



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM SỬ DỤNG KHÍ THIÊN NHIÊN NÉN (CNG) TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL HIỆN HÀNH

Hoàng Đình Long^{1*}, Nguyễn Viết Thanh², Nguyễn Duy Tiến², Phạm Minh Tuấn³

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm sử dụng khí thiên nhiên nén (CNG) trên động cơ diesel 1 xi lanh Kubota SKD80 theo nguyên lý cung cấp lượng nhiên liệu CNG-diesel cho động cơ. Động cơ được trang bị thêm hệ thống phun CNG vào đường nạp điều khiển bằng điện tử kết hợp điều khiển cả góc xoay pit tổng bơm nhiên liệu diesel cao áp cho phép lập trình điều chỉnh đồng thời cả lượng phun CNG và diesel. Kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ CNG thay thế lớn nhất ở chế độ toàn tải đảm bảo không xảy ra kích nổ có thể đạt tới 55%-60%. Công suất động cơ vẫn được đảm bảo so với động cơ nguyên thủy trong khi suất tiêu thụ nhiên liệu giảm trên 4%, hệ số dư lượng không khí lamda ở toàn tải giảm xuống nhỏ nhất là 1,17 so với 1,22 ở động cơ nguyên thủy. Phát thải NO_x giảm trên 50%, độ khói giảm hơn 10 lần, CO₂ giảm trên 10% trong khi hàm lượng phát thải CO và HC tăng nhưng mức phát thải vẫn thấp hơn nhiều so với động cơ xăng. Kết quả nghiên cứu đã khẳng định việc sử dụng lượng nhiên liệu CNG-diesel trên động cơ diesel là giải pháp hữu hiệu để tiết kiệm nhiên liệu và giảm phát thải NO_x và khói bụi.

Từ khóa: Động cơ lưỡng nhiên liệu CNG-diesel; giảm phát thải; nhiên liệu thay thế.

Experimental study on using compressed natural gas(CNG) in current diesel engines

Abstract: This paper presents the results of experimental study of using compressed natural gas (CNG) combined with diesel fuel as CNG-diesel dual-fuel in a Kubota SKD80 single-cylinder diesel engine. The engine is equipped with an electronically controlled CNG fuel injection system that also control the injection rate of diesel fuel. The study results show that the maximum proportion of CNG in the dual-fuel that ensures engine to operate normally can be reached 55%-60%. The engine output is maintained as the original one while brake specific fuel consumption decreases by over 4%, lambda factor decreases to 1.17 from 1.22 for the original diesel engine. Concentration of NO_x emission decreases by over 50%, smoke decreases over 10 times, CO₂ decreases by over 10%. Concentrations of CO and HC emissions increase but are still lower than those in gasoline engine. The results affirmed that using CNG-diesel dual-fuel in diesel engine is an effective solution for reducing fuel consumption and emissions of NO_x and smoke in diesel engine.

Keywords: CNG-diesel dual fuel engine; emission control; alternative fuel.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 7/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 7, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Hiện nay, sự gia tăng nhanh chóng về số lượng và công suất của các phương tiện vận tải và thiết bị động lực sử dụng động cơ diesel đang gây nguy cơ cạn kiệt nhanh nguồn nhiên liệu diesel truyền thống và gây ô nhiễm môi trường trầm trọng, đặc biệt là ô nhiễm do NO_x và khói bụi là các thành phần ô nhiễm rất khó xử lý [1]. Chính vì vậy, việc nghiên cứu sử dụng nhiên liệu thay thế có hàm lượng phát thải độc hại thấp trên các động cơ này để bù đắp một phần nhiên liệu diesel bị thiếu hụt và giảm ô nhiễm môi trường là rất cần thiết. Trong số các loại nhiên liệu có thể sử dụng làm nhiên liệu thay thế trên động cơ diesel thì khí thiên nhiên nén (CNG) với thành phần chủ yếu là methane (CH₄) có thể được coi là một nhiên liệu thay thế tiềm năng, vì sản phẩm cháy của nó có thành phần độc hại thấp và Việt Nam chúng ta có trữ lượng nhiên liệu này khá lớn, sản lượng khai thác và sử dụng cũng đang ngày một tăng nhanh [2-4].

