

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG HỆ THỐNG PHUN NHIÊN LIỆU CNG TỪ HỆ THỐNG PHUN XĂNG CHO ĐỘNG CƠ HONDA WAVE

RESEARCH USING THE CNG FUEL SYSTEM FROM THE PETROL FUEL SYSTEM FOR THE HONDA WAVE ENGINE

Nguyễn Thanh Tuấn^{1*}, Lê Minh Xuân², Nguyễn Trung Hiếu³,
Đoàn Phước Thọ¹, Nguyễn Phú Đông¹

¹Trường Đại học Nha Trang, Khánh Hòa, Việt Nam

²Trường Đại học Đông Á, Đà Nẵng, Việt Nam

³Trường Trung cấp nghề Ninh Hòa, Khánh Hòa, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 14/6/2021, ngày phản biện đánh giá 4/8/2021, ngày chấp nhận đăng 13/8/2021.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu động cơ xe máy Honda wave khi sử dụng khí CNG trên cơ sở của một hệ thống phun nhiên liệu xăng. Nhóm nghiên cứu đã tiến hành phân tích để đưa ra giải pháp sử dụng hai vòi phun cho phù hợp khi chuyển sang sử dụng nhiên liệu CNG. Thí nghiệm được tiến hành theo độ mở bướm ga và từ kết quả đo được có thể khẳng định động cơ khi sử dụng CNG có công suất và mô men giảm so với khi sử dụng xăng. Tuy nhiên việc sử dụng hệ thống cung cấp nhiên liệu CNG từ hệ thống phun xăng tiết kiệm được thời gian và chi phí thiết kế, chế tạo. Việc lắp đặt đơn giản, không cần can thiệp vào buồng đốt động cơ. Động cơ trên xe vận hành đảm bảo, ổn định và tin cậy.

Từ khóa: Động cơ wave; hệ thống phun nhiên liệu; CNG; xe máy wave; công suất và mô men.

ABSTRACT

The article presents research on Honda wave motorcycle engines using CNG gas based on a corresponding gasoline fuel injection system. In the study, we choose a solution using two nozzles suitable when switching to using CNG fuel. According to the throttle opening, the test results are conducted and can confirm that the engine, when using CNG, has reduced power and torque compared to gasoline. However, using a CNG fuel supply system from the fuel injection system saves time and cost of design and manufacture. The installation is simple, no need to interfere with the engine combustion chamber. As a result, the engine on the car operates reliably, stably, and reliably.

Keywords: Wave engine; fuel injection system; CNG; wave motorcycle; power and torque.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

CNG (Compressed Natural Gas) là khí thiên nhiên nén, thành phần chủ yếu là methane (CH₄) được lấy từ những mỏ khí thiên nhiên. Do không có benzene và hydrocarbon kèm theo, nên loại nhiên liệu này khi đốt không giải phóng nhiều khí độc như NO₂, CO, ... và hầu như không phát sinh bụi [1-9]. Trên thế giới, CNG được sử dụng nhiều để thay thế xăng do có nhiều lợi thế. CNG dễ phát tán, không tích tụ như hơi xăng

an toàn hơn các loại nhiên liệu khác trong trường hợp đổ tràn, vì khí tự nhiên nhẹ hơn không khí và phân tán nhanh chóng khi được giải phóng. Nếu CNG bị rò rỉ ra môi trường không khí, nguy cơ hỏa hoạn chưa bằng một nửa xăng dầu nên hạn chế nguy cơ cháy nổ. Chi phí nhiên liệu sẽ thấp hơn do giá bán của khí CNG thấp hơn các loại nhiên liệu đang sử dụng. Mặt khác làm giảm thải phát thải ra môi trường khói bụi, tro bay, các khí độc hại do khí CNG chứa đến 85% là CH₄. Khi đốt chỉ thải ra khí CO₂ và hơi nước do hiệu suất

