

## NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ TÍNH NĂNG LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ XĂNG Ô TÔ KHI CHUYỂN SANG SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU HYDRO

Hoàng Đình Long<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** *Đứng trước nguy cơ cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch và sự phát thải gây ô nhiễm môi trường trầm trọng của động cơ ô tô hiện hành, việc nghiên cứu sử dụng hydro làm nhiên liệu thay thế trên các động cơ này có ý khoa học và nghĩa thực tiễn cao. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng đánh giá tính kinh tế và tính hiệu quả của động cơ hydro được chuyển đổi từ động cơ xăng ô tô INZ-FE trên xe Toyota Vios. Động cơ không thay đổi kết cấu mà chỉ thay hệ thống phun xăng gián tiếp bằng hệ thống phun hydro vào đường ống nạp. Việc nghiên cứu đánh giá được thực hiện bằng cách so sánh áp suất chi thị trung bình của động cơ khi sử dụng hydro và khi sử dụng xăng ở chế độ toàn tải (bướm ga mở hoàn toàn) và so sánh hiệu suất nhiệt của động cơ ở cùng tốc độ và áp suất chi thị trung bình. Kết quả nghiên cứu cho thấy áp suất chi thị trung bình ở toàn tải của động cơ khi sử dụng hydro giảm 11% so với khi sử dụng xăng trong khi hiệu suất nhiệt tăng đáng kể. Ở cùng chế độ tốc độ và áp suất chi thị trung bình, hiệu suất nhiệt của động cơ hydro cao hơn hiệu suất nhiệt của động cơ xăng 3,9% về giá trị hiệu suất và lượng tăng tương đối là 8,8-11,5% giá trị hiệu suất động cơ nguyên thủy.*

**Từ khóa:** Động cơ hydro, đặc tính làm việc, mô hình hóa động cơ.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cùng với sự bùng nổ của nền kinh tế đất nước, động cơ đốt trong ngày càng phát triển và được sử dụng rộng rãi trên mọi lĩnh vực kinh tế, xã hội. Hiện nay, sự tăng trưởng mạnh về số lượng động cơ và ô tô sử dụng nhiên liệu hóa thạch xăng và diesel đang làm cho vấn đề ô nhiễm môi trường từ khí thải động cơ trở nên trầm trọng và làm cạn kiệt nhanh nguồn nhiên liệu này. Biện pháp hiệu quả trước mắt để khắc phục các vấn đề này là nghiên cứu sử dụng nhiên liệu thay thế có mức phát thải độc hại thấp trên các động cơ ô tô hiện hành. Trong các loại nhiên liệu thay thế, hydro (H<sub>2</sub>) là nguồn nhiên liệu có thể tái tạo, có thể được sản xuất từ nguồn nước vô tận nên được xem là nhiên liệu tiềm năng cho động cơ đốt trong (Ghazi, 2003). H<sub>2</sub> khi phản ứng với ô xy tạo ra sản phẩm sạch, chỉ có nước nên không gây ô nhiễm môi trường và không gây hiệu ứng nhà kính như khi sử dụng các loại nhiên liệu hóa thạch. Thêm nữa, theo Pourkhesalian et al (2010), nhiên liệu H<sub>2</sub> có đặc điểm cháy nhanh, trị số ốc tan cao, chống kích nổ tốt nên rất thích hợp với động cơ đánh lửa

cường bức và do đó dễ dàng được sử dụng làm nhiên liệu thay thế trên các động cơ xăng hiện hành.

Để có thể chuyển đổi động cơ ô tô hiện hành sang sử dụng nhiên liệu hydro cần phải nghiên cứu đánh giá sự thay đổi về đặc tính làm việc của động cơ để có thể chọn phương án thiết kế chuyển đổi hợp lý. Đối với việc nghiên cứu sử dụng các loại nhiên liệu thay thế khác, đã có nhiều công trình nghiên cứu đánh giá khả năng thích ứng với nhiên liệu mới của động cơ như công trình nghiên cứu mô phỏng so sánh đặc tính làm việc và phát thải của động cơ khi sử dụng LPG và xăng (Bayraktar, 2008), so sánh đặc tính làm việc của động cơ sử dụng CNG và xăng (Mustafi et al, 2006), so sánh đặc tính làm việc và phát thải của động cơ sử dụng các loại nhiên liệu khí khác nhau (Escalante et al, 2010). Các kết quả nghiên cứu đã phân tích được đặc tính sử dụng và đưa ra các khuyến cáo về cách thức sử dụng các loại nhiên liệu thay thế được đề xuất trên các động cơ hiện hành. Bài báo này trình bày phương pháp xây dựng mô hình mô phỏng và kết quả nghiên cứu đánh giá tính kinh tế và tính hiệu quả của động cơ INZ-FE khi sử dụng hydro so với nguyên thủy sử dụng xăng. Kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở đánh giá