Vì nhiên liệu CNG có số xê tan thấp không thích hợp để tự cháy nên động cơ diesel có thể được chuyển sang sử dụng CNG theo một trong hai cách là đánh lửa cưỡng bức hoặc sử dụng diesel phun môi.

¹PGS.TS, Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

²ThS, Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

³GS.TS, Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

*Tác giả chính. E-mail: long.hoangdingh@hust.edu.vn.

Cách thứ nhất được thực hiện bằng cách thay đổi kết cấu động cơ bằng việc giảm bớt tỷ số nén, bỏ hệ thống phun nhiên liệu diesel, trang bị thêm hệ thống cung cấp CNG và hệ thống đánh lửa để sử dụng CNG như trong động cơ xăng đánh lửa cưỡng bức. Tuy nhiên, cách này phức tạp và chi phí lớn nên không phù hợp với đại đa số người sử dụng. Cách thứ hai là sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG-diesel trên động cơ. Theo cách này, động cơ chỉ cần trang bị thêm hệ thống cung cấp CNG vào đường nạp và điều chỉnh giảm lượng cấp diesel so với nguyên bản [3,5,6]. Phương pháp sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG-diesel không làm thay đổi nhiều về kết cấu động cơ, do đó chi phí chuyển đổi thấp trong khi vẫn tận dụng được tỷ số nén cao của động cơ để tăng hiệu suất, đồng thời có thể quay lại sử dụng chỉ nhiên liệu diesel nếu cần bằng cách giảm lượng cấp CNG đến 0 và tăng cung cấp nhiên liệu diesel trở lại.

Đã có một số công trình nghiên cứu sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG-diesel trên động cơ diesel. Kết quả nghiên cứu của Lounici et al [3] và Shahoo et al [6] cho thấy đây là phương pháp kiểm soát rất hiệu quả phát thải soot và NO_x của động cơ. Thêm nữa, ở hầu hết các chế độ làm việc, hiệu suất có ích của động cơ CNG-diesel cao hơn so với động cơ diesel, trong khi giá nhiên liệu CNG lại rẻ hơn, nên tính kinh tế nhiên liệu của động cơ CNG-diesel cao hơn đáng kể so với động cơ sử dụng đơn nhiên liệu diesel. Tuy nhiên, đặc tính làm việc và phát thải của động cơ phụ thuộc rất nhiều vào chế độ làm việc của động cơ. Ở tải nhỏ, hiệu suất của động cơ CNG-diesel thấp hơn của động cơ diesel trong khi phát thải CO và HC lại cao hơn, đặc biệt là khi tỷ lệ CNG thay thế cao [7,8]. Cho nên, để có thể sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG-diesel một cách hiệu quả, cần nghiên cứu xác định các thông số điều chỉnh hợp lý cho động cơ. Ở Việt Nam, hiện chưa có nghiên cứu thực nghiệm nào sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG-diesel. Có một số nghiên cứu sử dụng lưỡng nhiên liệu LPG-diesel tương tự động cơ lưỡng nhiên liệu CNG-diesel đã cho thấy công suất động cơ không giảm trong khi suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải khói bụi giảm đáng kể [9], mặc dù LPG có chỉ số ốc tan thấp hơn CNG. Chính vì vậy, việc nghiên cứu sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG-diesel trên động cơ diesel có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao.

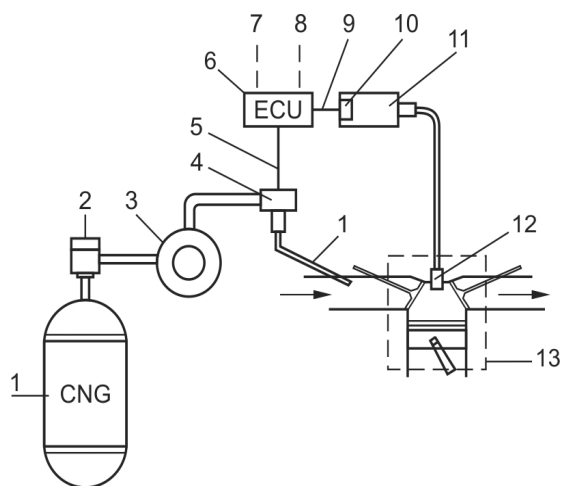
Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG-diesel trên động cơ Kubota-SKD80 là động cơ diesel 1 xi lanh sử dụng trong nông nghiệp. Kết quả nghiên cứu sẽ làm cơ sở cho việc mở rộng sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG-diesel trên các động cơ diesel đang sử dụng nói chung.