đốt cao. Từ đó đáp ứng được các tiêu chuẩn về sức khỏe và an toàn môi trường theo các quy chuẩn hiện hành. CNG có thể được tìm thấy ở trên các mỏ dầu, hoặc có thể được thu gom từ các bãi chôn lấp hoặc các nhà máy xử lý nước thải [9-11]. Trong các nghiên cứu được các nhà khoa học trên thế giới thực hiện trong việc sử dụng CNG cho động cơ đốt trong kết quả cho thấy công suất động cơ sử dụng CNG giảm từ 10% đến 18,5% so với sử dụng xăng ở cùng chế độ tải và tốc độ do lượng khí nạp giảm đến 11% đến 14,5% [12,13] vì bị nhiên liệu khí chiếm chỗ và một nguyên nhân khác là chưa thay đổi góc đánh lửa sớm. Bởi vì khi giữ nguyên góc đánh lửa sớm, không điều chỉnh lại cho phù hợp với CNG thì tốc độ cháy của CNG chậm hơn so với xăng, điều này làm cho quá trình cháy không tối ưu.

Cụ thể hơn với từng loại hệ thống cung cấp nhiên liệu, khi sử dụng bộ hoà trộn. Kết quả cho thấy công suất của động cơ khi sử dụng CNG vào đường nạp thấp hơn so với khi sử dụng nhiên liệu xăng khoảng 20%, nhưng suất tiêu hao nhiên liệu cải thiện được 11%. Khi chuyển đổi động cơ từ sử dụng bộ hoà trộn sang sử dụng hệ thống phun khí trực tiếp, kết quả thử nghiệm cho thấy hiệu suất động cơ tăng lên khá nhiều, công suất của động cơ tăng tới 10% so với trường hợp sử dụng nhiên liệu xăng với cùng hệ số dư lượng không khí. Như vậy, có thể thấy phương pháp phun trực tiếp CNG sẽ khắc phục được nhược điểm làm giảm khí nạp của phương pháp cung cấp nhiên liệu trên đường nạp, nên cải thiện được công suất. Ngoài ra, phương pháp phun trực tiếp còn có thể tạo được hỗn hợp phân lớp, mở rộng được giới hạn cháy từ đó tăng được hiệu suất nhiệt của động cơ. Tuy nhiên, phương pháp phun trực tiếp tương đối phức tạp, tốn kém khi chuyển đổi động cơ đang sử dụng nhiên liệu xăng sang sử dụng CNG nên cũng ít được áp dụng.

Tại Việt Nam bước đầu đã có những nghiên cứu sử dụng khí CNG cho động cơ. Tuy nhiên việc ứng dụng là chưa nhiều, ngoại trừ việc sử dụng CNG cho đội xe buýt tại Thành phố Hồ Chí Minh. Nguyên nhân có rất nhiều nhưng giống như các loại nhiên liệu

thay thế khác, để chuyển đổi sang một loại nhiên liệu mới thay cho xăng dầu cần có sự hỗ trợ tốt của nhà nước, có cơ sở hạ tầng và giải quyết được bài toán kinh tế một cách rõ rệt. Trước khi có được các chính sách trên thì các nhà khoa học cần làm tốt các giải pháp kỹ thuật làm cơ sở cho quan trọng cho việc ứng dụng vào thực tế. Đối với sử dụng CNG cho xe gắn máy Phạm Tất Thắng, Nguyễn Xuân Tuấn [4], đã tính toán xác định các thông số cơ bản của hệ thống cung cấp nhiên liệu CNG thay thế xăng cho động cơ JA31E, đề xuất phương án cải tiến hệ thống cung cấp nhiên liệu của động cơ. Tính toán đánh giá các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của động cơ khi sử dụng nhiên liệu CNG bằng phần mềm AVL - Boost. Kết quả tính toán cho thấy công suất và mô men xoắn của động cơ đều giảm khoảng 7 ÷ 12% so với khi sử dụng nhiên liệu xăng. Động cơ JA31E dùng CNG vẫn đáp ứng đủ công suất cho xe sinh thái Urban Concept tham gia cuộc thi Shell Eco-Marathon và một số nghiên cứu khác mới chỉ tập trung vào phương pháp mô phỏng. Có thể thấy rằng việc nghiên cứu ứng dụng CNG cho xe máy tại Việt Nam là không nhiều, trong khi đó Việt Nam có thị trường xe máy đang đứng vị trí thứ 4 trên thế giới. Bằng chứng là hiện nay lượng xe máy đã đăng ký tính đến hết năm 2020 tại Việt Nam là khoảng 58 triệu chiếc và ngay cả khi ảnh hưởng của Covid 19 trong năm 2020 lượng xe máy được đăng ký mới có giảm nhưng cũng đạt 2,84 triệu lượt xe. Như vậy có thể nói việc nghiên cứu một loại khí như CNG cho xe máy là phù hợp và có tính khả thi tại Việt Nam.

