

NGHIÊN CỨU - CHẾ TẠO BỘ ĐO LƯU LƯỢNG BIOGAS KIỂU NHIỆT CHO ĐỘNG CƠ BIOGAS

DESIGNING AND MANUFACTURING THERMAL MASS FLOW METERS FOR BIOGAS ENGINES

Nguyễn Việt Hải¹, Bùi Văn Ga², Võ Anh Vũ¹

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; nvhai@dut.udn.vn

²Bộ Giáo dục và Đào tạo; buivanga@dongcobiogas.com

Tóm tắt - Sử dụng nhiên liệu biogas cho động cơ đốt trong là một đề tài được sự quan tâm của nhiều nhà khoa học. Để nâng cao hiệu quả sử dụng biogas trong động cơ, chúng ta cần chế tạo bộ phụ kiện có tính năng tốt hơn. Vì vậy, bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu - chế tạo bộ đo lưu lượng biogas kiểu nhiệt cho động cơ biogas và phương pháp hiệu chỉnh lưu lượng kế. Hệ thống đo hệ số tương đương của động cơ dual fuel biogas diesel được lắp đặt với 2 cảm biến lưu lượng kiểu sợi nóng của động cơ ô tô. Mỗi quan hệ giữa hệ số thực tế nhận được nhờ phân tích khí sau bộ tạo hỗn hợp và tỉ số điện áp đầu ra của hai cảm biến cho phép ta xác định được hệ số chuẩn của hệ thống đo. Kết quả nghiên cứu được áp dụng để đo lưu lượng biogas cung cấp cho động cơ phục vụ thí nghiệm.

Từ khóa - biogas; biogas-diesel; động cơ; phương pháp đo; bộ đo lưu lượng.

1. Giới thiệu

Việc chuyển đổi động cơ xăng dầu truyền thống sang động cơ sử dụng biogas có ý nghĩa rất quan trọng đối với việc tiết kiệm nhiên liệu hóa thạch và bảo vệ môi trường ở nông thôn nước ta. Mặt khác, việc sử dụng các động cơ chạy bằng biogas còn góp phần giảm chi phí sản xuất nông nghiệp, nâng cao chất lượng cuộc sống, thực hiện chương trình nông thôn mới mà Nhà nước ta đang tiến hành.

Nhóm GATEC của Đại học Đà Nẵng đi tiên phong trong việc phát triển các bộ phụ kiện đơn giản nhằm cải tạo các động cơ truyền thống thành động cơ biogas. Đây là các bộ phụ kiện kiểu cơ khí, điều chỉnh công suất động cơ theo các nguyên lý cổ điển của cơ học, vì vậy hiệu quả hoạt động có giới hạn [1].

Để nâng cao hiệu quả sử dụng biogas trong động cơ, chúng ta cần chế tạo bộ phụ kiện có tính năng tốt hơn dựa trên các thành tựu về Điện tử và Công nghệ Thông tin. Một trong những vấn đề cần giải quyết theo hướng này là phát triển bộ đo lưu lượng biogas kiểu điện để xác định lưu lượng khí biogas cung cấp cho động cơ đốt trong [2], [3].

2. Bộ đo lưu lượng biogas kiểu điện

2.1. Các dạng lưu lượng kế kiểu nhiệt

Sự phụ thuộc của tổn thất nhiệt giữa sợi nóng do dòng lưu của dòng lưu chất chảy bao quanh được sử dụng rộng rãi để đo lưu lượng của lưu chất. Đây được gọi là phương pháp lưu lượng kế kiểu nhiệt. Phương pháp màng mỏng nóng dựa trên cùng nguyên lý nhưng thay thế sợi nóng bằng màng mỏng nóng [4], [5].

Có ba dạng lưu lượng kế nhiệt [4], [5]:

- Lưu lượng kế nhiệt đo hiệu ứng của lưu chất chảy trên vật thể nóng (tăng công suất làm nóng khí, giữ nguyên

Abstract - The use of Biogas fuel for internal combustion engine is an issue of great interest to scientists. To increase the efficiency of biogas engines, we need to manufacture the kit which has better features. This article shows that the use of thermal mass flow meters for biogas engines and flow meter calibration method. A system of measuring equivalence ratio ϕ of biogas diesel dual fuel engine is established by 2 hot wire sensors of the automobile. The relationship between real ϕ given by gas analysis in downstream of mixer and ratio of output voltage of the two sensors allows us to determine calibrated coefficient of the system. The research result can be used to measure the flow of biogas for the engines used in experiments.