2. Thiết kế trang bị hệ thống cung cấp nhiên liệu CNG-diesel cho động cơ diesel

Động cơ nghiên cứu sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG diesel là động cơ diesel 1 xi lanh Kubota SKD80 có dung tích 0,465 lít, S/D=84/84 (mm), công suất định mức 5,15 kW (7 ml) ở 2200 v/p, mô men lớn nhất đạt 26,5 Nm ở 1800 v/p, vùng tốc độ làm việc 1500-2200 v/p. Động cơ sử dụng bơm nhiên liệu cao áp kiểu bơm Bosch cùng bộ điều tốc cơ khí đa chế.

Chế độ làm việc của động cơ diesel được kiểm soát theo tốc độ và tải dựa vào việc điều chỉnh lượng nhiên liệu cung cấp cho mỗi chu trình. Bộ điều tốc sẽ điều chỉnh tăng lượng nhiên liệu cung cấp khi động cơ giảm tốc (do sức cản tăng) và giảm nhiên liệu khi tăng tốc (do sức cản giảm), nhờ đó giúp động cơ chạy ổn định, tránh trường hợp vượt tốc. Nếu để nguyên bộ điều tốc cơ khí của động cơ thì khi cấp CNG vào buồng cháy, nó trở thành một phần nhiên liệu cung cấp cho quá trình sinh công, làm cho tốc độ động cơ tăng lên. Khi đó, bộ điều tốc sẽ giảm lượng diesel, giảm đến khi lượng diesel phun mỗi còn lại không đủ đốt cháy CNG, động cơ sẽ mất ổn định. Chờ cho tốc độ động cơ giảm xuống, lượng diesel tăng lại, tiếp tục quá trình cháy và sinh công. Vì vậy, nếu không cải tiến hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel động cơ sẽ hoạt động không ổn định, không kiểm soát được lượng



Hình 1. Sơ đồ hệ thống cung cấp CNG-diesel trên động cơ

1. Bình CNG; 2. Van điện từ; 3. Van giảm áp;
4. Vòi phun CNG; 5. Dây tín hiệu điều khiển lượng phun CNG; 6. Bộ điều khiển điện tử (ECU);
7. Tín hiệu từ cảm biến tay ga; 8. Tín hiệu từ cảm biến tốc độ động cơ; 9. Dây tín hiệu điều khiển phun CNG;
10. Motor bước điều chỉnh lượng phun diesel;
11. Bơm nhiên liệu diesel cao áp; 12. Vòi phun diesel;
13. Động cơ CNG-diesel

diesel cung cấp. Giải pháp thực hiện trong nghiên cứu này là thiết kế trang bị thêm hệ thống phun CNG vào đường nạp điều khiển bằng điện tử. Bộ điều khiển phun (ECU) sẽ thực hiện điều khiển cả lượng phun CNG và lượng phun diesel theo chế độ tải của động cơ (sức cản của máy công tác) và vị trí tay điều khiển (xác định tốc độ). Giải pháp cải tiến đối với hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel là sử dụng một motor bước lắp đặt thay thế cho bộ điều tốc cơ khí để điều chỉnh lượng cấp nhiên liệu diesel. Motor bước được lập trình để dẫn động xoay pít tông bơm cao áp để thay đổi lượng cấp nhiên liệu diesel cùng với việc điều chỉnh lượng cấp CNG khi tốc độ thay đổi để đảm bảo động cơ làm việc ổn định.

