

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ĐẶC TÍNH TẢI CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL KHI CHUYỂN ĐỔI SANG NHIÊN LIỆU KÉP DIESEL/AMONIAC

SIMULATION STUDY OF LOAD CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINE WHEN CONVERTING TO DUAL FUEL DIESEL/AMMONIA

Nguyễn Văn Ninh¹, Nguyễn Tường Vi^{2,*},
Nguyễn Tiến Hán³

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2026.057>

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng đánh giá đặc tính tải của động cơ diesel khi chuyển đổi sang sử dụng nhiên liệu kép Diesel/Amoniac, trong đó tập trung phân tích đặc tính tải bộ phận tại tốc độ 2000 vòng/phút. Động cơ được lựa chọn là D4BB có hệ thống phun cơ khí kiểu phân phối VE, được mô phỏng bằng phần mềm AVL-Boost. Mô hình được hiệu chuẩn dựa trên dữ liệu thử nghiệm thực tế với nhiên liệu diesel nguyên chất (D0), đảm bảo sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm về công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải đều dưới 5%. Nghiên cứu tiến hành mô phỏng với các tỷ lệ nhiên liệu gồm D0 (100% diesel), DA5 (95% diesel - 5% amoniac), DA10 (90% diesel - 10% amoniac) và DA20 (80% diesel - 20% amoniac), ở các chế độ tải 25%, 50%, 75% và 100% tại tốc độ 2000 vòng/phút. Kết quả cho thấy, khi tăng tỷ lệ amoniac, mô men và công suất động cơ giảm nhẹ, trong khi suất tiêu hao nhiên liệu tăng lên do nhiệt trị thấp và tốc độ cháy chậm của amoniac. Tuy nhiên, các thông số phát thải cải thiện rõ rệt: CO và Soot giảm mạnh ở tất cả các chế độ tải, NO_x giảm đáng kể tại tải trung bình và toàn tải nhờ nhiệt độ cháy giảm. Ở tỷ lệ DA5, động cơ vẫn duy trì công suất gần tương đương với D0, trong khi giảm trung bình 25% CO, 10% NO_x và 7% Soot, được xem là mức tối ưu giữa công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải. Kết quả nghiên cứu chứng minh khả năng ứng dụng nhiên liệu kép Diesel/Amoniac cho động cơ diesel truyền thống, mở ra hướng phát triển nguồn năng lượng sạch và bền vững, đồng thời làm cơ sở cho các nghiên cứu tối ưu hóa góc phun và tỉ lệ phối trộn nhiên liệu trong tương lai.

Từ khóa: Diesel/Amoniac, động cơ D4BB, đặc tính tải bộ phận, mô phỏng AVL-Boost, phát thải.

ABSTRACT

This paper presents the results of a simulation study to evaluate the load characteristics of a diesel engine when switching to dual fuel Diesel/Ammonia, focusing on analyzing the component load characteristics at 2000rpm. The selected engine is D4BB with a VE-type mechanical injection system, simulated by AVL-Boost software. The model is calibrated based on actual test data with pure diesel fuel (D0), ensuring that the deviation between simulation and experiment in terms of power, fuel consumption and emissions are all below 5%. The study conducted simulations with fuel ratios including D0 (100% diesel), DA5 (95% diesel - 5% ammonia), DA10 (90% diesel - 10% ammonia) and DA20 (80% diesel - 20% ammonia), at 25%, 50%, 75% and 100% load modes at 2000 rpm. The results showed that, when increasing the ammonia ratio, the engine torque and power decreased slightly, while the fuel consumption increased due to the low calorific value and slow burning speed of ammonia. However, the emission parameters improved significantly: CO and Soot decreased sharply at all load modes, NO_x decreased significantly at medium and full load thanks to the reduced combustion temperature. At DA5 ratio, the engine still maintains power almost equivalent to D0, while reducing on average 25% CO, 10% NO_x and 7% Soot, which is considered the optimal level between power, fuel consumption and emissions. The research results demonstrate the possibility of applying dual fuel Diesel/Ammonia for traditional diesel engines, opening up the direction of developing clean and sustainable energy sources, and at the same time serving as a basis for future studies on optimizing injection angle and fuel mixing ratio.

