

ẢNH HƯỞNG CỦA TỈ LỆ THAY THẾ AMONIAC CHO DIESEL ĐẾN ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ NHIÊN LIỆU KÉP AMONIAC-DIESEL

EFFECTS OF AMMONIA ENERGY RATIO ON PERFORMANCE AND EMISSION FORMATION OF THE AMMONIA/DIESEL DUAL FUEL ENGINE

Nguyễn Văn Hùng¹,
Lương Đình Thi^{2,*}, Vũ Đức Mạnh²

DOI: <https://doi.org/10.57001/hu1h5804.2025.329>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ diesel (R180) sử dụng nhiên liệu kép amoniac-diesel với các tỉ lệ amoniac thay thế khác nhau và được phun trên đường nạp bằng phần mềm GT-Suite. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi tăng tỉ lệ amoniac thay thế từ 0% đến 30% (tính theo năng lượng) thì tính năng kỹ thuật của động cơ như công suất, suất tiêu hao năng lượng, suất tiêu hao nhiên liệu có ích thay đổi nhỏ, trong khi phát thải NO_x, CO₂ giảm mạnh có tác động tích cực tới môi trường. Tuy nhiên, khi tỉ lệ thay thế trên 30%, công suất có ích giảm nhanh, đồng thời suất tiêu hao năng lượng và suất tiêu hao nhiên liệu có ích tăng mạnh, mặc dù phát thải NO_x, CO₂ tiếp tục giảm.

Từ khóa: Phần mềm GT-suite; động cơ R180; amoniac; diesel.

ABSTRACT

This paper presents the effect of ammonia gas mixed into intake air on performance and emissions of the diesel engine (R180) using ammonia/diesel dual-fuel mode with varying ammonia energy fraction by GT-Suite software. The research findings show that when the ammonia energy fraction is increased from 0% to 30%, the performance of the engine (brake power, and brake specific energy consumption) changes minimally, while emissions of NO_x and CO₂ decrease significantly, having a positive environmental impact. However, at substitution levels above 30%, brake power decreases rapidly, and both BSEC and BSFC increase noticeably, despite continued reductions in NO_x and CO₂ emissions.

Keywords: GT-suite; engine R180; ammonia; diesel.

¹Hệ Quản lý học viên sau đại học, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Viện Cơ khí động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự

*Email: thiluongdinh@gmail.com

Ngày nhận bài: 10/5/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 27/8/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/9/2025

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, thế giới đang phải đối mặt với thực tế là nguồn nhiên liệu dầu mỏ đang dần cạn kiệt. Mặc dù, xe điện cũng đang được nghiên cứu phát triển nhanh chóng nhưng vẫn phải đối mặt với nhiều thách thức như phạm vi di chuyển phụ thuộc lớn vào khả năng lưu trữ năng lượng của pin, việc chế tạo pin cần nguồn kim loại hiếm, việc tái chế pin tồn tại tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm và độc hại, thời gian sạc lâu, cơ sở hạ tầng trạm sạc và lưới điện còn nhiều hạn chế... [1]. Do vậy, động cơ đốt trong vẫn đóng vai trò quan trọng trong thời gian dài. Ngoài ra, động cơ đốt trong sử dụng nhiên liệu có nguồn gốc hóa thạch từ dầu mỏ, phát thải các chất độc hại gây ra ô nhiễm môi trường, ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Trong số đó, CO₂ là thành phần khí thải gây ra hiệu ứng nhà kính làm biến đổi khí hậu, tăng nhiệt độ trái đất, dẫn tới tan băng ở địa cực, làm tăng mực nước biển và giảm đa dạng sinh học. Từ đó, việc tìm ra nguồn năng lượng mới đáp ứng các tiêu chí như sạch, có khả năng tái tạo và thân thiện với môi trường là rất quan trọng và thiết thực [2].

Trên thực tế đã có một số nhiên liệu thay thế được nghiên cứu và sử dụng như cồn, ether, biodiesel, khí hóa lỏng (LPG), khí tự nhiên hóa lỏng (LNG), khí nén tự nhiên (CNG), hydro, amoniac,... Trong số đó, hydro và amoniac với cấu trúc phân tử không chứa cacbon được xem là nhiên liệu sạch, khi cháy không tạo ra CO₂. Tuy nhiên, vấn đề tồn tại để ứng dụng hydro vào động cơ đốt trong là khó khăn trong quá trình lưu trữ, vận chuyển, sử dụng cho động cơ do yêu cầu nhiệt độ hóa lỏng rất thấp -253°C ở điều kiện áp suất khí quyển, cũng như tính dễ cháy và sinh nhiệt cao trong động cơ. Amoniac có thể dễ dàng hóa