Kế thừa kết quả nghiên cứu đã được các nhà khoa học công bố thì việc sử dụng hệ thống phun nhiên liệu CNG trên đường ống nạp là phù hợp trong tình hình hiện nay với nhiều lợi thế. Quan trọng nhất là không cần can thiệp vào động cơ, vì thực tế với động cơ Honda wave không thể còn vị trí nào có thể khoan và lắp đặt vòi phun trực tiếp vào buồng đốt. Trong đó hệ thống phun nhiên liệu được sử dụng từ hệ thống phun xăng điện tử có tính toán, điều chỉnh và lắp đặt cho phù hợp với khi sử dụng nhiên liệu CNG.

Bảng thông số kỹ thuật của động cơ được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ.

Động cơ Wave	Thông số
Loại động cơ	4 kỳ
Số xy lanh	Xy lanh đơn
Hệ thống nhiên liệu	Carburettor
Dung tích xy lanh	109.16 cc
Đường kính x Hành trình piston	50.0 x 55.6 mm
Hệ thống làm mát	Không khí
Công suất cực đại	5.2 kW
Mô men cực đại	8.54 Nm/5500 rpm
Suất tiêu hao nhiên liệu	≤ 360 (g/kW.h)
Tốc độ tối đa	7500 rpm
Hộp số	4 số

2. CƠ SỞ LỰA CHỌN VÒI PHUN CNG

Với mục tiêu của nghiên cứu là sử dụng hệ thống nhiên liệu CNG từ động cơ xe máy Wave. Chính vì vậy áp suất phun khí sử dụng CNG được điều chỉnh chính bằng áp suất phun nhiên liệu đối hệ thống phun xăng (3 bar), thời gian phun nhiên liệu CNG theo mặc định của ECU điều khiển của hệ thống của hệ thống phun xăng. Tuy nhiên có một điểm khác biệt là nếu sử dụng đúng hệ thống này thì lượng CNG sẽ cung cấp không đủ, động cơ không thể nổ máy. Hệ thống phun nhiên liệu cần được cải hoán lại bằng cách thay mới vòi phun khác để đảm bảo lưu lượng phun tương ứng khi chuyển sang sử dụng CNG. Cơ sở để lựa chọn vòi phun mới như sau:

Theo lý thuyết tỉ lệ không khí/nhiên liệu cân bằng của xăng A95 và CNG lần lượt là 14,7 và 17,3. Vậy khi động cơ Wave sử dụng xăng hay CNG thì mỗi chu trình cũng cần một lượng không khí tương đương được đưa vào buồng đốt. Để đốt cháy một lượng không khí tương đương đó tỉ lệ xăng/CNG sẽ là:

$$\frac{M_{\text{xăng}}}{M_{\text{CNG}}} = \frac{1/14,7}{1/17,3} = 1,18 \quad (1)$$

Từ công thức xác định lượng nhiên liệu qua tiết diện vòi phun (các lỗ kim phun).

$$M = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2\rho \cdot \Delta p} \quad (2)$$

Trong đó: M là khối lượng nhiên liệu, μ là hệ số dòng chảy, ρ là khối riêng của nhiên liệu, Δp độ chênh áp suất giữa áp suất phun và áp suất đường ống nạp.

