

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA BỔ SUNG KHÍ HYDRO TỚI CÔNG SUẤT, SUẤT TIÊU HAO NHIÊN LIỆU VÀ KHÍ THẢI CỦA ĐỘNG CƠ XĂNG

EVALUATION OF THE EFFECT OF HYDROGEN GAS SUPPLEMENTATION ON GASOLINE ENGINES' POWER, FUEL CONSUMPTION, AND EMISSIONS

Nguyễn Văn Tuấn^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2024.043>

TÓM TẮT

Nguồn nhiên liệu hóa thạch có hạn và mức độ ô nhiễm càng nghiêm trọng từ khí thải động cơ đã thúc đẩy các nghiên cứu tập trung vào nhiên liệu thay thế. Một trong những giải pháp hữu hiệu để nâng cao hiệu quả quá trình cháy trên các động cơ hiện hành mà không cần thay đổi nhiều về kết cấu động cơ là bổ sung một lượng nhỏ khí Hydro hoặc khí giàu Hydro vào động cơ. Hydro có đặc điểm khuếch tán nhanh, dễ bắt cháy và cháy nhanh, do đó khi được bắt cháy trong hỗn hợp với nhiên liệu hóa thạch truyền thống làm tăng tốc độ cháy của hỗn hợp và giúp nhiên liệu cháy kiệt, nhờ đó làm tăng hiệu quả quá trình cháy và giảm phát thải độc hại của động cơ. Bài báo này trình bày về đánh giá hiệu quả của động cơ xăng 4 kỳ khi bổ sung khí Hydro cấp trên đường ống nạp, với mô hình động cơ xăng nghiên cứu được xây dựng trên phần mềm AVL Boost. Kết quả cho thấy khi bổ sung khí Hydro vào động cơ công suất động cơ giảm, suất tiêu hao nhiên liệu tăng, phát thải CO và HC giảm và ngược lại NO_x tăng so với sử dụng nhiên liệu xăng.

Từ khóa: Động cơ xăng, khí hydro, khí thải từ động cơ, mô hình hóa động cơ.

ABSTRACT

The limited resources of fossil fuels and the increasing pollution from engine exhaust have prompted researchers to focus on alternative fuels. One of the practical solutions to improve combustion efficiency on current engines without much change in engine structure is to add a small amount of Hydrogen gas or Hydrogen-rich gas to the engine. Hydrogen has the characteristics of rapid diffusion, flammability, and fast burning, so when ignited in a mixture with traditional fossil fuels, it increases the combustion rate of the fuel mixture and helps the fuel to burn out. Therefore, it increases the combustion process's efficiency and reduces the engine's toxic emissions. This paper evaluates the efficiency of a 4-stroke gasoline engine when adding hydrogen gas to the intake manifold, with a research gasoline engine model built on AVL Boost software. The results show that when adding Hydrogen gas to the engine, the engine power decreases, the fuel consumption rate increases, CO and HC emissions decrease, and NO_x increases compared to gasoline fuel.

Keywords: The gasoline engine, hydrogen gas, exhaust gas from the engine, engine modeling.

¹Trường Đại học Công nghệ giao thông vận tải

*Email: nguyenvantuan@utt.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

DANH MỤC KÝ HIỆU

V_h: Thể tích xy lanh (lít)

D: Đường kính xy lanh (mm)

S: Hành trình piston (mm)

ϵ : Tỷ số nén

N_e: Công suất động cơ (kW)

M_e: Mô-men động cơ (N.m)

