithic catalysts: Steady-state and transient kinetics," *Applied Catalysis B: Environmental*, 104(1-2), 110-126, 2011.

[12]. Katey E. Lenox, et al., *Extending Exhaust Gas Recirculation Limits in Diesel Engines*. Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, 2000.

[13]. Tran Quang Vinh, Nguyen Manh Dung, Pham Minh Tuan, "Calculate the efficiency of the after-gate exhaust treatment system for light truck diesel engines using AVL Boost software," *Vietnam Journal Mechanical Engineering, Special*, 10, 149-156, 2020.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Manh Dzung

Hanoi University of Industry, Vietnam