Độ chênh áp giữa phun xăng và CNG là như nhau vì điều chỉnh áp suất phun khi sử dụng xăng và CNG như nhau, coi hệ số dòng chảy của xăng và CNG là bằng nhau. Vậy tỉ lệ khối lượng của xăng và CNG sẽ là:

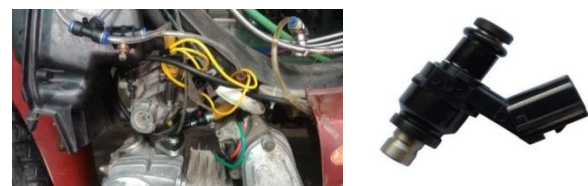
$$\begin{aligned} \frac{M_{\text{xăng}}}{M_{\text{CNG}}} &= \frac{\mu \cdot S_{\text{xăng}} \cdot \sqrt{2\rho_{\text{xăng}} \cdot \Delta p}}{\mu \cdot S_{\text{CNG}} \cdot \sqrt{2\rho_{\text{CNG}} \cdot \Delta p}} \\ &= \frac{S_{\text{xăng}} \cdot \sqrt{700}}{S_{\text{CNG}} \cdot \sqrt{180}} = 1,18 \cdot \frac{S_{\text{xăng}}}{S_{\text{CNG}}} \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó khối lượng riêng của xăng là 700 kg/m³, khối lượng riêng của CNG là 180 kg/m³ (tại nhiệt độ 25⁰C, được nén trong bình chứa) [14-16].

$$\text{Vậy } S_{\text{CNG}} = 3,3 S_{\text{xăng}}$$

Có nghĩa rằng để sử dụng nhiên liệu CNG bằng hệ thống phun xăng thì tiết diện lỗ phun cần phải tăng lên 3,3 lần.

Hiện tại đối với vòi phun trên hệ thống phun xăng xe máy wave, dùng trong nghiên cứu có 6 lỗ với lưu lượng qua các lỗ phun là 108cc/min, với tính toán ở trên khi sử dụng cho CNG cần thiết phải có vòi phun 20 lỗ với lưu lượng qua các lỗ vòi phun là 360cc/min. Tuy nhiên loại này không có trên thị trường. Trong nghiên cứu này phải thiết kế thêm một vòi phun và lựa chọn mỗi vòi phun 10 lỗ kim phun với lưu lượng 180cc/min. Việc lắp đặt vòi phun trên đường ống nạp của động cơ xe máy Honda Wave được thể hiện trong hình 1.



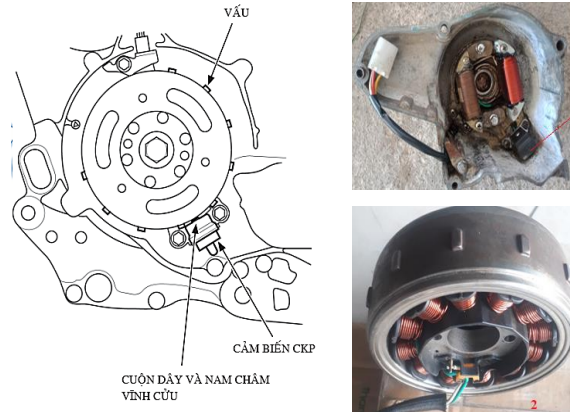
Hình 1. Hình ảnh thực tế 2 vòi phun CNG được lắp trên ống nạp (trái) và hình dạng vòi phun sử dụng (phải)