---

<sup>1</sup> Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

về phương diện kỹ thuật khả năng sử dụng hydro trên các động cơ hiện hành và giúp đề xuất sử dụng hiệu quả nhiên liệu H<sub>2</sub> trên động cơ ô tô.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN

Việc nghiên cứu được thực hiện bằng phương pháp mô hình hóa động cơ hydro trên cơ sở động cơ phun xăng gián tiếp INZ-FE đang lắp trên xe Toyota Vios. Các thông số cơ bản của động cơ được chỉ ra

trên Bảng 1. Động cơ không thay đổi gì về kết cấu mà chỉ thay việc cấp xăng vào đường nạp bằng việc cấp hydro vào đường nạp. Mô hình tính toán mô phỏng được xây dựng dựa theo phương pháp của Ferguson (1986) sử dụng các phương trình bảo toàn khối lượng và năng lượng của khí thể trong xi lanh tại mỗi thời điểm góc quay của trục khuỷu. Dạng vi phân của các phương trình này như sau:

$$\frac{dm}{d\theta} = \sum_j \frac{dm_j}{d\theta} \quad (1)$$

$$m \frac{du}{d\theta} + u \frac{dm}{d\theta} = \frac{dQ}{d\theta} - p \frac{dV}{d\theta} + \sum_j h_j \frac{dm_j}{d\theta} \quad (2)$$

Trong đó, m là khối lượng của môi chất (khí thể) trong xi lanh; u – Nội năng riêng; p - Áp suất khí thể; m<sub>j</sub> - Khối lượng khí nạp, khí thải và khí rò lọt; h<sub>j</sub> - Entanpi của khí nạp, khí thải và khí rò lọt; Q - Nhiệt trao đổi với thành buồng cháy; V - Thể tích xi lanh; θ-góc quay trục khuỷu.

Sử dụng mô hình cháy Vibe (Ferguson, 1986), mô hình truyền nhiệt của khí thể với vách buồng cháy của Woschni (1967) và biến đổi các phương trình trên sẽ rút ra được một hệ phương trình vi phân cấp I mô tả sự thay đổi áp suất, nhiệt độ, sự sinh công theo góc quay trục khuỷu:

$$\frac{dp}{d\theta} = \frac{A + B + C}{D + E} \quad (3)$$

$$\frac{dT_u}{d\theta} = - \frac{h_{m,u} \sum_{j=h,p,l} A_{uj} (T_u - T_{w,j})}{\omega m c_{p,u} (1-x)} + \frac{v_u}{c_{p,u}} \frac{\partial \ln v_u}{\partial \ln T_u} \frac{dp}{d\theta} \quad (4)$$

$$\frac{dT_b}{d\theta} = - \frac{h_{m,b} \sum_{j=h,p,l} A_{bj} (T_b - T_{w,j})}{\omega m c_{p,b} x} - \frac{v_b}{c_{p,b}} \frac{\partial \ln v_b}{\partial \ln T_b} \frac{dp}{d\theta} + \frac{h_u - h_b}{x c_{p,b}} \left[ \frac{dx}{d\theta} - (x - x^2) \frac{C_l}{\omega} \right] \quad (5)$$

$$\frac{dW}{d\theta} = p \frac{dV}{d\theta} \quad (6)$$

$$\frac{dQ}{d\theta} = - \frac{1}{\omega} h_u (1-x^{1/2}) \sum_{j=p,l,h} A_j (T_u - T_{w,j}) - \frac{1}{\omega} h_b x^{1/2} \sum_{j=p,l,h} A_j (T_b - T_{w,j}) \quad (7)$$

$$\frac{dH_l}{d\theta} = \frac{C_l m}{\omega} \left[ (1-x^2) h_u + x^2 h_b \right] \quad (8)$$