lỏng để lưu trữ, vận chuyển và phân phối ở áp suất tương đối thấp 9 - 10bar ở nhiệt độ môi trường (tương tự như propane lỏng) hoặc làm lạnh đến -33°C ở áp suất môi trường [3]. Nó chứa 17,8% trọng lượng hydro và dự trữ năng lượng nhiều hơn 30% theo thể tích so với hydro lỏng. Vì vậy, amoniac nổi lên như một nhiên liệu thay thế tiềm năng, có thể góp phần đạt mục tiêu phát thải ròng “net - zero” vào năm 2050 của nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam đã cam kết trong Thỏa thuận Paris.

Bài báo này trình bày kết quả mô phỏng động cơ diesel R180 bổ sung amoniac trên đường nạp ở chế độ toàn tải với tốc độ 2600 vòng/phút và ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới đặc tính làm việc, phát thải của động cơ diesel. Các thông số nghiên cứu bao gồm: công suất, suất tiêu hao năng lượng và suất tiêu hao nhiên liệu có ích, phát thải NO_x và CO₂.

2. NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG

2.1. Động cơ và nhiên liệu nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel R180. Đây là động cơ diesel 4 kỳ, 1 xy lanh nằm ngang, không tăng áp. Động cơ sử dụng buồng cháy thống nhất, hệ thống nhiên liệu kiểu cơ khí truyền thống. Các thông số cơ bản của động cơ R180 được trình bày trong bảng 1 [4].

Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ R180

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Đường kính xi lanh	mm	80
2	Hành trình piston	mm	80
3	Số xi lanh	-	1
4	Suất tiêu hao nhiên liệu	g/kWh	279
5	Thể tích công tác	lít	0,402
6	Công suất định mức tại 2600 vòng/phút	kW	5,17
7	Tỷ số nén	-	20
8	Góc mở sớm xupáp nạp	độ	18°
9	Góc đóng muộn xupáp nạp	độ	41°
10	Góc mở sớm xupáp thải	độ	48°
11	Góc đóng muộn xupáp thải	độ	15°
12	Góc phun sớm nhiên liệu	độ	22°

Một số tính chất cơ bản của amoniac và diesel được trình bày trên bảng 2.

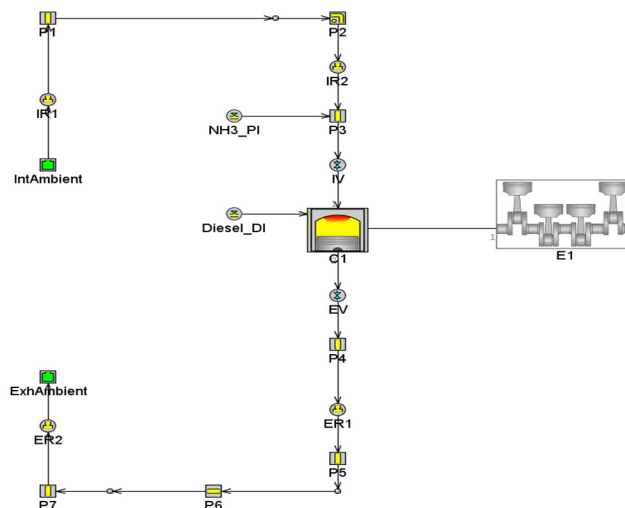
Bảng 2. Một số tính chất cơ bản của amoniac và diesel [5]

Tính chất	Đơn vị	Amoniacc	Diesel
Trạng thái lưu trữ		Lỏng	Lỏng
Nhiệt độ lưu trữ	°C	25	25
Áp suất lưu trữ	kPa	1030	101,3

Mật độ nhiên liệu (1bar, 25°C)	kg/m ³	0,718	849
Nhiệt trị thấp	MJ/kg	18,6	42,8
Nhiệt ẩn	kJ/kg	1370	232,4
Điểm sôi	°C	-33,34	282-338
Nhiệt độ tự bốc cháy	°C	657	254-285
Tốc độ lan truyền ngọn lửa	cm/s	7	86
Tỉ lệ không khí/nhiên liệu cân bằng hóa học		6,05	14,5
Nhiệt độ ngọn lửa đoạn nhiệt	°C	1800	2300

2.2. Mô hình mô phỏng

Mô hình mô phỏng động cơ diesel R180 được xây dựng trên cơ sở phần mềm GT-suite. Các thông số cơ bản được nhập vào mô hình như điều kiện biên, đường kính xi lanh, hành trình piston,... được lấy từ thông số của nhà sản xuất và tham khảo kết quả nghiên cứu thực nghiệm ở đặc tính ngoài với chế độ thuận diesel [6].