3. LỰA CHỌN VÀ ĐIỀU CHỈNH GÓC ĐÁNH LỬA SỚM

Vị trí góc đánh lửa sớm ảnh hưởng rõ rệt đến biến thiên áp suất chỉ thị và nhiệt độ trung bình của hỗn hợp trong buồng cháy. Khi tăng góc đánh lửa sớm, áp suất cực đại và nhiệt độ cực đại tăng theo và vị trí đạt các giá trị cực đại này càng dịch về vị trí điểm chết. Tuy nhiên công suất của động cơ không tăng tỉ lệ với áp suất hay nhiệt độ cực đại. Khi điểm cực đại của áp suất dịch về điểm chết trên, phần công âm do quá trình nén tăng vượt quá độ tăng phần công dương của quá trình giãn nở, do đó công suất của động cơ bị giảm. Hệ thống đánh lửa điều khiển điện tử đưa ra một chế độ đánh lửa lý tưởng phù hợp với mọi điều kiện hoạt động của xe, ECM xác định thời điểm đánh lửa dựa vào các tín hiệu từ các cảm biến. Trong bộ nhớ của ECM có lưu thời điểm đánh lửa cho từng điều kiện hoạt động của động cơ. Tuy nhiên yếu tố tác động chính đến thời điểm đánh lửa phụ thuộc phần lớn vào tốc độ quay của động cơ. Đối với xe máy Honda Wave góc đánh lửa sớm tối ưu nằm trong khoảng từ 10-30 độ trước điểm chết trên ứng với tốc độ động cơ nhỏ nhất đến lớn nhất [17,18]. Khi nghiên cứu về giá trị góc đánh lửa sớm tối ưu sử dụng nhiên liệu CNG. Các nghiên cứu đều chỉ ra rằng góc đánh lửa sớm cần tăng từ 5 – 15 độ [14,16-18]. Tại Việt Nam điển hình là công trình của nhóm tác giả Bùi Căn Ga và cộng sự đối với xe máy sử dụng Biogas có thành phần chính là CH_4 tương tự với CNG, đưa ra góc đánh lửa tối ưu tăng từ 6-10 độ so với xăng với tốc độ quay động cơ từ 3000 đến 6000 rpm [17]. Trong nghiên cứu của Nguyễn Thành Trung và cộng sự [16] đối với động cơ 4 xy lanh cũng đưa ra góc đánh lửa tối ưu tăng lên so với xăng từ 12 – 16 độ ứng với tốc độ quay nhỏ nhất tới lớn nhất. Khi động cơ CNG làm việc ở góc đánh lửa sớm tối ưu, công suất có ích tăng trung bình 11,65% trên toàn dải tốc độ.

Kế thừa các nghiên cứu trên với tốc độ quay của động cơ Honda Wave có thể điều chỉnh thời điểm đánh lửa cơ bản tăng lên 5 độ so với động cơ sử dụng nhiên liệu xăng [4,19,20], góc đánh lửa hiệu chỉnh phụ thuộc vào bộ đánh lửa đã được tích hợp sẵn trong

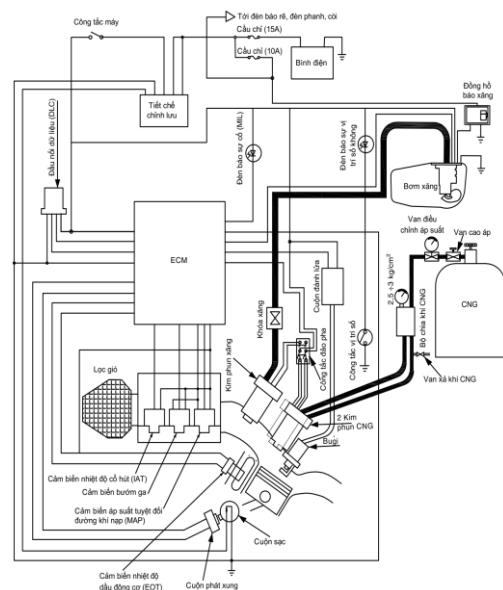
bộ nhớ ECM do hãng chế tạo sử dụng cho động cơ xăng. Việc điều chỉnh góc đánh lửa bằng cách điều chỉnh 9 vấu kích từ được đặt trên mâm lửa được miêu tả trong hình 2.



Hình 2. Vị trí lắp đặt cảm biến CKP trên lắp máy (hình bên trái) và hình ảnh thực tế (hai hình bên phải).

4. SƠ ĐỒ LẮP ĐẶT

Với các dữ liệu được tính toán nêu trên so sánh với các hệ thống phun nhiên liệu sẵn có trên thị trường chúng tôi thấy rằng việc sử dụng hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ là phù hợp. Tuy nhiên với điều kiện hiện tại khi sử dụng nhiên liệu phun xăng cho phun nhiên liệu CNG cần tăng thêm một vòi phun phụ và điều chỉnh áp suất phun CNG phù hợp theo các công thức đã tính ở trên. Sơ đồ bố trí lắp đặt thiết bị được thực hiện như trong hình 3.



