

**LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN NHIÊN LIỆU TRÊN HỆ THỐNG
 NHIÊN LIỆU KÉP CỦA ĐỘNG CƠ XĂNG SỬ DỤNG HYDRO
 TỪ ĐIỆN PHÂN NƯỚC BẰNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI**
**THEORY OF FUEL CONTROL ON DUAL-FUEL SYSTEMS OF
 GASOLINE ENGINES USING HYDRO FROM WATER ELECTROLYSIS
 BY SOLAR ENERGY.**

Võ Xuân Thành, Đỗ Văn Dũng, Hoàng An Quốc
 Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh

Ngày tòa soạn nhận bài 20/10/2015, ngày phản biện đánh giá 29/10/2015, ngày chấp nhận đăng 15/11/2015

TÓM TẮT

Bài viết này trình bày cơ sở lý thuyết cho hệ thống nhiên liệu hydro-xăng trên động cơ xăng. Nhiên liệu hydro là một loại nhiên liệu thay thế có đặc tính phù hợp có thể sử dụng như một nhiên liệu thứ hai trên hệ thống nhiên liệu kép của động cơ xăng nhằm cải thiện hiệu suất động cơ và các thành phần khí thải. Trên hệ thống nhiên liệu kép này, hydro được cung cấp dưới dạng HHO trực tiếp từ bình điện phân bằng năng lượng Mặt Trời (NLMT). Tỷ lệ của hydro và oxy trong HHO thu được trong quá trình điện phân là 2:1. Tỷ lệ không khí/nhiên liệu của hỗn hợp hydro-xăng được thiết lập. Nghiên cứu đã mô hình hóa, từ đó xây dựng các phương trình về định lượng nhiên liệu cho hệ thống. Các phương trình được trình bày chính xác và đầy đủ sẽ là một cơ sở lý thuyết trong thực hiện mô phỏng và thực nghiệm.

Từ khóa: điều khiển nhiên liệu, điện phân, nhiên liệu kép, hydro, HHO.

ABSTRACT

This article presented the theoretical basis for dual-fuel hydrogen-gasoline system on gasoline engines. Hydrogen fuel is an alternative fuel with the suitable properties can be used as the second fuel on dual-fuel system on gasoline engine to improve engine performance and exhaust gas emission. On the dual-fuel system, hydrogen is supplied directly from water electrolysis by solar energy. The hydro fuel is formed of hydrogen and oxygen (HHO). The ratio of hydrogen and oxygen in HHO obtained during electrolysis is 2:1. The air/fuel ratio of the mixture was found. The modeling of the dual-fuel system was performed, thereby the fuel equations were found. The fuel equations are presented accurately and completely will be a theoretical basis for simulations and experiment.

Keywords: fuel control, electrolysis, dual-fuel, hydrogen, HHO.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, vấn đề ô nhiễm môi trường và sự cạn kiệt về nguồn nhiên liệu hóa thạch đang ngày càng được thế giới đặc biệt quan tâm. Trong đó, việc sử dụng những nguồn năng lượng thay thế, tái tạo như: hydro, nhiên liệu sinh học, v.v. đang từng bước giảm thiểu các nguồn ô nhiễm khí thải từ động cơ và đó là những nguồn nhiên liệu thay thế có tiềm năng [1]. Trong các nghiên cứu gần đây, cơ quan Năng lượng thế giới (IEA) đã công bố rằng công nghệ ứng dụng nhiên liệu hydro có thể tăng hiệu suất động cơ và giảm ô nhiễm khí thải động cơ xăng [2].

Nhiên liệu hydro có thể được sản xuất từ các nguồn khác nhau, trong đó phương pháp điện phân trực tiếp lấy nguồn điện NLMT là một phương pháp chưa được áp dụng. Nhiên liệu hydro thu được dạng hợp chất hydro và oxy theo tỷ lệ 2:1 gọi là HHO [3]. Lượng HHO sinh ra sẽ thay đổi tỷ lệ thuận tùy theo bức xạ Mặt Trời (BXMT). Tổng lượng HHO sinh ra được đưa trực tiếp vào xy lanh động cơ trên động cơ với hệ thống nhiên liệu kép hydro-xăng tại mọi thời điểm. Năng lượng dạng cơ năng phát ra từ trục khuỷu động cơ sẽ được tổng hợp từ hai nguồn là từ dòng năng lượng

của nhiên liệu hydro mà điểm xuất phát là NLMT và dòng năng lượng thứ hai là dòng nhiên liệu truyền thống là xăng. Khi NLMT thay đổi tùy theo điều kiện tự nhiên sẽ tác động lên trạng thái cân bằng của dòng năng lượng [4].