Trong đó:  $A = \frac{1}{m} \left( \frac{dV}{d\theta} + \frac{VC_l}{\omega} \right)$  (9)

$$B = \frac{h}{\omega m c_{p,b}} \frac{v_b}{\partial \ln T_b} \sum_{j=h,p,l} \frac{A_{bj} (T_b - T_{w,j})}{T_b} + \frac{h}{\omega m c_{p,u}} \frac{v_u}{\partial \ln T_u} \sum_{j=h,p,l} \frac{A_{uj} (T_u - T_{w,j})}{T_u} \quad (10)$$

$$C = - (v_b - v_u) \frac{dx}{d\theta} - v_b \frac{\partial \ln v_b}{\partial \ln T_b} \frac{h_u - h_b}{c_{p,b} T_b} \left[ \frac{dx}{d\theta} - \frac{(x - x^2) C_l}{\omega} \right] \quad (11)$$

$$D = x \left[ \frac{v_b^2}{c_{p,b} T_b} \left( \frac{\partial \ln v_b}{\partial \ln p} \right)^2 + \frac{v_b}{p} \frac{\partial \ln v_b}{\partial \ln p} \right]; E = (1-x) \left[ \frac{v_u^2}{c_{p,u} T_u} \left( \frac{\partial \ln v_u}{\partial \ln p} \right)^2 + \frac{v_u}{p} \frac{\partial \ln v_u}{\partial \ln p} \right] \quad (12)$$

Trong đó,  $v$ ,  $p$ ,  $T$  là thể tích riêng, áp suất, nhiệt độ của khí thể trong xi lanh; các chỉ số u-khí chưa cháy, b-khí đã cháy;  $\omega$ -tốc độ góc của trục khuỷu. Giải các phương trình vi phân (3) đến (8) kết hợp các điều kiện đầu, điều kiện biên, thông số kỹ thuật động cơ trên Bảng 1, thông số lý hóa của xăng và hydro (Ghazi, 2003) trên Bảng 2 bằng cách sử dụng

phương pháp Runge-Kutta và lập trình giải sử dụng ngôn ngữ FORTRAN ta sẽ xác định được  $P, T_u, T_b$  và các thông số suy diễn khác của chu trình theo góc quay của trục khuỷu. Từ đó, tính được các thông số làm việc của động cơ như áp suất chỉ thị trung bình  $p_i$  và hiệu suất nhiệt của động cơ.

**Bảng 1. Các thông số của động cơ 1NZ-FE**

Thông số	Trị số	Thông số	Trị số
Số xi lanh	4	Góc đóng muộn xp nạp (độ- sau điểm chết dưới)	52 → 12
Đường kính xi lanh/Hành trình pít tông (mm/mm)	75/84,7	Góc mở sớm xp thải (độ-trước điểm chết dưới)	34
Thể tích công tác 1 xl (lít)	0,374	Góc đóng muộn xp thải (độ-sau điểm chết trên)	2
Tỉ số nén	10,5:1	Công suất định mức (kW)	80
Góc mở sớm xp nạp (độ- trước điểm chết trên)	-7 → 33	Tốc độ định mức (v/p)	6000

**Bảng 2. Một số tính chất của xăng và hydro**

Nhiên liệu	Xăng	H <sub>2</sub>	Nhiên liệu	Xăng	H <sub>2</sub>
Khối lượng phân tử (kg/kmol)	114	2	Octan (RON)	90-100	130
Lượng không khí lý thuyết / 1 kg nhiên liệu (kg/kg)	14,7	34,7	Nhiệt trị (kJ/kg)	44.000	120.000
Nhiệt độ tự cháy (độ C)	650	858	Tốc độ cháy (m/s)	0,43	3,2-4,4