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nguồn nhiên liệu hóa thạch có hạn và mức độ ô nhiễm môi trường ngày càng nghiêm trọng từ khí thải động cơ đã thúc đẩy các nghiên cứu tập trung vào nhiên liệu thay thế. Hydro từ lâu đã được xem như một loại nhiên liệu được kỳ vọng cho động cơ đốt trong. Khác với các loại nhiên liệu nguồn gốc hóa thạch, đây là nguồn nhiên liệu không gây ô nhiễm khí thải, có thể tái tạo và có thể được sản xuất từ nguồn nước vô tận. Hydro đã được chứng minh là nhiên liệu thay thế xanh có thể ứng dụng trên các phương tiện giao thông [1, 2]. Do nhiệt độ tự bốc cháy cao của Hydro khoảng 858K [3, 4], việc sử dụng Hydro trên động cơ cháy cưỡng bức sẽ phù hợp hơn là động cơ đánh lửa nén [5, 6]. Hydro sở hữu nhiều đặc tính cháy có lợi cho hiệu suất động cơ và giảm hàm lượng khí thải. Hệ số khuếch tán của Hydro lớn gấp khoảng 12 lần so với xăng giúp cải thiện quá trình hòa trộn nhiên liệu và không khí, đồng thời giúp cải thiện tính đồng nhất của hỗn hợp cháy. Hydro có tốc độ cháy, tốc độ lan tràn màng lửa nhanh hơn 51 lần so với xăng. Tốc độ cháy nhanh làm cho đặc tính động cơ sử dụng nhiên liệu Hydro ít thay đổi với sự thay đổi hình dạng của buồng cháy, sự chảy rối và xoáy của đường ống nạp. Tốc độ cháy cao và khả năng dễ cháy lớn còn giúp cho động cơ khởi động tốt hơn [7, 8]. So với động cơ chạy bằng nhiên liệu xăng thuần túy, việc sử dụng một lượng nhỏ Hydro làm phụ gia cho động cơ chạy bằng nhiên liệu từ dầu mỏ sẽ làm tăng tốc độ cháy của hỗn hợp nhiên liệu và giúp nhiên liệu cháy kiệt, nhờ đó làm tăng hiệu quả quá trình cháy và giảm phát thải độc hại của động cơ [9, 10].

Để giúp định hướng bổ sung nhiên liệu Hydro với tỷ lệ thấp vào trong động cơ, tác giả sẽ xây dựng mô hình và khảo sát bổ sung Hydro với tỷ lệ từ 5 - 10% làm một phần nhiên liệu như một nhiên liệu xúc tác cùng với nhiên liệu xăng đang dùng.

2. XÂY DỰNG VÀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA MÔ HÌNH

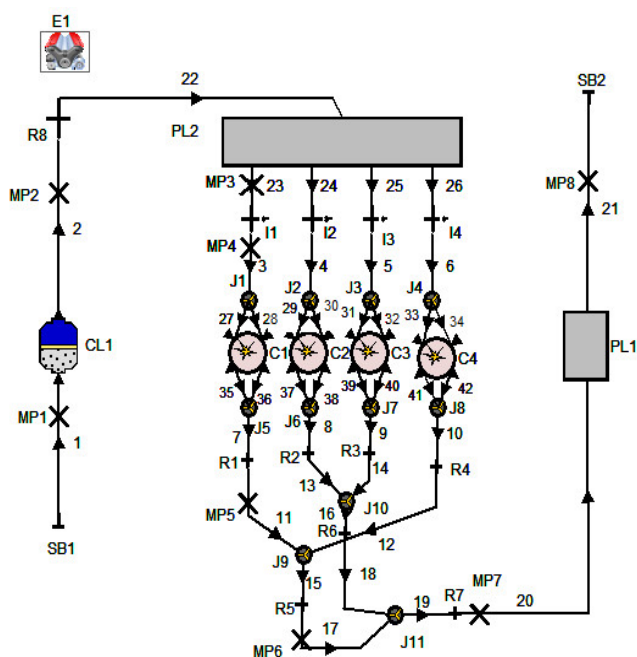
2.1. Xây dựng mô hình

Để khảo sát quá trình hoạt động của động cơ khi bổ sung khí Hydro tác giả sử dụng động cơ ZY-VE, động cơ này phun xăng điện tử, 4 kỳ, 4 xylanh thẳng hàng, trục cam kép, 16 van biến thiên. Các thông số kỹ thuật của động cơ được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của động cơ ZY-VE