Hình 1. Mô hình mô phỏng động cơ nhiên liệu kép trên AVL Cruise M

IntAmbient, ExhAmbient - điều kiện biên; IR1, IR2, P1, P2, P3 - các phần tử đường ống nạp; ER1, ER2, P4, P5, P6, P7 - các phần tử đường ống xả; IV1 - xupap nạp; EX1 - xupap xả; C1 - xi lanh; E1 - kết cấu động cơ; Diesel_DI - vòi phun diesel; NH3_PI - vòi phun amoniacc

Khi động cơ làm việc ở chế độ nhiên liệu kép, để đảm bảo năng lượng cấp vào động cơ là tương đương chế độ thuận diesel, lượng nhiên liệu amoniacc thay thế và lượng nhiên liệu diesel cấp vào động cơ được tính toán theo công thức [7]:

$$m_{NH_3} = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{m_{D_{bd}} \cdot LHV_D}{LHV_{NH_3}} \quad (1)$$

$$m_{D_{cv}} = (1 - \alpha) \cdot m_{D_{bd}} \quad (2)$$

Trong đó, m_{NH₃}, m_{D_{cv}} và m_{D_{bd}} lần lượt là lượng nhiên liệu amoniacc thay thế, lượng nhiên liệu diesel cấp vào sau

khi thay thế một phần bằng amoniac và lượng nhiên liệu diesel ban đầu khi sử dụng ở chế độ thuần diesel; α là tỉ lệ phần trăm thay thế diesel bằng amoniac; LHV_D và LHV_{NH_3} là nhiệt trị thấp của diesel và amoniac.

Khi đó, suất tiêu hao năng lượng có ích BSEC (Brake Specific Energy Consumption) được xác định như sau:

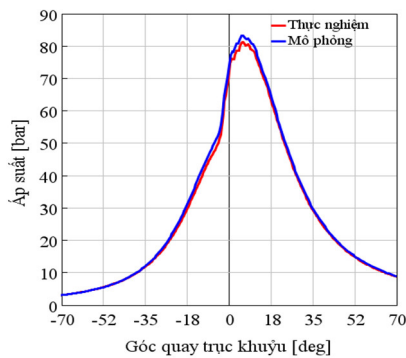
$$BSEC = \frac{\dot{m}_{D_{cv}} + \dot{m}_{NH_3} \cdot \frac{LHV_{NH_3}}{LHV_D}}{BP} \quad (3)$$

Với $\dot{m}_{D_{cv}}$ là lượng nhiên liệu diesel tiêu thụ (kg/h), \dot{m}_{NH_3} là lượng nhiên liệu ammonia tiêu thụ (kg/h) và BP (Brake Power) là công suất có ích của động cơ. Mô hình mô phỏng động cơ nhiên liệu kép được thể hiện trên hình 1. Các mô hình được lựa chọn trong mô hình mô phỏng: Mô hình cháy EngCombDIPulse, mô hình truyền nhiệt WoschniGT, mô hình ma sát Chen-Flynn.

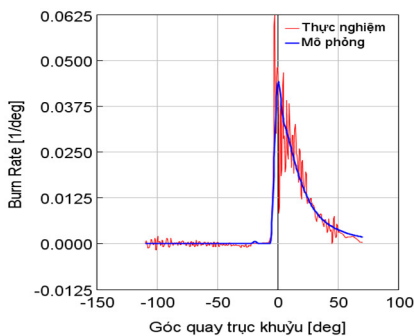
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

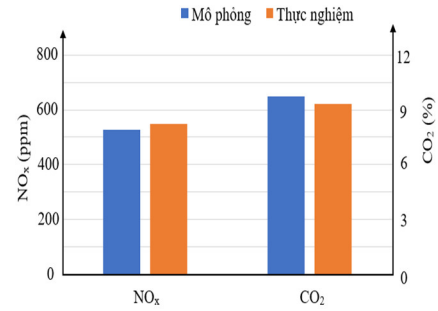
Mô hình mô phỏng được kiểm chứng ở chế độ thuần diesel tại tốc độ 2600 vòng/phút, khi chỉ thiết lập nhiên liệu cấp vào qua vòi phun Diesel_DI, còn lượng nhiên liệu qua vòi phun NH3_PI được thiết lập bằng 0. Từ kết quả mô phỏng ở hình 2 cho thấy diễn biến áp suất trong buồng đốt, tốc độ tỏa nhiệt và phát thải CO₂, NO_x bám sát nghiên cứu thực nghiệm được công bố trong bài báo [6]. Vì vậy, mô hình này có đủ độ chính xác và tin cậy để nghiên cứu động cơ ở chế độ nhiên liệu kép.