### 3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ PHÂN TÍCH

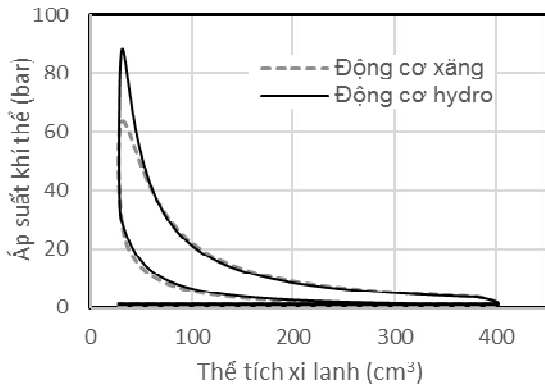
Để đánh giá tính kinh tế và tính hiệu quả của động cơ 1NZ-FE khi sử dụng hydro, có thể so sánh áp suất chỉ thị trung bình cực đại của động cơ hydro với áp suất chỉ thị trung bình cực đại của động cơ nguyên thủy sử dụng xăng và so sánh hiệu suất nhiệt của hai động cơ ở cùng tốc độ định mức của động cơ là 6000 v/p và cùng áp suất chỉ thị trung bình ở các chế độ tải với hệ số dư lượng không khí  $\lambda=1$  và góc đánh lửa sớm tối ưu. Mô hình mô phỏng được lập ở trên cho phép tính toán được tất cả các thông số của chu trình công tác của động cơ khi sử dụng xăng và khi sử dụng hydro, từ đó tính được áp suất chỉ thị trung bình và hiệu suất nhiệt của động cơ. Kết quả tính toán cho thấy, ở chế độ bướm ga mở hoàn toàn, góc đánh lửa sớm tối ưu của động cơ chạy hydro là 5 độ, nhỏ hơn 14 độ so với góc đánh lửa sớm tối ưu của động cơ chạy xăng do tốc độ cháy của hydro lớn hơn của xăng. Ở chế độ này, áp suất chỉ thị trung

bình của động cơ khi chạy xăng đạt được là 11,02 bar trong khi của động cơ hydro là 9,81 bar, thấp hơn 11% so với chạy xăng. Điều này hoàn toàn có thể giải thích được vì hydro nhẹ, có thể tích riêng lớn hơn rất nhiều so với xăng nên chiếm thể tích không khí của khí nạp lớn hơn.

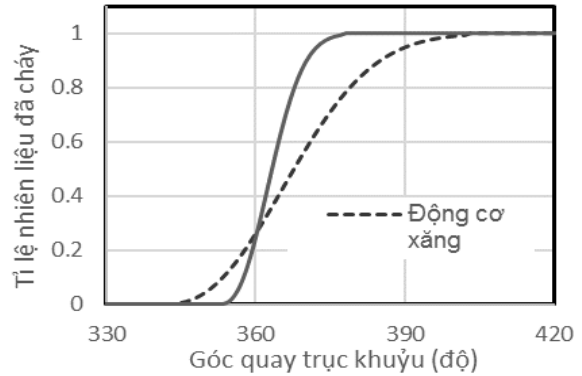
Kết quả tính toán các thông số chu trình động cơ ứng với 2 loại nhiên liệu ở cùng tốc độ và áp suất chỉ thị trung bình được chỉ ra trên các đồ thị Hình 1 đến Hình 8. Thời điểm đánh lửa được chọn tối ưu với từng loại nhiên liệu. Hình 1 so sánh đồ thị công và Hình 2 so sánh qui luật cháy của động cơ xăng và động cơ hydro ở tốc độ 6000v/p, áp suất chỉ thị  $p_i=9,81$  bar. Có thể thấy động cơ hydro có áp suất cực đại cao hơn so với động cơ xăng do tốc độ cháy nhanh hơn, thời gian cháy ngắn hơn. Góc đánh lửa sớm của động cơ hydro được điều chỉnh để thời điểm cháy xảy ra muộn hơn so với động cơ chạy xăng để đảm bảo quá

trình cháy tốt nhất. Áp suất khí thể của động cơ hydro giảm nhanh hơn ở thời kỳ giãn nở (đường áp suất của động cơ hydro nằm dưới đường áp

suất của động cơ xăng) vì ở giai đoạn này nhiệt độ khí thể của động cơ hydro thấp hơn so với động cơ xăng (Hình 3).



