

CÔNG NGHỆ CUNG CẤP HHO CHO ĐỘNG CƠ XE GẮN MÁY SINH THÁI ĐƯỢC CẢI TẠO TỪ XE HONDA LEAD 110CC

HHO SUPPLYING TECHNOLOGY FOR ECO MOTORCYCLE ENGINE CONVERTED FROM THE HONDA LEAD 110CC

Bùi Thị Minh Tú¹, Nguyễn Lê Châu Thành^{2*}, Bùi Văn Ga¹, Lê Xuân Thạch³

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

³Trường Đại học Quy Nhơn, Bình Định, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: nlcthanh@ute.udn.vn

(Nhận bài / Received: 10/9/2023; Sửa bài / Revised: 17/10/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 24/10/2023)

Tóm tắt - Khi cung cấp HHO bằng phương pháp phun thì nồng độ cực đại của H₂ còn sót lại trên đường nạp phụ thuộc vào áp suất phun và tỉ lệ HHO/không khí. Ở tốc độ động cơ 7500v/ph, với áp suất phun 5000Pa thì nồng độ cực đại của H₂ còn sót lại trên đường nạp là 0,2% và 1,3% ứng với tỉ lệ HHO/không khí 4,5% và 5,7%. Nếu giới hạn nồng độ cực đại của H₂ còn sót lại trên đường nạp là 1% thì tỉ lệ HHO/không khí không vượt quá 4,75%, 4,5% và 4% tương ứng với áp suất phun HHO lần lượt là 3000Pa, 1000Pa và 500Pa. Với tỉ lệ HHO/không khí nhỏ hơn 4%, khi áp suất phun HHO thay đổi từ 500Pa đến 4000Pa thì hệ số tương đương của hỗn hợp (f) trung bình còn sót lại trên đường nạp đạt khoảng 0,003, nồng độ H₂ trung bình còn sót lại trên đường nạp là 0,03%. Ở tốc độ động cơ 7500v/ph, để duy trì $f=1$ thì thời điểm phun xăng là 80°TK, 78°TK và 75°TK ứng với tỉ lệ HHO/không khí lần lượt là 3,5%, 4,5% và 5,7%.

Từ khóa - HHO; Hydrogen; Phun HHO trên đường nạp; Xe gắn máy sinh thái; Động cơ xăng-HHO

1. Giới thiệu

Để thực hiện lộ trình Net Zero, nước ta cũng như các quốc gia trên thế giới đã công bố chiến lược chuyển đổi năng lượng trong tất cả các ngành kinh tế. Trong lĩnh vực giao thông vận tải, Việt Nam đã đặt ra lộ trình đến năm 2040 dừng đăng ký ô tô mới chạy bằng nhiên liệu hóa thạch và đến năm 2050, tất cả ô tô phải chạy bằng điện hay năng lượng tái tạo. Việc chuyển đổi các loại phương tiện giao thông truyền thống thành phương tiện giao thông sinh thái mang ý nghĩa thiết thực trong thực hiện lộ trình Net Zero. Cải tạo động cơ của phương tiện giao thông sang sử dụng nhiên liệu tái tạo khó khăn hơn nhiều so với cải tạo động cơ tĩnh tại vì chế độ công tác của nó thường xuyên thay đổi [1].

Đối với các loại nhiên liệu khí, kỹ thuật cung cấp nhiên liệu dùng phổ biến là sử dụng bộ tạo hỗn hợp với hơng ventury. Để động cơ có thể làm việc ổn định, người ta phải duy trì hỗn hợp tương đối giàu, hệ số tương đương nằm trong khoảng 1,2 tới 1,3 [2] với van cung cấp nhiên liệu chân không kiểu màng [3]. Với công nghệ này, chúng ta phải chấp nhận hệ số tương đương của hỗn hợp được điều chỉnh trong một dải rộng, không đảm bảo được thành phần hỗn hợp tối ưu cho tất cả các chế độ công tác của động cơ.

Abstract - When supplying HHO through the port injection method, the maximum concentration of H₂ remaining in the intake manifold depends on the injection pressure and the HHO/air ratio. If the maximum concentration of H₂ remaining in the intake path is limited to 1%, the HHO/air ratios must not exceed 4.75%, 4.5%, and 4% for injection pressures of 3000Pa, 1000Pa, and 500Pa, respectively. For HHO/air ratios lower than 4%, when the HHO injection pressure varies from 500Pa to 4000Pa, the average equivalence ratio of the mixture remaining in the intake manifold is about 0.003, and the average H₂ concentration is about 0.03%. At an engine speed of 7500 rpm, to maintain an equivalence ratio of the mixture at $f=1$, the gasoline injection angle is 80°CA, 78°CA, and 75°CA, corresponding to HHO/air ratios of 3.5%, 4.5%, and 5.7%, respectively.

Key words - HHO; Hydrogen; HHO port injection; Eco motorcycle; Gasoline-HHO engine.

Để cải thiện đường đặc tính cung cấp nhiên liệu, một số giải pháp điều chỉnh lượng nhiên liệu cung cấp cho mỗi chu trình đã được đề xuất [4], [5]. Với sự phát triển của các hệ thống thông minh, nhiều giải pháp kiểm soát hệ số tương đương của hỗn hợp đã được đề xuất [6-10].

Trong thực tế đến nay chưa có một loại nhiên liệu tái tạo nào có khả năng thay thế hoàn toàn nhiên liệu hóa thạch. Việc sử dụng nhiên liệu tái tạo để hỗ trợ nhiên liệu hóa thạch được xem là bước trung gian cần thiết để giảm dần sự phụ thuộc vào nhiên liệu truyền thống. Trong các loại nhiên liệu tái tạo thì hydrogen là nhiên liệu dồi dào và bền vững nhất. Hydrogen xanh nhận được từ điện phân nước bằng năng lượng tái tạo. Khi không tách riêng H₂ và O₂ của quá trình điện phân nước ta nhận được HHO. Khi bổ sung HHO vào biogas thì tính chất quá trình cháy được cải thiện làm tăng công chi thị chu trình của động cơ [11].