Hiện nay mô hình này chưa được nghiên cứu ở phạm vi cả trong và ngoài nước. Để thực hiện việc nghiên cứu chuyên sâu về mô hình này, cần có một cơ sở lý thuyết đầu đủ và chính xác. Bài viết này trình bày một cơ sở lý thuyết có thể làm cơ sở cho mọi tính toán về trạng thái cân bằng năng lượng trên hệ thống nhiên liệu kép sử dụng trực tiếp NLMT. Cơ sở lý thuyết này là các phương trình tính toán định lượng nhiên liệu sẽ cần thiết trong quá trình điều khiển động cơ. Đây là một cơ sở cho quá trình mô phỏng và thực nghiệm cho các nghiên cứu chuyên sâu về hiệu suất động cơ và ô nhiễm khí thải của động cơ trong quá trình hoạt động của hệ thống.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Nhiên liệu hydro

Nhiên liệu hydro sử dụng trên động cơ đốt trong có thể ở dạng hydro nguyên chất và dạng hỗn hợp hydro và oxy (HHO). Dạng HHO có thể sản xuất từ phương pháp điện phân. Tính chất của hai dạng nhiên liệu hydro gần như giống nhau. Từ bảng 1 cho thấy so với xăng, nhiên liệu hydro cho năng lượng đánh lửa nhỏ hơn xăng 12,5 lần, tốc độ cháy cao hơn 4,3 lần, nhiệt độ cháy, nhiệt độ ngọn lửa cao hơn và hệ số nhiệt trị thấp cao hơn 2,7 lần và nhiệt trị cao hơn 2,7 lần.

Bảng 1. Tính chất của các nhiên liệu [2].

Tính chất	H ₂	HHO	Xăng
Giới hạn cháy (%V)	4-75	4-95	1,2-6
Năng lượng đánh lửa (mJ)	2	2	25
Tốc độ cháy (m/s)	1,9	1,87	0,37–0,43
Nhiệt độ tự cháy (K)	858	843	500–750
Nhiệt độ cháy (K)	2.933	3.073	2.282
Nhiệt trị thấp (MJ/kg)	119,96	120,9	44,79

Trong hỗn hợp hòa khí có HHO, tỉ lệ hòa khí được tính theo công thức:

$$\lambda = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_g \cdot AFR_{gst} + \dot{m}_{HHO} \cdot AFR_{HHOst}} \quad (1)$$

Trong đó: \dot{m}_a là khối lượng không khí vào xy lanh trong 1 giây, \dot{m}_g là khối lượng xăng phun vào xy lanh trong 1 giây, \dot{m}_{HHO} là khối lượng hydro phun vào xy lanh trong 1 giây, AFR_{gst} là tỉ lệ không khí/nhiên liệu lí tưởng của xăng; AFR_{HHOst} là tỉ lệ không khí/nhiên liệu lí tưởng của HHO [5][6].

Trong phương trình cháy của HHO trong xy lanh động cơ chỉ sinh ra nước và HHO tự cháy mà không cần thêm một lượng oxy nào [6]. Do đó, $AFR_{HHOst} = 0$, dẫn đến tỉ lệ hòa khí của hỗn hợp nhiên liệu kép HHO-xăng là:

$$\lambda = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_g \cdot AFR_{gst}} \quad (2)$$

Phương trình (2) là tỉ lệ của hệ thống nhiên liệu xăng. Điều đó có nghĩa là khi thêm HHO vào xy lanh, tỉ lệ hòa khí trong hỗn hợp vẫn không thay đổi so với động cơ xăng nguyên thủy và hệ thống điều khiển nhiên liệu không cần điều chỉnh tỉ lệ này [7-22]. Đây là điểm thuận lợi cho việc thiết kế hệ thống nhiên liệu kép hydro-xăng sử dụng nhiên liệu HHO trên động cơ sử dụng xăng truyền thống.

2.2. Điều chế hydro bằng phương pháp sử dụng NLMT điện phân nước:

Pin NLMT được sử dụng làm nguồn điện cung cấp cho bình điện phân. Các pin NLMT thường có hiệu suất từ 14% đến 19%. Công suất thu được đối với pin là:

$$P_{out} = \eta_{sp} \cdot P_{Ir} \cdot \cos \theta \cdot S_{sp} \quad (3)$$

Trong đó: P_{out} là công suất thu được từ pin NLMT, η_{sp} là hiệu suất pin NLMT, $\cos \theta$ là góc tạo bởi chùm BXMT so với phương

thẳng đứng, S_{sp} là diện tích tấm pin NLMT [4].

Dòng điện thu được:

$$I = \frac{\eta_{sp} \cdot P_{lr} \cdot \cos \theta \cdot S_{sp}}{U_{out}} \quad (4)$$

Trong đó: I là dòng điện, U_{out} là điện áp của pin.

Phương trình trên cho thấy với U_{out} không đổi, I phụ thuộc tỉ lệ thuận với công suất BXMT P_{lr} thay đổi liên tục trong ngày. Thêm vào đó, nếu cố định vị trí mặt phẳng của pin NLMT, giá trị $\cos \theta$ đạt giá trị cực đại khi bức xạ vuông góc với mặt phẳng của tấm pin. Ngoài ra U_{out} còn thay đổi theo nhiệt độ của tấm pin [4].

$$U_{out} = U_{25^\circ C} - C_T \cdot \Delta T \quad (5)$$

Trong đó C_T là hằng số thay đổi điện áp theo nhiệt độ đặc trưng cho từng loại vật liệu chế tạo pin (đối với vật liệu Silic $C_T = 2,3$ mV/°C), ΔT là khoảng thay đổi nhiệt độ đối với nhiệt độ chuẩn là 25°C, $U_{25^\circ C}$ là điện áp tại 25°C.

Dòng điện thu được cho qua bình điện phân và quá trình điện phân HHO tuân thủ định luật Faraday [7]. Khối lượng HHO thu được tính theo công thức:

$$m = \left(\frac{Q}{F} \right) \left(\frac{M}{z} \right) \quad (6)$$

Trong đó: m là khối lượng của chất bị phân ly, Q là điện lượng chuyển qua chất điện phân, $F=96,485$ C/mol là hằng số Faraday, M là khối lượng mol của chất tham gia điện phân, z là số đương lượng của các ion của chất điện phân.