a)



b)



c)

Hình 2. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm

a) Diễn biến áp suất buồng đốt; b) Tốc độ tỏa nhiệt; c) Nồng độ phát thải NO_x, CO₂

3.2. Mô phỏng động cơ R180 ở chế độ nhiên liệu kép amoniac-diesel

Thực hiện mô phỏng động cơ diesel R180 ở chế độ nhiên liệu kép amoniac-diesel tại tốc độ 2600 vòng/phút với nhiên liệu diesel được phun trực tiếp vào xi lanh thông qua vòi phun Diesel_DI và amoniac phun trên đường nạp qua vòi phun NH3_PI với các tỉ lệ amoniac thay thế theo năng lượng từ 0 đến 80% được tính theo công thức (1) và (2) thể hiện trên bảng 3.

Bảng 3. Lượng nhiên liệu diesel và amoniac phun vào xy lanh trong một chu kỳ

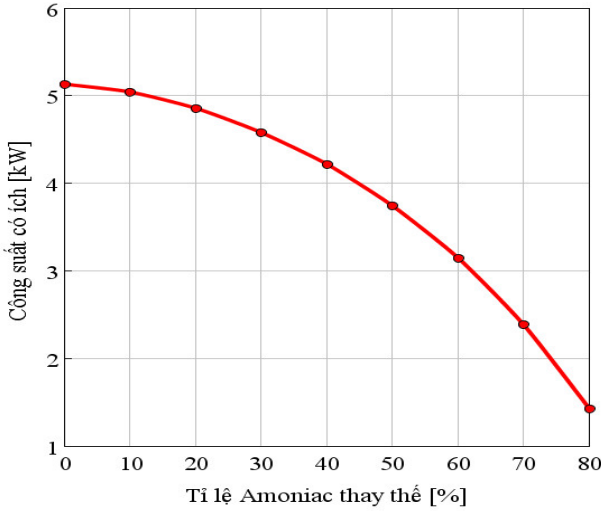
Tỉ lệ amoniac thay thế (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Diesel (mg/chu kỳ)	19,50	17,55	15,60	13,65	11,70	9,75	7,80	5,85	3,90
Amoniacc (mg/chu kỳ)	0	4,49	8,97	13,46	17,95	22,44	26,92	31,41	35,90

3.2.1. Ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới công suất

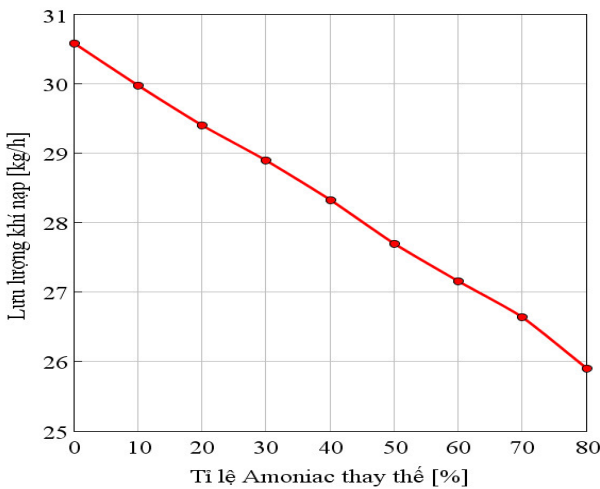
Kết quả tính toán công suất động cơ và lưu lượng không khí nạp khi thay thế diesel bằng amoniac với các tỉ lệ khác nhau được thể hiện như trên hình 3 và 4.

Từ đồ thị công suất có ích phụ thuộc vào tỉ lệ amoniac thay thế (hình 3) cho thấy khi tỉ lệ amoniac thay thế tăng dẫn tới công suất có ích giảm dần so với thuần diesel. Công suất có ích giảm 11% ở tỉ lệ thay thế amoniac 30%. Khi tiếp tục tăng tỉ lệ amoniac thay thế tới 80% thì công suất giảm 73% so với thuần diesel. Nguyên nhân có thể là do tốc độ cháy của amoniac chậm, dẫn tới cháy không hoàn toàn và do phun trên đường nạp của động cơ hút