Hình 3. Sơ đồ bố trí lắp đặt thiết bị

5. THÍ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

Sau khi lắp đặt hoàn chỉnh tiến hành chạy thử, bằng cảm quan có thể thấy rằng động cơ chạy CNG từ hệ thống phun xăng chạy ổn định, không cảm nhận thấy sự khác biệt khi chạy bằng xăng. Tuy nhiên để có dữ liệu đối sánh, chúng tôi đã tiến hành thí nghiệm đo thông số tính năng trên bộ thử để đánh giá.

Thí nghiệm được tiến hành trên bộ thử (hình 4) để so sánh công suất và mô men của động cơ khi chuyển sang sử dụng CNG so với sử dụng xăng. Thí nghiệm được tiến hành tại các chế độ mở bướm ga 0%, 25%, 50%, 75%, 100%.

Kết quả thí nghiệm đo công suất và mô men của động cơ được miêu tả trong bảng 2.



Hình 4. Xe máy được đưa lên bộ thử tại phòng thí nghiệm.

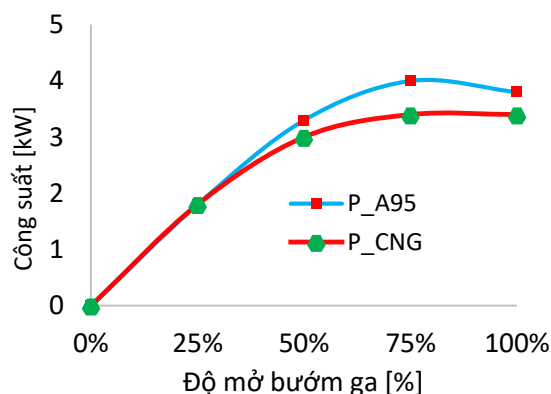
Bảng 2. Kết quả thí nghiệm.

Độ mở bướm ga	Xăng		CNG	
	Công suất [kW]	Mô men [Nm]	Công suất [kW]	Mô men [Nm]
0%	0	0	0	0
25%	1.8	4.7	1.8	4.5
50%	3.3	6.3	3	6
75%	4	6.3	3.4	5.9
100%	3.8	5.6	3.4	4.9

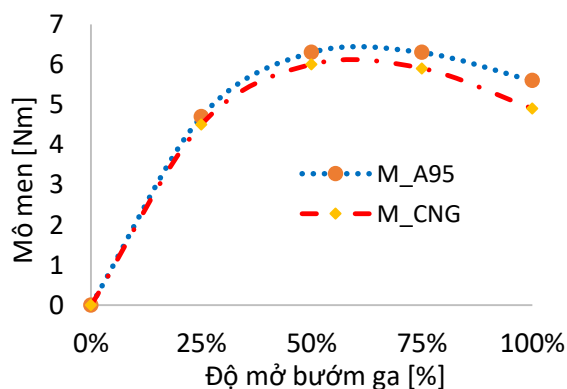
Hình 5 và 6 là kết quả thí nghiệm được thể hiện trên đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của công suất và mô men vào độ mở bướm ga. Đường công suất khi động cơ sử dụng CNG và xăng đều là đường cong tăng dần theo chiều tăng độ mở bướm ga. Hai đường công suất này có sự chênh lệch nhất định. Công suất động cơ đạt giá trị lớn nhất khi độ mở bướm

ga là 75% ứng với giá trị 4 kW khi động cơ chạy bằng xăng và 3.5kW khi động cơ chạy bằng CNG, sự giảm công suất đạt 12,5% khi chuyển đổi sang loại nhiên liệu CNG.

Đối với mômen xoắn của động cơ, hai đường cong thể hiện mô men trong hai trường hợp chạy xăng và CNG cũng có sự chênh lệch đáng kể. Mô men xoắn đạt giá trị cực đại tại độ mở bướm ga trong khoảng từ 50% - 75%, khi sử dụng xăng mô men lớn nhất khoảng 6,3 Nm, còn khi sử dụng CNG là 5,9 Nm giảm 6,3%. Ở sau khoảng mở bướm ga này thì mô men động cơ trong cả hai trường hợp nhiên liệu sử dụng đều có xu hướng giảm dần.



Hình 5. So sánh công suất của động cơ khi sử dụng xăng và CNG ở các chế độ mở bướm ga.