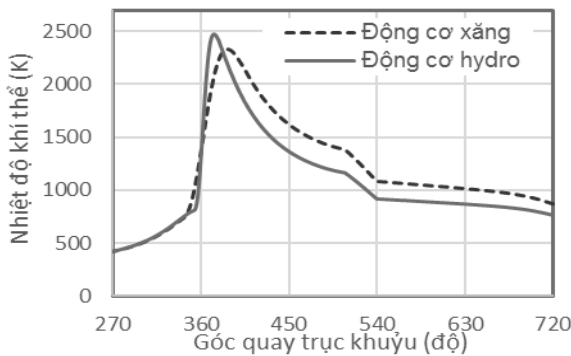
Hình 1. Đồ thị công của động cơ xăng và động cơ hydro ở tốc độ 6000v/p, áp suất chỉ thị  $p_i=9,81$  bar



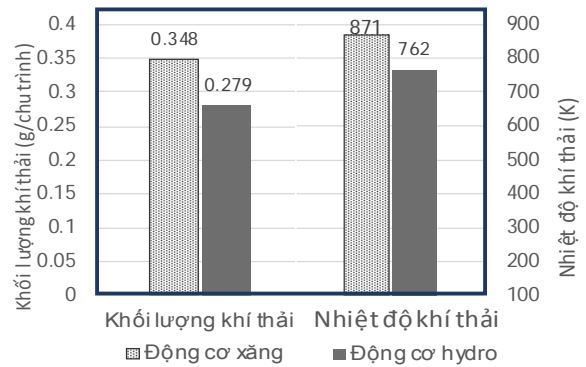
Hình 2. Qui luật cháy của động cơ xăng và động cơ hydro ở tốc độ 6000v/p, áp suất chỉ thị  $p_i=9,81$  bar

Hình 5 so sánh công, tổn thất nhiệt chu trình và Hình 6 so sánh tỉ lệ nhiệt có ích (hiệu suất nhiệt), tỉ

lệ nhiệt tổn thất của động cơ xăng và động cơ hydro ở tốc độ 6000v/p, áp suất chỉ thị  $p_i=9,81$  bar.



Hình 3. Nhiệt độ khí thể của động cơ xăng và động cơ hydro ở tốc độ 6000v/p, áp suất chỉ thị  $p_i=9,81$  bar



Hình 4. Khối lượng và nhiệt độ khí thải của động cơ xăng và động cơ hydro ở tốc độ 6000v/p, áp suất chỉ thị  $p_i=9,81$  bar

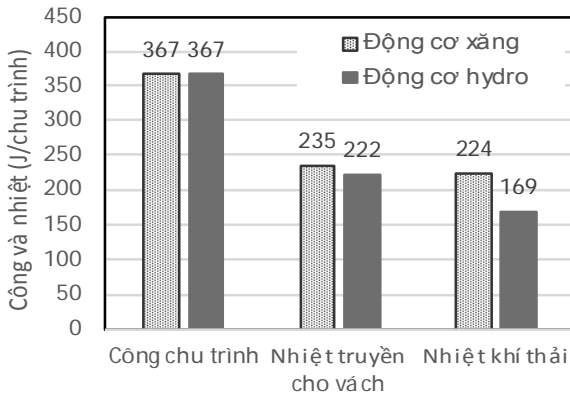
Rõ ràng rằng, với cùng công chu trình (Hình 5) thì nhiệt tổn thất cho vách buồng cháy và nhiệt tổn thất do khí thải mang đi của động cơ hydro đều nhỏ hơn của động cơ xăng. Điều này là vì nhiệt độ khí thể của động cơ hydro (Hình 3), nhiệt độ và khối lượng khí thải của động cơ hydro (Hình 4) đều nhỏ hơn các giá trị tương ứng của động cơ xăng. Chính vì vậy mà hiệu suất nhiệt của động cơ hydro (Hình 6) lớn hơn so với động cơ xăng (lớn hơn 3,9% về giá trị hiệu suất, còn nếu tính theo giá trị tăng tương đối thì là gần 9%).