TT	Thông số kỹ thuật	Giá trị	Đơn vị
1	Kiểu	Xăng SkyActiv	
2	Thể tích xylanh (V_h)	1,5	lít
3	Loại động cơ	Thẳng hàng	
5	Đường kính xylanh và hành trình piston ($D \times S$)	78,0 x 78,4	mm
6	Tỷ số nén (ϵ)	10,0 : 1	
7	Công suất (N_e)	76 / 6000	(kW/vg)
8	Mô-men (M_e)	137 / 4000	(Nm/vg)

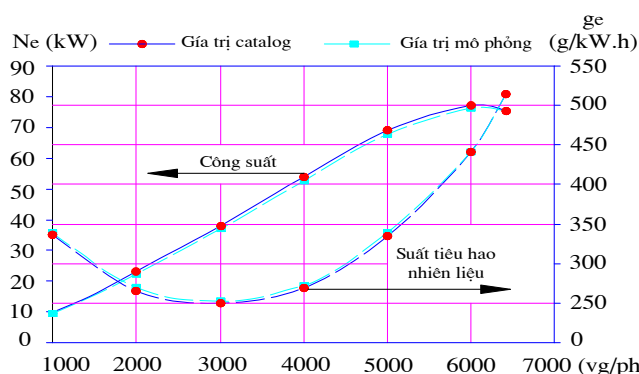
Mô hình động cơ ZY-VE xây dựng bằng phần mềm AVL Boost như hình 1.



Hình 1. Mô hình mô phỏng động cơ ZY-VE

Mô hình động cơ sử dụng mô hình cháy Fractal; mô hình truyền nhiệt Woschni 1978, khí thải CO là sản phẩm cháy của quá trình thiếu oxy và được xác định theo mô hình Onorati. Cơ chế hình thành NO_x dựa trên cơ sở Pattas và Hafner, quá trình hình thành của khí thải này dựa theo cơ chế Zeldovich. Khí thải HC được lấy dựa vào phần mềm AVL [11].

2.2. Đánh giá độ tin cậy mô hình



Hình 2. Kết quả mô phỏng công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ

Đồ thị hình 2 so sánh kết quả tính toán mô phỏng công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ ở đường đặc tính ngoài với số liệu lấy từ catalogue. Đồ thị cho thấy sự sai lệch trung bình công suất tính toán và số liệu catalogue là 2,5%. Suất tiêu hao nhiên liệu mô phỏng có sai lệch trung bình 1,8%. Kết quả mô phỏng cho thấy sự sai khác giữa lý thuyết và kết quả thực nghiệm là không lớn. Do đó mô hình mô phỏng động cơ ZY-VE là đáng tin cậy và có thể dùng để tính toán các thông số khác của động cơ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Việc nghiên cứu mô phỏng đánh giá tính năng kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ ZY-VE khi bổ sung nhiên liệu Hydro được thực hiện qua việc so sánh kết quả tính toán so với khi sử dụng xăng.

Việc tính toán được thực hiện bởi mô hình động cơ ZY-VE trên phần mềm AVL-Boost đã lập ở trên với nhiên liệu xăng và nhiên liệu Hydro. Hỗn hợp không khí - nhiên liệu được nạp vào xylanh đối với trường hợp nhiên liệu xăng và trường hợp nhiên liệu Hydro đều được coi là đồng nhất và có hệ số dư lượng không khí là $\lambda = 1$. Sự khác nhau về thông số đầu vào của mô hình là tỷ lệ loại nhiên liệu. Còn lại các thông số đầu vào khác của mô hình có giá trị như nhau. Kết quả tính toán tại 100% tải được thể hiện như sau.