Hình 6. So sánh mô men của động cơ khi sử dụng xăng và CNG ở các chế độ mở bướm ga.

Có thể thấy rằng công suất và mô men của động cơ khí sử dụng hệ thống nhiên liệu CNG trong nghiên cứu này đều giảm so với khi động cơ sử dụng xăng. Nguyên nhân của sự giảm này có thể dẫn tới từ việc khối lượng riêng của CNG nhỏ so với xăng, với cùng một

động cơ thì thể tích xy lanh chỉ có thể chứa được 1 lượng hòa khí (xăng + không khí) và (CNG + không khí) là bằng nhau về thể tích. Chính vì vậy tính toán về khối lượng để phân khối lượng CNG thay thế bằng khối lượng xăng khi chuyển đổi sẽ dẫn đến lượng CNG này được phun vào buồng đốt sẽ chiếm một phần thể tích của không khí (thiếu không khí), đây là nguyên nhân chính dẫn đến sự giảm công suất và mô men khi sử dụng nhiên liệu CNG. Phân tích này cũng phù hợp khi ở chế độ mở bướm ga nhỏ sự chênh lệch không nhiều và khi chế độ mở bướm ga càng lớn thì sự chênh lệch công suất và mô men càng lớn. Thông thường ở chế độ bướm ga nhỏ hoặc tốc độ động cơ nhỏ nhiên liệu cần đậm hơn, khi tốc độ cao nhiên liệu sẽ loãng hơn (hệ số dư lượng không khí nhỏ hơn). Kết quả này cũng phù hợp với những công bố của các nhà khoa học trước đó khi nghiên cứu CNG thay cho xăng ở các loại động cơ khác nhau [6,8,12,21]. Tuy nhiên theo phân tích để cải thiện công suất có thể dùng thêm bộ tăng áp để đẩy không khí vào buồng đốt được nhiều hơn.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tính toán và lắp đặt hoàn chỉnh hệ thống cung cấp nhiên liệu CNG dựa trên hệ thống phun xăng của một động cơ tương tự có sẵn. Thí nghiệm có thể khẳng định việc sử dụng hệ thống cung cấp nhiên liệu CNG cho kết quả tương đối tin cậy. Công suất và mô men trung bình ở các chế độ thí nghiệm khi sử dụng CNG giảm lần lượt khoảng 8% và 6% so với khi động cơ sử dụng xăng. Tuy nhiên đây là giải pháp đơn giản, dễ lắp đặt và không cần can thiệp vào kết cấu động cơ. Việc triển khai ứng dụng CNG trên động cơ xe gắn máy Wave hoàn toàn có thể tiến hành được, giải pháp kỹ thuật đơn giản không mất nhiều chi phí và có tính ứng dụng cao. Tuy nhiên để hoàn thiện công suất và mô men của động cơ cũng cần các hướng nghiên cứu tiếp theo tập trung vào sử dụng tăng áp, lựa chọn góc đánh lửa sớm tối ưu, ...ngoài ra cũng cần có giải pháp hợp lý cho việc bố trí bình chứa CNG trên xe máy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyen Thanh Tuan, *Compressed natural gas (CNG) as an alternative fuel for internal combustion engine, problems and propose technical solutions for growth CNG vehicles in Vietnam*, XLI. International scientific conference of Czech and Slovak university departments and institutions dealing with the research of combustion engines, Czech Republic. ISBN 978-80-7372-632-4 (2010).
- [2] Nguyen Thanh Tuan, Le Ba Khang, Huynh Trong Chuong, *Effects of some injection parameters to emission pollution concentration, in the direct injection CNG into the internal combustion engine chamber*. Journal of Science and Technology of Fishery, No3. ISSN: 1859-2252 (2015).
- [3] Nguyen Phu Dong, Nguyen Thanh Tuan, *Research, Development and operation of Gas Engines in Viet Nam*, International Scientific Conference of Czech and Slovak Universities and Institutions Dealing with. Motor Vehicles and Internal Combustion Engines Research, KOKA 2019, ISBN 978-80-7509-668-5. Lednice Brono (2019)
- [4] Pham Tat Thang, Nguyen Xuan Tuan, *Using CNG fuel for JA31E engine to Urban concept vehicle participating in the shell eco-marathon*. Journal of Science and Technology. No special 2018.
- [5] Hassaneen A.E, et.al, *A study of the flame development and rapid burn durations in a lean-burn fuel injected natural gas SI engine*, SAE Paper 981384, (1998).
- [6] Nguyen Thanh Tuan, *Movement and vaporization of the single liquefied petroleum gas droplet after injection into the intake manifold*. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET), Volume 11, Issue 6, (2020), pp. 714-719, Doi: 10.34218/IJARET.11.6.2020.064. Scopus.