Sơ đồ động cơ thí nghiệm với hệ thống cung cấp nhiên liệu CNG-diesel được thể hiện trên Hình 1. Khi động cơ làm việc, nhiên liệu CNG từ bình chứa 1 được cấp qua van điện tử 2 đến van giảm áp 3, tại đây áp suất khí CNG được điều chỉnh giảm đến áp suất ổn định 3kg/cm², nhiên liệu khí ở áp suất này đi tiếp đến không gian tích áp của vòi phun 4. ECU 6 điều khiển đóng mở vòi phun 4 một lần trên một chu kỳ làm việc của động cơ với độ dài thời gian mở tùy thuộc vào vị trí tay ga và tốc độ động cơ. Đồng thời, ECU cũng cấp tín hiệu điều khiển đến motor bước 10 để điều chỉnh góc xoay pít tông bơm cao áp 11 để điều chỉnh lượng nhiên liệu diesel cấp chu trình cho động cơ qua vòi phun diesel 12 đảm bảo tỷ lệ CNG/diesel theo lập trình phù hợp với chế độ làm việc của động cơ. ECU cho phép kết nối với máy tính để lập trình xác định độ dài thời gian mở vòi phun CNG và góc xoay của pít tông xi lanh bơm nhiên liệu diesel cao áp theo vị trí tay ga và đặc điểm thay đổi tốc độ và tải của động cơ.

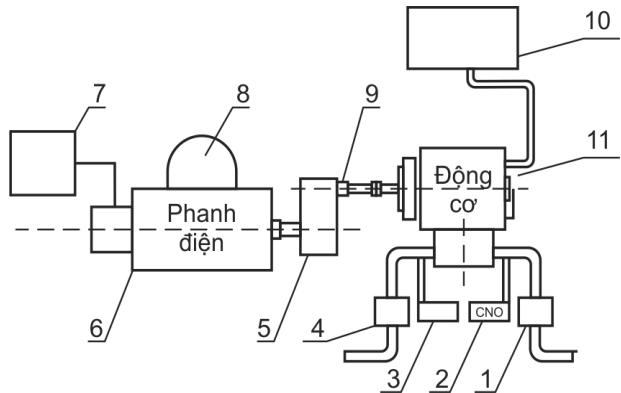
3. Thực nghiệm đánh giá tính năng kinh tế kỹ thuật và phát thải của động cơ sử dụng CNG-diesel

3.1 Quy trình thử nghiệm

Việc thử nghiệm động cơ được thực hiện trên hệ thống băng thử dùng phanh điện (Hình 2). Hệ thống băng thử gồm các bộ phận chính như: Động cơ thí nghiệm, cụm phanh điện và đồng hồ đo lực phanh, hộp giảm tốc, hệ thống đo tiêu hao nhiên liệu diesel, hệ thống phân tích khí xả động cơ, hệ thống cung cấp khí CNG cho động cơ, hệ thống đo lưu lượng khí nạp, hệ thống các cảm biến. Việc đo mô men được thực hiện qua cân lực giữ stator của phanh. Trước tiên, cần đo đặc tính ngoài của động cơ nguyên thủy để xác định công suất và mô men ở toàn tải. Sau đó lắp hệ thống cung cấp CNG, tháo bỏ điều tốc cơ khí và lắp motor bước và bộ điều khiển điện tử ECU lên động cơ và kết nối ECU với máy tính để có thể điều chỉnh thay đổi lượng cấp CNG và diesel theo yêu cầu. Tiếp theo, tiến hành thí nghiệm động cơ với đơn nhiên liệu diesel với ECU điều chỉnh lượng cấp diesel thay cho bộ điều tốc cơ khí để xác định trị số góc xoay pít tông bơm cao áp ở chế độ không tải và toàn tải ở các tốc độ của động cơ sao cho công suất ở toàn tải phù hợp với số liệu của đường đặc tính ngoài vừa xác định. Việc đo tiêu hao nhiên liệu diesel được thực hiện bằng phương pháp cân bình đo trên cân điện tử có độ chính xác 0,001 gram. Việc đo lượng tiêu thụ CNG và tỷ lệ CNG thay thế được thực hiện bằng cách điều chỉnh giảm lượng cấp diesel và điều chỉnh cấp CNG bù vào phần diesel bị cắt giảm sao cho mô men động cơ không thay đổi ở chế độ tải và tốc độ thí nghiệm. Khi đó, lượng tiêu thụ CNG được xác định gần đúng như sau (1):

$$\text{Lượng tiêu thụ CNG} = \text{Lượng giảm diesel} \times \frac{\text{Nhiệt trị diesel}}{\text{Nhiệt trị CNG}} \quad (1)$$