Key words - Biogas; biogas-diesel; engine; measurement methods; flow meters.

nhiệt độ hay giảm nhiệt độ khi giữ nguyên công suất làm nóng). Lưu lượng nhiệt kiểu này gọi là sợi nóng, cảm biến màng nóng hay cảm biến vật thể nóng.

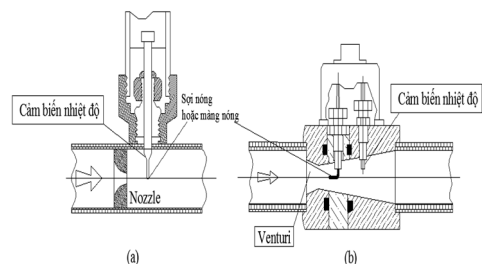
- Lưu lượng kế nhiệt đo sự dịch chuyển profin nhiệt độ xung quanh vật thể làm nóng ở đó ta cho dòng chảy đi qua thành. Lưu lượng dòng chảy được mô-đun hóa. Lưu lượng kiểu này là calorimetric.

- Lưu lượng kế nhiệt đo thời gian đi của xung nhiệt qua khoảng cách biết trước. Lưu lượng kiểu này là time of light.

2.2. Kết cấu của lưu lượng kế kiểu nhiệt

Phần sau đây sẽ giới thiệu các bộ phận của lưu lượng kế kiểu nhiệt.

a. Ống dẫn dòng



Hình 1. Giới thiệu dạng ống dẫn dòng loại Nozzle (a) và loại Venturi (b) [4]

Ống dẫn dòng có dạng vòi phun hay họng Venturi như Hình 1. Mục đích của ống dẫn dòng là nâng cao tốc độ dòng chảy để tăng độ chính xác của phép đo lưu lượng [4], [5].

b. Bộ phận cảm biến

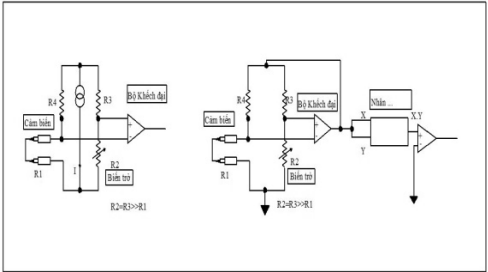
Các bộ phận của cảm biến và thông số kỹ thuật của nó được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Giới thiệu kích thước tiêu biểu của màng nóng và sợi nóng

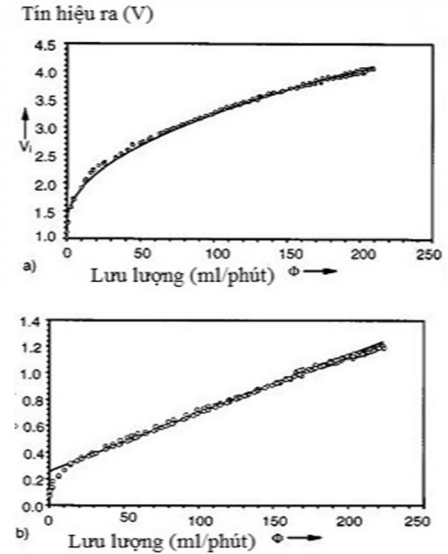
Các tham số	Sợi nóng	Màng nóng
Loại cảm biến	Sợi nóng Platinum (đường kính 70μm)	Màng nóng Platinum (Phù alumina)
Chế độ hoạt động	Sưởi liên tục trong không khí	
Nhiệt độ làm việc	-30 đến 200°C	
Đặc tính	Phi tuyến tính	
Độ chính xác [%]	±4	±2
Thời gian đáp ứng [ms]	<5	12
Độ nhạy [mV kg ⁻¹ .h ⁻¹]	1	5

c. Mạch điện của cảm biến

Cảm biến được mắc vào một nhánh của cầu Wheatstone như Hình 2. Trong mạch này điện trở R₃ và R₄ lớn hơn điện trở R₁. Vì vậy dòng điện đi qua R₁ hầu như không phụ thuộc vào thay đổi của cảm biến R₁. Khi đặt cảm biến trong dòng chảy của lưu chất thì nó được làm mát, dẫn đến sự thay đổi điện trở và cầu mất cân bằng sản sinh ra điện áp V_o. Điện áp này có mối quan hệ với lưu lượng. Vì rằng điện áp V_o nhỏ nên cần được khuếch đại trước khi ghi nhận.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý mạch cầu Wheatstone



Hình 3. Đường cong quan hệ giữa lưu lượng và điện áp ra của cảm biến (a) và (b)

Biến thiên điện áp theo lưu lượng thực tế có dạng hàm bậc 2 (Hình 3a). Quan hệ này có thể được tuyến tính hóa dễ dàng nhờ sử dụng bộ khuếch đại AD534 (Hình 3b). Phương pháp này giúp giảm sai số của phép đo ở vùng lưu lượng thấp.

