

# NGHIÊN CỨU CẢI TẠO MÁY PHÁT ĐIỆN CỠ VỪA SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU KHÍ BIOGAS TỪ CHĂN NUÔI

STUDY ON CONVERSION OF CONVENTIONAL GENERATOR SET TO FUEL WITH GASES FROM BIOMASS

Nguyễn Khắc Tùng<sup>1</sup>, Trịnh Xuân Phong<sup>2</sup>,  
Nguyễn Đức Khánh<sup>1</sup>, Hoàng Anh<sup>1</sup>, Bùi Văn Chính<sup>3,\*</sup>

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu cải tạo động cơ máy phát điện sử dụng nhiên liệu diesel sang sử dụng nhiên liệu khí biogas nguồn gốc từ chăn nuôi. Nghiên cứu thực hiện trên tổ máy phát điện 3 pha sử dụng động cơ Isuzu 4JJ1-T, dung tích 3.0 lít, trang bị hệ thống nhiên liệu phun đầu điện tử và tuabin tăng áp. Kết cấu và một số hệ thống của động cơ nguyên bản được cải tạo để có thể làm việc với nhiên liệu biogas. Để động cơ có thể làm việc với nhiên liệu biogas mà không xảy ra hiện tượng cháy kích nổ, tỷ số nén được giảm từ 17,5 xuống 13 bằng cách tăng độ dày đệm nắp máy. Hệ thống cung cấp nhiên liệu dưới dạng bộ hòa trộn cùng hệ thống đánh lửa được trang bị để thay thế cho hệ thống bơm cao áp - vòi phun nguyên bản. Ngoài ra, động cơ còn được trang bị bộ điều tốc điện tử để ổn định tần số phát điện khi phụ tải ngoài thay đổi. Kết quả sau cải tạo, máy phát điện đạt được công suất tối đa 31,14kW, tương đương 85% công suất định mức của máy nguyên bản với hàm lượng mê tan trong biogas là 64%. Sau thời gian chạy khảo nghiệm, kết quả cho thấy hiệu suất chuyển đổi năng lượng là 1,17 tương ứng 1m<sup>3</sup> khí biogas với hàm lượng 64% mê tan tạo ra 1,17kW điện. Việc sử dụng nhiên liệu khí biogas phục vụ chạy máy phát điện vừa tận dụng được nguồn năng lượng tái tạo, bảo vệ môi trường, vừa tiết kiệm chi phí điện năng tiêu thụ tại các trang trại quy mô vừa và nhỏ.

**Từ khóa:** Nhiên liệu biogas, cải tạo động cơ, máy phát điện biogas, nhiên liệu khí gas.

## ABSTRACT

This paper presents experimental study on conversion of diesel generator engine to fuel with gases from biomass. The study was conducted on 3 phase generator set equipped Isuzu 4JJ1-T engine which has displacement of 3.0 liter and uses common rail system and turbocharger. The structure and main systems of the original engine were modified to work with biogas fuel. Specifically, the gases supply and ignition system are equipped to replace the original common rail system of the engine. In order for the engine to work with biogas without knocking, compression ratio of the engine is reduced from 17.5 to 13.0 by using a cylinder head gasket. In addition, the engine is equipped with an electronic speed controller to stabilize frequency of generation as the external load changes. After the conversion, the generator achieved a max power of 31.14kW with 64% CH<sub>4</sub> by volume in biogas fuel, equivalent to 85% of rated power of the original engine. Experimental results also show that the energy conversion efficiency is 1.17, equivalent to 1m<sup>3</sup> of biogas with 64% CH<sub>4</sub> will generate 1.17kW of electricity. Using biogas fuel on generator sets has expand widely the usage of renewable energy sources and environmental protection and also reduce electricity consumption on small and medium farms.

**Keywords:** Biogas fuel, engine conversion, biogas generator, gas fuel.

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

<sup>3</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: chinhbv@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/02/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 11/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2019