Tuy nhiên, khi bổ sung hydrogen hay HHO vào nhiên liệu truyền thống thì nồng độ NO_x trong khí thải tăng do tăng nhiệt độ cháy [12-15]. Mặt khác, đối với động cơ sử dụng nhiên liệu có chứa hydrogen, đặc biệt là HHO thì ngoài yêu cầu về ổn định hệ số tương đương, hệ thống cung cấp nhiên liệu cần đảm bảo không để sót lại trên đường nạp hàm lượng hydrogen đủ lớn để có thể gây ra hiện tượng nổ

¹ The University of Danang – University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Bui Thi Minh Tu, Bui Van Ga)

² The University of Danang – University of Technology and Education, Danang, Vietnam (Nguyen Le Chau Thanh)

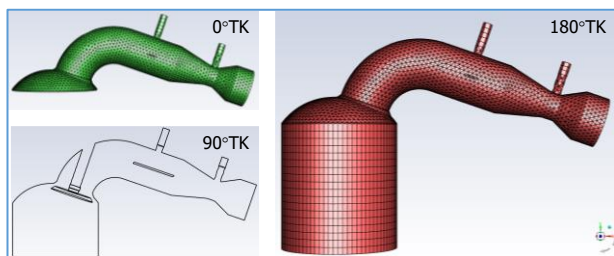
³ Quy Nhơn University, Binhdinh, Vietnam (Le Xuan Thach)

ngược [16-17]. Hydrogen rất dễ bén lửa, có giới hạn cháy rộng hơn rất nhiều so với các loại nhiên liệu truyền thống. Điều này giúp cải thiện quá trình cháy nhưng đặt ra những thách thức đối với hệ thống nạp nhiên liệu. Một số công trình nghiên cứu về cung cấp bổ sung HHO cho động cơ tĩnh tại đánh lửa cưỡng bức chạy bằng biogas đã được thực hiện trong công trình [18-19]. HHO được hòa trộn với biogas và được cung cấp qua một vòi phun bằng phương pháp hút. Do động cơ tĩnh tại làm việc ở một chế độ tải và chế độ tốc độ ổn định, tỉ lệ HHO/biogas chỉ dừng ở mức thấp nên chưa đánh giá được sự bất cập khi xảy ra hiện tượng nổ ngược trên đường nạp.

Trong công trình này chúng tôi nghiên cứu mô phỏng quá trình cung cấp bổ sung HHO kiểu hút và kiểu phun cho động cơ xe gắn máy Honda Lead chạy bằng xăng. Mục đích của nghiên cứu là đánh giá tính khả thi của các giải pháp công nghệ có thể sử dụng để cung cấp HHO cho động cơ xe gắn máy. Nghiên cứu tiếp cận trên khía cạnh xác định nồng độ H_2 còn sót lại trên đường nạp sau mỗi chu trình nhằm xác định các thông số cơ bản phù hợp của hệ thống cung cấp nhiên liệu HHO.

2. Mô phỏng quá trình cung cấp nhiên liệu khí

Mô phỏng được thực hiện trên động cơ xe gắn máy Honda Lead có đường kính xi lanh 50mm, hành trình piston 55mm, tỉ số nén 9:1. Động cơ phát công suất 6,4kW ở tốc độ 7500v/ph. Đường nạp động cơ được lắp thêm vòi phun đường kính 5mm để cung cấp HHO kiểu phun điều khiển điện tử. Trong trường hợp cung cấp HHO kiểu hút, đường nạp được lắp thêm một họng ventury với vòi phun được đặt tại tiết diện hẹp nhất của họng.



Hình 1. Chia lưới không gian tính toán và mặt cắt dọc xi lanh

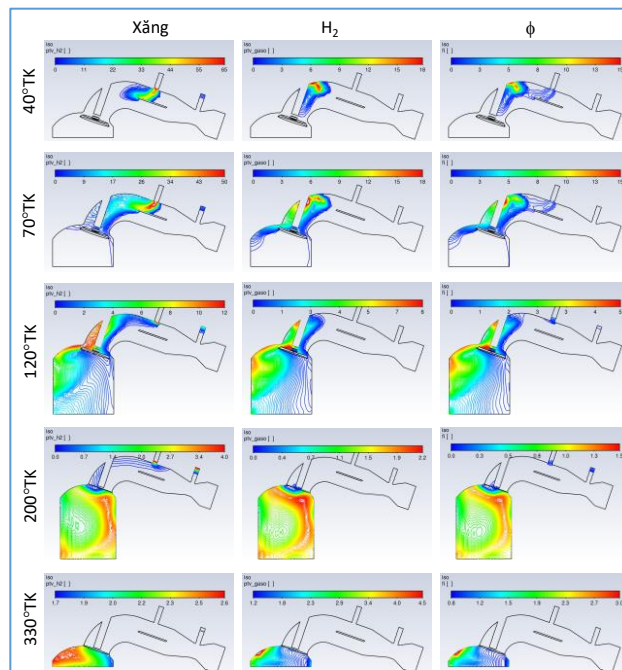
Không gian tính toán gồm đường nạp, buồng cháy và xi lanh. Thể tích xi lanh thay đổi nên được áp dụng kiểu chia lưới động. Hình 1 giới thiệu không gian tính toán ở vị trí 0°TK, 180°TK và mặt cắt dọc xi lanh ở vị trí 90°TK.

Mô phỏng được thực hiện nhờ phần mềm Ansys Fluent 2021R1. Trong quá trình nạp, môi chất không diễn ra phản ứng nên mô hình Species Transport được áp dụng. Môi chất gồm xăng ($C_8H_{18}<iso>$), H_2 , O_2 và N_2 . Tại đầu đường ống nạp chỉ có không khí. Tại đầu vòi phun nhiên liệu khí chỉ có HHO ($2/3 H_2$ và $1/3 O_2$). Quá trình phun, bốc hơi xăng trước cửa nạp được mô phỏng qua mô hình tia phun hình côn tích hợp trong Ansys Fluent.

Quá trình tính toán được thực hiện ở chế độ tốc độ lớn nhất (7500v/ph) và tốc độ giảm định nhỏ nhất (3000v/ph).

Hình 2 giới thiệu diễn biến theo góc quay trục khuỷu của quá trình tạo hỗn hợp bằng phương pháp phun xăng và phun HHO trên đường nạp động cơ nghiên cứu. Vòi phun xăng bắt đầu mở ở 25°TK còn vòi phun HHO bắt

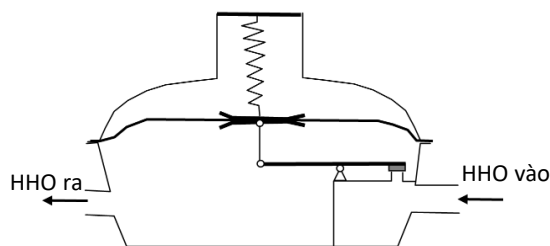
đầu mở ở 30°TK. Khi không khí hút vào xi lanh thì nhiên liệu bị ép về phía đỉnh đường nạp. Vào khoảng cuối kỳ nạp, vùng hỗn hợp đậm tập trung về phía thành xi lanh đối diện với xú páp nạp. Những hạt nhiên liệu xăng chưa kịp bốc hơi được hút vào xi lanh sau, tạo nên vùng nhiên liệu đậm trên đỉnh buồng cháy. Khi bắt đầu kỳ nén, hỗn hợp bị đẩy ngược lên đỉnh buồng cháy, vùng hỗn hợp đậm chuyển sang thành xi lanh cùng phía với xú páp nạp. Cuối quá trình nén, bộ phận nhiên liệu bốc hơi sau tạo nên một vùng hơi đậm trên đỉnh buồng cháy, vùng hỗn hợp hơi nhạt nằm về phía nửa buồng cháy có chứa xú páp nạp. Trong điều kiện cung cấp nhiên liệu này, cuối quá trình nén nhiên liệu hầu như được hút hết vào xi lanh. Điều này có ý nghĩa quan trọng đối với động cơ có sử dụng nhiên liệu HHO.