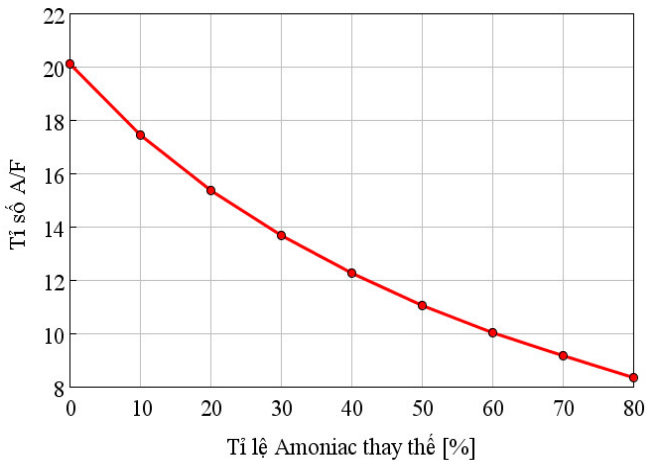
khí tự nhiên nên tỉ lệ thay thế lớn dẫn tới lượng không khí nạp vào xi lanh bị giảm đi (hình 4), đồng thời làm giảm lượng oxy để đốt cháy diesel và amoniac. Khi tỉ lệ thay thế trên 80% thì quá trình cháy trong xy lanh không diễn ra, động cơ không làm việc.



Hình 3. Ảnh hưởng của amoniac tới công suất



Hình 4. Lưu lượng không khí nạp



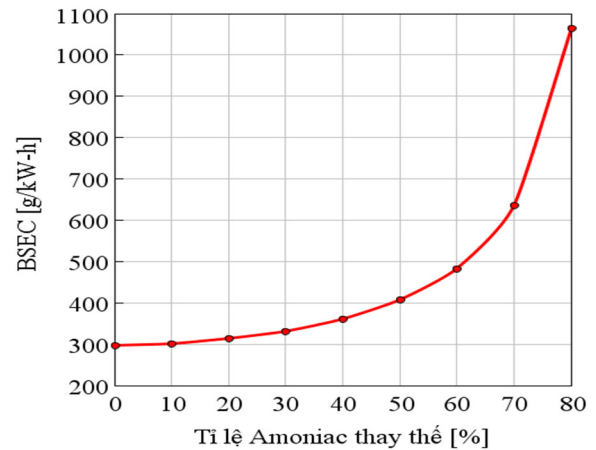
Hình 5. Ảnh hưởng của amoniac tới tỉ số A/F

Ngoài ra, việc phun amoniac trên đường nạp còn ảnh hưởng tới tỉ số không khí/nhiên liệu (tỉ số A/F) như thể hiện trên hình 5. Kết quả cho thấy tỉ số A/F có xu hướng giảm rõ rệt khi tăng tỉ lệ thay thế amoniac. Cụ thể, khi tỉ lệ amoniac thay thế tăng từ 0% lên 80%, tỉ số A/F giảm từ 20,1 xuống 8,3 (tương ứng với giảm 59%). Việc thay thế diesel bằng amoniac làm giảm lượng không khí nạp vào động cơ dẫn tới tỉ số A/F giảm và hỗn hợp trở nên giàu nhiên liệu, gây ra hiện tượng cháy không hoàn toàn và làm suy giảm công suất có ích.

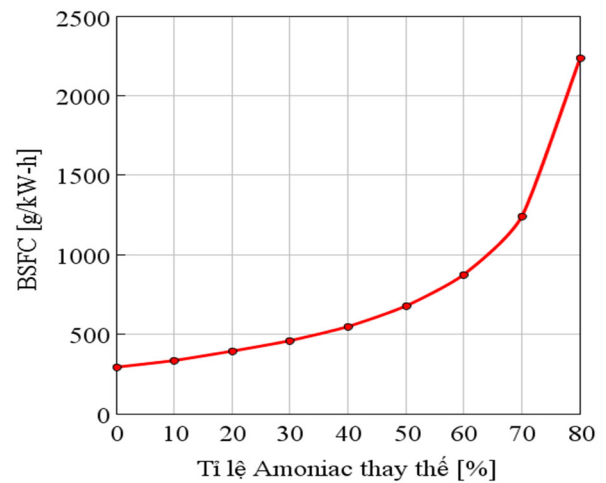
Kết quả trên hình 5 cũng cho thấy, khi sử dụng amoniac để thay thế cho diesel thì động cơ có thể làm việc với hỗn hợp môi chất công tác có tỷ số A/F rất nhỏ. Đây là lợi thế khi sử dụng amoniac làm nhiên liệu, nó cần ít không khí hơn để đốt cháy so với diesel.

