NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH GÓC PHUN KHÔNG KHÍ PHÙ HỢP TRONG HỆ THỐNG BỔ SUNG KHÔNG KHÍ TRÊN ĐƯỜNG THẢI ĐỘNG CƠ XE MÁY SỬ DỤNG HỆ THỐNG NHIÊN LIỆU BỘ CHẾ HÒA KHÍ

STUDY ON DETERMINING THE APPROPRIATE AIR INJECTION ANGLE IN THE AIR SUPPLEMENT SYSTEM ON THE EXHAUST MANIFOLD OF MOTORCYCLE ENGINES USING CARBURETOR

Nguyễn Duy Tiến^{1,*}, Khổng Vũ Quảng¹, Lê Mạnh Tới¹, Đinh Xuân Thành², Nguyễn Huy Chiến², Nguyễn Phi Trường²

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.43

TÓM TẮT

Hòa khí đậm là đặc trưng cơ bản của động cơ xăng trang bị hệ thống nhiên liệu bộ chế hòa khí. Vì vậy, bổ sung không khí trên đường thải sẽ là giải pháp hiệu quả nhằm tận dụng nhiệt khí thải giúp tăng cường các phản ứng ôxy hóa trên đường thải. Ngoài ra, lượng không khí bổ sung cũng sẽ khắc phục những hạn chế khi trang bị bộ xúc tác ba thành phần trên loại động cơ này, khi nó giúp cải thiện môi trường ôxy hóa trong bộ xúc tác, từ đó nâng cao hiệu suất chuyển đổi các thành phần phát thải CO, HC. Tuy nhiên, để nâng cao hiệu quả của việc bổ sung không khí tới hiệu suất chuyển đổi các thành phần phát thải của bộ xúc tác thì ngoài lượng không khí bổ sung, nhiệt độ hỗn hợp thì mức độ hòa trộn giữa dòng khí thải và dòng không khí bổ sung cũng là một thông số quan trọng. Nội dung bài báo sẽ trình bày quá trình đánh giá ảnh hưởng của góc đặt vòi phun không khí trên đường thải (β) đến hiệu quả của họa trộn giữa hai dòng khí đại trị cao nhất, lên tới 33,4%.

Từ khóa: Bổ sung không khí, bộ xúc tác ba thành phần, giảm phát thải.

ABSTRACT

The rich combination is the basic feature of gasoline engines equipped the carburetor fuel system. Therefore, adding air to the exhaust can be an effective method to utilize heat in the exhaust to enhance the oxidation reaction on the exhaust manifold. Moreover the addition air will overcome the limited use the three way catalyst in this engines because it improves the oxidation environment in the catalyst thereby enhancing the conversion efficiency of C0 and HC. However, in order to improve the efficiency of the catalyst, besides the amount of additional air and the mixture temperature, the degree of homogeneity between the exhaust gas and additional air is also an important parameter. In this paper, we will present the process of evaluating the influence of the air injection angle on the exhaust manifold (β) on the mixing efficiency between the exhaust gas and the supplementary air. Research results show that, with $\beta = 120^{\circ}$, the effective mixing zone of two gas streams reaches the highest value, up to 33.4%.

Keywords: Air injection, three way catalyst, emission reducing.

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
^{*}Email: tien.nguyenduy@hust.vn
Ngày nhận bài: 27/12/2021
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/02/2022
Ngày chấp nhận đăng: 27/10/2022