Hình 2. Diễn biến quá trình tạo hỗn hợp khí phun xăng và phun HHO trên đường nạp động cơ Honda Lead ($n=7500v/ph$)

3. Kết quả và bình luận

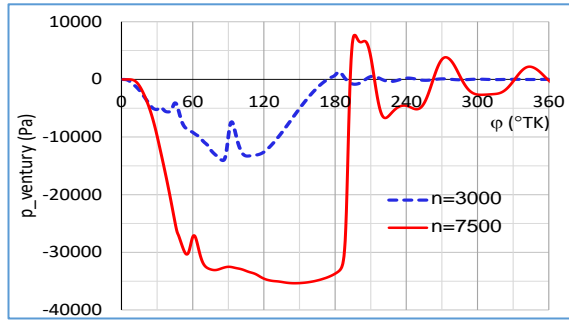
3.1. Cung cấp HHO kiểu hút



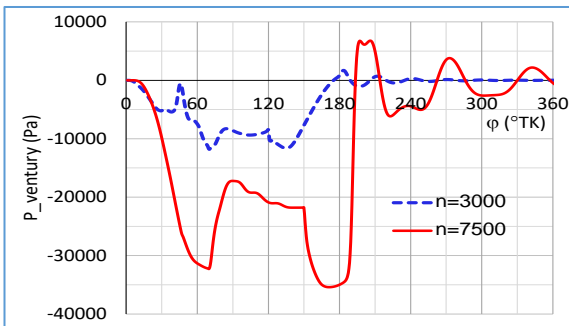
Hình 3. Sơ đồ van cung cấp HHO kiểu hút chân không

Cung cấp HHO vào đường nạp động cơ kiểu hút được thực hiện nhờ van hút chân không (Hình 3). Khi lực hút chân không tại họng ventury lớn hơn lực căng của lò xo van chân không thì van mở, một lượng HHO đi vào đường nạp. Do vậy, thời gian đóng, mở van chân không phụ thuộc vào áp suất tại họng ventury. Độ chân không này phụ thuộc vào chế độ tải, tốc độ động cơ, không chủ động

kiểm soát được. Hình 4a và Hình 4b giới thiệu biến thiên áp suất tĩnh tại họng ventury ở tốc độ 3000v/ph và 7500v/ph khi không cung cấp HHO và khi cung cấp HHO.



a)



b)

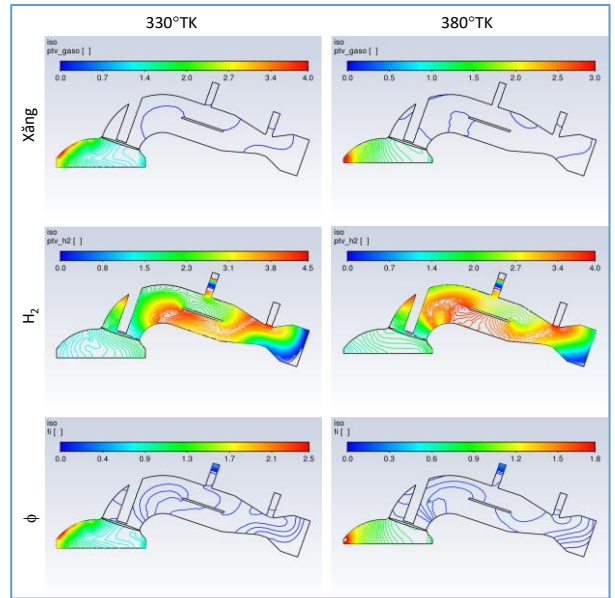
Hình 4. Biến thiên áp suất tĩnh tại họng ventury theo góc quay trục khuỷu khi không cung cấp HHO a) và khi cung cấp HHO b)

Hình 4a cho thấy, độ chân không tại họng đạt cực đại 35000Pa khi tốc độ động cơ 7500v/ph nhưng chỉ đạt 15000Pa ở tốc độ động cơ 3000v/ph. Nếu thiết kế van chân không mở với áp suất chân không 10000Pa thì van sẽ mở trong khoảng 60°TK đến 130°TK khi động cơ chạy ở tốc độ 3000v/ph. Cùng thiết kế này, van cung cấp HHO sẽ mở trong khoảng 30°TK đến 180°TK khi động cơ chạy ở tốc độ 7500v/ph. Do thời gian mở van cung cấp HHO kéo dài khi tăng tốc độ động cơ nên lượng HHO không hút hết vào xi lanh làm mất kiểm soát thành phần hỗn hợp theo tốc độ động cơ. Mặt khác, do HHO còn sót lại trên đường nạp nên rất dễ gây ra hiện tượng nổ ngược.

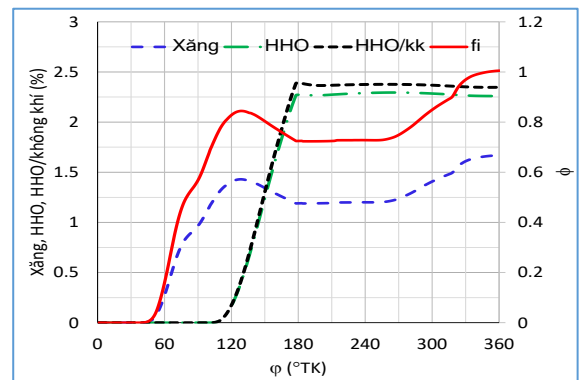
Khi HHO bắt đầu được hút vào họng ventury thì độ chân không tại họng giảm (Hình 4b). Do đó, nếu lực căng lò xo của van lớn hơn lực hút chân không sau khi đã giảm thì van sẽ mở không liên tục.