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Khí sinh học biogas hay còn gọi là nhiên liệu khí ga được sản xuất từ quá trình phân hủy yếm khí các chất thải nông nghiệp. Thành phần chính của biogas là CH<sub>4</sub> (50 ÷ 70%) và CO<sub>2</sub> (30%) còn lại là các chất khác như hơi nước, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S và CO. Khí biogas có nhiệt trị khoảng 23.400kJ/m<sup>3</sup>, trị số octance (RON) khoảng 130 [1], do đó khí biogas có thể được sử dụng làm nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu xăng/diesel truyền thống. Các nghiên cứu trên thế giới cho thấy, sử dụng nhiên liệu biogas làm giảm đáng kể phát thải độc hại so với sử dụng nhiên liệu truyền thống [2,3]. Hiện nay động cơ sử dụng nhiên liệu biogas có hai loại, động cơ thiết kế mới chuyên sử dụng nhiên liệu biogas và động cơ cải tạo từ động cơ xăng/diesel truyền thống. Tuy nhiên, việc thiết kế chế tạo mới các động cơ biogas sẽ tốn kém kinh phí, giá thành cao. Trong khi đó, ở Việt Nam rất nhiều động cơ xăng/diesel thế hệ cũ đang được sử dụng. Vì vậy, việc nghiên cứu chuyển đổi động cơ xăng/diesel đang lưu hành sang chạy nhiên liệu biogas có ý nghĩa thực tiễn hơn.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng động cơ xăng/diesel truyền thống có thể hoán cải thành động cơ sử dụng hoàn toàn biogas hoặc dưới dạng lưỡng nhiên liệu. Nghiên cứu của Tjokorda và các cộng sự [4] đã tiến hành trên động cơ xăng, một xylanh, bốn kỳ, sử dụng chế hòa khí. Kết quả cho thấy động cơ có thể làm việc với nhiên liệu biogas, tuy nhiên cần phải thay đổi kết cấu bộ chế hòa khí để động cơ có thể dễ dàng khởi động. Ngoài ra, để động cơ làm việc ổn định với nhiên liệu biogas, phải

loại bỏ H<sub>2</sub>S ra khỏi nhiên liệu [5,6,7]. Nghiên cứu thực nghiệm của Debabrata Barik và S. Murugan [8] đã chỉ ra rằng, động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu biogas-diesel sẽ cải thiện đáng kể hiệu suất nhiệt và suất tiêu hao nhiên liệu. Nghiên cứu của Sittiboon Siripornakarachai và cộng sự [9] về chuyển đổi động cơ diesel 6 xylanh sang sử dụng biogas cho thấy hiệu suất nhiệt của động cơ đạt 28,6% với hệ số dư lượng không khí 1,097 và góc đánh lửa sớm là 52 độ trục khuỷu. Theo kết quả nghiên cứu trong nước của tác giả Bùi Văn Ga và các cộng sự [10], sử dụng biogas trên động cơ đốt trong phát điện thay thế cho nhiên liệu hóa thạch sẽ giúp tiết kiệm được 10% điện năng và giảm 6,5% phát thải các bon vào khí quyển.

Việc cải tạo động cơ sử dụng nhiên liệu truyền thống sang sử dụng nhiên liệu khí biogas cũng tương tự như các nhiên liệu khí khác như CNG, LPG, syngas... [11,12]. Đối với nhiên liệu truyền thống như xăng hay diesel, nhiên liệu hòa trộn tạo hỗn hợp được xé tơi và tồn tại ở dạng hạt nhỏ, thể tích chiếm chỗ là không đáng kể. Còn với nhiên liệu khí, phần thể tích chiếm chỗ là đáng kể nên thể tích không khí nạp vào động cơ giảm, hệ số nạp bị giảm dẫn tới công suất chuyển đổi động cơ chạy nhiên liệu khí là nhỏ hơn so với động cơ nguyên bản sử dụng xăng/diesel. Nghiên cứu của Ting DSK và cộng sự [13] đã chỉ ra rằng, động cơ sử dụng khí thiên nhiên với 84% CH<sub>4</sub>, bằng phương pháp cung cấp nhiên liệu trên đường ống nạp sử dụng bộ hòa trộn có công suất thấp hơn 23% so với động cơ chạy xăng ở cùng điều kiện. Riêng đối với động cơ biogas, với sự có mặt khoảng 30% CO<sub>2</sub> và các tạp chất khác trong khí CH<sub>4</sub> chỉ chiếm khoảng 60% đến 70% dẫn tới quá trình cháy diễn ra chậm hơn nên làm tăng tổn thất nhiệt qua thành vách xylanh, từ đó làm giảm hiệu suất của động cơ [14].

Để đánh giá được hiệu suất chuyển đổi năng lượng, nhóm nghiên cứu tiến hành thực nghiệm trên tổ động cơ máy - phát điện có công suất định mức ban đầu 45kVA sử dụng nhiên liệu diesel truyền thống. Trong nghiên cứu này, động cơ máy phát điện được cải tạo để hoạt động với nhiên liệu biogas có nguồn gốc từ chăn nuôi. Các hệ thống của động cơ được cải tạo để phù hợp với nhiên liệu biogas như tỷ số nén, hệ thống nhiên liệu, hệ thống đánh lửa và hệ thống ổn định tốc độ động cơ.