3.2.2. Ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới suất tiêu hao năng lượng và suất tiêu hao nhiên liệu

Ảnh hưởng của amoniac tới suất tiêu hao năng lượng (BSEC) và suất tiêu hao nhiên liệu (BSFC) lần lượt được trình bày trên hình 6 và 7.



Hình 6. Ảnh hưởng của amoniac tới suất tiêu hao năng lượng

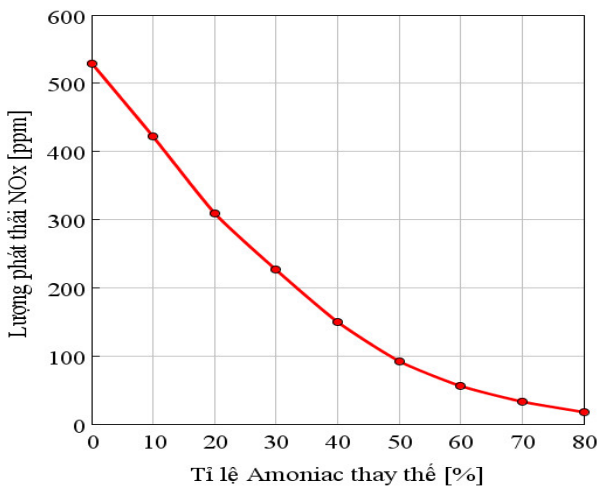


Hình 7. Ảnh hưởng của amoniac tới suất tiêu hao nhiên liệu

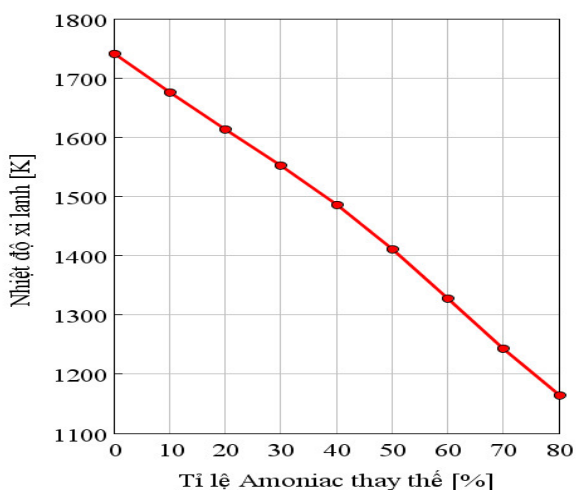
Kết quả cho thấy khi tăng tỉ lệ amoniac thay thế dẫn tới sự gia tăng đáng kể BSEC và BSFC. Từ đồ thị có thể thấy BSEC và BSFC thay đổi ít khi ở tỉ lệ amoniac thay thế dưới 30% và tăng nhanh khi tỉ lệ amoniac thay thế trên 30%, đặc biệt trong khoảng từ 70% đến 80% mức tăng nhanh chóng theo hướng phi tuyến. Sự gia tăng này chủ yếu do amoniac có nhiệt trị thấp và đặc tính cháy kém hơn so với nhiên liệu diesel, dẫn đến hiệu suất đốt cháy thấp hơn và yêu cầu lượng nhiên liệu lớn hơn để tạo ra cùng một đơn vị công suất có ích, hơn nữa công suất có ích giảm mạnh trên khoảng tỉ lệ thay thế này.

Như vậy, theo khía cạnh kinh tế - kỹ thuật thì để công suất động cơ không bị suy giảm và lượng tiêu thụ nhiên liệu không tăng quá nhiều, tỉ lệ thay thế của amoniac nên dưới 30%.

3.2.3. Ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới phát thải NO_x



Hình 8. Ảnh hưởng của amoniac tới phát thải NO_x



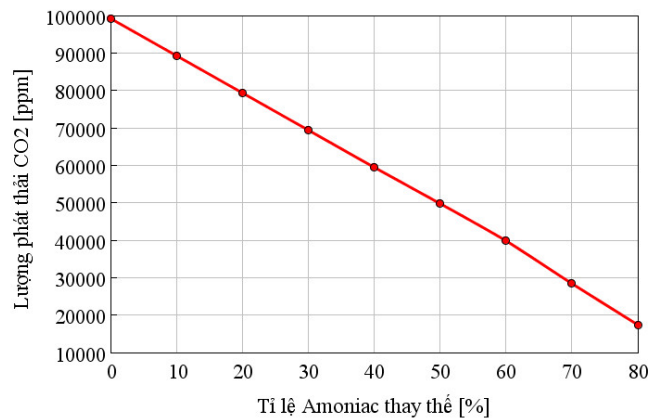
Hình 9. Nhiệt độ lớn nhất trong xi lanh

Ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới phát thải NO_x được thể hiện như trên hình 8. Từ đồ thị trên hình 8 cho