2.3. Định lượng nhiên liệu trên động cơ xăng:

Lưu lượng khí nạp được tính theo phương pháp tốc độ tỉ trọng. Trong phương pháp này, lưu lượng khối lượng khí nạp được

xác định dựa trên các biến số áp suất và nhiệt độ của không khí, tốc độ động cơ và hiệu suất nạp [8].

$$\dot{m}_a = \left[\left(\frac{n}{60} \frac{D}{2} \eta_v \right) - \dot{m}_{EGR} \right] d_0 \times \frac{p}{p_0} \times \frac{T_0}{T} \quad (7)$$

Trong đó: D là dung tích xylanh; η_v là hiệu suất nạp; \dot{m}_a là lưu lượng khối lượng không khí; n là tốc độ động cơ; \dot{m}_{EGR} là lưu lượng khối lượng khí luân hồi; d_0 , p_0 , T_0 lần lượt là mật độ, áp suất, nhiệt độ không khí tại điều kiện chuẩn; p , T , lần lượt là mật độ, áp suất, nhiệt độ không khí tại điều kiện thực tế.

Lượng nhiên liệu phun vào động cơ được tính toán thông qua tỉ lệ hòa khí AFR và chế độ hoạt động của động cơ [8].

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a \cdot (AFR)_{dm} \quad (8)$$

Tham khảo (7) ta có:

$$\dot{m}_f = \left[\left(\frac{n}{60} \frac{D}{2} \eta_v \right) - \dot{m}_{EGR} \right] d_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot (AFR)_{dm} \quad (9)$$

Đối với động cơ không trang bị hệ thống luân hồi khí thải. Phương trình (9) trở thành:

$$\dot{m}_f = \frac{n}{60} \cdot \frac{D}{2} \cdot \eta_v \cdot d_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot (AFR)_{dm} \quad (10)$$

Đây là phương trình xác định lưu lượng nhiên liệu trên động cơ xăng truyền thống.

2.4. Mô hình quá trình cháy trong động cơ:

Áp dụng Định luật nhiệt động học thứ nhất để khảo sát một lượng môi chất m đi qua hệ thống [9]. Hóa năng tỏa ra do quá trình cháy trong động cơ được tính theo biểu thức:

$$[H_C(T_A) - H_D(T_A)] = m \left(\sum_{i,C} n_i \Delta \tilde{h}_{f,i}^\circ - \sum_{i,D} n_i \Delta \tilde{h}_{f,i}^\circ \right) \quad (11)$$

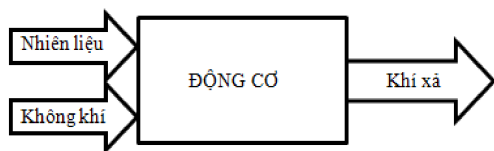
Trong đó: m : khối lượng môi chất, n_i : số mol của môi chất i trong một đơn vị khối

lượng của môi chất công tác, $\Delta \tilde{h}_{f,i}^o$: enthalpie hình thành của môi chất i trong môi trường T_A và áp suất p_0 .

Công cực đại của động cơ có thể rút ra được thông qua áp dụng Định luật nhiệt động học thứ hai cho hệ thống hở như hình 1. Nhiên liệu được xem là đồng nhất và gọi chung là môi chất m [9]. Xét lượng môi chất m đi qua hệ thống hình 1. Định luật bảo toàn năng lượng cho ta:

$$\Delta Q - \Delta W_u = \Delta H \quad (12)$$

Trong đó: W_u : là công có ích truyền cho bên ngoài, ΔW : công trao đổi quá trình cháy đẳng áp, ΔQ : nhiệt lượng trao đổi quá trình cháy đẳng áp, Q_{HVV} : Nhiệt trị của nhiên liệu



Hình 1. Hệ thống hở dùng để khảo sát động cơ đốt trong [34].

Vì sự truyền nhiệt Q chỉ xảy ra đối với môi trường không khí ở nhiệt độ T_A , định luật nhiệt động học thứ hai có thể viết:

$$\frac{\Delta Q}{T_A} \leq \Delta S \quad (13)$$

Kết hợp (9) và (10) ta có:

$$\Delta W_u \leq -(\Delta H - T_A \Delta S) \quad (14)$$

Thông thường $p_0 = p_A$ và $T_D = T_A$. Công cực đại nhận được khi $p_C = p_A$ và $T_C = T_A$ trong điều kiện đó:

$$\Delta W_u \leq - \left[(H - TS)_{C_{T_A, p_A}} - (H - TS)_{D_{T_A, p_A}} \right]$$

$$\Delta W_u \leq -(\Delta G)_{T_A, p_A} \quad \text{Hay} \quad (15)$$

$$\text{Do đó: } \Delta W_{u \max} = -(\Delta G)_{T_A, p_A} \quad (16)$$

Trong đó $G = H - TS$ gọi là năng lượng tự do Gibbs và $(\Delta G)_{T_A, p_A}$ là độ tăng năng lượng

Gibbs trong phản ứng của hỗn hợp nhiên liệu không khí điều kiện nhiệt độ T_A và áp suất p_A . Giá trị $-(\Delta G)_{T_A, p_A}$ sẽ cực đại khi sự cháy diễn ra hoàn toàn.