2.3. Truyền nhiệt giữa dòng lưu chất và cảm biến của lưu lượng kế

Tín hiệu vật lý ghi nhận của quá trình trao đổi giữa lưu chất và cảm biến được thể hiện dưới dạng nhiệt. Có rất nhiều dạng tín hiệu nhiệt: nhiệt độ, nhiệt lượng, nhiệt trở. Trao đổi nhiệt giữa lưu chất và sợi nóng hay màng mỏng nóng được thực hiện bằng ba phương thức của quá trình truyền nhiệt: dẫn nhiệt, đối lưu, bức xạ. Hai quá trình đầu có thể được mô tả bằng phương trình tổng quát của quá trình đối lưu - khuếch tán, đó là hệ phương trình gồm phương trình động lượng, phương trình năng lượng và phương trình bảo toàn khối lượng [3].

➤ Bảo toàn khối lượng: phương trình liên tục

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho v) = 0 \tag{1}$$

➤ Bảo toàn động lượng: Phương trình Navier – Stokes

$$\frac{\rho \partial v}{\partial t} + v \nabla v = -\nabla p + \eta \nabla^2 v + \rho g \tag{2}$$

➤ Bảo toàn năng lượng: Phương trình năng lượng

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v \nabla T = \left(\frac{\lambda}{\rho c} \right) \nabla^2 T + \frac{q'}{\rho c} \tag{3}$$

Trong đó: η là độ nhớt động của lưu chất. Trường nhiệt độ và công suất nhiệt là nghiệm số của 3 phương trình trên.

Trong thực tế kỹ thuật để thiết kế cảm biến lưu lượng kiểu nhiệt, truyền nhiệt đối lưu chất có thể biểu diễn dưới dạng đơn giản sau đây:

$$Q = \varepsilon A \Delta T \tag{4}$$

Trong đó:

- Q (W) : là lưu lượng truyền nhiệt hay công suất nhiệt;
- ε : là hệ số truyền nhiệt giữa mặt trống A và lưu chất;
- ΔT : là chênh lệch nhiệt độ giữa vật nóng và môi trường.

Chỉ số Nusselt Nu không thứ nguyên mô tả truyền nhiệt có mối quan hệ với ε bởi biểu thức sau:

$$\varepsilon = Nu \frac{\lambda}{L} \tag{5}$$

Trong đó: L là chiều dài đặc trưng. Đó là chiều dài L của đĩa phẳng, đường kính thủy lực của ống D_h hay một nửa chu vi của sợi nóng.

2.4. Các yếu tố vật lý ảnh hưởng đến kết quả đo lưu lượng bằng cảm biến sợi nóng và màng mỏng nóng

a. Sự xáo trộn trường tốc độ tại vị trí cảm biến

Cảm biến sợi nóng và màng mỏng nóng dựa vào điểm đo tốc độ (Hình 2). Vì vậy, kết quả đo phụ thuộc sự xáo trộn tốc độ bên trong ống dẫn, đặc biệt là tại vị trí đặt cảm biến. Giảm thiểu sự xáo trộn của dòng chảy tại cảm biến sẽ làm tăng độ chính xác của kết quả đo lưu lượng dòng chảy [3], [4].

b. Sự phụ thuộc nhiệt độ của các tính chất lưu chất

Hầu hết các tính chất lưu chất phụ thuộc nhiệt độ. Mặt khác quá trình truyền nhiệt phụ thuộc tính chất của lưu chất. Do đó, để đảm bảo độ chính xác của phép đo, chúng ta phải đo nhiệt độ lưu chất tại khu vực đặt cảm biến, đồng thời giữ nhiệt độ cảm biến cố định khác biệt với nhiệt độ lưu chất để hạn chế ảnh hưởng của nhiệt độ đến kết quả đo [3], [4].

2.5. Giải hệ phương trình

Để tính toán chính xác cảm biến lưu lượng kiểu nhiệt, chúng ta phải giải ba phương trình này với ba ẩn số nhiệt độ, tốc độ và công suất nhiệt. Từ đó, ta có thể tìm được lưu lượng đi qua tiết diện đo.