## 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

### 2.1. Cơ sở cải tiến động cơ diesel sang động cơ biogas

Để sử dụng khí biogas làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong, tỷ số nén phù hợp của động cơ thường nhỏ hơn 16:1 để đảm bảo không xảy ra hiện tượng kích nổ [1]. Tuy nhiên, đối với động cơ có tăng áp khí nạp, tỷ số nén của động cơ chuyển đổi cần phải có giá trị thấp hơn nữa. Để có thể giảm tỷ số nén của động cơ có các phương án như cắt gọt đỉnh piston, tăng độ dày đệm nắp máy. Nếu có thể tính toán và lựa chọn được vị trí cắt gọt đỉnh piston phù hợp sẽ làm tăng độ xoáy lốc trong buồng cháy, giúp hỗn hợp hòa trộn tốt hơn, cải thiện chất lượng quá trình cháy. Tuy nhiên khi cắt gọt sẽ làm thay đổi khối lượng piston từ đó ảnh hưởng tới động lực học của động cơ. Phương án tăng độ dày đệm

nắp máy có nhiều ưu điểm như không ảnh hưởng nhiều đến các kết cấu cơ khí khác trên động cơ, công cải tạo ít, giá thành phù hợp. Tuy nhiên đệm nắp máy sẽ phải đảm bảo được độ kín khít, tránh trường hợp rò rỉ dầu bôi trơn và nước làm mát gây hư hỏng động cơ.

Trong nghiên cứu này, phương án tối ưu để giảm tỷ số nén đó là tăng độ dày đệm nắp máy. Độ dày của đệm được thêm chỉ phụ thuộc vào hành trình piston, tỷ số nén trước và sau cải tạo. Độ dày của đệm cần tăng thêm sẽ được xác định theo công thức (1):

$$\alpha = S \cdot \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{(\varepsilon - 1)(\varepsilon_0 - 1)} \quad (1)$$

Trong đó,  $\varepsilon$  và  $\varepsilon_0$  lần lượt là tỷ số nén trước và sau cải tạo,  $S$  hành trình piston và  $\alpha$  độ dày của đệm cần tăng thêm.

Để có thể sử dụng với biogas, động cơ diesel chuyển đổi cần trang bị hệ thống đánh lửa thay thế hệ thống bơm cao áp và vòi phun. Vị trí lắp đặt vòi phun được cải tạo để lắp đặt bugi. Tận dụng các cơ cấu sẵn có trên động cơ để cải tạo thành bộ tạo xung tín hiệu đánh lửa, chẳng hạn cơ cấu dẫn động bơm cao áp.

Có nhiều phương pháp cung cấp và tạo hỗn hợp cho động cơ biogas tương tự như các phương pháp cung cấp nhiên liệu và tạo hỗn hợp trên động cơ xăng. Các phương pháp cung cấp nhiên liệu biogas có thể áp dụng như phương pháp cung cấp nhiên liệu biogas vào đường nạp bằng cách sử dụng bộ hòa trộn (hay bộ chế hóa khí) có họng venturi; cung cấp biogas bằng cách phun vào đường nạp và phương pháp phun trực tiếp nhiên liệu vào trong xylanh động cơ. Để có thể sử dụng công nghệ phun biogas, cần cung cấp cho khí biogas một áp suất nhất định. Điều này gây tổn công nén và đòi hỏi có công nghệ nén khí riêng. Do đó, với động cơ biogas sử dụng phát điện, phương án sử dụng bộ hòa trộn có ưu điểm hơn như kết cấu rất đơn giản, dễ chế tạo, dễ lắp đặt và giá thành rẻ.

Với động cơ biogas sử dụng phát điện, cần có bộ ổn định tốc độ khi chế độ tải ngoài thay đổi. Bộ ổn định tốc độ có thể được cải tiến từ bộ điều tốc của động cơ nguyên bản hoặc trang bị mới hoàn toàn. Điều này phụ thuộc vào kết cấu của động cơ nguyên bản. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn giải pháp trang bị bộ ổn định tốc độ riêng biệt cho động cơ biogas mà không sử dụng tới bộ điều tốc của động cơ nguyên bản.