Để đạt được tỉ lệ HHO/không khí 2,4% và $\phi=1$ vào cuối kỳ nén thì vòi phun xăng mở trong khoảng 25°TK-85°TK, van chân không giả định mở trong khoảng 60°TK-150°TK trong trường hợp cung cấp HHO kiểu hút qua vòi phun đặt tại họng ventury. Hình 5a biểu diễn các đường đồng mức nồng độ xăng, H₂ và ϕ tại 30°TK trước ĐCT và 20°TK sau ĐCT. Ta thấy, cuối kỳ nén nhiên liệu xăng hầu như được hút hết vào xi lanh. Tuy nhiên, trên đường nạp còn lưu lại một tỉ lệ lớn HHO khiến cho hỗn hợp còn sót lại trên đường nạp nằm trong giới hạn bốc cháy. Khi mở xú páp nạp, nhiệt độ cao của khí cháy trong xi lanh có thể đánh lửa hỗn hợp này và gây hiện tượng nổ ngược. Trong quá trình tạo hỗn hợp, do không diễn ra quá trình cháy nên nhiệt độ của hỗn

hợp giảm dẫn đến một bộ phận nhiên liệu lỏng không bốc hơi hết khi kết thúc quá trình nạp. Các hạt nhiên liệu này tiếp tục bốc hơi trong kỳ nén do nhiệt độ hỗn hợp tăng. Điều này thể hiện qua sự gia tăng nồng độ xăng và ϕ vào cuối quá trình nén (Hình 5b).



a)



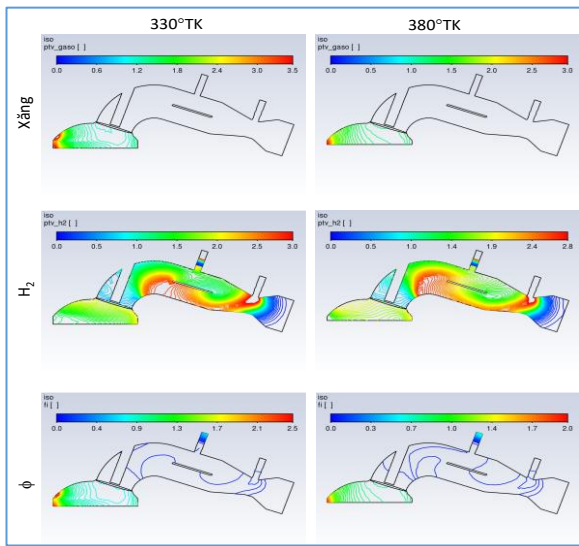
b)

Hình 5. Đường đồng mức nồng độ xăng, H₂ và ϕ a), biến thiên hàm lượng xăng, HHO, tỉ số HHO/không khí và ϕ theo góc quay trục khuỷu b) (cung cấp HHO bằng phương pháp hút, n=7500v/ph, pp=2000Pa)

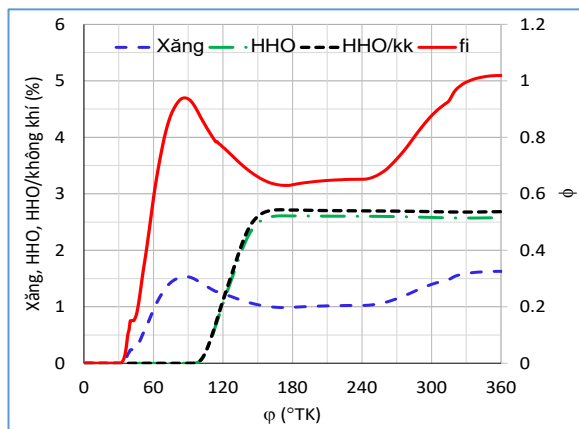
Trên động cơ thực tế khi diễn ra quá trình cháy, nhiệt độ đường nạp và xi lanh tăng giúp cho toàn bộ nhiên liệu lỏng bốc hơi hoàn toàn trong quá trình nạp.

Khi tốc độ động cơ giảm xuống 3000v/ph, khoảng thời gian mở vòi phun xăng từ 30°TK- 90°TK, thời gian mở vòi phun HHO từ 60°TK- 90°TK. Trong điều kiện này, hệ số tương đương cuối quá trình nén đạt được là $\phi=1$, tỉ lệ HHO/không khí đạt 2,6% (Hình 6b). Tuy góc mở vòi phun HHO đã giảm gần 50% so với trường hợp n=7500v/ph nhưng cuối quá trình nén, hàm lượng HHO còn sót lại trường đường nạp rất cao (Hình 6a).

Như vậy, việc cung cấp HHO bằng phương pháp hút truyền thống không phù hợp vì luôn luôn còn sót một lượng HHO trên đường nạp. Vì vậy, để động cơ làm việc an toàn và hiệu quả, cần nghiên cứu giải pháp phun HHO.



a)



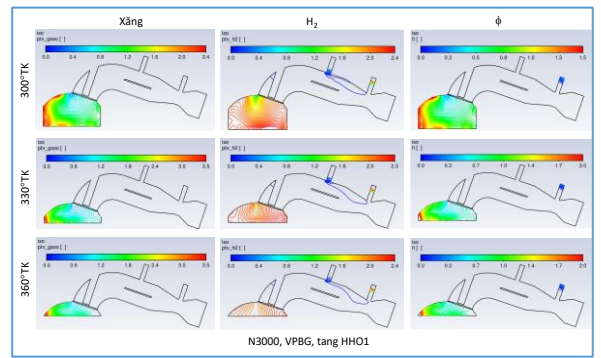
b)

Hình 6. Đường đồng mức nồng độ xăng, H₂ và ϕ a), biến thiên hàm lượng xăng, HHO, tỉ số HHO/không khí và ϕ theo góc quay trục khuỷu b), (cung cấp HHO bằng phương pháp hút, $n=3000\text{v/ph}$, $pp=2000\text{Pa}$)

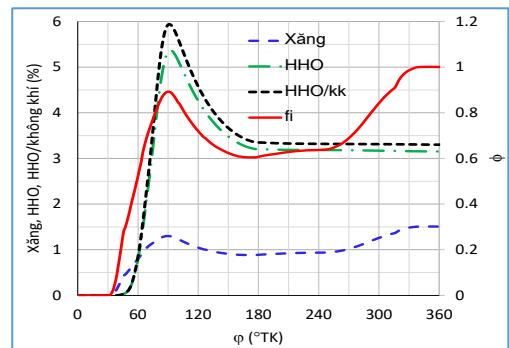
3.2. Cung cấp HHO kiểu phun

Hình 7a giới thiệu đường đồng mức của nồng độ xăng, H₂ và hệ số tương đương ϕ ở các vị trí 300°TK, 330°TK và 360°TK khi cung cấp HHO kiểu phun. Vòi phun xăng mở trong khoảng 25°TK-71°TK; vòi phun HHO mở trong khoảng 20°TK-65°TK. Khác với trường hợp cung cấp nhiên liệu kiểu hút, chúng ta thấy khi phun HHO, ngay cả khi tỉ lệ HHO/không khí đạt 3,4%, cuối quá trình nạp hầu như không còn nhiên liệu sót lại trên đường nạp.