Hiệu suất của chu trình công tác được đánh giá bằng tỉ số giữa công thực tế nhận được và công cực đại (17), tỉ số này còn gọi là hiệu suất biến đổi thực tế:

$$\eta_a = \frac{\Delta W}{\Delta W_{u \max}} = - \frac{\Delta W}{(\Delta G)_{T_A, p_A}} \quad (17)$$

Trong đó: η_a là hiệu suất của chu trình công tác.

Đại lượng $(\Delta G)_{T_A, p_A}$ đối với nhiên liệu thực tế rất khó xác định. Thông thường chỉ có $-(\Delta H)_{T_A}$ được xác định bằng cách đo đạc. Trong các phản ứng trên đây H_2O ở dạng hơi. Đối với các hydrocarbon thông thường Δh_{298} và Δg_{298} rất gần nhau vì ở 298, $\Delta \Delta/T$. Đối với loại nhiên liệu thực tế $-\Delta h_{298}$ được đo trực tiếp và tính bằng tích số giữa nhiệt trị của nhiên liệu và khối lượng nhiên liệu được đốt cháy, nên có thể định nghĩa công riêng phần bởi biểu thức sau đây:

$$W_c = \eta_f \cdot m_f \cdot Q_{LHV} \quad (18)$$

Trong đó: W_c là công riêng phần (công tương ứng với lượng nhiên liệu m_f), η_f là hiệu suất biến đổi nhiên liệu, m_f là lượng nhiên liệu cung cấp cho chu trình, Q_{LHV} là nhiệt trị thấp của nhiên liệu.

Đối với các nhiên liệu hydrocarbon $\Delta \tilde{h}^o \approx \Delta \tilde{g}^o$ nên công riêng phần trong biến đổi nhiên liệu và công riêng phần trong biến đổi thực tế xấp xỉ bằng nhau.

3. MÔ HÌNH ĐỀ XUẤT VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

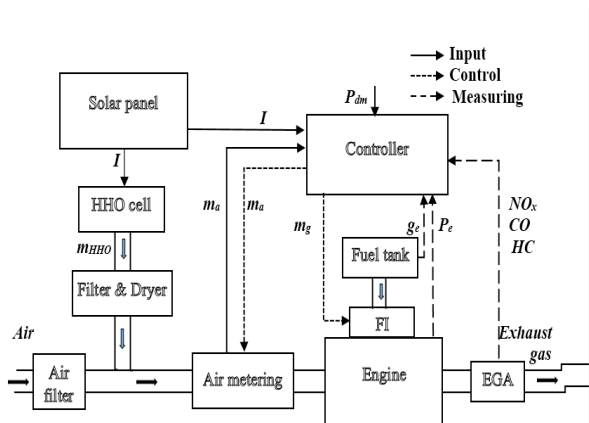
3.1. Mô hình hóa hệ thống nhiên liệu kép hydro-xăng với nguồn nhiên liệu hydro từ sử dụng NLMT điện phân nước

Qua khảo sát và phân tích các mô hình nghiên cứu [10-34], nhóm tác giả đã thiết kế mô hình hệ thống nhiên liệu kép hydro-xăng được kết hợp từ hệ thống nhiên liệu xăng

truyền thông và hệ thống sản xuất, cung cấp nhiên liệu hydro bằng phương pháp điện phân nước từ NLMT như hình 2. Hệ thống nhiên liệu xăng trên động cơ được sử dụng là loại phun xăng điện tử với sự định lượng nhiên liệu xăng m_f từ ECU động cơ. Hệ thống nhiên liệu hydro được thiết kế sử dụng NLMT sản xuất dòng điện I từ Solar panel cho qua bình điện phân HHO cell. Hỗn hợp nhiên liệu hydro và oxy m_{HHO} sinh ra tuân theo định luật Faraday và phụ thuộc vào BXMT I_r . Toàn bộ lượng m_{HHO} sinh ra được đưa hết vào động cơ trước cánh bướm ga tại mọi điều kiện công tác. Bộ lọc và hút ẩm Filter & Dryer có tác dụng lọc tạp chất, hơi nước và chống cháy ngược từ động cơ. Hỗn hợp được hòa trộn với khí nạp m_a trước khi đồng hành vào xy lanh động cơ. Tín hiệu khối lượng HHO vào động cơ được gửi về ECU, ECU điều chỉnh độ mở bướm ga và lượng xăng phun vào xy lanh được tính toán dựa trên khối lượng khí nạp thực tế.

Tín hiệu dòng điện I (4), tín hiệu khối lượng khí nạp m_a từ “Air meterring” và tín hiệu công suất yêu cầu P_m được gửi về từ chân ga các thông tin để hiệu chỉnh m_a và điều khiển m_g theo thông tin m_a nhận được sau khi hiệu chỉnh.

Các thông tin g_e ; P_e ; NO_x , CO , HC làm tín hiệu phân tích và đánh giá hệ thống. Máy tính được sử dụng để thu thập dữ liệu để đánh giá về suất tiêu hao nhiên liệu g_e , công suất động cơ P_e và hàm lượng các thành phần khí thải (NO_x , HC , CO).



Hình 2. Mô hình hệ thống nhiên liệu kép hydro-xăng đề xuất.