Keywords: Diesel/Ammonia, D4BB engine, component load characteristics, AVL-Boost simulation, emissions.

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

²Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

³Trung tâm Công nghệ Ô tô và Đào tạo lái xe, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: ntvi@uneti.edu.vn

Ngày nhận bài: 08/10/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 04/01/2026

Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh hiện nay, vấn đề ô nhiễm môi trường do khí thải động cơ đốt trong đang ngày càng trở nên nghiêm trọng, đặc biệt là tại các đô thị lớn nơi mật độ phương tiện giao thông cao [1]. Động cơ diesel, mặc dù có ưu điểm về hiệu suất và độ bền, nhưng lại phát thải nhiều NO_x , CO, CO_2 và muội than (Soot) - các tác nhân chính gây ô nhiễm không khí và hiệu ứng nhà kính. Vì vậy, việc nghiên cứu sử dụng nhiên liệu thay thế thân thiện môi trường cho động cơ diesel là hướng đi được nhiều nhà khoa học quan tâm [2, 4, 7-9].

Trong số các nhiên liệu tiềm năng, amoniac (NH_3) được xem là một lựa chọn triển vọng do không chứa carbon, có thể sản xuất từ nguồn năng lượng tái tạo, đồng thời lưu trữ và vận chuyển dễ dàng. Khi phối trộn với diesel tạo thành nhiên liệu kép Diesel/Amoniac, amoniac có thể tham gia vào quá trình cháy và góp phần giảm phát thải CO, CO_2 và Soot [4]. Tuy nhiên, do đặc tính nhiệt trị thấp và tốc độ cháy chậm, việc sử dụng amoniac trong động cơ diesel cần được nghiên cứu cụ thể về tỷ lệ phối trộn để đảm bảo tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ.

Hiện nay, nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đã được thực hiện về nhiên liệu kép, chủ yếu tập trung vào các loại LPG/Diesel, Ethanol/Diesel hoặc Hydrogen/Diesel [2, 3, 5, 7-9]. Tuy nhiên, các nghiên cứu về Diesel/Amoniac là nhiên liệu tiềm năng còn hạn chế.

Tại Việt Nam, dòng động cơ diesel D4BB với hệ thống phun cơ khí kiểu phân phối VE vẫn chiếm tỉ trọng lớn trong các phương tiện vận tải và máy nông nghiệp, nhưng các nghiên cứu về khả năng chuyển đổi nhiên liệu kép Diesel/Amoniac trên đối tượng này còn rất hạn chế. Bên cạnh đó, các nghiên cứu hiện nay thường chỉ tập trung vào chế độ toàn tải, trong khi đặc tính làm việc của động cơ ở các chế độ tải bộ phận - vốn là chế độ vận hành thường xuyên nhất trong thực tế - vẫn chưa được đánh giá đầy đủ.

Nhằm giải quyết khoảng trống nghiên cứu này, bài báo trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng đánh giá đặc tính tải của động cơ diesel D4BB khi chuyển đổi sang sử dụng nhiên liệu kép Diesel/Amoniac bằng phần mềm AVL-Boost. Nghiên cứu tập trung phân tích sự biến thiên của hiệu suất và nồng độ phát thải độc hại ở các mức tải

khác nhau (25%, 50%, 75% và 100%) tại tốc độ 2000 vòng/phút. Kết quả thu được không chỉ góp phần làm rõ ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn Amoniac đến quá trình cháy mà còn xác định ngưỡng phối trộn tối ưu, làm cơ sở khoa học cho việc cải tạo và vận hành các dòng động cơ diesel hiện hành theo hướng sạch và bền vững.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

Việc nghiên cứu đặc tính của động cơ diesel khi chuyển đổi sang nhiên liệu kép Diesel/Amoniac cần dựa trên các cơ sở về nguyên lý cháy - phát thải của động cơ diesel và đặc tính vật lý - hóa học của nhiên liệu amoniac (NH_3), kết hợp với mô hình hóa quá trình cháy bằng phần mềm mô phỏng.