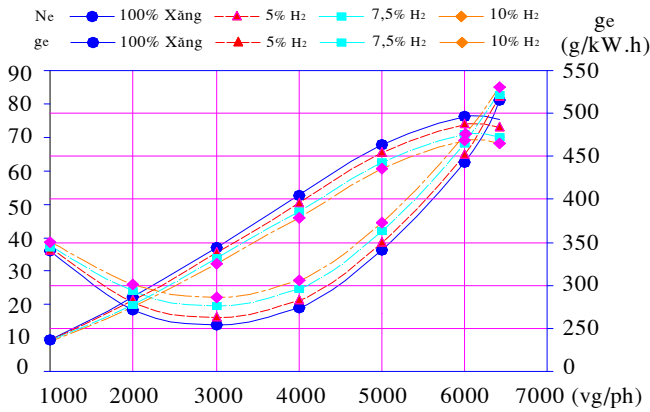
3.1. Kết quả về công suất và suất tiêu hao nhiên liệu

Hình 3 so sánh công suất của động cơ ở chế độ toàn tải từ tốc độ 1000 ÷ 6400vg/ph khi sử dụng 100% xăng và khi bổ sung Hydro. Có thể thấy trên toàn dải tốc độ, công suất của động cơ khi bổ sung Hydro thấp hơn so với động cơ chạy hoàn toàn bằng xăng.

Công suất động cơ khi bổ sung Hydro giảm so với khi sử dụng xăng là vì Hydro ở dạng khí được cấp vào đường ống nạp nên khi được nạp vào xylanh động cơ cùng với không khí nạp sẽ chiếm chỗ của không khí nạp trong xylanh, dẫn đến làm giảm khối lượng hỗn hợp khí nạp vào xylanh, do đó làm giảm năng lượng cấp vào dẫn đến giảm công suất của động cơ.

Về mặt lý thuyết khi sử dụng Hydro lượng không khí nạp giảm trung bình khoảng 10% so với trường hợp sử dụng nhiên liệu xăng. Như vậy, tổng năng lượng cung cấp vào động cơ khi bổ sung Hydro giảm khoảng 10% so với trường

hợp sử dụng nhiên liệu xăng. Đó là lý do làm công suất động cơ khi sử dụng nhiên liệu Hydro giảm 0 ÷ 12% trên toàn dải tốc độ so với khi sử dụng xăng.



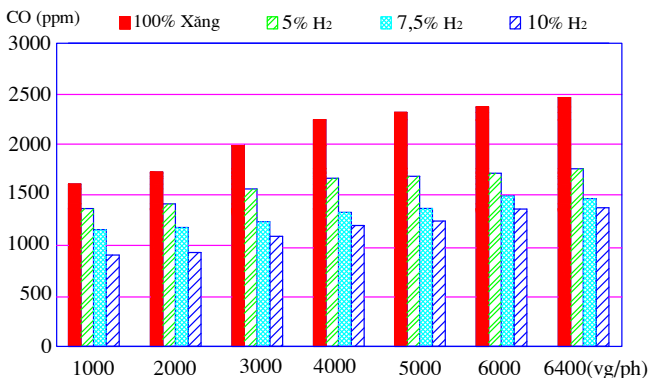
Hình 3. So sánh Ne và ge khi sử dụng xăng và Hydro ở các tốc độ

Trên hình 3 so sánh suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ ở chế độ từ tốc độ 1000 ÷ 6400vg/ph khi sử dụng 100% xăng và khi bổ sung Hydro. Đồ thị cho thấy, suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ khi bổ sung Hydro giảm trung bình khoảng 6 ÷ 9% trên toàn dải tốc độ so với khi sử dụng xăng. Do Hydro có nhiệt trị khối lượng cao hơn xăng nên công suất sinh ra tính trên một đơn vị khối lượng nhiên liệu tiêu thụ cao hơn.