Tỷ lệ CNG thay thế ở chế độ thí nghiệm khi đó được xác định chính bằng tỷ lệ giảm lượng cấp diesel khi sử dụng CNG-diesel so với khi sử dụng đơn nhiên liệu diesel. Tiếp theo, cần thí nghiệm xác định tỷ lệ CNG thay thế cao nhất không xảy ra kích nổ ở chế độ toàn tải. Việc này được thực hiện bằng cách vận hành động cơ ở chế độ toàn tải với nhiên liệu diesel, sau đó điều chỉnh giảm dần lượng cấp diesel và tăng dần lượng cấp CNG sao cho mô men không đổi cho đến khi xuất hiện kích nổ qua nghe tiếng gõ kim loại trong động cơ. Sau đó, ta điều chỉnh giảm tỷ lệ CNG đi một chút để vừa hết kích nổ, ghi nhớ trị số góc xoay pít tông bơm cao áp và độ dài thời gian phun CNG để phục vụ lập trình ECU.



Hình 2. Sơ đồ băng thử phục vụ thí nghiệm:

1. Đường nạp của động cơ; 2. Hệ thống cấp CNG;
3. Thiết bị phân tích khí thải; 4. Đường thải của động cơ;
5. Hộp giảm tốc; 6. Phanh điện; 7. Cơ cấu điều chỉnh tải;
8. Cân đo mô men; 9. Cảm biến tốc độ;
10. Thùng nhiên liệu diesel; 11. Cảm biến vị trí tay ga.

Theo nghiên cứu của một số tác giả [7,10], động cơ CNG-diesel có hàm lượng phát thải HC lớn hơn nhiều so với động cơ sử dụng đơn nhiên liệu diesel. Ở chế độ tải càng nhỏ thì phát thải HC càng lớn và đặc biệt là ở tải nhỏ khi tăng tỷ lệ CNG thay thế lên trên 50% thì hàm lượng phát thải HC có thể tăng lên trên 4000ppm. Do đó, để phát thải HC không quá lớn thì tỷ lệ CNG thay thế ở các chế độ tải nhỏ không nên quá 50% mặc dù ở tải nhỏ tỷ lệ CNG có thể đến 70% mà vẫn chưa xuất hiện kích nổ và ở không tải thì chỉ nên vận hành chỉ với đơn nhiên liệu diesel. Như vậy, tỷ lệ CNG thay thế có thể được lập trình đảm bảo đặc tính làm việc như sau: (1) Ở chế độ không tải, tỷ lệ CNG thay thế bằng 0, tức là sử dụng chỉ đơn nhiên liệu diesel; (2) Ở toàn tải, tỷ lệ CNG thay thế là tỷ lệ CNG lớn nhất cho phép về mặt kích nổ; (3) Ở các chế độ khác, tỷ lệ CNG tăng dần từ 0 ở không tải đến tỷ lệ cực đại cho phép ở toàn tải.

Việc đo phát thải CO, CO₂, HC và NO_x được thực hiện nhờ sử dụng thiết bị phân tích khí Disgas -4000 và Heshbon HG-520 với độ chính xác đo CO là 0,01%, CO₂-0,1%, HC-1ppm. Độ khói được phân tích nhờ thiết bị phân tích độ khói Heshbon HD-410 cho trị số đọc từ 0,0% đến 100,0% độ chính xác 1%. Hệ số dư lượng không khí lamda được đo bằng thiết bị cảm biến lamda chuyên dụng với dải đo rộng. Việc đo lưu lượng khí nạp được thực hiện bằng tám tiết lưu.