2.1.1. Nguyên lý và đặc tính phát thải của động cơ diesel

Động cơ diesel là loại động cơ cháy do nén, nhiên liệu được phun trực tiếp vào buồng cháy tại thời điểm cuối kỳ nén, hòa trộn với không khí và tự bốc cháy do nhiệt độ cao. Quá trình cháy trong động cơ Diesel trải qua bốn giai đoạn chính: cháy trễ, cháy nhanh, cháy chính, và cháy rớt. Đặc điểm của quá trình này là tỷ lệ không khí/nhiên liệu cao, dẫn đến hiệu suất nhiệt lớn, nhưng đồng thời tạo ra phát thải NO_x và Soot cao [1, 9].

Phát thải NO_x hình thành chủ yếu do nhiệt độ buồng cháy cao ($>1800\text{K}$), trong khi muội than (Soot) sinh ra từ các vùng thiếu oxy cục bộ trong pha cháy khuếch tán [1, 2, 9]. Do đó, giảm nhiệt độ đỉnh cháy và cải thiện quá trình hòa trộn là hai hướng chính để giảm phát thải trong động cơ diesel.

2.1.2. Đặc tính của nhiên liệu amoniac (NH_3)

Amoniac có nhiệt trị thấp hơn diesel (khoảng $18,6\text{MJ/kg}$ so với $42 - 45\text{MJ/kg}$), tốc độ cháy chậm và nhiệt độ tự cháy cao ($\sim 650^\circ\text{C}$) [4]. Tuy nhiên, NH_3 có thể được sản xuất từ nguồn tái tạo, không chứa carbon nên không phát thải CO_2 khi cháy. Khi phối trộn với diesel, NH_3 giảm mật độ năng lượng của hỗn hợp nhưng giúp hạn chế hình thành NO_x và Soot nhờ làm giảm nhiệt độ cháy và cải thiện môi trường oxy hóa trong buồng đốt [3, 4, 7].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành bằng mô phỏng số sử dụng phần mềm AVL-Boost áp dụng cho động cơ diesel

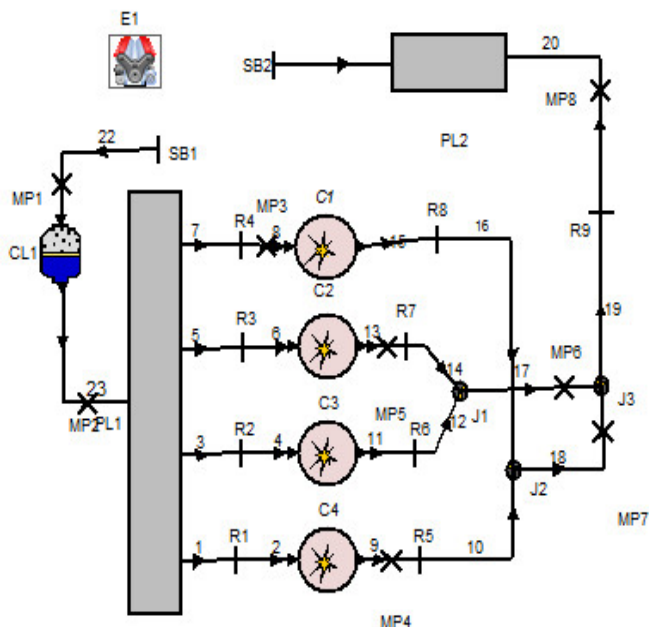
D4BB, loại động cơ có hệ thống cung cấp nhiên liệu điều khiển cơ khí với bơm cao áp phân phối kiểu VE [5]. Mô hình được xây dựng để mô phỏng hai chế độ làm việc: động cơ sử dụng nhiên liệu diesel thuần và động cơ hoạt động với hỗn hợp nhiên liệu kép diesel-amoniac.