Khi cung cấp nhiên liệu kiểu phun, hàm lượng HHO cũng như tỉ lệ HHO/không khí ban đầu tăng lên đến một giá trị cực đại rồi sau đó giảm dần đến giá trị ổn định (Hình 7b). Điều này là do ban đầu lượng không khí trong xi lanh còn ít nhưng lượng HHO phun vào nhiều làm tăng hàm lượng HHO. Sau đó khi lượng không khí hút vào xi lanh nhiều hơn thì hàm lượng HHO cũng như tỉ lệ HHO/không khí giảm dần. Khi kết thúc quá trình phun HHO thì hàm lượng của nó cũng như tỉ lệ HHO/không khí đạt giá trị ổn định. Biến thiên nồng độ xăng và hệ số tương đương trong trường hợp cung cấp HHO bằng phương pháp phun cũng tương tự như trường hợp cung cấp HHO kiểu hút.

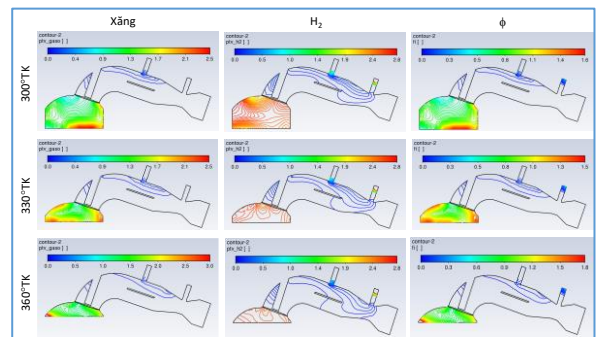


a)

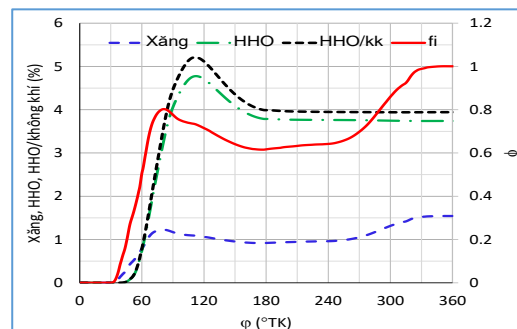


b)

Hình 7. Đường đồng mức nồng độ xăng, H₂ và ϕ a), biến thiên hàm lượng xăng, HHO, tỉ số HHO/không khí và ϕ theo góc quay trục khuỷu b), (cung cấp HHO bằng phương pháp phun, $n=3000\text{v/ph}$, $pp=5000\text{Pa}$, VP-HHO: 20°TK-65°TK, VP-xăng: 25°TK-71°TK)



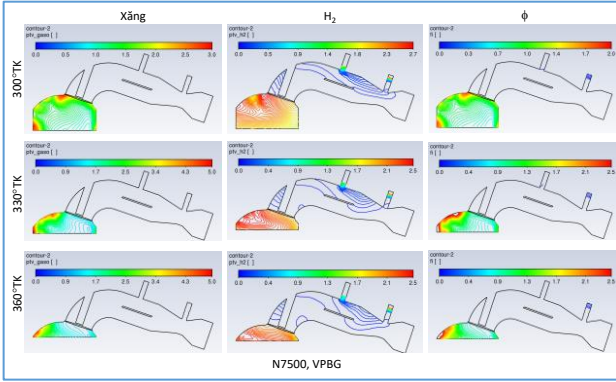
a)



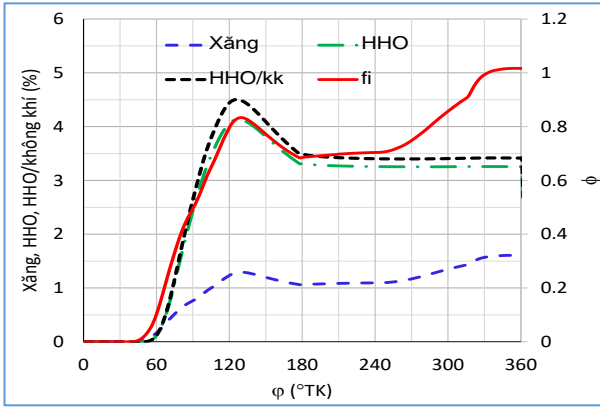
b)

Hình 8. Đường đồng mức nồng độ xăng, H₂ và ϕ a), biến thiên hàm lượng xăng, HHO, tỉ số HHO/không khí và ϕ theo góc quay trục khuỷu b), (cung cấp HHO bằng phương pháp phun, $n=3000\text{v/ph}$, $pp=5000\text{Pa}$, VP-HHO: 20°TK-75°TK, VP-xăng: 25°TK-71°TK)

Khi tăng tỉ lệ HHO/không khí lên 4% (Hình 8b) thì trên đường nạp bắt đầu xuất hiện lượng HHO còn sót lại (Hình 8a). Trong trường hợp này, vòi phun xăng mở trong khoảng 25°TK-71°TK; vòi phun HHO mở trong khoảng 20°TK-75°TK. Trên thực tế thì trong HHO đã có chứa O₂ với tỉ lệ cháy hoàn toàn lý thuyết nên nó không cần không khí để hình thành hỗn hợp cháy. Khi tăng hàm lượng HHO thì lượng không khí nạp vào xi lanh giảm vì vậy lượng phun xăng giảm để đảm bảo cùng hệ số tương đương cho trước.



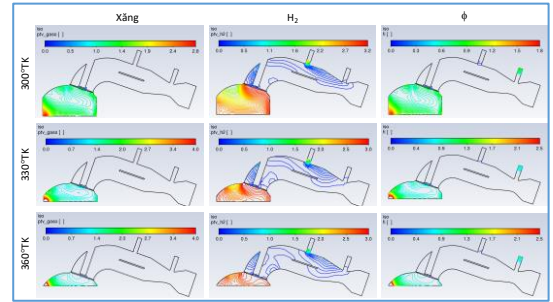
a)



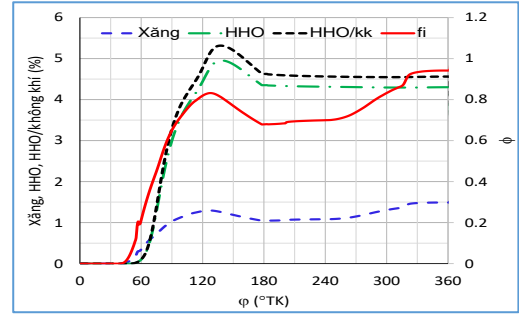
b)

