

XÁC LẬP CẤU HÌNH HỆ THỐNG CUNG CẤP NHIÊN LIỆU CNG VÀ ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC CHẾ ĐỘ VẬN HÀNH ĐẾN PHÁT THẢI TRÊN ĐỘNG CƠ CNG CHUYỂN ĐỔI TỪ ĐỘNG CƠ XĂNG ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN TỬ

ESTABLISHING THE CONFIGURATION OF THE CNG FUEL SUPPLY SYSTEM AND EVALUATING THE IMPACT OF OPERATING MODES ON EMISSIONS IN AN ELECTRONICALLY CONTROLLED CNG ENGINE CONVERTED FROM A GASOLINE ENGINE

Nguyễn Văn Du

Khoa Kỹ thuật Ô tô và Năng lượng, Trường Kỹ thuật, Đại học Phenikaa.

Email: du.nguyenvan1@phenikaa-uni.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu về việc thiết lập cấu hình hệ thống cung cấp nhiên liệu khí thiên nhiên nén (CNG) cho động cơ xăng 4 kỳ điều khiển điện tử nhằm tối ưu hóa hiệu suất và giảm phát thải. Nghiên cứu sử dụng kết hợp phương pháp mô phỏng trên phần mềm AVL-Boost và thực nghiệm để đánh giá các đặc tính kinh tế - kỹ thuật. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc xác lập cấu hình bộ trộn và điều khiển phun khí phù hợp giúp mô hình mô phỏng đạt độ tin cậy cao với sai số so với thực nghiệm không quá 5%. Tại các chế độ vận hành khác nhau, mặc dù công suất động cơ giảm trung bình từ 7% đến 21% do ảnh hưởng của hệ số nạp và nhiệt trị nhiên liệu, nhưng hiệu quả cải thiện môi trường là rất rõ rệt. Cụ thể, phát thải CO giảm từ 82% ÷ 88% và HC giảm từ 86% ÷ 91% so với khi sử dụng nhiên liệu xăng nguyên bản. Kết quả này cung cấp cơ sở khoa học cho việc chuyển đổi và hiệu chỉnh các dòng động cơ xăng thế hệ mới sang sử dụng nhiên liệu khí sạch.

Từ khóa: Động cơ CNG; AVL-Boost; Phát thải động cơ; Chuyển đổi nhiên liệu.

ABSTRACT

This paper presents a study on configuring a Compressed Natural Gas (CNG) supply system for the electronically controlled 4-stroke gasoline engine to optimize performance and reduce emissions. The research employs a combination of simulation using AVL-Boost software and experimental methods to evaluate economic and technical characteristics. The results indicate that establishing an appropriate mixer configuration and gas injection control ensures high reliability of the simulation model, with an error of less than 5% compared to experimental data. Across various operating modes, although the engine power decreased by an average of 7% to 21% due to the influence of the volumetric efficiency and fuel heating value, the environmental improvement was significant. Specifically, CO emissions decreased by 82% to 88%, and HC emissions decreased by 86% to 91% compared to the original gasoline fuel. These findings provide a scientific basis for converting and calibrating modern gasoline engines to use clean gaseous fuels.