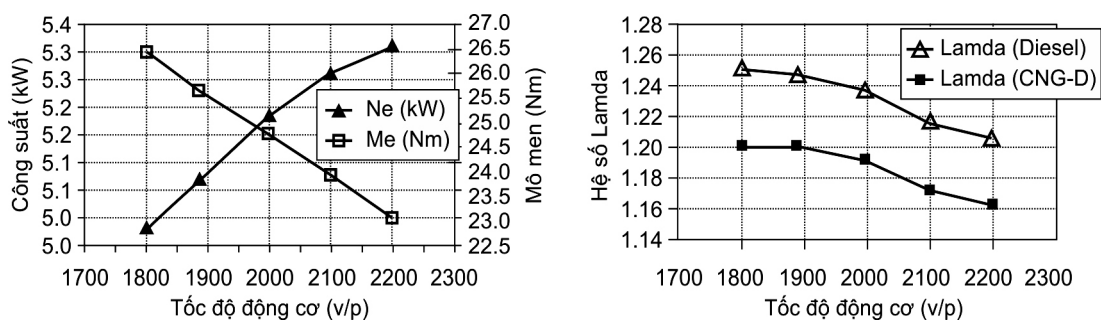
3.2 Kết quả thực nghiệm

Kết quả thí nghiệm đo các thông số đánh giá tính năng kinh tế kỹ thuật và phát thải của động cơ được trình bày trên các đồ thị Hình 3 đến Hình 8. Các đồ thị Hình 3 thể hiện đặc tính ngoài và hệ số λ của động cơ CNG-diesel. Động cơ CNG-diesel được điều chỉnh nhiên liệu CNG-diesel cấp vào để duy trì công suất và mô men động cơ không đổi so với đường đặc tính ngoài của động cơ diesel nguyên thủy. Khi đó hệ số lamda ở 2200v/p bị giảm đến giá trị nhỏ nhất là 1,17 vẫn đảm bảo đủ không khí để động cơ làm việc không có khói đen.

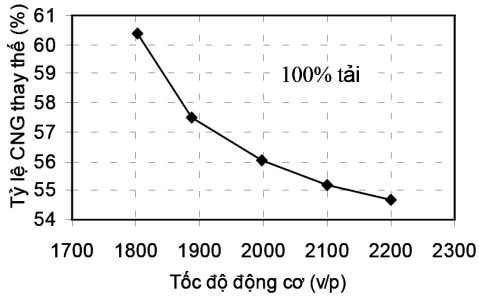
Tỷ lệ CNG thay thế ở đặc tính ngoài và đặc tính tải ở các tốc độ 1800-2200v/p được chỉ ra trên các đồ thị Hình 4. Có thể thấy tỷ lệ CNG cực đại cho phép về mặt kích nổ đạt đến hơn 60% ở 1800v/p và gần 55% ở tốc độ 2200v/p. Ở các chế độ tải nhỏ hơn, tỷ lệ CNG được điều chỉnh giảm để giảm phát thải HC [13]. Với các tỷ lệ CNG thay thế này, suất tiêu thụ nhiên liệu giảm trung bình đến 4% so với khi sử dụng đơn nhiên liệu diesel ở cùng chế độ tải và tốc độ như chỉ ra trên Hình 5. Sự giảm suất tiêu thụ nhiên liệu CNG-diesel là do nhiên liệu CNG có nhiệt trị cao hơn so với nhiên liệu diesel.

Kết quả thí nghiệm đánh giá đặc tính phát thải của động cơ khi sử dụng CNG-diesel ở các chế độ tải và tốc độ khác nhau được thể hiện trên các đồ thị trên Hình 6 đến Hình 8. Các đồ thị Hình 6 chỉ rõ phát thải NO_x và CO₂ của động cơ CNG-diesel đều giảm. Mức giảm NO_x đến đến 50% so với động cơ nguyên thủy sử dụng diesel trên toàn bộ phạm vi tải và tốc độ thí nghiệm. Điều này được giải thích là do nhiệt độ cháy của CNG thấp hơn của nhiên liệu diesel. Hàm lượng phát thải CO₂ giảm khoảng 10% do mức tiêu hao nhiên liệu CNG-diesel giảm và thêm nữa là hàm lượng thành phần các bon trong CNG thấp hơn nhiều so với trong nhiên liệu diesel. Độ khói giảm đến 10 lần (Hình 7) trên toàn bộ phạm vi tải và tốc độ thí nghiệm vì thực tế nhiên liệu khí tạo hỗn hợp đồng nhất trong lưỡng nhiên liệu này chiếm trên 50%.