Hình 9. Đường đồng mức nồng độ xăng, H₂ và ϕ a), biến thiên hàm lượng xăng, HHO, tỉ số HHO/không khí và ϕ theo góc quay trục khuỷu b), (cung cấp HHO bằng phương pháp phun, $n=7500\text{v/ph}$, $pp=5000\text{Pa}$, VP-HHO: 20°TK-80°TK, VP-xăng: 25°TK-105°TK)

Các Hình 9, Hình 10 và Hình 11 giới thiệu kết quả mô phỏng quá trình hình thành hỗn hợp của động cơ khi cung cấp HHO kiểu phun với tỉ lệ HHO/không khí lần lượt là 3,5%, 4,5% và 5,7%. Động cơ chạy ở tốc độ cực đại 7500v/ph, áp suất phun HHO là 5000Pa. Kết quả cho thấy, khi tăng hàm lượng HHO thì thời gian phun kéo dài, thời điểm kết thúc phun muộn nên hàm lượng HHO cũng như tỉ lệ HHO/không khí chỉ giảm nhẹ rồi đạt giá trị ổn định khi kết thúc quá trình phun. Biến thiên hàm lượng xăng và ϕ theo góc quay trục khuỷu theo cùng qui luật, không bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi hàm lượng HHO (Hình 9b, Hình 10b và Hình 11b). So sánh các Hình 9a, Hình 10a và Hình 11a cho thấy khi hàm lượng HHO tăng thì nồng độ HHO còn sót lại trên đường nạp càng tăng. Do đó, với một hệ thống cung cấp nhiên liệu cho trước thì hàm lượng HHO cung cấp cho động cơ có một giới hạn để đảm bảo cho động cơ hoạt động bình thường.

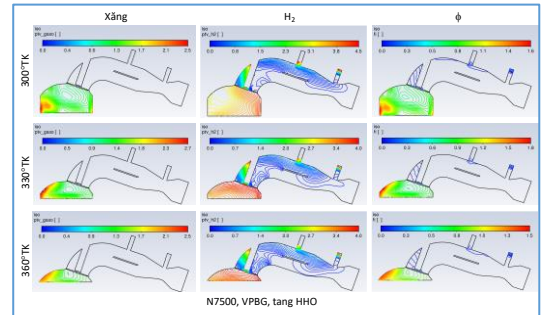


a)

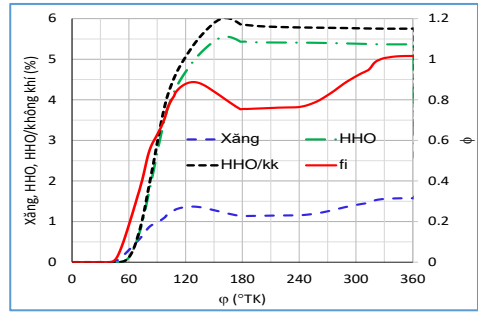


b)

Hình 10. Đường đồng mức nồng độ xăng, H₂ và ϕ a), biến thiên hàm lượng xăng, HHO, tỉ số HHO/không khí và ϕ theo góc quay trục khuỷu b) (cung cấp HHO bằng phương pháp phun, $n=7500\text{v/ph}$, $pp=5000\text{Pa}$, VP-HHO: 20°TK-100°TK, VP-xăng: 25°TK-103°TK)



a)



b)

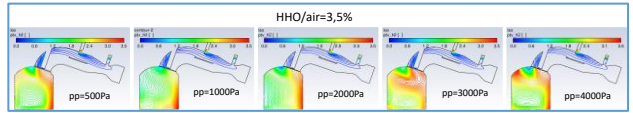
Hình 11. Đường đồng mức nồng độ xăng, H₂ và ϕ a), biến thiên hàm lượng xăng, HHO, tỉ số HHO/không khí và ϕ theo góc quay trục khuỷu b), (cung cấp HHO bằng phương pháp phun, $n=7500\text{v/ph}$, $pp=5000\text{Pa}$, VP-HHO: 20°TK-120°TK, VP-xăng: 25°TK-100°TK)

Các kết quả nghiên cứu trên đây cho thấy, khi tốc độ động cơ thay đổi từ 3000v/ph lên 7500v/ph, với áp suất phun 5000Pa thì nồng độ cực đại của H₂ còn sót lại trên đường nạp sau khi quá trình nạp kết thúc là 0,2% ứng với

tỉ lệ HHO/không khí cung cấp vào động cơ 4,5%. Nồng độ H₂ còn sót lại trên đường nạp tăng lên 1,3% khi tỉ lệ HHO/không khí đạt 5,7%. Khi tăng tỉ lệ HHO/không khí thì lượng xăng nạp vào xi lanh giảm để giữ nguyên hệ số tương đương cho trước. Kết quả mô phỏng trên các Hình 9, Hình 10 và Hình 11 cho thấy, để duy trì hệ số tương đương của hỗn hợp $\phi=1$ thì thời điểm phun xăng là 80°TK, 78°TK và 75°TK ứng với tỉ lệ HHO/không khí lần lượt là 3,5%, 4,5% và 5,7%.

3.3. Ảnh hưởng của áp suất phun HHO

Hình 12a, Hình 12b và Hình 12c biểu diễn đường đồng mức nồng độ H₂ trong xi lanh và đường nạp động cơ tại vị trí 240°TK. Với một áp suất phun cho trước thì nồng độ H₂ còn sót lại trên đường nạp càng tăng khi tỉ lệ HHO/không khí càng lớn. Điều này là do khi tăng hàm lượng HHO thì quá trình phun kéo dài làm tăng lượng H₂ không hút hết vào xi lanh cuối quá trình nạp. Mặt khác khi áp suất phun HHO tăng thì tỉ lệ HHO/không khí tăng với cùng một hàm lượng H₂ còn sót lại trên đường nạp.