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, xe máy đang là loại phương tiên được sử dụng phổ biến tại Việt Nam. Theo thống kê của Cục Đăng kiểm Việt Nam, hiện nay nước ta có trên 60 triệu xe máy, trong đó phần lớn là các xe trang bị hệ thống nhiên liệu sử dụng bộ chế hòa khí [1]. Bên cạnh những ưu điểm như giá thành phù hợp với thu nhập của đa số người dân, thuận tiện trong quá trình di chuyển đặc biệt là trong các đường, ngõ phố chật hẹp... Xe máy hiện cũng đang là tác nhân chính gây ô nhiễm môi trường không khí đặc biệt là tại các thành phố lớn như Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh [2]. Nhằm kiểm soát phát thải cho các phương tiện sản xuất và lắp ráp trong nước cũng như các phương tiện nhập khẩu nước ta hiện đang áp dụng tiêu chuẩn EURO4 cho ô tô và EURO3 cho xe máy (bắt đầu từ năm 2017). Tiến tới sẽ áp dụng tiêu chuẩn EURO5 cho ô tô và EURO4 cho xe máy (theo lô trình sẽ áp dụng từ 1/1/2022) [3].

Để giảm thiểu ô nhiễm môi trường cũng như đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải ngày càng cao đòi hỏi ngoài những cải tiến công nghệ liên quan tới động cơ thì việc trang bị thêm hệ thống xử lý khí thải gần như là yêu cầu bắt buộc. Khác với các động cơ phun xăng điện tử, trên các động cơ sử dụng hệ thống nhiên liệu bộ chế hòa khí thì việc trang bị hệ thống xử lý khí thải mà cụ thể là bộ xúc tác ba thành phần (BXT) là tương đối khó khăn vì trong quá trình vận hành hệ số dư lượng không khí λ của động cơ có biên độ thay đổi lớn và động cơ thường làm việc ở vùng có hệ số dư lượng không khí λ nhỏ hơn 1 chính vì vậy hiệu quả của BXT không cao dẫn tới hàm lượng phát thải độc hại của động cơ sau BXT vẫn rất lớn [4].

Nhiều nghiên cứu cho thấy phun bổ sung không khí trên đường thải là giải pháp không chỉ tăng cường các phản ứng ôxy hóa trên đường thải mà còn cải thiện môi trường ô xy hóa do đó cải thiên hiêu suất chuyển đổi các thành phần CO, HC trong BXT [4,5]. Tuy nhiên hiêu suất chuyển hóa của BXT với các thành phần phát thải ngoài phụ thuộc vào nhiệt độ, hệ số dư lượng không khí còn phụ thuộc vào mức độ đồng nhất trong quá trình hòa trôn giữa dòng không khí bổ sung và dòng khí thải. Vì vậy, trong nội dung bài báo này nhóm tác giả hướng tới mô phỏng xác định góc đặt vòi phun không khí trên đường ống thải (β) phù hợp nhằm đạt được hiệu quả hòa trôn tốt giữa hai dòng khí. Quá trình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Ansys fluent, quá trình thử nghiêm xác đinh các thông số đầu vào của mô hình được tiến hành tại Trung tâm Nghiên cứu động cơ, nhiên liệu và khí thải, Trường Đại hoc Bách khoa Hà Nôi.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng sử dụng trong quá trình thử nghiệm xác định các thông số đầu vào của mô hình mô phỏng là xe máy Zip 100 của hãng Piaggio, đây là một trong những dòng xe máy hiện nay sử dụng hệ thống nhiên liệu bộ chế hòa khí nhưng đã được trang bị bộ xúc tác ba thành phần trên đường thải. Các thông số kỹ thuật của động cơ trang bị trên xe được thể hiện trong bảng 1.

STT	Thông số	Giá trị
1	Kiểu động cơ	1 xy lanh, 4 kỳ, chế hòa khí
2	Dung tích xy lanh	96cm ³
3	Ð.kính x H.trình	50 x 49mm
4	Tỉ số nén	11,1
5	Công suất tối đa	7,65kW/8250v/ph
6	Mô-men cực đại	6,92 Nm/ 5500v/ph

Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ xe Zip 100

2.2. Xác định điều kiện biên của mô hình

Các thông số điều kiện biên, đầu vào của mô hình mô phỏng trên Ansys Fluent, như nhiệt độ, hệ số dư lượng không khí và lưu lượng khí thải được xác định bằng thực nghiệm trên băng thử CD20" tại trung tâm nghiên cứu động cơ, nhiên liệu và khí thải, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Sơ đồ hệ thống thử nghiệm được thể hiện như trên hình 1. Trong đó, lượng nhiên liệu tiêu thụ được đo bởi thiết bị fuel balance 733S, nhiệt độ khí thải được đo bởi cảm biến loại K (0 - 800°C) kết nối với thiết bị hiển thị. Hệ số dư lượng không khí được xác định bởi cảm biến λ dải rộng Bosch LSU 4.9. Lưu lượng khí thải sẽ được xác định gián tiếp thông qua lưu lượng nhiên liệu và hệ số dư lượng không khí theo công thức 1.

$$G_{kt} = G_{kn} + G_{nl} = G_{nl} \cdot \lambda_0 \cdot (A/F) + G_{nl} = G_{nl} \cdot (\lambda_0 \cdot (A/F) + 1)$$
(1)

Trong đó: G_{kt} - lưu lượng khí thải; G_{kn} - lưu lượng khí nạp; G_{nl} - lưu lượng nhiên liệu; λ_0 - hệ số dư lượng không khí của động cơ (khi chưa bổ sung không khí). Theo Juan E. Tibaquira [6] hệ số A/F của nhiên liệu sử dụng trong nghiên cứu - RON95 là 14,49.

Lưu lượng không khí bổ sung được tính toán nhằm đảm bảo hệ số dư lượng không khí trên đường thải bằng 1 và được xác định theo công thức sau.



Hình 1. Sơ đồ thử nghiệm xác định thông số điều kiện biên của mô hình

Chế độ thử nghiệm được thực hiện ở tốc độ 50km/h, độ mở bướm ga 50%. Các thông số đo được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Các thông số đo

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Nhiệt độ khí thải	901	К
2	Hệ số dư lượng không khí λ	0,88	-
3	Lượng nhiên liệu tiêu thụ	1,2	kg/h

Bên cạnh các thông số như thể hiện trong bảng 2, các thông số khác của dòng không khí bổ sung và dòng khí thải được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Các thông số điều kiện biên khác [7,8,9]

STT	Thông số	Không khí bổ sung	Khí thải
1	Nhiệt độ đầu vào (K)	300	901
2	Khối lượng riêng (kg/m³)	1,225	0,367
3	Nhiệt dunng riêng (J/kg.K)	1006,430	1117,715
4	Hệ số dẫn nhiệt (W/m.K)	0,0242	0,0626
5	Độ nhớt (kg/m.s)	1,789.10-5	3,973.10-5
6	Lưu lượng (kg/h)	2,09	16,50
7	Hê số Reynold (-)	6027,4	12455,1

2.3. Xây dựng mô hình mô phỏng trên Ansys fluent

2.3.1. Cơ sở lý thuyết mô phỏng trong Ansys fluent

Ansys Fluent là một trong những phần mềm đang được phát triển và ứng dụng mạnh mẽ trong nhiều bài toán mô phỏng khác nhau như tối ưu hóa các kết cấu cơ khí, quá trình truyền nhiệt, truyền chất, động lực học chất lỏng... Ansys Fluent được xây dựng trên cơ sở hệ các phương trình liên tục, phương trình bảo toàn động lượng và năng lượng [9,10]:

KHOA HỌC CÔNG NGHỆ

+ Phương trình liên tục

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{y}} + \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial \mathbf{z}} = \mathbf{0}$$
(3)

+ Phương trình động lượng

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + div(\rho v v) = +\rho g - grad(p) + div[\mu grad(v)]$$
(4)

+ Phương trình năng lượng

$$\frac{\partial (\rho c_v T)}{\partial t} + div (\rho v c_p T) = \rho \dot{\sigma} + div [kgrad(T)]$$
(5)

Trong đó: u, v, w là vận tốc của môi chất; t là thời gian; ρ là khối lượng riêng; p là áp suất của dòng môi chất; μ là độ nhớt của dòng môi chất; g là gia tốc trọng trường; T là nhiệt độ; c_v, c_p lần lượt là nhiệt dung riêng đẳng tích và đẳng áp; $\dot{\sigma}$ là nguồn năng lượng bên trong (hóa học, hạt nhân...); k là hệ số dẫn nhiệt.