Hình 7 so sánh nhiệt tổn thất do truyền nhiệt cho vách buồng cháy và do khí thải mang đi của động

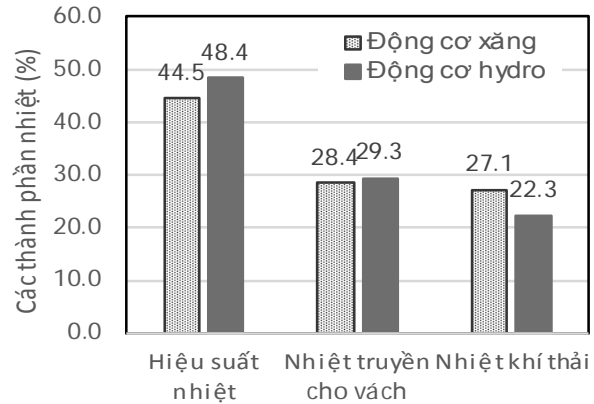
cơ xăng và động cơ hydro ở 6000v/p và các chế độ tải khác nhau. Có thể thấy rằng trên toàn bộ phạm vi tải (mỗi chế độ tải tương ứng một áp suất chỉ thị trung bình), nhiệt tổn thất do truyền nhiệt cho vách buồng cháy và nhiệt tổn thất do khí thải mang đi của động cơ hydro đều nhỏ hơn các số liệu tương ứng của động cơ xăng. Kết quả là tổng tổn thất nhiệt nhỏ hơn nên động cơ hydro có hiệu suất nhiệt cao hơn hiệu suất nhiệt của động cơ xăng ở cùng áp suất chỉ thị trung bình (Hình 8), tức là với cùng công suất thì động cơ hydro có hiệu suất nhiệt cao hơn, hay nói cách khác là động cơ hydro có tính kinh tế cao hơn động cơ xăng. Như vậy, khi chuyển

động cơ xăng ô tô sang sử dụng hoàn toàn hydro cung cấp vào đường nạp mà không thay đổi gì về kết cấu động cơ thì tính hiệu quả của động cơ (thể

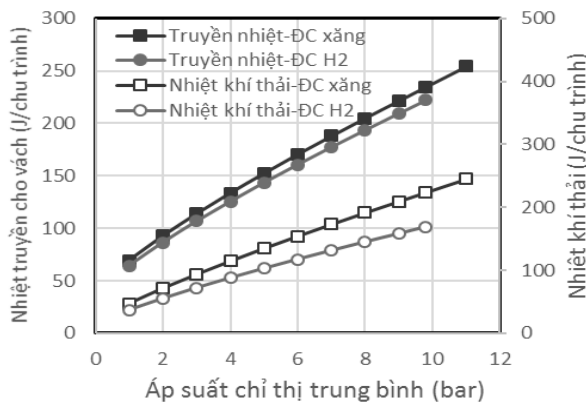
hiện qua áp suất chỉ thị trung bình) giảm khoảng 11% nhưng hiệu suất nhiệt của động cơ tăng 3,9% về giá trị hiệu suất.



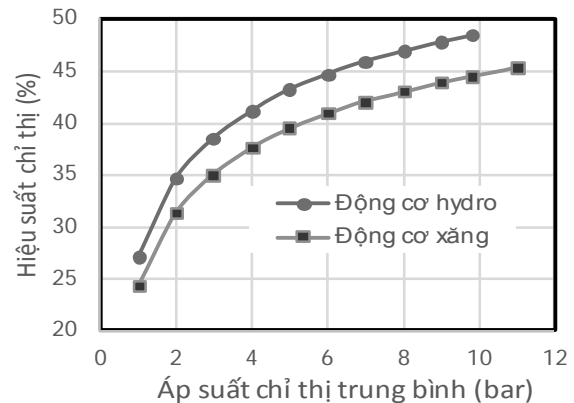
Hình 5. Công và tổn thất nhiệt chu trình của động cơ xăng và động cơ hydro ở tốc độ 6000v/p, áp suất chỉ thị  $p_i=9,81$  bar



Hình 6. Hiệu suất nhiệt và tỉ lệ nhiệt tổn thất của động cơ xăng và động cơ hydro ở tốc độ 6000v/p, áp suất chỉ thị  $p_i=9,81$  bar



Hình 7. Nhiệt tổn thất của động cơ xăng và động cơ hydro ở 6000v/p và tải khác nhau



Hình 8. Hiệu suất nhiệt của động cơ xăng và động cơ hydro ở 6000v/p và tải khác nhau