3.2. Tính toán lưu lượng nhiên liệu HHO:

Với hệ thống hình 2, giá trị m_{HHO} được tính tham khảo từ (4) và (6).

$$Q = \int_0^t i(t) dt \quad (19)$$

Ta có phương trình:

$$Q = \frac{\eta_{sp} \cdot S_{sp} \cos \theta}{U_{out}} \int_0^t P_{Ir}(t) dt \quad (20)$$

Từ (6), khối lượng HHO thu được theo định luật Faraday với hiệu suất η_f trong một khoảng thời gian t với dòng điện $i(t)$ là:

$$m_{HHO} = \eta_f \cdot \frac{M}{Fz} \cdot \frac{\eta_{sp} \cdot S_{sp} \cos \theta}{U_{out}} \int_0^t P_{Ir}(t) dt \quad (21)$$

Trong đó: m_{HHO} là khối lượng HHO sinh ra, η_f là hiệu suất điện phân ($\eta_f = 50\% \div 60\%$).

Lưu lượng theo khối lượng của HHO (\dot{m}_{HHO}) sinh ra là:

$$\dot{m}_{HHO} = \eta_f \eta_{sp} \frac{M}{F \cdot z} \cdot \frac{S_{sp} \cos \theta}{U_{out}} P_{Ir} \quad (22)$$

Lưu lượng HHO thu được thay đổi theo BXMT I_r . BXMT thay đổi theo vị trí địa lý trên Trái Đất và thời điểm trong ngày. Và vì bản thân nước nguyên chất không thể điện ly nên để phản ứng xảy ra cần pha thêm tạp chất vào nước. Ba tạp chất có thể sử dụng như: KOH , $NaOH$, K_2CO_3 .

3.2. Tính toán về nhiên liệu và công suất động cơ trên hệ thống nhiên liệu kép hydro-xăng:

- Lưu lượng nhiên liệu:

Lượng nhiên liệu cung cấp vào động cơ là tổng hợp từ xăng và HHO. Tương ứng lưu lượng nhiên liệu được viết:

$$\dot{m}_f = \dot{m}_g + \dot{m}_{HHO} \quad (23)$$

Trong đó, \dot{m}_g và \dot{m}_{HHO} đã được thiết lập ở (10) và (22).

$$\dot{m}_f = \left[\left(\frac{n}{60} \frac{D}{2} \eta_v \right) - \dot{m}_{EGR} \right] d_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot (AFR)_{dm} \quad (24)$$

$$+ \eta_f \eta_{sp} \frac{M}{F \cdot z} \cdot \frac{S_{sp} \cos \theta}{U_{out}} P_{lr}$$

Đối với động cơ không trang bị hệ thống luân hồi khí thải.

$$\dot{m}_f = \frac{n}{60} \frac{D}{2} \eta_v d_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot (AFR)_{dm} \quad (25)$$

$$+ \eta_f \eta_{sp} \frac{M}{F \cdot z} \cdot \frac{S_{sp} \cos \theta}{U_{out}} P_{lr}$$

- Khối lượng nhiên liệu trên mỗi xy lanh:

Khối lượng nhiên liệu cung cấp vào một xy lanh là:

$$m_{f/xy lanh} = \frac{\dot{m}_f 120}{nZ (AFR)_{dm}} \quad (26)$$

Trong đó: $m_{g/xy lanh}$ là khối lượng nhiên liệu được cung cấp vào một xy lanh cho một lần sinh công, Z là tổng số xy lanh trên động cơ, $(AFR)_{dm}$ là tỉ lệ hòa khí yêu cầu.

Trên hệ thống nhiên liệu kép sử dụng trực tiếp HHO, việc điều khiển nhiên liệu chỉ áp dụng cho tính toán lượng xăng phun vào mỗi xy lanh.

$$m_{g/xy lanh} = \frac{\dot{m}_g 120}{nZ (AFR)_{dm}} \quad (27)$$

Tương tự khối lượng HHO cung cấp vào mỗi xy lanh:

$$m_{HHO/xy lanh} = \frac{\dot{m}_{HHO} 120}{nZ (AFR)_{dm}} \quad (28)$$

- Điều khiển công suất động cơ:

Xét trường hợp khi xe được vận hành trên đường, công suất động cơ được xác định bởi tín hiệu chân ga của lái xe. Với động cơ hệ thống nhiên liệu kép HHO (hydro) và xăng. Công suất động cơ là công suất tổng hợp từ việc đốt cháy hai thành phần nhiên liệu là HHO và xăng.

$$P = P_{cg} + P_{cHHO} \quad (29)$$

Trong đó: P là công suất động cơ, P_{cg} là công suất riêng phần của xăng, P_{cHHO} là công suất riêng phần của HHO.

Để công suất của động cơ ổn định trong điều kiện lưu lượng HHO thay đổi liên tục, hệ thống điều khiển nhiên liệu xăng cần xác định chính xác khối lượng HHO đang nạp vào động cơ và điều chỉnh giảm hoặc tăng lượng xăng tương ứng với lưu lượng HHO tăng hoặc giảm. Do đó cần có công cụ tính toán, hoán đổi hai thành phần công suất trên.