3.2. Kết quả về khí thải của động cơ

Kết quả tính toán mô phỏng phát thải các thành phần CO, HC và NO_x của động cơ khi sử dụng hai loại nhiên liệu xăng và Hydro được thể hiện trên các đồ thị hình 4, 5, 6. Các đồ thị chỉ ra sự cải thiện phát thải khí CO, HC một cách rõ rệt của động cơ khi bổ sung Hydro so với khi sử dụng 100% xăng.

3.2.1. Phát thải CO



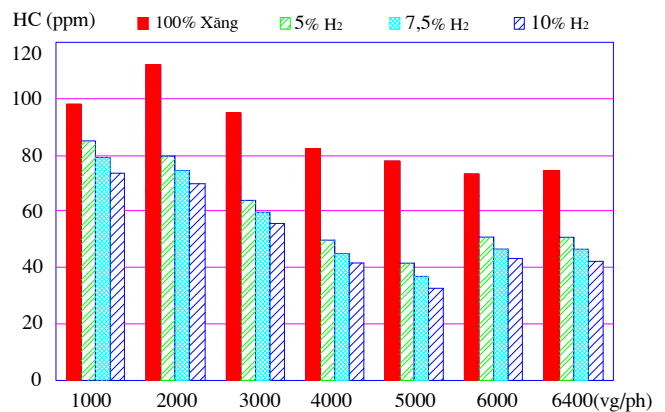
Hình 4. So sánh phát thải CO

Sự so sánh hàm lượng phát thải CO của động cơ khi sử dụng hai loại nhiên liệu được thể hiện trên đồ thị hình 4. Đồ thị cho thấy, hàm lượng phát thải CO của động cơ khi bổ sung Hydro giảm. Giá trị giảm tương ứng với tỷ lệ bổ sung 5%, 7,5%, 10% H₂ trung bình 23,57%, 36,85%, 45,07% so với khi sử dụng 100% xăng. Khí thải CO giảm vì nhiên liệu Hydro với cấu trúc đơn giản, hỗn hợp cháy đồng nhất hơn và cháy kiệt hơn nên phát thải CO của động cơ khi bổ

sung Hydro thấp hơn rất nhiều so với khi sử dụng hoàn toàn nhiên liệu xăng.

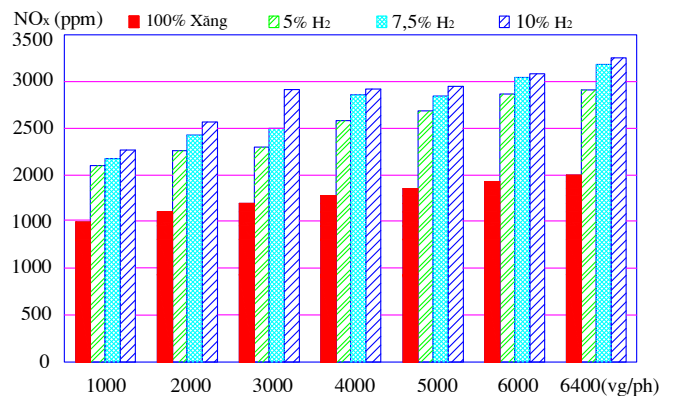
3.2.2. Phát thải HC

Hình 5 cho thấy động cơ khi bổ sung Hydro có hàm lượng phát thải HC giảm so với khi sử dụng xăng trên toàn dải tốc độ của động cơ. Mức giảm tương ứng với tỷ lệ bổ sung 5%, 7,5%, 10% H₂ trung bình 31,87%, 36,5%, 42,19%. Khi bổ sung Hydro, phát thải HC giảm như vậy là do hỗn hợp Hydro-không khí đồng nhất hơn so với hỗn hợp xăng - không khí nên cháy kiệt hơn. Thêm nữa, nhiên liệu Hydro có tỷ số C/H nhỏ hơn so với nhiên liệu xăng nên hàm lượng phát thải HC của động cơ khi sử dụng Hydro sẽ thấp hơn so với khi sử dụng nhiên liệu xăng.