- [7] M. Pourkhesalian Ali, Amir H, Shamekhi, Farhad Salimi, *Alternative fuel and gasoline in an SI engine - A comparative study of performance and emissions characteristics*, Fuel 89, Issue 5, pp. 1056-1063, (2010).
- [8] Beroun Stanislav, Brabec Pavel, Dittrich Aleš, Dráb Ondřej, Nguyen Thanh Tuan, *Computational Modeling of the liquid LPG Injection into the suction Manifold of an SI Vehicle Engine*, Journal Applied Mechanics and Materials Vol. 390 (2013) pp 355-359.
- [9] Dong Nguyen Phu, Josef Laurin, Tuan Nguyen Thanh, *Combustion of Natural Gas in Engines for HeavyDuty Vehicles*, 51th International Scientific Conference of Czech and Slovak University Departments and Institutions Dealing with the Research of Internal Combustion Engines September 9th-10th, 2020 – CTU Prague, Czech Republic, (2020).
- [10] M.A. Kalam, H.H. Masjuki, *An experimental investigation of high performance natural gas engine with direct injection*, Energy, Volume 36, Issue 5, pp.3563-3571, (2011).
- [11] Musthafah Mohd, Tahir, *Performance analysis of a spark ignition engine using compressed natural gas (CNG) as fuel*, Energy procedia 68, pp. 355-362, (2015).
- [12] Nguyen Thanh Tuan, Nguyen Phu Dong, *Theoretical and experimental study of an injector of LPG liquid phase injection system*. Journal of Energy for Sustainable Development, 63, pp. 103-112, (2021).
- [13] Syed Kaleemuddin and G. Amba Prasad Rao, *Development of Dual Fuel Single Cylinder Natural Gas Engine an Analysis and Experimental Investigation for Performance and Emission*, American Journal of Applied Sciences 6 (5): 929-936, 2009, ISSN 1546-9239, (2009).
- [14] Nguyen Thanh Tuan, Nguyen Phu Dong, *Design and Installation of CNG Fuel System use Mixer for the Motorcycle SI Engine*. The Second International Conference on Material, Machines, and Methods for Sustainable Development (MMMS 2020), Nha Trang, Vietnam.
- [15] Varde K.S, Asar G.M.M, (2001), *Burn rates in natural-gas-fueled, single cylinder spark ignition engine*, SAE Paper 2001-28-0023.
- [16] 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 (2019).
- [17] Bùi Văn Ga, Trần Diễm, *So sánh đặc tính của động cơ 100cc khi chạy bằng xăng và bằng LPG với bộ phụ kiện DATECHCO-GA5*, Tạp chí GTVT, số 7, (2006).
- [18] Nguyen Thanh Tuan, Tran Viet Tien, *Performance and emission of a motorcycle engine with bi-fuel petrol or ethanol*, Workshop Světlanka, Rokytnice nad Jizerou. Czech Republic, (2011).
- [19] Nguyen Thanh Tuan, *Applicability and development LPG vehicles in Vietnam*. XLI. international scientific conference of czech and slovak university departments and institutions dealing with the research of combustion engines, Czech Republic, (2010).
- [20] Nguyen Thanh Tuan, Ho Duc Tuan, Nguyen Van Thuan, *Exhaust emission of motorcycles engines running on ethanol blended gasoline*, KOKA 2011 XLII. International scientific conference of Czech and Slovak university departments and institutions dealing with the research of combustion engines, Zilina, Slovakia, (2011).

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Nguyễn Thanh Tuấn

Trường Đại học Nha Trang

Email: nguyenthantuan@ntu.edu.vn