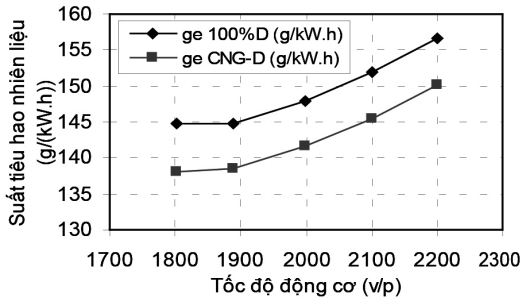
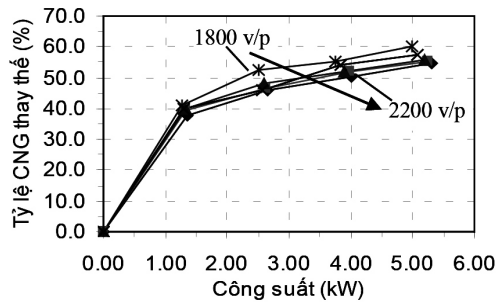
Phát thải CO và HC của động cơ CNG-diesel cao hơn so với động cơ diesel nguyên thủy (Hình 8) do CNG tạo hỗn hợp đồng nhất với không khí trong xi lanh nên sẽ bị hiệu ứng tắt màng lửa sát vách và ở các khe kẽ như trong các động cơ nạp hỗn hợp đồng nhất. Tuy nhiên, vì hàm lượng CNG trong hỗn hợp đồng nhất với không khí thấp hơn so với trong động cơ xăng đốt cháy cưỡng bức nên hàm lượng phát thải CO và HC vẫn thấp hơn.



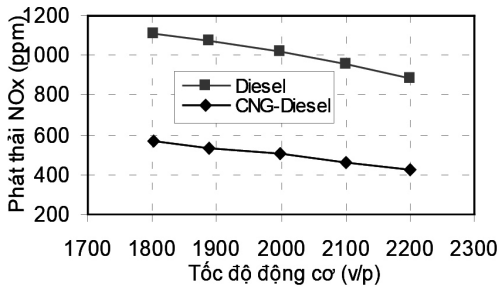
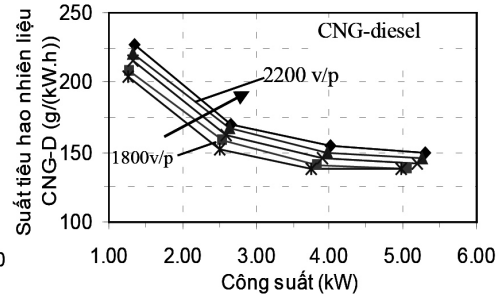
Hình 3. Đặc tính ngoài và hệ số λ của động cơ CNG-diesel



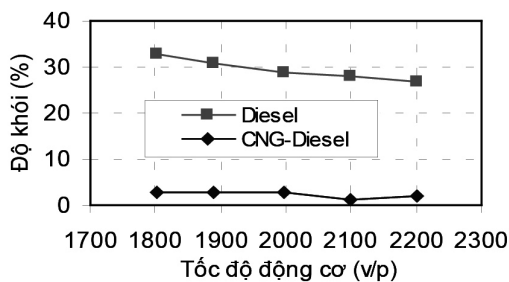
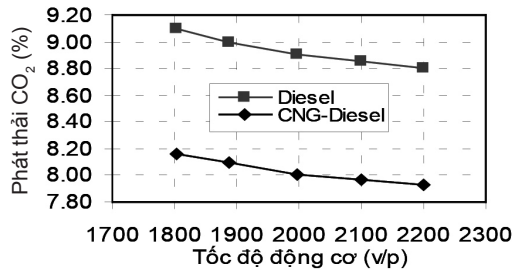
Hình 4. Tỷ lệ CNG thay thế ở các chế độ làm việc của động cơ



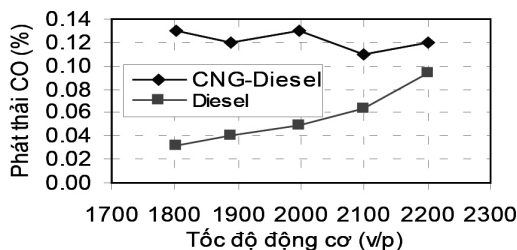
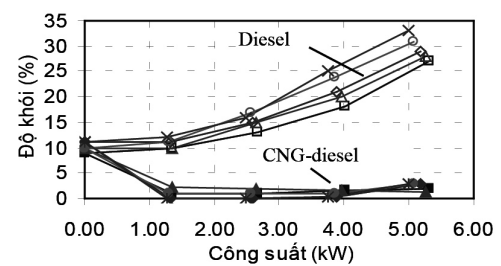
Hình 5. Suất tiêu thụ nhiên liệu ở các chế độ làm việc của động cơ