Trong nghiên cứu này, mô hình mô phỏng về dòng chảy và truyền nhiệt được thực hiện dựa trên một số giả thiết sau đây [9]:

 + Môi chất là chất lỏng nhớt (độ nhớt phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất)

+ Dòng chảy là dòng ổn định

+ Sử dụng mô hình rối k-ε tiêu chuẩn.

2.3.2. Xây dựng mô hình mô phỏng

Trên cơ sở kết cấu thực tế trên xe Zip 100, tiến hành xây dựng mô hình đường ống thải của xe bắt đầu từ vị trí ngay sau cửa thải động cơ đến vị trí trước bộ xúc tác ba thành phần (hình 2). Vị trí bố trí vòi bổ sung không khí được giữ cố định, góc nghiêng β được khảo sát với 5 trường hợp: 0° (TH1), 60°(TH2), 90°(TH3), 120°(TH4) và 180°(TH5). Ngoài các thông số điều kiện biên thể hiện trong bảng 1, 2, biên dạng vận tốc được coi là đồng nhất và phân bố đồng đều tại tiết diện đầu vào của đường ống. Điều kiện biên tường không chuyển động được gắn cho vỏ bên ngoài và đoạn nhiệt (giả thiết vỏ được bọc cách nhiệt hoàn toàn).



Hình 2. Bản vẽ kết cấu ống hòa trộn

2.3.3. Chia lưới

Mô hình 3D và mô hình chia lưới được thể hiện trên hình 3 và 4. Trong quá trình chia lưới kích thước lưới là thông số quan trọng, ảnh hưởng đến kết quả cuối cùng của mô hình mô phỏng số. Vì vậy tính độc lập của kích thước lưới sẽ được kiểm tra. Trong nghiên cứu này, 5 kích thước lưới khác nhau (41169; 93980; 120355; 165404 và 371491 phần tử) đã được khảo sát để tìm ra ảnh hưởng của số lượng phần tử lưới đến hệ số Nusselt, hệ số này được tính toán ở gần cuối đường ống thải (100 mm tính từ vị trí bố trí vòi phun không khí - hình 2). Kết quả cho thấy không có sự thay đổi đáng kể nào của hệ số Nusselt khi số lượng phần tử lưới từ 120355 trở đi (hình 5). Dựa trên kết quả phân tích này, số lượng phần tử lưới được lựa chọn cho mô hình mô phỏng là 120355 phần tử. Quá trình mô phỏng được coi là hội tụ khi sai số năng lượng và khối lượng nhỏ hơn 10⁻⁴ và các sai số khác nhỏ hơn 10⁻⁶.



Hình 3. Bản vẽ mô hình 3D



Hình 4. Chia lưới mô hình



Hình 5. So sánh hệ số Nusselt với số phần tử lưới khác nhau

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân bố vận tốc và nhiệt độ của khí thải và không khí trong hệ thống

Hình 6 thể hiện sự phân bố vận tốc của hỗn hợp khí thải và không khí bổ sung lưu động trong ống ứng với 5 góc phun khác nhau. Có thể nhận thấy dòng không khí bổ sung với vận tốc cao khi đi vào sẽ gây ra hiện tượng rối xoáy và làm tăng mức độ hòa trộn giữa hai dòng khí. Hiện tượng rối xoáy có sự khác biệt đáng kể khi thay đổi góc phun β , điều này sẽ ảnh hưởng đến sự phân bố nhiệt độ ở 2 phía vị trí trước và sau vòi phun, đặc biệt là các điểm gần thành ống thải. Bên cạnh đó có thể thấy với góc phun β thay đổi từ 60° đến 120° sự rối xoáy của dòng khí vẫn còn tiếp tục kéo dài trên đường thải ở khoảng cách xa so với vị trí vòi phun không khí, điều này có thể làm tăng mức độ hòa trộn giữa khí thải và dòng khí bổ sung, qua đó làm tăng hiệu quả làm việc của BXT.