Hình 5. So sánh phát thải HC

3.2.3. Phát thải NO_x



Hình 6. So sánh phát thải NO_x

Đồ thị hình 6 cho thấy, hàm lượng phát thải NO_x khi bổ sung Hydro tăng. Mức tăng tương ứng với tỷ lệ bổ sung 5%, 7,5%, 10% H₂ trung bình 42,95%, 53,20%, 61,23% so với khi sử dụng 100% xăng. Điều này được giải thích do tính chất của Hydro là dễ bắt cháy, cháy nhanh, cháy kiệt, nhưng nhiệt độ cháy cao làm tăng phát thải NO_x.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng được mô hình động cơ xăng trên phần mềm AVL Boost và đánh giá độ tin cậy của mô hình.

Khi bổ sung nhiên liệu Hydro, công suất động cơ giảm 0 ÷ 12%, suất tiêu hao nhiên liệu tăng 6 ÷ 9%, phát thải các

thành phần độc hại CO, HC giảm đáng kể còn phải thải NO_x tăng. Giá trị khí thải thay đổi tương ứng với tỷ lệ bổ sung 5%, 7,5%, 10% H₂ trung bình là: Với khí thải CO giảm tương ứng 23,57%, 36,85%, 45,07% so với khi sử dụng 100% xăng; Với khí thải HC giảm trung bình 31,87%, 36,5%, 42,19% so với khi sử dụng 100% xăng; Với khí thải NO_x tăng tương ứng 42,95%, 53,20%, 61,23% so với khi sử dụng 100% xăng.

Cần có nghiên cứu thực nghiệm để có đủ cơ sở kiểm chứng cho kết quả lý thuyết trên. Khi tiến hành thực nghiệm không cần thay đổi kết cấu của động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ferguson CR, Kirkpatrick AT, *Internal combustion engines*. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [2]. Sastri MVC, "Hydrogen energy research and development in Indian overview," *International Journal of Hydrogen Energy* 12(3), 137-145, 1987.
- [3]. Das LM., "Hydrogen-oxygen reaction mechanism and its implication to hydrogen engine combustion," *International Journal of Hydrogen Energy* 21(8), 703-715, 1996
- [4]. Andrea TD, Henshaw PF, Ting DSK, "The addition of hydrogen to a gasoline - fuelled SI engine," *International Journal of Hydrogen Energy* 29(14), 1541-1552, 2004.
- [5]. Heywood JB, *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Book Co, 1988.
- [6]. Kahraman E, Ozcanl SC, Ozerdem B, "An experimental study on performance and emission characteristics of a hydrogen fuelled spark ignition engine," *International Journal of Hydrogen Energy* 32(12), 2066-2072, 2007.
- [7]. Padiyar S., "Properties of hydrogen," In: *Proceedings of summer school of hydrogen energy*, Chennai, India: IIT Madras, 1985.
- [8]. Ma F, Wang Y, Liu H, Li Y, Wang J, Ding S, "Effects of hydrogen addition on cycle-by-cycle variations in a lean burn natural gas spark-ignition engine," *International Journal of Hydrogen Energy* 33(2), 823-831, 2008.
- [9]. Ganeshb RH, Subramaniana V, Balasubramanianb V, Mallikarjuna JM, Ramesh A, Sharma RP, "Hydrogen fueled spark ignition engine with electronically controlled manifold injection: an experimental study," *Renewable Energy* 33(6), 1324-1333, 2008.
- [10]. Al Baghdadi Maher Abdul Resul Sadiq, Al Janabi Haroun Abdul Kadim Shahad, "Improvement of performance and reduction of pollutant emission of a four-stroke spark ignition engine fueled with hydrogen - gasoline fuel mixture," *Energy Conversion & Management* 41(1), 77-91, 2000.
- [11]. AVL Boost, *AVL Boost Combustion Model*. Austria, 2013.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Van Tuan

University Of Transport Technology, Vietnam