Keywords: CNG engine; AVL-Boost; Engine emissions; Fuel conversion.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong bối cảnh an ninh năng lượng và các quy định về bảo vệ môi trường ngày càng nghiêm ngặt, việc tìm kiếm nguồn nhiên liệu thay thế sạch cho động cơ đốt trong là một hướng đi chiến lược. Khí nén thiên nhiên (CNG) với thành phần chủ yếu là methane (CH_4) đã chứng minh được ưu thế nhờ đặc tính nhiệt động học phù hợp cho quá trình cháy trong động cơ [1]. Việc ứng dụng CNG không chỉ giúp tận dụng nguồn tài nguyên sẵn có mà còn góp phần giảm thiểu đáng kể các thành phần khí xả gây hiệu ứng nhà kính và ô nhiễm môi trường. Tuy nhiên, việc chuyển đổi các dòng động cơ xăng hiện đại, đặc biệt là động cơ 4 kỳ điều khiển điện tử, sang sử dụng CNG đối mặt với thách thức lớn về sự sụt giảm công suất. Nguyên nhân chủ yếu do nhiệt trị thấp của hỗn hợp khí-không khí và sự chiếm chỗ của nhiên liệu khí trong đường ống nạp làm suy giảm hệ số nạp. Bên cạnh đó, thành phần hóa học của khí thiên nhiên thay đổi tùy theo nguồn khai thác, gây ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình nạp và cháy của động cơ [2]. Do đó, việc xác lập một cấu hình hệ thống cung cấp nhiên liệu khí tối ưu là yêu cầu tiên quyết để duy trì tính năng kỹ thuật của động cơ. Nhằm giảm thiểu khối lượng thực nghiệm và nâng cao độ chính xác trong quá trình thiết kế, bài báo này sử dụng phần mềm chuyên dụng AVL-Boost để mô phỏng đặc tính làm việc của động cơ khi chuyển đổi sang dùng CNG. Nghiên cứu tập trung vào việc xác lập cấu hình bộ trộn và hệ thống điều khiển phun khí, từ đó đánh giá chi tiết ảnh hưởng của các chế độ vận hành đến công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và đặc biệt là nồng độ các chất phát thải CO, HC. Kết quả từ nghiên cứu sẽ làm sáng tỏ khả năng đáp ứng các tiêu chuẩn môi trường của động cơ chuyển đổi, đồng thời cung cấp các thông số kỹ thuật quan trọng cho việc chế tạo bộ thiết bị chuyển đổi nhiên liệu khí trên thực tế.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để thực hiện việc xác lập cấu hình và đánh giá ảnh hưởng của các chế độ vận hành, nghiên cứu sử dụng kết hợp phương pháp mô phỏng số và thực nghiệm kiểm chứng.

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là động cơ xăng 4 kỳ của hãng Toyota sản xuất năm 2005 lắp trên xe Vios. Đây là dòng động cơ 4 xi lanh thẳng hàng, trang bị hệ thống điều khiển điện tử và công nghệ phối khí thông minh VVT-i. Các thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số cơ bản của động cơ

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Hành trình piston/Đường kính (mm)	S/D	84,7/75
Số xy lanh (-)	i	4
Công suất định mức (kW)	N_e	80
Mô-men cực đại ở $n = 4200$ v/ph (Nm)	$M_{e\max}$	140
Số vòng quay định mức (v/ph)	n_{dm}	6000
Tỷ số nén (-)	ε	10,5:1

2.2. Các mô hình mô phỏng trên phần mềm AVL-Boost

Nghiên cứu ứng dụng phần mềm AVL-Boost để thiết lập mô hình nhiệt động học của động cơ. Các thành phần chính của động cơ như hệ thống nạp, các xi lanh, hệ thống thải và các vòi phun được mô hình hóa bằng các module tương ứng trong phần mềm.

Mô hình cháy: Sử dụng hàm Vibe, mô hình Fractal để mô phỏng quá trình tỏa nhiệt trong xi lanh. Các thông số nhiệt động học của

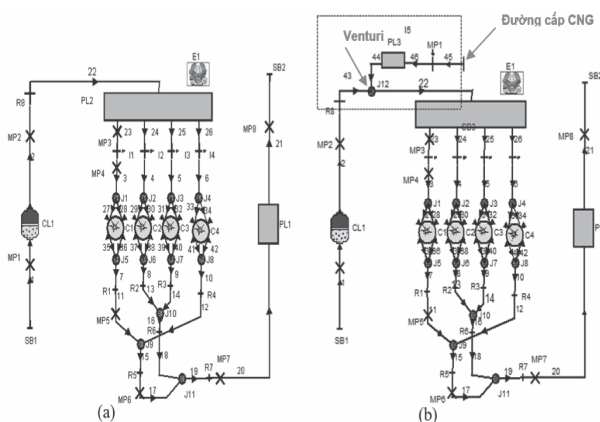
môi chất khí được thiết lập dựa trên lý thuyết về khí thực để phản ánh chính xác đặc tính của CNG [1-4].

Mô hình trao đổi nhiệt: Sử dụng mô hình Woschni để tính toán tổn thất nhiệt truyền qua thành buồng cháy.

Mô hình phát thải: Các nồng độ khí xả như CO, HC và NO_x được tính toán dựa trên các phản ứng hóa học cân bằng và không cân bằng tại các điều kiện nhiệt độ và áp suất tức thời trong chu trình làm việc [1-4].