thấy lượng phát thải NO_x giảm nhanh khi tỉ lệ amoniac thay thế tới 40 - 50% và tốc độ giảm NO_x chậm lại khi tiếp tục tăng lượng amoniac thay thế tới trên 50%. Sự hình thành NO_x phụ thuộc vào nhiệt độ của khí cháy trong xi lanh, nồng độ oxy và thời gian phản ứng hóa học. Từ đồ thị nhiệt độ lớn nhất trong xi lanh (hình 9) có thể thấy nhiệt độ lớn nhất trong xi lanh giảm nhanh khi tăng tỉ lệ amoniac thay thế là do nhiệt trị thấp và nhiệt độ ngọn lửa đoạn nhiệt của amoniac thấp hơn nhiều so với diesel. Hơn nữa, amoniac có tính khử NO_x, tác dụng tương tự như phun Ure (thành phần chính trong dung dịch AdBlue/DEF) vào bộ khử xúc tác chọn lọc SCR.

3.2.4 Ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới phát thải CO₂

Ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới phát thải CO₂ được thể hiện như trên hình 10.



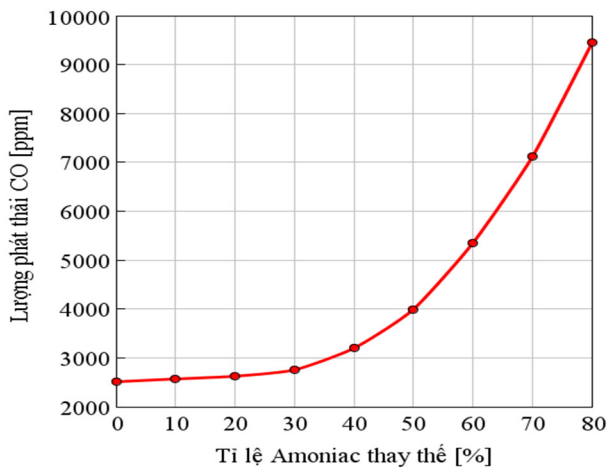
Hình 10. Ảnh hưởng của amoniac tới phát thải CO₂

Từ đồ thị trên hình 10 cho thấy, hàm lượng phát thải CO₂ ở động cơ nhiên liệu kép giảm tuyến tính theo tỉ lệ amoniac thay thế. Cụ thể, khi tỉ lệ amoniac thay thế tăng từ 0% lên 80%, hàm lượng CO₂ giảm mạnh từ 99.235ppm xuống 17.219ppm. Xu hướng này hoàn toàn hợp lý vì diesel được thay thế bởi nhiên liệu không chứa cacbon, do đó không tạo ra CO₂ trong quá trình cháy của amoniac thuần túy. Kết quả này thể hiện một trong những ưu điểm lớn nhất của amoniac là giảm phát thải CO₂.

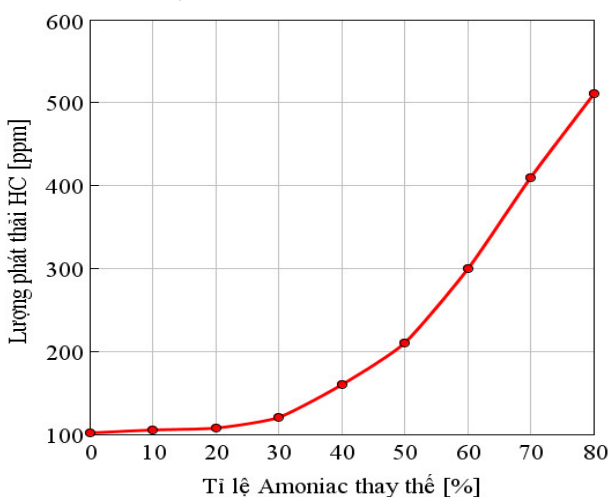
3.2.5. Ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới phát thải CO và HC

Ảnh hưởng của tỉ lệ thay thế amoniac tới phát thải CO và HC lần lượt được thể hiện trên hình 11 và 12. Kết quả mô phỏng cho thấy khi tăng tỉ lệ thay thế amoniac dẫn tới phát thải CO và HC đều tăng. Ở mức amoniac thay thế thấp dưới 30%, CO và HC chỉ tăng nhẹ do nhiệt độ cháy và lượng diesel mỗi vẫn đủ để duy trì quá trình oxy hóa hoàn toàn nhiên liệu. Tuy nhiên, khi tỉ lệ thay thế amoniac trên 30% thì phát thải CO và HC tăng nhanh do nhiệt độ

cháy giảm và tốc độ cháy chậm, dẫn đến hình thành các vùng hỗn hợp cục bộ chưa cháy. Ngoài ra, amoniac được phun trên đường nạp chiếm chỗ không khí nạp, làm giảm nồng độ oxy đi vào xi lanh khiến quá trình oxy hóa CO và HC kém hiệu quả hơn.