Hình 6. Phân bố vận tốc khí thải và không khí với các góc phun khác nhau



Hình 7. Phân bố nhiệt độ của khí thải và không khí khi β thay đổi từ 0° \div 180°

Hình 7 thể hiện phân bố nhiệt độ của hỗn hợp khí trong đường ống thải. Các vị trí khảo sát bao gồm ba mặt cắt (hình 2) trong đó mặt cắt A-A ở phía trước, B-B ở phía sau và cách vòi phun 10mm, mặt cắt C-C tương ứng với đầu ra của đoạn ống thải khảo sát. Kết quả cho thấy nhiệt độ tại đầu ra của dòng khí (mặt cắt C-C) nằm trong khoảng 730 ÷ 740K (457 ÷ 467°C), nhiệt độ này nằm trong phạm vi làm việc hiệu quả của BXT (t > 350°C), do đó quá trình phun không khí vào đường thải không ảnh hưởng đến nhiệt độ làm việc hiệu quả của BXT.

3.2. Đánh giá mức độ hòa trộn giữa không khí và khí thải

Mức độ hòa trộn giữa không khí và khí thải được đánh giá thông qua hệ số lưu lượng ϕ_{kk} (Air Volume Fraction) và được tính toán theo công thức:

$$\phi_{kk} = \frac{G_{kk}}{G_{kk} + G_{kt}} \tag{6}$$

Trong đó G_{kk} : lưu lượng không khí bổ sung ở phân tố khảo sát, G_{kt} lưu lượng khí thải ở phân tố khảo sát. Áp dụng công thức 1 và 2, công thức 6 được biến đổi như sau:

$$f_{kk} = \frac{G_{kk}}{G_{kk} + G_{kt}}$$

$$= \frac{G_{nl}(\lambda - \lambda_0)(A / F)}{G_{nl}(\lambda - \lambda_0)(A / F) + G_{nl}(\lambda_0(A / F) + 1)}$$

$$= \frac{(\lambda - \lambda_0)(A / F)}{\lambda(A / F) + 1}$$
(7)

Trong đó λ_0 là hệ số dư lượng không khí khi không có bổ sung không khí ($\lambda_0 = 0,88$ - bảng 1); λ là hệ số dư lượng không khí trên đường thải khi có bổ sung không khí. Theo [11], bộ xúc tác hoạt động hiệu quả khi $\lambda \approx 1$ (0,975 $\leq \lambda \leq$ 1,025), thay giá trị λ và λ_0 vào (7), hệ số lưu lượng không khí (ϕ_{kk}) được xác định như sau:

+Với
$$\lambda = 0.975$$

 $\phi_{kk} = \frac{(\lambda - \lambda_0)(A/F)}{\lambda(A/F) + 1} = \frac{(0.975 - 0.88).14,49}{0.975.14,49 + 1} = 0.091$
+ Với $\lambda = 1.025$
 $\phi_{kk} = \frac{(\lambda - \lambda_0)(A/F)}{\lambda(A/F) + 1} = \frac{(1.025 - 0.88).14,49}{1.025.14,49 + 1} = 0.133$

Như vậy, vùng hòa trộn hiệu quả trong đường thải là các vùng có hệ số lưu lượng ϕ_{kk} nằm trong khoảng 0,091 ÷ 0,133.