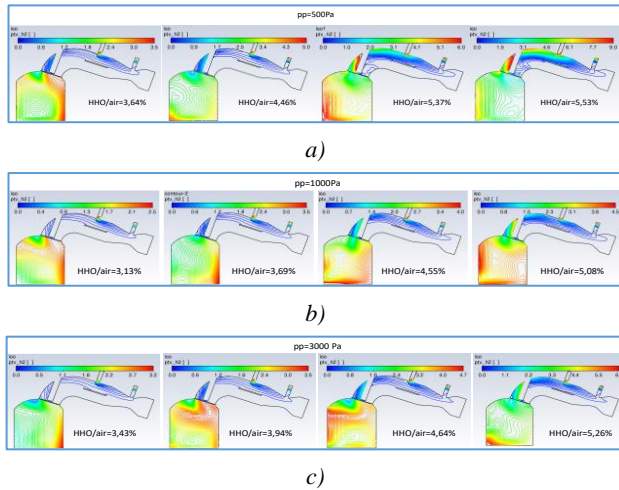
Hình 14. Phân bố nồng độ H₂ trên đường nạp và trong xi lanh động cơ ở vị trí góc quay trục khuỷu 240°TK khi tỉ lệ HHO/không khí=3,5%

Kết quả tính toán mô phỏng trên Hình 14 cho thấy với tỉ số HHO/không khí=3,5% thì sự khác biệt về hàm lượng H₂ còn sót lại trên đường nạp không khác biệt nhau nhiều. Hệ số tương đương của hỗn hợp trung bình còn sót lại trên đường nạp chỉ đạt khoảng 0,003, nồng độ H₂ trung bình còn sót lại trên đường nạp là 0,03%. Tỉ lệ này rất thấp, khó xảy ra hiện tượng nổ ngược.

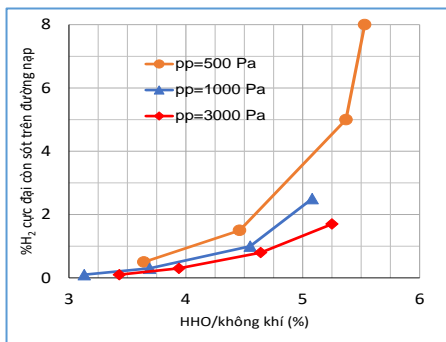
Như vậy, khi chọn tỉ lệ HHO/không khí nhỏ hơn 4% thì chúng ta có thể chọn áp suất phun HHO ở mức tối thiểu khoảng 500Pa để đảm bảo an toàn cho hệ thống sản xuất và cung cấp HHO.

3.4. Giải pháp kỹ thuật phun HHO

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu mô phỏng trên đây chúng ta có thể chế tạo một bộ ECU-HHO chuyên biệt để cung cấp HHO cho động cơ xe gắn máy Honda Lead. Hình 15 là sơ đồ mạch điều khiển vòi phun HHO. ECU-HHO sử dụng vi điều khiển Arduino kết nối tín hiệu với ECU điều khiển vòi phun xăng của động cơ. Tín hiệu vòi phun xăng được sử dụng như tín hiệu đầu vào của ECU-HHO. Thời điểm bắt đầu nhấc vòi phun xăng được dùng làm gốc thời điểm bắt đầu nhấc vòi phun HHO. Đồng thời tín hiệu vòi phun xăng cũng được sử dụng để xác định tốc độ động cơ. Trên Hình 15, tín hiệu vòi phun xăng thông qua mô-đun cách ly quang PC817 được đưa vào chân D3 của vi điều khiển. Chương trình cài đặt trong vi điều khiển sẽ tính toán tốc độ động cơ, thời gian phun HHO và gửi tín hiệu điều khiển qua chân D7, thông qua mosfet, đến vòi phun HHO. Tỉ lệ HHO/không khí được điều chỉnh nhờ biến trở thông qua chân A0 của vi điều khiển. Các thông số cần thiết để theo dõi quá trình phun HHO như tốc độ động cơ, tỉ lệ HHO/không khí, thời gian phun được hiển thị trên màn hình LCD.

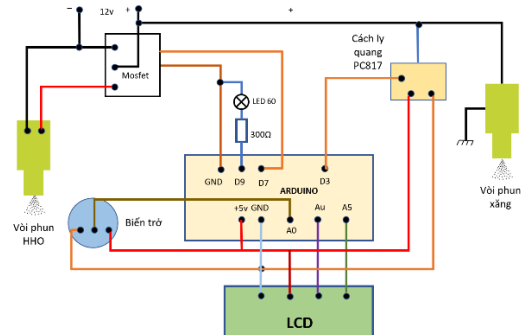


Hình 12. Ảnh hưởng của áp suất phun HHO đến phân bố nồng độ H₂ trên mặt cắt dọc động cơ theo tỉ số HHO/không khí



Hình 13. Ảnh hưởng của áp suất phun HHO đến biến thiên nồng độ H₂ cực đại còn sót lại trên đường nạp theo tỉ lệ HHO/không khí

Hình 13 giới thiệu ảnh hưởng của áp suất phun đến biến thiên nồng độ H₂ cực đại còn sót lại trên đường nạp theo tỉ lệ HHO/không khí. Chúng ta thấy khi áp suất phun HHO bé thì nồng độ H₂ cực đại còn sót lại trên đường nạp tăng rất nhanh theo tỉ lệ HHO/không khí nạp vào xi lanh. Nếu lấy nồng độ cực đại H₂ giới hạn 1% thì tỉ lệ HHO/không khí không vượt quá 4,75%, 4,5% và 4% lần lượt tương ứng với áp suất phun HHO 3000Pa, 1000Pa và 500Pa.



Hình 15. Sơ đồ mạch điều khiển vòi phun HHO

Hình 16 giới thiệu ảnh chụp bộ phụ kiện sản xuất HHO và ECU điều khiển việc cung cấp HHO hỗ trợ động cơ xe gắn máy Honda Lead. Toàn bộ hệ thống nhiên liệu bổ sung này được đặt trong cốp xe. Bộ sản xuất HHO là bộ điện phân nước kiểu khô, sử dụng dung dịch NaOH 20g/l. Nguồn điện cung cấp cho bình điện phân lấy từ Ắc quy của xe. Ắc quy được nạp điện một phần từ máy phát điện sẵn có trên xe và một phần từ máy phát điện tái sinh được lắp vào bánh trước của xe để thu hồi năng lượng phanh.



Hình 16. Ảnh chụp hệ thống sản sinh HHO và ECU điều khiển phun HHO trên đường nạp động cơ Honda Lead

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép rút ra được những kết luận sau:

- HHO rất dễ bén lửa, có giới hạn cháy rộng nên hệ thống nạp cần đảm bảo HHO được hút hết vào xi lanh để tránh xảy ra hiện tượng nổ ngược. Hệ thống nạp kiểu hút qua van chân không truyền thống không đảm bảo được yêu cầu này. Trong mọi chế độ vận hành của động cơ đều có một bộ phận HHO sau khi ra khỏi vòi phun còn sót lại trên đường nạp.

- Khi cung cấp HHO bằng phương pháp phun thì nồng độ cực đại của thành phần chất cháy được trong HHO là H_2 còn sót lại trên đường nạp phụ thuộc vào áp suất phun và tỉ lệ HHO/không khí. Ở tốc độ động cơ 7500v/ph, với áp suất phun 5000Pa thì nồng độ cực đại của H_2 còn sót lại trên đường nạp sau khi quá trình nạp kết thúc là 0,2% và 1,3% ứng với tỉ lệ HHO/không khí cung cấp vào động cơ 4,5% và 5,7%.