Để tính toán các thành phần công suất riêng phần P_{cg} và P_{cHHO} . Tham khảo (18) ta có:

$$W_{cg} = \eta_g \cdot m_g \cdot Q_{LHV_g} \quad (30)$$

$$W_{cHHO} = \eta_{HHO} \cdot m_{HHO} \cdot Q_{LHV_{HHO}} \quad (31)$$

Trong đó: W_{cg} là công riêng phần của xăng, η_g là hiệu suất biến đổi nhiên liệu của xăng, m_g là khối lượng nhiên liệu xăng, Q_{LHV_g} là nhiệt trị thấp của xăng, C_{HHO} là công riêng phần của HHO, m_{HHO} là khối lượng của HHO, η_{HHO} là hiệu suất biến đổi nhiên liệu của HHO, $Q_{LHV_{HHO}}$ là nhiệt trị thấp của HHO.

Từ (16) ta có công riêng của xăng:

$$W_{cg/m} = \eta_g \cdot Q_{LHV_g} \quad (32)$$

Công riêng của HHO:

$$W_{cHHO/m} = \eta_{HHO} \cdot Q_{LHV_{HHO}} \quad (33)$$

Đặt k là tỉ số giữa công riêng của HHO với công riêng của xăng ta có:

$$k = \frac{\eta_{HHO} \cdot Q_{LHV_{HHO}}}{\eta_g \cdot Q_{LHV_g}} \quad (34)$$

Vì quá trình cháy diễn ra đồng thời cùng các điều kiện cháy nên có thể xem hiệu suất của quá trình cháy xăng và HHO là như nhau $\eta_g = \eta_{HHO} = \eta_f$ và gọi là hiệu suất quá trình

cháy. Do đó, k cũng có thể gọi là tỉ số giữa nhiệt trị thấp của HHO và xăng.

$$\text{Ta có: } k = \frac{Q_{LHV_{HHO}}}{Q_{LHV_g}} \quad (35)$$

Dựa vào bảng 1 ta có:

$$k = \frac{120,9}{44,79} \approx 2,7 \quad (36)$$

Biểu thức trên được hiểu là công sinh ra trên một đơn vị khối lượng của HHO bằng k lần công sinh ra trên một đơn vị khối lượng của xăng. Tham khảo (18), (30) và (31), công tổng hợp có thể được tính:

$$W = \eta_g \cdot m_g \cdot Q_{LHV_g} + \eta_{HHO} \cdot m_{HHO} \cdot Q_{LHV_{HHO}} \quad (37)$$

Công suất động cơ được xem là công sinh ra trên một đơn vị thời gian. Công suất động cơ có thể tính từ (29) và tham khảo (37) với sự thay thế khối lượng m với lưu lượng của khối lượng \dot{m} .

$$P = \eta_g \cdot \dot{m}_g \cdot Q_{LHV_g} + \eta_{HHO} \cdot \dot{m}_{HHO} \cdot Q_{LHV_{HHO}} \quad (38)$$

Tham khảo (32), ta có:

$$P = \eta_f \cdot Q_{LHV_g} (\dot{m}_g + k \cdot \dot{m}_{HHO}) \quad (39)$$

Trong phương trình (39), công suất động cơ được tính toán theo nhiệt trị thấp của xăng, lưu lượng khối lượng xăng và lưu lượng khối lượng HHO với hệ số quy đổi k .

Trong đó về mặt điều khiển động cơ, công suất động cơ P được xem là công suất yêu cầu P_{dm} của chân ga do lái xe điều khiển ($P = P_{dm}$). Hệ thống nhiên liệu cần đáp ứng yêu cầu công suất của lái xe. Để đáp ứng yêu cầu công suất, hệ thống cần xác định các biến số \dot{m}_g và \dot{m}_{HHO} .

Kết hợp (8) và (22) vào (39) ta có được:

$$P_{dm} = \eta_f \cdot Q_{LHV_g} \left[\frac{\dot{m}_a}{(AFR)_{dm}} + k \cdot \eta_{sp} \frac{M}{F \cdot z} \cdot \frac{S_{sp} \cos \theta}{U_{out}} P_{Ir} \right] \quad (40)$$

Tham khảo (7), ta có:

$$P_{dm} = \eta_f \cdot Q_{LHV_g} \left\{ \frac{\left[\left(\frac{n}{60} \frac{D}{2} \eta_v \right) - \dot{m}_{EGR} \right] d_0 \cdot \frac{P}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T}}{(AFR)_{dm}} + k \eta_f \eta_{sp} \frac{M}{F \cdot z} \cdot \frac{S_{sp}}{U_{out}} P_{Ir} \right\} \quad (41)$$

Trong đó, P_{Ir} là một đại lượng thay đổi theo điều kiện BXMT.

Đối với động cơ không trang bị hệ thống EGR, phương trình trở thành.

$$P_{dm} = \eta_f \cdot Q_{LHV_g} \left[\frac{\left(\frac{n}{60} \frac{D}{2} \eta_v \right) d_0 \cdot \frac{P}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T}}{(AFR)_{dm}} + k \cdot \eta_f \eta_{sp} \frac{M}{F \cdot z} \cdot \frac{S_{sp}}{U_{out}} P_{Ir} \right] \quad (42)$$

Từ (42) ta thấy rằng công suất động cơ gồm hai thành phần hợp thành là công suất sinh ra từ xăng và công suất sinh ra từ HHO. Công suất riêng phần của xăng phụ thuộc vào các yếu tố của khí nạp và tốc độ động cơ. Công suất riêng phần của HHO phụ thuộc vào cường độ của BXMT. Khi sử dụng trực tiếp nguồn NLMT, toàn bộ HHO sinh ra đều sử dụng hết tại mọi thời điểm. Để công suất động cơ ổn định, công suất riêng phần của xăng cần được điều chỉnh theo chiều ngược lại với sự thay đổi của công suất riêng phần của HHO. Sự điều chỉnh công suất riêng phần của xăng được thực hiện thông qua việc điều khiển lưu lượng khí nạp vào xy lanh.