2.3. Thiết kế mô phỏng nhằm xác lập cấu hình hệ thống cung cấp CNG [3]

Hệ thống cung cấp nhiên liệu khí được thiết kế theo nguyên lý phun khí CNG vào đường ống nạp thông qua một bộ trộn được xác lập cấu hình tối ưu. Nhiên liệu CNG từ bình chứa cao áp đi qua van giảm áp để hạ áp suất xuống mức làm việc phù hợp trước khi đưa vào bộ trộn. Việc định lượng nhiên liệu được điều khiển dựa trên tín hiệu từ cảm biến vị trí bướm ga và tốc độ động cơ để đảm bảo hệ số dư lượng không khí λ nằm trong vùng tối ưu.



Hình 1. Mô hình động cơ trên AVL Boost [3]:
(a) Mô hình mô phỏng động cơ phun xăng và phun CNG; (b) Mô hình mô phỏng động cơ cung cấp CNG bằng bộ hòa trộn kiểu ống venturi

2.4. Phương pháp thực nghiệm kiểm chứng

Sau khi thiết lập mô hình mô phỏng trên AVL-Boost, đánh giá độ tin cậy của mô hình. Nhóm tác giả được kết quả tính toán mô phỏng với các thông số về công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và các thành phần phát thải của động cơ khi sử dụng CNG được cung cấp bởi hệ thống điều khiển phun và bộ hòa trộn so với động cơ xăng nguyên thủy [3].

Nghiên cứu được thực hiện trên đường đặc tính ngoài 100% tải từ tốc độ 1000v/ph ÷ 4000v/ph khi sử dụng xăng RON 92, CNG được cung cấp bởi bộ hòa trộn và CNG phun vào cửa nạp điều khiển điện tử.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đánh giá đặc tính ngoài của động cơ [1-4]

Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy sự sụt giảm công suất (N_e) và mô-men xoắn (M_e) khi động cơ chuyển từ sử dụng xăng sang CNG tại chế độ toàn tải (100% bướm ga).

Về công suất: Tại dải tốc độ từ 1000 đến 4000 vòng/phút, công suất động cơ khi sử dụng CNG giảm trung bình từ 7% ÷ 21% so với xăng nguyên bản. Sự sụt giảm lớn nhất xảy ra ở vùng tốc độ cao.

Về mô-men: Đường đặc tính mô-men của CNG có xu hướng song song nhưng thấp hơn đường đặc tính xăng.

Nguyên nhân chính của sự sụt giảm này là do CNG là nhiên liệu khí, khi nạp vào đường ống nạp nó chiếm một phần thể tích của không khí, làm giảm hệ số nạp η . Ngoài ra, tốc độ cháy của CNG chậm hơn xăng dẫn đến quá trình cháy kéo dài, làm giảm áp suất cháy cực đại trong xi lanh [1-3].

3.2. Suất tiêu hao nhiên liệu [1-4]

Mặc dù công suất giảm, nhưng suất tiêu hao nhiên liệu tính theo năng lượng của động cơ khi sử dụng CNG lại cho thấy những tín hiệu tích cực.

Kết quả ghi nhận suất tiêu hao nhiên liệu giảm khoảng 3% ÷ 6% so với khi vận hành bằng xăng ở cùng chế độ tải.

Điều này có được là do CNG có khả năng hòa trộn với không khí tốt hơn, tạo thành hỗn hợp đồng nhất hơn so với xăng hạt. Hơn nữa, với cấu hình hệ thống điều khiển phun khí đã xác lập, quá trình cháy được tối ưu hóa giúp nâng cao hiệu suất nhiệt của động cơ.

3.3. Đặc tính phát thải [1-4]

Đây là kết quả quan trọng nhất chứng minh tính hiệu quả của việc xác lập cấu hình hệ thống CNG trên động cơ.

Phát thải CO và HC: Nồng độ CO giảm mạnh từ 82% ÷ 88%, trong khi HC giảm từ 86% ÷ 91% so với xăng.

Phát thải NO_x: Ngược lại với CO và HC, phát thải NO_x có xu hướng tăng trung bình khoảng 15%.