Trong quá trình mô phỏng, nhóm tác giả xem xét ba mức phối trộn amoniac trong hỗn hợp nhiên liệu gồm 5%, 10% và 20% theo thể tích, ký hiệu tương ứng là DA5, DA10 và DA20. Các trường hợp mô phỏng được thực hiện tại chế độ tải 100% và tốc độ định mức của động cơ nhằm phân tích sự thay đổi của mô men, công suất, suất tiêu hao nhiên liệu cũng như nồng độ phát thải CO, NO_x và Soot.

Kết quả mô phỏng sau đó được so sánh với trường hợp gốc (D0 - 100% diesel) để đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ amoniac đến hiệu suất và đặc tính phát thải của động cơ diesel khi chuyển đổi sang nhiên liệu kép. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất tỷ lệ amoniac phù hợp, vừa đảm bảo hiệu quả năng lượng, vừa giảm phát thải có hại ra môi trường.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng trên AVL-Boost



Hình 1. Mô hình động cơ D4BB trên AVL-Boost [5]

Dựa trên các thông số kỹ thuật của động cơ D4BB do nhà sản xuất công bố và kết quả đo đạc thực tế, mô hình mô phỏng của động cơ được xây dựng trong phần mềm AVL-Boost, là công cụ chuyên dụng cho việc phân tích và đánh giá chu trình công tác của động cơ đốt trong [6]. Cấu trúc mô hình bao gồm các phần tử chính: đường nạp (PL1), đường xả (PL2), buồng cháy (C1-C4), hệ thống phun

nhiên liệu, bộ lọc khí, đường ống và nút nối (MP, SB, J)... được bố trí theo nguyên lý hoạt động của động cơ thực. Các thông số về kích thước hình học, góc phối khí, áp suất nạp - xả, tốc độ quay và đặc tính phun được nhập theo dữ liệu chuẩn của động cơ D4BB.

Hình 1 minh họa sơ đồ mô hình mô phỏng động cơ D4BB trong AVL-Boost, thể hiện mối liên hệ giữa các cụm chi tiết chính của hệ thống nạp, cháy và xả, qua đó cho phép phần mềm tính toán đặc tính công suất, mô men và phát thải trong các chế độ vận hành khác nhau [5, 6].

3.2. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

Để xác minh độ tin cậy của mô hình mô phỏng, động cơ diesel D4BB sử dụng nhiên liệu diesel thuần được tiến hành thử nghiệm trên băng thử công suất. Các kết quả đo đạc thu được trong quá trình thử nghiệm được sử dụng để hiệu chuẩn mô hình mô phỏng trên phần mềm AVL-Boost [5].

Sau khi hoàn tất quá trình hiệu chuẩn, nhóm nghiên cứu so sánh đặc tính ngoài của động cơ giữa mô phỏng và thực nghiệm. Kết quả cho thấy sai lệch trung bình về công suất là 3,41% và suất tiêu hao nhiên liệu là 3,50% (bảng 1 và 2). Đối với các chỉ tiêu phát thải, độ sai khác trung bình của CO và NO_x lần lượt là 0,82% và 2,68% theo đường đặc tính ngoài [5].

Như vậy, sai lệch trung bình giữa mô phỏng và thực nghiệm đều nhỏ hơn 5% (mặc dù một vài sai lệch cục bộ có lớn hơn 5%), chứng tỏ mô hình động cơ được xây dựng có độ chính xác và độ tin cậy cao, đủ cơ sở để sử dụng cho các nghiên cứu mô phỏng đặc tính tải và nhiên liệu kép Diesel/Amoniacc trong các phần tiếp theo.