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được mô hình mô phỏng động cơ xăng ô tô 1NZ-FE sử dụng xăng và sử dụng hydro. Mô hình được xây dựng áp dụng cho hai loại nhiên liệu trên cùng một động cơ nên mặc dù chưa được kiểm chứng bằng thực nghiệm vẫn có ý nghĩa lớn khi sử dụng để đánh giá sự thay đổi tính năng làm việc của động cơ khi chuyển từ sử dụng xăng sang sử dụng nhiên liệu hydro. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi chuyển đổi động cơ từ chạy xăng sang chạy H<sub>2</sub> cấp nhiên liệu vào đường nạp mà không thay đổi kết cấu động cơ thì áp suất chỉ thị trung bình giảm 11% nhưng hiệu suất nhiệt tăng đáng kể. Ở cùng chế độ tốc độ và áp suất chỉ

thị trung bình, hiệu suất nhiệt của động cơ hydro cao hơn hiệu suất nhiệt của động cơ xăng 3,9% về giá trị hiệu suất và lượng tăng tương đối là 8,8-11,5% của giá trị hiệu suất động cơ nguyên thủy. Kết quả này có thể khẳng định nếu xét về đặc tính làm việc thì các động cơ xăng ô tô hiện hành hoàn toàn có thể chuyển sang sử dụng hydro mà không cần phải thay đổi về kết cấu động cơ. Động cơ chuyển đổi có tính hiệu quả (công suất) giảm một chút nhưng tính kinh tế (hiệu suất) được cải thiện đáng kể. Tuy nhiên, cần trang bị thêm thiết bị an toàn chống cháy ngược trên động cơ và hệ thống trạm nạp hydro cho động cơ đảm bảo an toàn chống cháy nổ.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bayraktar, H. (2008), “An experimental study on the performance parameters of an experimental CI engine fueled with diesel–methanol–dodecanol blends”, *Fuel*, 87(2), p.158-164.
- Escalante Soberanis, M.A. and A.M. Fernandez (2010), “A review on the technical adaptations for internal combustion engines to operate with gas/hydrogen mixtures”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(21), p.12134-12140.
- Ferguson, C. R. (1986), *Internal Combustion Engines - Applied thermosciences*, John Wiley & Sons.
- Ghazi A. Karim (2003), “Hydrogen as a spark ignition engine fuel”, *International Journal of Hydrogen Energy* 28, p.569 – 577.
- Mustafi, N.N. (2006), “Spark-ignition engine performance with ‘Powergas’ fuel (mixture of CO/H<sub>2</sub>): A comparison with gasoline and natural gas”, *Fuel*, 85(12–13), p.1605-1612.
- Pourkhesalian, A.M., A.H. Shamekhi, and F.Salimi (2010), “Alternative fuel and gasoline in an SI engine: A comparative study of performance and emissions characteristics”, *Fuel*, 89(5), p.1056-1063.
- Wochni, G (1967), “A Universally Applicable Equation for Instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine”, *SAEpaper670931*.

### Abstract:

#### INVESTIGATION STUDY OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF GASOLINE CAR ENGINE FUELED WITH HYDROGEN

*Faced with the risk of exhausting fossil fuel sources and the serious environmental pollution emissions of current automotive engines, the study of using hydrogen as an alternative fuel on these engines has scientific and practical significances. This paper presents the results of a simulation study of performance characteristics of hydrogen engines converted from 1NZ-FE automotive gasoline engines on Toyota Vios. The engine does not change the structure but only replaces the indirect fuel injection system with the hydrogen injection system into the intake pipe. Evaluation studies are performed by comparing the indicated mean pressure of the engine when using hydrogen and when using gasoline in full-load mode (fully throttle opening) and comparing the thermal efficiency of the engine at the same speed and indicated mean pressure. Study results show that the indicated mean pressure at engine full load when using hydrogen is reduced by 11% compared to using gasoline while the thermal efficiency increases significantly. At the same speed and indicated mean pressure, the thermal efficiency of hydrogen engines is 3.9% higher than that of the gasoline engine in terms of the value of efficiency and relative increase of 8.8-11.5% of the original engine performance value.*

**Keywords:** Hydrogen engine, working characteristics, engine modeling.

---

Ngày nhận bài: 20/5/2019

Ngày chấp nhận đăng: 11/9/2019