Nếu công suất riêng phần của HHO tăng, cần giảm lưu lượng khí nạp vào xy lanh để giảm lượng xăng phun và giảm công suất riêng phần của xăng và ngược lại nếu công suất riêng phần của HHO giảm thì cần điều khiển tăng công suất riêng phần của xăng.

Trường hợp lưu lượng HHO thay đổi một lượng $\Delta \dot{m}_{HHO}$ do sự thay đổi của BXMT, hệ thống điều khiển động cơ điều khiển góc mở bướm ga để thay đổi lưu lượng khí nạp tương ứng:

$$\Delta \dot{m}_a = k \Delta \dot{m}_{HHO} \cdot (AFR)_{dm} \quad (43)$$

Hệ thống điều khiển phun xăng sẽ tự động thay đổi lưu lượng xăng phun tương ứng Δm_g để ổn định công suất động cơ.

$$\Delta \dot{m}_g = k \Delta \dot{m}_{HHO} \quad (44)$$

Đây cũng chính là lưu lượng xăng giảm đi so với xe chỉ chạy bằng nhiên liệu xăng truyền thống. Vì $k \approx 2,7$ nên lưu lượng xăng tiêu thụ trên hệ thống nhiên liệu sẽ giảm đi một lượng tương đương 2,7 lần lưu lượng HHO cung cấp cho hệ thống trên hệ thống nhiên liệu kép hydro – xăng.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày một cơ sở lý thuyết cho việc tính toán thiết kế ứng dụng NLMT để sản xuất nhiên liệu hydro dưới dạng HHO để cung cấp cho hệ thống nhiên liệu kép hydro-xăng cho động cơ phun xăng điện tử truyền thống. Hỗn hợp hydro và oxy sinh ra

theo tỉ lệ 2:1 được cho trực tiếp vào động cơ, hệ thống điều khiển điện tử điều khiển lượng xăng phun theo tín hiệu chân ga và lượng HHO vào động cơ.

Mô hình hệ thống được mô tả theo phương pháp thiết kế gắn thêm hệ thống nhiên liệu hydro và hệ thống điều khiển nhiên liệu kết hợp. Trên cơ sở mô hình hóa hệ thống nhiên liệu kép, các phương trình định lượng nhiên liệu đã được thiết lập, đây là cơ sở quan trọng cho quá trình điều khiển nhiên liệu trên hệ thống này.

Mặt khác, các phương trình nhiên liệu và công suất động cơ có thể sử dụng để tính toán đánh giá kết quả thực nghiệm.

Cơ sở lý thuyết này là tiền đề cho việc thiết kế và mô phỏng, thực nghiệm hệ thống nhiên liệu kép hydro-xăng trên động cơ xăng truyền thống. Quá trình thực nghiệm cần được thực hiện để kiểm chứng các yếu tố về chỉ tiêu công tác của động cơ và hàm lượng khí thải thực tế, làm cơ sở để hoàn thiện tính khoa học của cơ sở lý thuyết này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dalkmann H., Brannigan C., *Transport and climate change. A sourcebook for policy-makers in developing cities*. Module 5e Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ Eschborn; 2007.
- [2] IEA. *Technology roadmap: hydrogen and fuel cells*. Paris: International Energy Agency; 2013. p. 80.
- [3] Mofijur M, Masjuki HH, Kalam MA, Hazrat MA, Liaquat AM, Shahabuddin M, et al. *Prospects of hydrogen from Jatropha in Malaysia*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012; 16:5007–20.
- [4] Chetan Singh Solanki. *Solar photovoltaic technology and system*. Indian institute of technology Bombay, 2013.
- [5] Michael Frank H Ordeski. *Alternative fuels the future of hydrogen*, Michael Frank Hordeski 2006041264; 2007.
- [6] Changwei Ji, Shuofeng Wang. *Effect of hydrogen addition on the idle performance of a spark ignited gasoline engine at stoichiometric condition*. International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 3546 – 3556.
- [7] Hordeski M. F.. *Alternative fuels the future of hydrogen*. The Fairmont Press, Inc.; 2007. p. 253.
- [8] Đỗ Văn Dũng, Điện động cơ và điều khiển động cơ, NXB ĐH Quốc Gia Tp.HCM, 2013.