Bảng 1. So sánh kết quả công suất thực nghiệm (TN) và mô phỏng (MP) khi sử dụng diesel

Tốc độ động cơ (vòng/phút)	Công suất động cơ (kW)		TN so với MP (%)
	TN	MP	
1000	13,40	12,89	-3,81
1500	22,29	21,30	-4,44
2000	30,56	29,27	-4,22
2500	37,16	36,85	-0,83
3000	42,39	41,68	-1,67
3500	47,62	45,00	-5,50
4000	51,7	49,94	-3,4
Trung bình			-3,41

Bảng 2. So sánh kết quả suất tiêu hao nhiên liệu thực nghiệm (TN) và mô phỏng (MP) khi sử dụng diesel

Tốc độ động cơ (vòng/phút)	Suất tiêu hao nhiên liệu		TN so với MP (%)
	TN	MP	
1000	244,15	252,81	3,55
1500	242,76	254,07	4,66
2000	234,63	245,00	4,42
2500	246,64	248,72	0,84
3000	268,20	272,78	1,71
3500	294,03	311,21	5,84
4000	325,36	314,04	3,48
Trung bình			3,50

3.3. Ảnh hưởng của tỉ lệ amoniac tới tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel-amoniac ở đường đặc tính tải

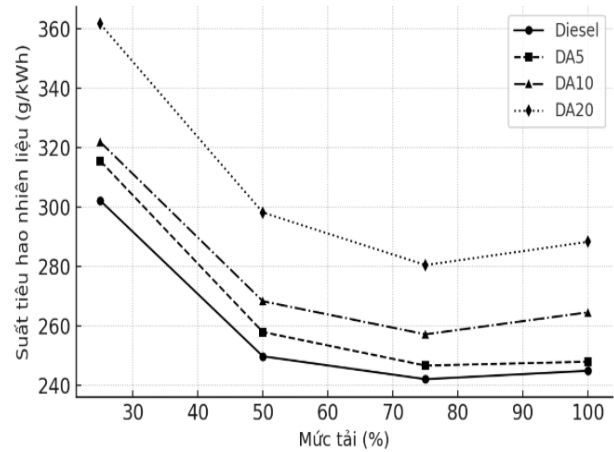
3.3.1. Kết quả mô phỏng suất tiêu hao nhiên liệu theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút

Kết quả mô phỏng ở Hình 2 cho thấy suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ tăng khi tỷ lệ amoniac trong hỗn hợp nhiên liệu tăng. Ở tải 25%, suất tiêu hao nhiên liệu tăng từ 302,25g/kWh (Diesel) lên 315,61g/kWh (DA5) và đạt 361,72g/kWh (DA20), tương ứng tăng từ 4,4% đến 19,7%. Ở các tải cao hơn, xu hướng này vẫn được duy trì, tại tải 100% suất tiêu hao nhiên liệu tăng từ 245,00g/kWh lên 288,40g/kWh, tức tăng 17,7%. Trung bình toàn dải tải, mức tăng lần lượt là 2,7% (DA5), 7,05% (DA10) và 18,15% (DA20). Nguyên nhân là do nhiệt trị của amoniac thấp và tốc độ cháy chậm, làm giảm hiệu suất đốt cháy và yêu cầu lượng nhiên liệu lớn hơn để đạt cùng công suất. Tuy nhiên, ở tỷ lệ thấp (DA5), động cơ vẫn duy trì được hiệu suất và làm việc ổn định, trong khi các tỷ lệ cao hơn làm tiêu hao nhiên liệu tăng rõ rệt hơn.

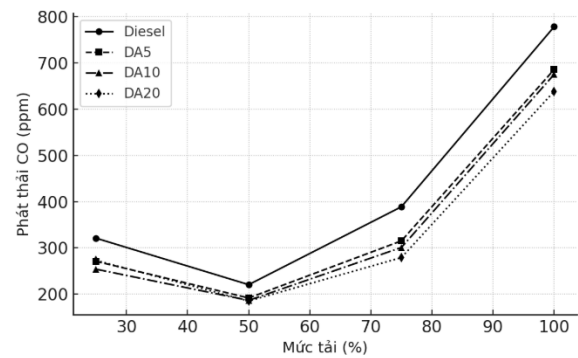
3.3.2. Kết quả mô phỏng phát thải CO theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút

Đối với phát thải CO (hình 3), kết quả mô phỏng cho thấy nồng độ CO giảm ở tất cả các mức tải khi động cơ sử dụng hỗn hợp Diesel/Amoniacc. Ở tải 25%, CO giảm từ 321ppm xuống 270,89ppm (DA5) và 272,9ppm (DA20), tương ứng giảm 15 - 21%. Tại tải trung bình 75%, lượng CO giảm từ 388,95 ppm xuống 278,96ppm, tương ứng - 28,28% với DA20. Trung bình toàn dải tải, mức giảm lần lượt là 14,9% (DA5), 18,07% (DA10) và 19,33% (DA20). Sự giảm này bắt nguồn từ việc amoniacc không chứa carbon,

làm giảm vùng cháy thiếu oxy - nơi hình thành CO, đồng thời quá trình cháy diễn ra ở nhiệt độ thấp hơn nên CO dễ bị oxy hóa hoàn toàn thành CO₂. Ở tải thấp, CO vẫn tương đối cao do nhiệt độ buồng đốt chưa đủ để oxy hóa triệt để, trong khi ở tải trung và cao, lượng CO giảm mạnh nhờ quá trình cháy hoàn thiện hơn.



Hình 2. Suất tiêu hao nhiên liệu theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút



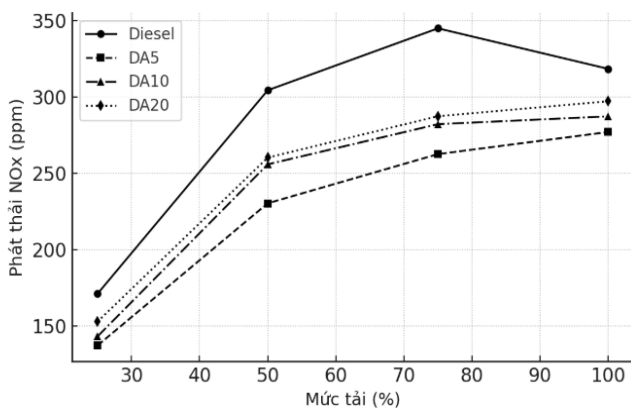
Hình 3. Phát thải CO theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút

3.3.3. Kết quả mô phỏng phát thải NO_x theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút

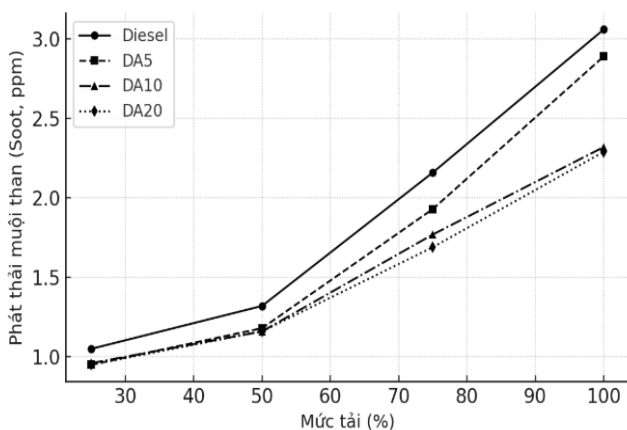
Kết quả về phát thải NO_x trong (hình 4) cho thấy xu hướng giảm đáng kể khi tăng tỷ lệ NH₃. Ở tải 25%, NO_x giảm từ 171,09ppm (Diesel) xuống 137,15ppm (DA5), tương ứng -19,8%; ở tải 50%, giảm mạnh nhất với -24,3%; còn ở tải 100%, mức giảm khoảng -13%. Trung bình toàn dải tải, NO_x giảm 20,26% (DA5), 15,07% (DA10) và 12,13% (DA20). Cơ chế hình thành NO_x chủ yếu phụ thuộc vào nhiệt độ cháy cực đại, do đó khi tăng NH₃ - một chất có tốc độ cháy chậm và phản ứng phân hủy thu nhiệt - nhiệt độ đỉnh cháy giảm, làm giảm phản ứng sinh NO_x. Tuy nhiên, khi tỷ lệ NH₃ quá cao (DA20), khả năng cháy kém khiến hiệu suất giảm và phần khí chưa cháy hoàn toàn làm hiệu quả giảm NO_x giảm dần. Điều này cho thấy tỷ lệ DA5 mang lại sự cân bằng tốt nhất giữa giảm phát thải và ổn định cháy.