Từ phương trình 3, ta có:

$$Q = \varepsilon A \Delta T \Rightarrow \varepsilon = \frac{Q}{A \Delta T} \quad (6)$$

Từ (5) Nu được xác định theo công thức sau:

$$\varepsilon = Nu \frac{\lambda}{L} \Rightarrow Nu = \frac{\varepsilon L}{\lambda} \quad (7)$$

Ta chọn cảm biến lưu lượng là sợi và lưu chất là chảy tầng, nên:

$$Nu_{lam} = 0.664 \sqrt{Re^3 \sqrt{Pr}} \Rightarrow Re = \frac{Nu_{lam}^3}{0.664^3 (\sqrt{Pr})^3} \quad (8)$$

với $10 < Re < 10^7$ và $0.6 < Pr < 1000$

Xác định được tốc độ dòng chảy qua cảm biến:

$$Re = \frac{vL}{\nu} \Rightarrow v = \frac{\nu Re}{L} \quad (10)$$

Khi có tốc độ dòng chảy và nhiệt độ của lưu chất, chúng ta tính toán được lưu lượng qua tiết diện lưu thông của ống dẫn cho trước.

3. Chế tạo bộ đo lưu lượng

3.1. Chọn cảm biến lưu lượng

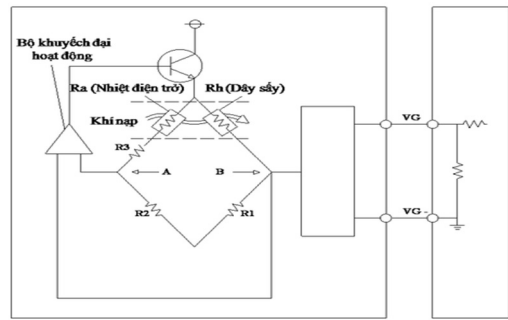
Trong nghiên cứu này chúng tôi chọn cảm biến lưu lượng có sẵn trên ô tô Mazda để lắp đo lưu lượng khí biogas cung cấp cho động cơ.



Hình 4. Cảm biến lưu lượng biogas

3.2. Nguyên lý làm việc của cảm biến đo lưu lượng

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống đo lưu lượng của ô tô Mazda như Hình 3.2:



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống đo lưu lượng của ô tô Mazda

Nguyên lý làm việc:

Trong cảm biến, lưu lượng khí nạp thực tế, dây sấy được mắc trong một mạch cầu. Đặc điểm của mạch cầu này là điện thế tại điểm A và B bằng nhau khi tích của điện trở tính theo đường chéo bằng nhau: $(Ra+R3) \times R1 = Rh \times R2$.

Khi dây sấy Rh được làm mát bằng khí nạp vào, điện trở cho kết quả là tạo ra sự chênh lệch điện thế giữa hai điểm A và B. Một bộ khuếch đại hoạt động sẽ nhận biết sự chênh lệch này và điều chỉnh tăng giá trị điện áp cấp đến mạch này (tăng dòng điện chạy qua dây sấy Rh). Khi đó nhiệt độ của dây sấy lại tăng lên, kết quả là làm điện trở tăng cho đến khi điện thế giữa hai điểm A và B trở nên cân bằng (tức là độ chênh lệch điện thế bằng không).

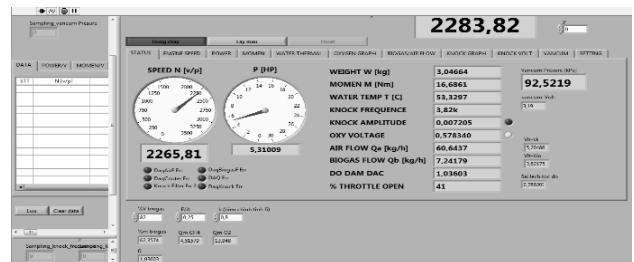
Bằng cách sử dụng đặc tính này của mạch cầu, cảm biến lưu lượng khí nạp có thể đo được khối lượng khí nạp nhờ nhận biết điện áp tại điểm B.

Trong hệ thống này, nhiệt độ của dây sấy (Rh) được duy trì liên tục ở nhiệt độ không đổi cao hơn nhiệt độ của khí nạp, bằng cách sử dụng nhiệt điện trở (Ra). Do đó, có thể đo được khối lượng khí nạp một cách chính xác.