- [9] Bùi Văn Ga, *Mô hình hóa quá trình cháy trong động cơ đốt trong*, NXB Giáo Dục, 1997.
- [10] Xiaolong Liu, Changwei Ji, Binbin Gao, Shuofeng Wang, Jinxin Yang. *A quasi-dimensional model for hydrogen-enriched gasoline engines with a new laminar flame speed expression*. The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE2014. 327 – 330.
- [11] Shuofeng Wang, Changwei Ji, Bo Zhang, Xiaolong Zhou. *Analysis on combustion of a hydrogen-blended gasoline engine at high loads and lean conditions*. The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE2014. 323 – 326.
- [12] Shuofeng Wang, Changwei Ji, Jian Zhang, Bo Zhang. *Comparison of the performance of a spark-ignited gasoline engine blended with hydrogen and hydrogenoxygen mixtures*. Energy 36 (2011) 5832-5837.
- [13] Shuofeng Wang, Changwei Ji, Jian Zhang, Bo Zhang. *Improving the performance of a gasoline engine with the addition of hydrogenoxygen mixtures*. International Journal of Hydrogen Energy 36 (2011) 11164-11173.
- [14] T. Bak, J. Nowotny, M. Rekas, C.C. Sorrell. *Photo-electrochemical hydrogen generation from water using solar energy. Materials-related aspects*. International Journal of Hydrogen Energy 27 (2002) 991 – 1022.
- [15] Changwei Ji, Shuofeng Wang. *Experimental study on combustion and emissions performance of a hybrid hydrogen–gasoline engine at lean burn limits*. International Journal of Hydrogen Energy 35 (2010) 1453–1462.
- [16] Shuofeng Wang, Changwei Ji. *Cyclic variation in a hydrogen-enriched spark-ignition gasoline engine under various operating conditions*. International Journal of Hydrogen Energy 37 (2012) 1112-1119.
- [17] Changwei Ji, Xiaolong Liu, Shuofeng Wang, Binbin Gao, Jinxin Yang. *Development and validation of a laminar flame speed correlation for the CFD simulation of hydrogen-enriched gasoline engines*. International Journal of Hydrogen Energy 38 (2013) 1997-2006.
- [18] Changwei Ji, Xiaolong Liu, Binbin Gao, Shuofeng Wang, Jinxin Yang. *Effect of spark timing on the performance of a hybrid hydrogen–gasoline engine at lean conditions*. International Journal of Hydrogen Energy 35 (2010) 2203–2212.
- [19] Shuofeng Wang, Changwei Ji, Bo Zhang, Xiaolong Liu. *Lean burn performance of a hydrogen-blended gasoline engine at the wide open throttle condition*. Applied Energy 136 (2014) 43–50.
- [20] Changwei Ji, Xiaolong Liu, Binbin Gao, Shuofeng Wang, Jinxin Yang. *Numerical investigation on the combustion process in a spark-ignited engine fueled with hydrogenegasoline blends*. International Journal of Hydrogen Energy 38 (2013) 11149-11155.
- [21] Shuofeng Wang, Changwei Ji, Bo Zhang, Xiaolong Liu. *Performance of a hydroxygen-blended gasoline engine at different hydrogen volume fractions in the hydroxygen*. International Journal of Hydrogen Energy 37 (2012) 13209-13218.
- [22] Changwei Ji, Shuofeng Wang, Bo Zhang. *Performance of a hybrid hydrogen–gasoline engine under various operating conditions*. Applied Energy 97 (2012) 584–589.
- [23] Shuofeng Wang, Changwei Ji, Bo Zhang. *Starting a spark-ignited engine with the gasolinehydrogen mixture*. International Journal of Hydrogen Energy 36 (2011) 4461-4468.

- [24] Wolfram Enke, Manfred Gruber. *The Bi-fuel V12 Engine of the new BMW Hydrogen 7*. MTZ 06I2007 Vol.68.
- [25] Tuan Le Anh, Khanh Nguyen Duc, Huong Tran Thi Thu, Tai Cao Van. *Improving Performance and Reducing Pollution Emissions of a Carburetor Gasoline Engine by Adding HHO Gas into the Intake Manifold*. TSAE-13AP-0104. 2013.
- [26] Arash Hamzehloo, Pavlos Aleiferis. *Computational study of hydrogen direct injection for internal combustion engines*. SAE Technical Paper 01-2524; 2013.
- [27] Constantin Pana, Niculae Negurescu, Marcel Ginu Popa, Alexandru Cernat & Dorin Soare. *An investigation of the hydrogen addition effects to gasoline fueled spark ignition engine*. SAE Technical Paper Series 01-1468. 2007.
- [28] Pawel Magryta, Mirosław Wendeker, Adam Majczak, Michał Biały, and Ksenia Siadkowska. *Simulation studies of si engine that meets the euro5 standard, supply by gasoline with the hydrogen addition*. SAE Technical Paper 01-2548. 2014.
- [29] B.Rajendra Prasath, E.Leelakrishnan, N. Lokesh, H. Suriyan, E. Guru Prakash, K. Omur Mustaq Ahmed. *Hydrogen operated internal combustion engines – a new generation fuel*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2012. 2250-2459. Vol. 2.
- [30] Dweepson¹, S. Chinnasamy Subramanian², J. Ashok kumar³, S. Sakthivel. *An experimental assessment of performance and exhaust emission characteristics by addition of hydroxy (HHO) gas in twin cylinder C.I. engine*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2319–8753. 2014. Vol. 3.
- [31] N. Saravanana, G. Nagarajana, C. Dhanasekarana, K.M. Kalaiselvanb. *Experimental investigation of hydrogen port fuel injection in DI diesel engine*. International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 4071–4080.
- [32] Le Anh Tuan, Nguyen Duc Khanh, Cao Van Tai. *Simulation study on potential addition of HHO gas in a motorcycle engine using AVL Boost*. The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on New and Renewable Energy. 2011.
- [33] K. Chakrapani, Dr. P. Neelamegam. *Optimization of fuel consumption using hho in HDL technique verified in FBGA*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology 2011. 1817-3195. Vol. 31 No.2.
- [34] Mohd Aswad Bin Abd Wahab. *Addition of hydrogen to gasoline-fuelled 4 stroke si engine using 1-dimensional analysis*. Universiti Malaysia Pahang. 11-2009.