3.3.4. Kết quả mô phỏng phát thải Soot theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút

Đối với phát thải Soot (hình 5), xu hướng giảm được ghi nhận ở tất cả các mức tải. Ở tải 25%, Soot giảm từ 1,05ppm (Diesel) xuống 0,95ppm (DA5-DA20), tương ứng giảm ~9 - 10%; ở tải 75%, giảm từ 2,16ppm xuống 1,69ppm (DA20), tức -21,9%; và ở tải 100%, giảm từ 3,06 ppm xuống 2,29ppm, tương ứng -25,16%. Trung bình toàn dải tải, mức giảm Soot đạt 9,07% (DA5), 15,92% (DA10) và 17,20% (DA20). Nguyên nhân là do amoniac không chứa carbon, làm giảm nguồn gốc hình thành muội than trong vùng cháy giàu nhiên liệu; đồng thời, sự xuất hiện của H₂ và N₂ trong quá trình phân hủy NH₃ giúp tăng khả năng oxy hóa muội, giảm hạt Soot trong khí thải.



Hình 4. Phát thải NO_x theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút



Hình 5. Phát thải muội than (Soot) theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút

Tổng hợp lại, các kết quả mô phỏng cho thấy khi tăng tỷ lệ amoniac, suất tiêu hao nhiên liệu tăng, mô men và công suất giảm, nhưng phát thải CO, NO_x và Soot đều giảm rõ rệt. Trong các tỷ lệ khảo sát, DA5 được xem là tối ưu: suất tiêu hao nhiên liệu chỉ tăng khoảng 2,7%, trong khi CO giảm ~15%, NO_x giảm ~20% và Soot giảm ~9%. Điều này chứng tỏ việc phối trộn amoniac với diesel ở tỷ lệ thấp là hướng tiếp cận khả thi nhằm giảm phát thải độc hại mà vẫn đảm bảo hiệu suất động cơ ở mức ổn định.

3.3.5. Thảo luận về tính ăn mòn và an toàn khi sử dụng Amoniac

Mặc dù amoniac mang lại lợi ích đáng kể trong việc cắt giảm phát thải CO₂ và muội than nhờ đặc tính không chứa carbon, việc ứng dụng thực tế trên động cơ D4BB cần xem xét kỹ lưỡng các thách thức về vật liệu và an toàn vận hành.

Tính ăn mòn vật liệu: Amoniac là chất có tính kiềm và khả năng ăn mòn mạnh, đặc biệt đối với đồng (Cu), kẽm (Zn) và các hợp kim của chúng thường có trong các chi tiết của hệ thống nhiên liệu truyền thống như bơm cao áp VE, vòi phun và đường ống dẫn. Để khắc phục, các nghiên cứu thực nghiệm tiếp theo cần xem xét việc thay thế các chi tiết này bằng vật liệu chịu hóa chất như thép không gỉ hoặc các loại nhựa kỹ thuật chịu lực để đảm bảo độ bền cho hệ thống.

Tính độc hại và rủi ro rò rỉ: Amoniac có mùi nồng đặc trưng và gây độc đối với hệ hô hấp nếu nồng độ trong không khí vượt quá ngưỡng an toàn. Trong quá trình chuyển đổi động cơ D4BB, cần thiết lập hệ thống kiểm soát rò rỉ bằng cảm biến chuyên dụng tại khu vực lưu trữ và cấp liệu. Ngoài ra, do Amoniac có nhiệt độ tự cháy cao và tốc độ cháy chậm, việc phối trộn ở tỷ lệ thấp (DA5) như đề xuất trong nghiên cứu này không chỉ giúp duy trì hiệu suất mà còn giảm thiểu lượng Amoniac dư thừa trong khí thải - một yếu tố gây ô nhiễm thứ cấp nếu không được xử lý triệt để qua bộ xúc tác.