3.3. Kết nối tín hiệu đầu ra của cảm biến với máy tính

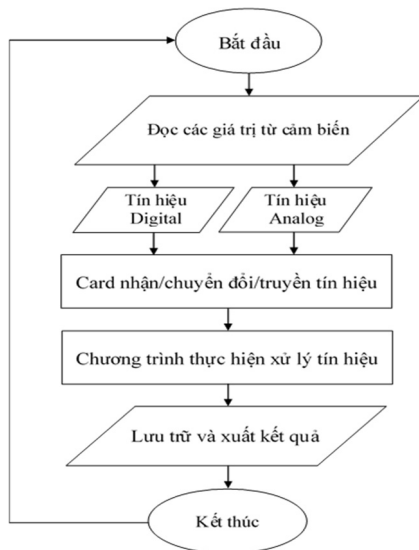
Tín hiệu đầu ra cảm biến động cơ kết nối thông qua card Ni 6009 vào phần mềm Labview theo lược đồ Hình 7.

Để có thể ghi tín hiệu của cảm biến lưu lượng, chúng ta phải thiết lập giao diện trong Labview như Hình 6.



Hình 6. Giao diện người sử dụng

1. Tốc độ động cơ; 5. Độ mở bướm ga; 2. Ghi thành phần % thể tích CH_4 ; 3. Công suất động cơ; 7. Lưu lượng biogas; 4. Ghi giá trị k hiệu chỉnh.



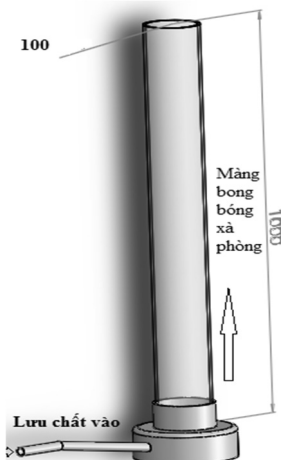
Hình 7. Sơ đồ thuật toán truyền nhận tín hiệu giữa LabVIEW và thiết bị

3.4. Chuẩn cảm biến lưu lượng

Trước khi sử dụng các lưu lượng kế để đo lưu lượng khí biogas cấp cho động cơ, phương pháp chuẩn dựa trên nguyên tắc sử dụng lưu lượng kế chuẩn có sẵn mắc nối tiếp trên đường lưu chất đi qua cảm biến.

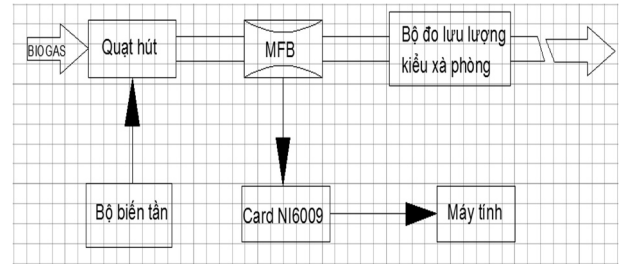
Trong nghiên cứu này chúng tôi chọn lưu lượng kế chuẩn kiểu bong bóng xà phòng. Đây là lưu lượng kế chuẩn đơn giản nhưng chính xác. Hình 8 giới thiệu sơ đồ nguyên lý của lưu lượng kế chuẩn kiểu bong bóng xà phòng. Lưu lượng kế gồm ống thủy tinh trong suốt có đường kính 100mm, chiều cao 1000mm được chia độ theo chiều cao. Ống được lắp thẳng đứng với bình chứa, trong đó đựng nước xà phòng. Lưu chất được dẫn vào lưu lượng kế qua bình chứa nước xà phòng.

Nguyên lý làm việc đơn giản như sau: Khi dòng khí đi qua, bong bóng xà phòng sẽ được đẩy từ dưới lên trên. Theo dõi sự dịch chuyển của một bong bóng xà phòng qua các độ chia trên ống thủy tinh và dùng đồng hồ bấm giây xác định khoảng thời gian bong bóng xà phòng đi qua độ chia đầu tiên và độ chia cuối cùng. Từ đó ta có lưu lượng thực tế của dòng khí.