Hình 11. Ảnh hưởng của amoniác tới phát thải CO



Hình 12. Ảnh hưởng của amoniác tới phát thải HC

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng thành công mô hình mô phỏng động cơ R180 sử dụng nhiên liệu kép amoniác-diesel bằng phần mềm GT-suite đảm bảo độ tin cậy và chính xác.

Trong nghiên cứu này đã trình bày kết quả mô phỏng ảnh hưởng của tỉ lệ amoniác thay thế từ 0 đến 80% cho động cơ R180 ở chế độ tốc độ 2600 vòng/phút, 100% tải. Kết quả cho thấy rằng:

- Khi tăng tỉ lệ amoniác thay thế, công suất có ích giảm nhẹ khi thay thế amoniác dưới 30% và giảm mạnh khi thay thế trên 50%; suất tiêu hao năng lượng, suất tiêu hao nhiên liệu có ích tăng nhẹ khi amoniác thay thế dưới 30% và tăng mạnh khi tiếp tục tăng tỉ lệ amoniác thay thế.

- Khi tăng tỉ lệ amoniác thay thế, phát thải NOx giảm mạnh khi tỉ lệ thay thế amoniác đến dưới 50%, mức độ giảm NOx chậm lại khi tỉ lệ thay thế trên 50%. Mức độ suy giảm của CO₂ gần như tuyến tính theo tỉ lệ thay thế của amoniác. Phát thải CO và HC tăng nhẹ khi tỉ lệ amoniác thay thế dưới 30%, nhưng tăng nhanh khi tỉ lệ thay thế trên 30%.

Từ kết quả mô phỏng cho thấy tuy công suất động cơ giảm khi tăng tỉ lệ amoniác thay thế nhưng bù lại phát thải NOx và CO₂ giảm đáng kể đáp ứng phần nào giảm phát thải khí nhà kính hướng tới mục tiêu "net-zero". Do vậy, amoniác hoàn toàn tiềm năng để sử dụng thay thế một phần diesel và nhằm đảm bảo cân bằng giữa hiệu suất vận hành với mục tiêu giảm phát thải, nhóm tác giả đề xuất tỉ lệ amoniác thay thế dưới 30% cho động cơ diesel hút khí tự nhiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Elsa D., Nick F., Rachael W. R., *Reducing new mining for electric vehicle battery metals: responsible sourcing through demand reduction strategies and recycling*. Report prepared for Earthworks by the Institute for Sustainable Futures. University of Technology Sydney, Sydney, 2021.
- [2]. Serrano J., Novella R., Piqueras P., "Why the Development of Internal Combustion Engines Is Still Necessary to Fight against Global Climate Change from the Perspective of Transportation," *Applied Sciences*, 9, 21, 2019.
- [3]. Appl M., *Ammonia: Principles and Industrial Practice*. New York: Wiley-VCH, 2007.
- [4]. Trịnh Xuân Phong, *Nghiên cứu giảm phát thải độc hại của động cơ diesel đang lưu hành bằng phương pháp luân hồi khí thải kết hợp bổ sung khí hydro*. Luận án tiến sĩ, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2022.
- [5]. Zhu J., Zhou D., Yang W., Qian Y., Mao Y., Lu X., "Investigation on the potential of using carbon-free ammonia in large two-stroke marine engines by dual-fuel combustion strategy," *Energy*, 263, 2023.
- [6]. Vũ Văn Phong, Lương Đình Thi, "Đánh giá tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ diesel R180 sử dụng nhiên liệu Biodiesel bằng phần mềm GT-suite," *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật*, 71-81, 2023
- [7]. Nguyễn Tất Tiến, *Nguyên lý động cơ đốt trong*. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 2003.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Van Hung¹, Luong Dinh Thi², Vu Duc Manh²

¹Postgraduate Student Management System, Military Technical Academy, Vietnam

²Institute of Vehicle and Energy Engineering, Military Technical Academy, Vietnam