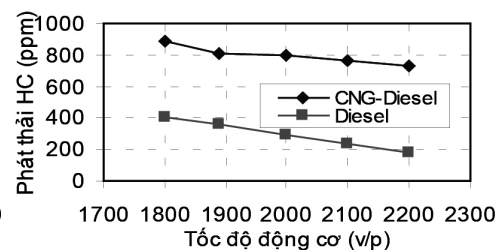
Hình 6. Hàm lượng phát thải NO_x và CO₂ ở đặc tính ngoài của động cơ



Hình 7. Độ ẩm ở các chế độ làm việc của động cơ



Hình 8. Phát thải CO và HC của động cơ CNG-diesel so với động cơ diesel





4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu trong bài báo, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Đã thiết kế trang bị thành công hệ thống phun CNG vào đường nạp kết hợp điều chỉnh lượng cấp nhiên liệu diesel để chuyển đổi động cơ diesel hiện hành sang sử dụng lượng nhiên liệu CNG-diesel với việc kiểm soát tỷ lệ CNG thay thế theo ý muốn và phù hợp với các chế độ làm việc của động cơ.

- Việc sử dụng lượng nhiên liệu CNG-diesel là giải pháp thích hợp cho việc sử dụng nhiên liệu CNG làm nhiên liệu thay thế trên động cơ diesel. Kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ CNG thay thế lớn nhất ở chế độ toàn tải đảm bảo không xảy ra kích nổ có thể đạt tới 55%-60%. Công suất động cơ vẫn được đảm bảo so với động cơ nguyên thủy trong khi suất tiêu thụ nhiên liệu giảm trên 4%, hệ số dư lượng không khí lamda ở toàn tải giảm xuống nhỏ nhất là 1,17 so với 1,22 ở động cơ nguyên thủy. Phát thải NO_x giảm trên 50%, độ khói giảm hơn 10 lần, CO₂ giảm trên 10% trong khi hàm lượng phát thải CO và HC tăng nhưng mức phát thải vẫn thấp hơn nhiều so với động cơ xăng.

- Có thể khẳng định rằng việc sử dụng lượng nhiên liệu CNG-diesel trên động cơ diesel là giải pháp hữu hiệu để tiết kiệm nhiên liệu và giảm phát thải NO_x và khói bụi.

Tài liệu tham khảo

1. Resitoglu I.A., et al. (2015), "The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems", *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17:15-27.
2. Bhandari K., et al (2005), "Performance and emissions of natural gas fuelled internal combustion engine: A review", *Journal of Scientific and Industrial Research*, 64:333-338.
3. Lounici et al (2014), "Towards improvement of natural gas-diesel dual fuel mode: An experimental investigation on performance and exhaust emissions", *Energy*, 64:200-211.
4. Finley M. (2013), "BP Statistical Review of World Energy", bp.com/statisticalreview.
5. Semin R. A, Ismail A.R. (2009), "Green Engines Development Using Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel: A Review", *American Journal of Environmental Sciences*, 5:371-381.
6. Sahoo B.B., Sahoo N., Saha U.K. (2009), "Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel engines - A critical review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:1151-1184.
7. Liu J., et al. (2013), "Effects of pilot fuel quantity on the emissions characteristics of a CNG/diesel dual fuel engine with optimized pilot injection timing", *Applied Energy*, 110:201-206.
8. Ryu K. (2013), "Effects of pilot injection timing on the combustion and emissions characteristics in a diesel engine using biodiesel-CNG dual fuel", *Applied Energy*, 111:721-730.
9. Nguyễn Tường Vi, Lê Anh Tuấn, Hoàng Đình Long, Nguyễn Thế Trực, Vũ Khắc Thiện (2011), "Nghiên cứu đặc tính của động cơ diesel một xi lanh khi sử dụng lượng nhiên liệu LPG/diesel", *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, (1):96-101.
10. Hoàng Đình Long (2016), "Nghiên cứu đặc điểm phát thải hydrocarbon của động cơ lưỡng nhiên liệu CNG-diesel bằng phương pháp mô hình hóa", *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, (9):87-92.