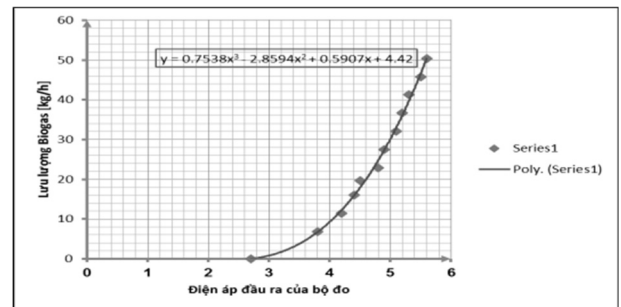
Hình 8. Lưu lượng kế chuẩn kiểu bong bóng xà phòng

Hình 9 giới thiệu sơ đồ hệ thống chuẩn cảm biến lưu lượng. Lưu lượng không khí được tạo bởi quạt thổi với tốc độ khác nhau nhờ bộ biến tần. Đối với biogas thì dòng lưu chất được tạo ra nhờ áp suất của túi chứa khí. Cảm biến lưu lượng được lắp phía trước cảm biến chuẩn kiểu bong bóng xà phòng. Tín hiệu đầu ra của cảm biến lưu lượng được chuyển vào máy tính thông qua card NI6009 và phần mềm Labview.



Hình 9. Sơ đồ hệ thống chuẩn cảm biến lưu lượng

Ta có quan hệ giữa lưu lượng khí với điện áp đầu ra của cảm biến lưu lượng như Hình 10. Kết quả này được tích hợp vào phần mềm Labview để chuyển tín hiệu điện của cảm biến lưu lượng thành lưu lượng của lưu chất.



Hình 10. Đặc tuyến quan hệ điện áp V và lưu lượng biogas Q

Từ kết quả thực nghiệm, quan hệ giữa điện áp V đo được từ mạch đo và lưu lượng biogas Q đi bộ đo lưu lượng được thể hiện trên Hình 3.9. Bằng phương pháp xấp xỉ, quan hệ $V - Q$ được xác định bởi biểu thức (11):

$$Q = 0.7538 \cdot V^3 - 2.8594 \cdot V^2 + 0.5907 \cdot V + 4.42 \quad (11)$$

Trong đó:

- V [V]: điện áp xác định từ mạch đo;
- Q [kg/h]: lưu lượng biogas đi qua bộ đo.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu của bài báo cho ta rút ra một số kết luận sau:

- Có thể sử dụng cảm biến lưu lượng có sẵn trên ô tô để cải tạo thành các cảm biến đo lưu lượng khí biogas cung cấp cho động cơ biogas.
- Lưu lượng kế kiểu điện có độ chính xác cao, tín hiệu đầu ra dưới dạng điện áp, nên thuận lợi trong việc thiết lập hệ thống điều khiển tự động.
- Trong điều kiện nước ta, việc chế tạo lưu lượng kế kiểu nhiệt gặp khó khăn về mặt kỹ thuật. Do đó, việc cải tạo lưu lượng kế kiểu nhiệt trên các loại ô tô có kích thước phù hợp để áp dụng trên động cơ biogas là rất thiết thực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Văn Ga, Nguyễn Văn Anh, Nguyễn Việt Hải, Võ Anh Vũ, Bùi Văn Hùng, “Phát triển phương pháp đo hệ số tương đương ϕ của động cơ dual fuel biogas diesel”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, số 05(90).2015, tr 43-46.
- [2] Bùi Văn Ga, Nguyễn Văn Anh, Nguyễn Việt Hải, Võ Anh Vũ, Bùi Văn Hùng (2015), “Đo thực nghiệm hệ số tương đương ϕ và nghiên cứu ảnh hưởng nó đến tính năng công tác của động cơ dual fuel biogas-diesel”, *Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy Khí toàn quốc năm 2015*, tr 225-232.
- [3] Võ Anh Vũ (2014), *Nghiên cứu xác định ảnh hưởng độ đậm của hỗn hợp đến tính năng của động cơ sử dụng biogas*, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng.
- [4] Richard Thorn, Adrian Melling, Herbert Köchner, Reinhard Haak, Zaki D. Husain, Donald J. Wass, David Wadlow, Harold M. Miller, Halit Eren, Hans-Peter Vaterlaus, Thomas Hossle, Paolo iordano, Christophe Bruttin, Wade M. Mattar, James H. Vignos, Nam-Trung Nguyen, Jesse Yoder, Rekha, Philip-Chandy, Roger Morgan, Patricia J. Scully (1999), *Flow Measurement*.
- [5] Roger C.Baker – Industrial designs (2000), *Handbook Flow Measurement*, Operating principles, Performance and Application.

(BBT nhận bài: 07/12/2016, hoàn tất thủ tục phản biện: 25/12/2016)