Hình 8 thể hiện kết quả mô phỏng hệ số lưu lượng không khí ϕ_{kk} tại phía cuối đường ống (mặt cắt C-C). Kết quả tổng hợp trên hình 9 cho thấy diện tích vùng có hệ số ϕ_{kk} trong vùng giới hạn hoạt động hiệu quả của BXT (0,091 ÷ 0,133) tăng khi tăng góc nghiêng β và đạt giá trị lớn nhất với góc phun $\beta = 120^{\circ}$ (ϕ_{kk} đạt tới 33,4%). Nguyên nhân của hiện tượng này có thể do hiện tượng rối xoáy của dòng khí, khi phun ngược hướng di chuyển của dòng khí thải từ đó làm cải thiện mức độ hòa trộn giữa 2 dòng môi chất.





4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phương pháp CFD để mô phỏng quá trình phun không khí trên đường thải của xe máy, từ đó đánh giá mức độ hòa trộn giữa không khí và khí thải. Kết quả mô phỏng cho thấy việc bố trí hướng dòng khí bổ sung ngược chiều với dòng khí thải sẽ làm tăng chuyển động xoáy rối qua đó làm tăng mức độ hòa trộn giữa hai dòng khí. Với góc phun $\beta = 120^{\circ}$ sự hòa trộn giữa hai dòng khí là tốt nhất với vùng có hệ số dư lượng không khí λ từ 0,975 đến 1,025 (vùng hoạt động hiệu quả của bộ xúc tác) đạt tới 33,4%. Từ kết quả này sẽ là cơ sở quan trọng để nhóm nghiên cứu tiến hành thiết kế và xây dựng hệ thống bổ sung không khí vào đường thải động cơ.

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn đề tài số 09-2021-RD/HĐ-ĐHCN đã hỗ trợ kinh phí để nhóm tác giả hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. http://www.vr.org.vn/thong-ke/Pages/tong-hop-so-lieu-phuong-tiengiao-thong-trong-ca-nuoc.aspx

[2]. http://cem.gov.vn/tin-tuc-moi-truong/o-nhiem-khong-khi-o-ha-noi-20-nam-nghien-cuu

[3]. https://www.mt.gov.vn/tthc/tin-tuc/77484/chinh-thuc-ap-dung-tieuchuan-khi-thai-muc-5---euro-5-tai-viet-nam-tu-ngay-1-1-2022.aspx

[4]. Nguyen Duy Tien, Khong Vu Quang, Nguyen The Luong, Pham Huu Tuyen, Nguyen The Truc, Bui Van Chinh, 2019. *Effect of air injection into exhaust manifold to specifications, emissions and efficiency of three way catalyst equipped in motobike engine using caburator.* Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry Vol. 55.

[5]. Nguyen Duy Tien, Khong Vu Quang, Nguyen The Luong, Pham Huu Tuyen, Nguyen Duc Khanh, 2020. *Study on improving emission conversion efficiency of three-way catalyst equipped in carburetor motorcycle by air supplement system*. International Journal of Ambient Energy.

[6]. Juan E.Tibaquira, 2018. The Effect of Using Ethanol-Gasoline Blends on the Mechanical, Energy and Environmental Performance of In-Use Vehicles. Energies, vol 11, 221

[7]. Bui Hai, Tran The Son, 2015. *Ky thuat nhiet*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.

[8]. M. Hatami, D.D.Ganji, M.Gorji-Bandpy, 2014. *Numerical study of finned type heat exchangers for ICEs exhaust waste heat recovery*. Case Studies in Thermal Engineering 4, pp 53–64

[9]. Ansys Fluent Theory Guide, Available: https://fr.scribd.com/document/342817281/ANSYS-Fluent-Theory-Guide. [Accessed: August, 2018

[10]. K.V. Quang, at el, 2021. *Developing a waste heat recovery tube used in the seawater distillation system*. Applied Thermal Engineering, Vol. 195.

[11]. Ed. Bode, Ed., 2002. *Materials Aspects in Automotive Catalytic Converters*. Wiley/VCH, Weinheim, Germany, pages 1–281.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duy Tien¹, Khong Vu Quang¹, Le Manh Toi¹, Dinh Xuan Thanh², Nguyen Huy Chien², Nguyen Phi Truong²

¹Hanoi University of Science and Technology ²Hanoi University of Industry