Kết quả nghiên cứu này đóng vai trò là cơ sở lý thuyết ban đầu; các nghiên cứu thực nghiệm trong tương lai cần tích hợp thêm các giải pháp về an toàn hệ thống và tối ưu hóa góc phun để kiểm soát hoàn toàn các rủi ro nêu trên.

4. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy việc chuyển đổi động cơ diesel D4BB sang sử dụng nhiên liệu kép Diesel/Amoniac có tính khả thi cao. Khi tăng tỷ lệ amoniac, suất tiêu hao nhiên liệu tăng từ 2,7 - 18,1%, trong khi phát thải CO, NO_x và Soot giảm lần lượt khoảng 15 - 20%, 12 - 20% và 9 - 17%. Sự cải thiện phát thải là do amoniac không chứa carbon, đồng thời làm giảm nhiệt độ đỉnh cháy, hạn chế hình thành các chất độc hại. Ở tỷ lệ phối trộn 5% NH₃ (DA5), động cơ vẫn duy trì công suất và mô men ổn định, trong khi giảm đáng kể phát thải. Mô hình mô phỏng đạt độ tin cậy cao (sai lệch < 5%), cho phép ứng dụng trong nghiên cứu tối ưu góc phun, tỷ lệ phối trộn và kiểm soát cháy.

Bên cạnh những ưu điểm về phát thải, việc sử dụng Amoniac đặt ra thách thức về tính ăn mòn đối với các chi

tiết đồng và hợp kim trong hệ thống nhiên liệu của động cơ D4BB. Do đó, để hiện thực hóa giải pháp này, cần có các nghiên cứu thực nghiệm sâu hơn về vật liệu thay thế và hệ thống giám sát an toàn nhằm đảm bảo độ bền và hiệu quả vận hành lâu dài của động cơ.

Kết quả này khẳng định nhiên liệu kép Diesel/Amoniac là giải pháp tiềm năng hướng tới giảm phát thải và phát triển năng lượng sạch trong động cơ diesel hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Minh Tuấn, *Khí thải động cơ và ô nhiễm môi trường*. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2008.
- [2]. Nguyễn Tường Vi, "Ảnh hưởng của việc sử dụng LPG/diesel đến đặc tính phát thải của động cơ diesel," *Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên Trường Đại học Thủy Lợi*, 2020.
- [3]. Dimitriou P, Tsujimura T., "A fully renewable and efficient backup power system with a hydrogen-biodiesel-fueled IC engine," *Energy Procedia*, 157:1305e19, 2019.
- [4]. Pavlos Dimitriou, Rahat Javaid, "A review of ammonia as a compression ignition engine fuel," *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 11, 7098-7118, 2020.
- [5]. Nguyễn Tường Vi, Nguyễn Văn Ninh, "Nghiên cứu mô phỏng lựa chọn góc phun sớm phù hợp khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel/ethanol," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*, 60, 11, 2024.
- [6]. AVL-List GmbH, Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, *BOOST v.2009 Users Guide & Theory*. Austria, 2009.
- [7]. Trần Trọng Thế, Nguyễn Thế Lương, Trần Văn Hoàng, "Nghiên cứu tổng quan về amoniac làm nhiên liệu thay thế cho động cơ xăng," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp*, 43, 2024.
- [8]. Nguyễn Thành Trung, *Nghiên cứu chuyển đổi động cơ xăng sang sử dụng CNG và nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2019.
- [9]. Nguyễn Tường Vi, *Nghiên cứu sử dụng LPG làm nhiên liệu thay thế trên các động cơ diesel hiện hành*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2014.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Van Ninh¹, Nguyen Tuong Vi², Nguyen Tien Han³

¹Hung Yen University of Technology and Education, Vietnam

²University of Economics - Technology for Industries, Vietnam

³Center for Automotive Technology and Driving Training, Hanoi University of Industry, Vietnam