- Khi tăng tỉ lệ HHO/không khí thì lượng xăng nạp vào xi lanh giảm để giữ nguyên hệ số tương đương cho trước. Ở tốc độ động cơ 7500v/ph, để duy trì hệ số tương đương của hỗn hợp $\phi=1$ thì thời điểm phun xăng là 80°TK, 78°TK và 75°TK ứng với tỉ lệ HHO/không khí lần lượt là 3,5%, 4,5% và 5,7%.

- Khi áp suất phun HHO từ 500Pa đến 3000Pa thì nồng độ H_2 cực đại còn sót lại trên đường nạp tăng rất nhanh theo tỉ lệ HHO/không khí nạp vào xi lanh. Nếu lấy nồng độ cực đại H_2 giới hạn 1% thì tỉ lệ HHO/không khí không vượt quá 4,75%, 4,5% và 4% lần lượt tương ứng với áp suất phun HHO 3000Pa, 1000Pa và 500Pa.

- Với tỉ lệ HHO/không khí nhỏ hơn 4% thì ảnh hưởng của áp suất phun đến nồng độ cực đại của H_2 còn sót lại trên đường nạp không đáng kể. Khi áp suất phun HHO thay đổi từ 500Pa đến 4000Pa thì hệ số tương đương của hỗn hợp trung bình còn sót lại trên đường nạp chỉ đạt khoảng 0,003, nồng độ H_2 trung bình còn sót lại trên đường nạp là 0,03%.

Lời cảm ơn: Công trình này được thực hiện nhờ tài trợ của Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua đề tài "Bộ điều khiển thông minh cho động cơ sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt trong hệ thống năng lượng tái tạo lại", mã số B2024-DNA.12.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Kumar and T. Shen, "Estimation and feedback control of air-fuel ratio for gasoline engines", *Control Theory and Technology*, Vol. 13, No. 2, pp. 151-159, 2015. doi: 10.1007/s11768-015-4148-9.

[2] D. Danardono, K. S. Kim, S. Y. Lee, and J. H. Lee, "Optimization the design of ventury gas mixer for syngas engine using three-dimensional CFD modeling", *J Mech Sci Technol*, Vol. 25, pp. 2285-2296, 2011, doi: 10.1007/s12206-011-0612-8.

[3] J. C. Guibet, *Carburants et moteurs*, Editions Technip, 1997.

[4] Patent No. 6643 "Functional three-valve system to supply gas fuel for LPG/gasoline motorbikes". *Intellectual Property Office of Viet Nam*, 2007.

[5] P. Li, J. Wang, and W. Cai, "Intelligent control for air-fuel ratio of compressed natural gas engine", *2013 Fourth International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)*, pp. 684-688, 2013, doi: 10.1109/ICICIP.2013.6568160.

[6] R. Turin and H. P. Geering, "Model-reference adaptive A/F-ratio control in an SI engine based on Kalman-filtering techniques," (in English), *Proceedings of 1995 American Control Conference - ACC'95*, Vol. 6, pp. 4082-4090, 1995, doi: 10.1109/ACC.1995.532700.

[7] J. D. Powell, N. P. Fekete, and C. Chen-Fang, "Observer-based air fuel ratio control", *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 18, no. 5, pp. 72-83, 1998, doi: 10.1109/37.722254.

[8] L. Mianzo, H. Peng, and I. Haskara, "Transient air-fuel ratio H₂ preview control of a drive-by-wire internal combustion engine", *Proceedings of the American Control Conference*, vol. 4, pp. 2867-2871, 2001, doi: 10.1109/ACC.2001.946334.

[9] K. R. Muske and J. C. P. Jones, "A model-based SI engine air fuel ratio controller," *2006 American Control Conference*, 2006, pp. 3284-3289, doi: 10.1109/ACC.2006.1657224.

[10] C.-F. Chang, N. P. Fekete, and J. D. Powell, "Engine Air-Fuel Ratio Control Using an Event-Based Observer", *SAE Technical Paper*, vol. 102, pp. 1002-1017, 1993, doi: DOI: 10.4271/930766.

[11] B. V. Ga, B. T. M. Tu, T. L. B. Tram, V. N. Tung, and D. X. Huy, "Combustion Improvement of Engine Fueled With Poor Biogas by Blending Hydroxyl (HHO)". *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, Vol. 17, No. 1.1, pp. 35-41, 2019.

[12] B. V. Ga, B. T. M. Tu, N. V. Dong, and B. V. Hung, "Analysis of combustion and NO_x formation in a SI engine fueled with HHO enriched biogas", *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol 19, No 5, pp. 317-327, 2020.

[13] B. V. Ga, D. V. Dung, N. V. Dong, and D. X. Huy, "Effect of mixture composition and HHO content on cycle indicator and NO_x concentration of biogas engine", *Proceedings of the 22nd National Hydraulic Mechanics Scientific Conference*, No. 22, pp. 237-249, 2019.

[14] B. V. Ga, T. T. H. Tung, L. M. Tien, B. T. M. Tu, D. V. Nghia, and T. N. T. Sang, "Performance and Pollution Emissions of a Biogas-HHO Port Injection Engine". *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, Vol. 18, No.1, tr. 43-48, 2020.

[15] B. V. Ga, P. M. Duc, and V. A. Vu: "Performance of DA465QE Engine Fueled with Hybrid Fuels Biogas-HHO-Gasoline Investigated by Experiments", *The 23rd Vietnam Association for Fluid Mechanics, Da Nang* tr. 137-150, 2020.

[16] B. V. Ga, B. T. M. Tu, T. L. B. Tram, and B. V. Hung, "Technique of Biogas-HHO Gas Supply for SI Engine, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 8, No. 05, pp. 669-674, 2019.

[17] B. V. Ga, V. A. Vu, B. T. M. Tu, B. V. Hung, T. L. B. Tram, and P. V. Quang, "Air/Fuel Ratio Control of an Si-Engine Fueled With Poor Biogas-HHO". *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, Vol. 17, No. 3, pp. 1-6, 2019.

[18] T. L. B. Tram, B. V. Ga, N. T. T. Xuan, and P. V. Quang, "Simulate the process of supplying Biogas-HHO fuel to a spark ignition engine", *Proceedings of the 22nd National Hydraulic Mechanics Scientific Conference*, No.22, pp. 772-783, 2019.

[19] B. T. M. Tu, B. V. Hung, and T. L. B. Tram, "Research on Biogas-HHO injection technology on the intake manifold of static engines with spark ignition", *Proceedings of the 23rd National Hydraulic Mechanics Scientific Conference*, No. 23, pp. 636-647, 2020.