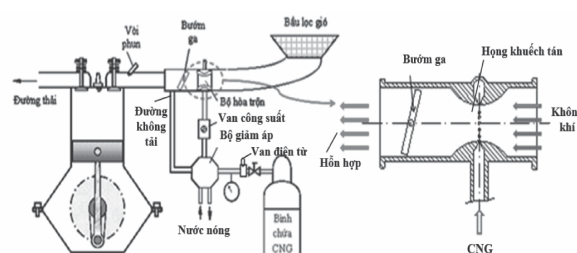
Việc giảm mạnh CO và HC là do trong thành phần hóa học của CNG (chủ yếu là CH₄), tỷ lệ nguyên tử Carbon/Hydro thấp hơn xăng, đồng thời quá trình cháy diễn ra hoàn toàn hơn trong điều kiện thiếu nhiên liệu cục bộ ít xảy ra [1-3].

NO_x tăng nhẹ do nhiệt độ cháy của nhiên liệu khí ở một số vùng trong buồng cháy cao hơn, thúc đẩy phản ứng oxy hóa Nitơ theo cơ chế Zeldovich. Tuy nhiên, mức tăng này vẫn

nằm trong giới hạn cho phép và có thể kiểm soát bằng việc điều chỉnh góc đánh lửa sớm hoặc hệ thống EGR.

Từ các kết quả trên, cấu hình hệ thống cung cấp CNG được lựa chọn như sau:

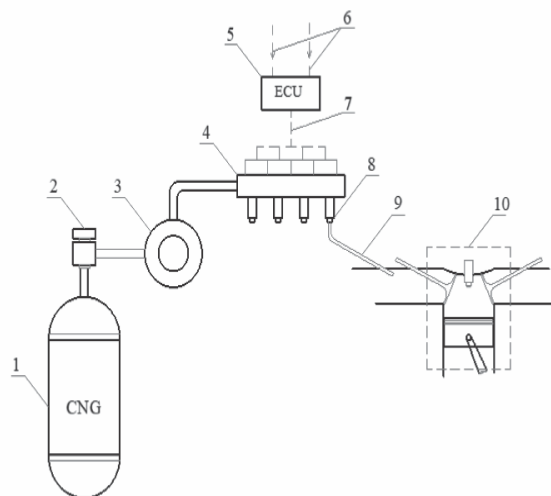
3.4. Cấu hình hệ thống cung cấp CNG sử dụng bộ hòa trộn và hệ thống phun CNG vào cửa nạp



Hình 2. Sơ đồ hệ thống cung cấp CNG dùng bộ hòa trộn.

Trong dạng này gồm:

Bình chứa CNG; Van khóa; Bộ điều áp (regulator); Bộ hòa trộn (mixer); Bướm ga; Ống nạp; Động cơ



Hình 3. Sơ đồ hệ thống phun CNG.

Trong cấu hình này gồm:

Bình chứa CNG; Van khóa; Bộ điều áp; Rail phân phối CNG; Kim phun CNG; ECU điều khiển; Cảm biến

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng cấu hình hệ thống cung cấp nhiên liệu CNG cho động cơ điều khiển điện tử được chuyển đổi từ động cơ xăng truyền thống. Hệ thống gồm các bộ phận chính như bình chứa CNG, bộ giảm áp, kim phun khí và ECU, đảm bảo cung cấp nhiên liệu ổn định và phù hợp với kết cấu động cơ ban đầu.

Kết quả cho thấy việc sử dụng nhiên liệu CNG giúp giảm đáng kể phát thải CO và HC nhờ đặc tính cháy sạch của nhiên liệu khí. Đồng thời, hệ thống điều khiển điện tử cho phép định lượng nhiên liệu chính xác hơn trong các chế độ làm việc khác nhau, góp phần nâng cao hiệu quả và tính ổn định của động cơ. Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho việc phát triển và ứng dụng động cơ sử dụng nhiên liệu CNG nhằm giảm phát thải và bảo vệ môi trường. ❖

Ngày nhận bài: **06/3/2026**

Ngày phản biện: **18/3/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. H. Knapp (1990), “*Knowledge of thermodynamic properties for natural gas processing*”. Gas Separation & Purification 4 (3), pp 123-136.
- [2]. Mahmood Farzaneh-Gord, Mahdi Deymi-Dashtebayaz, Hamid Reza Rahbari (2011), “*Studying effects of storage types on performance of CNG filling stations*”. Journal of Natural Gas Science and Engineering 3 (1), pp 334-340.
- [3]. Nguyễn Thành Trung (2019), Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [4]. AVL GmbH, “*Singer cylinder research engine 5402*”. Austria, 2013.