### 2.2. Thông số kỹ thuật của đối tượng nghiên cứu

Quá trình nghiên cứu cải tạo được thực hiện trên động cơ 4JJ1-T. Thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ

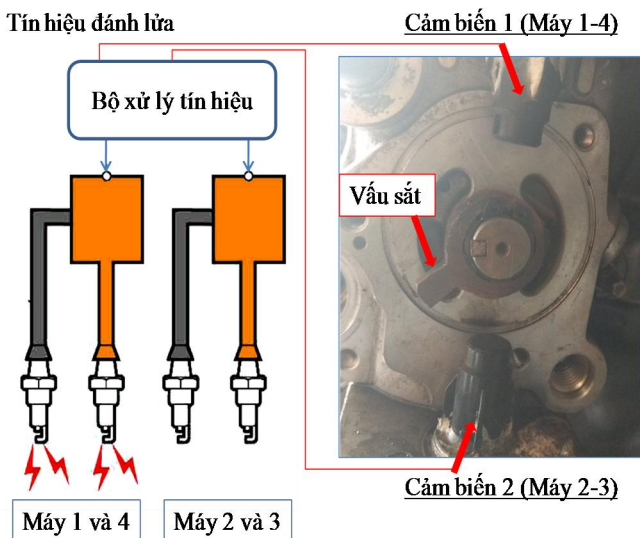
Động cơ	4JJ1-T
Kiểu động cơ	Diesel, 4 kỳ, tăng áp tua bin máy nén
Bố trí xy lanh - Số xy lanh	Thẳng hàng - 4 xy lanh
Thứ tự nổ	1-3-4-2
Đường kính x hành trình (D x S)	95,4 x 104,9 (mm)

Thể tích công tác (cc)	2999
Tỷ số nén	17,5
Công suất max/tốc độ	52kW tại 2000 v/ph
Mô men max/tốc độ	255Nm tại 1500 v/ph
Kiểu buồng cháy	Buồng cháy thống nhất
Hệ thống nhiên liệu	Common rail

Để lựa chọn phương án cải tạo tối ưu, việc đánh giá kết cấu động cơ là cần thiết. Sau khi phân tích kết cấu, nhóm nghiên cứu đánh giá được thuận lợi và khó khăn trong quá trình cải tạo. Động cơ cải tạo có cơ cấu phân phối khí sử dụng trục cam kép (DOHC) dẫn động bằng xích. Kết cấu này thuận tiện cho việc thay đổi tỷ số nén bằng phương pháp thêm đệm nắp máy mà hầu như không ảnh hưởng đến các kết cấu cơ khí khác trên động cơ. Do lược bỏ được hệ thống nhiên liệu nên có thể tận dụng cơ cấu dẫn động bơm cao áp để cải tạo thành bộ tạo xung đánh lửa. Ngoài ra, trên động cơ có bố trí các cảm biến như cảm biến vị trí trục khuỷu, cảm biến vị trí trục cam, cảm biến tốc độ, thuận lợi cho việc xác định góc đánh lửa và trang bị bộ ổn định tốc độ động cơ. Tuy nhiên, để cải tạo hệ thống đánh lửa, phần nắp máy sẽ phải cắt gọt, gia công cơ khí, vị trí lỗ lắp vòi phun sẽ được cải tạo để lắp bugi. Do đó, cần tính toán đường kính lỗ gia công để không gây ảnh hưởng đến kết cấu phần nắp máy.

**2.3. Thực hiện cải tạo động cơ**

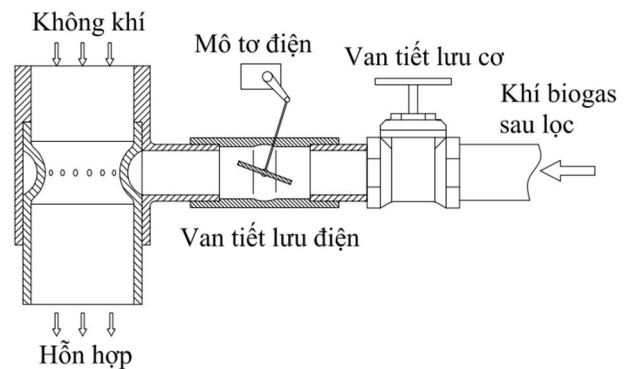
Khí biogas có trị số RON vào khoảng 130 nên động cơ biogas có thể sử dụng ở tỷ số nén khá cao mà không bị kích nổ. Theo nghiên cứu của Martin Malenshek và cộng sự [12], nhiên liệu biogas với 60% CH<sub>4</sub> và 40% CO<sub>2</sub> kích nổ ở tỷ số nén 17,6 ÷ 1 với hệ số nạp  $\eta_v = 0,682$ . Với động cơ có tăng áp, để nhiên liệu không bị kích nổ thì tỷ số nén cần thấp hơn rất nhiều. Trong nghiên cứu này, động cơ có tỷ số nén ban đầu  $\epsilon_0 = 17,5$  được giảm xuống tỷ số nén  $\epsilon = 13$ . Để giảm tỷ số nén, nhóm nghiên cứu thực hiện tăng thể tích buồng cháy bằng cách tăng độ dày đệm nắp máy.



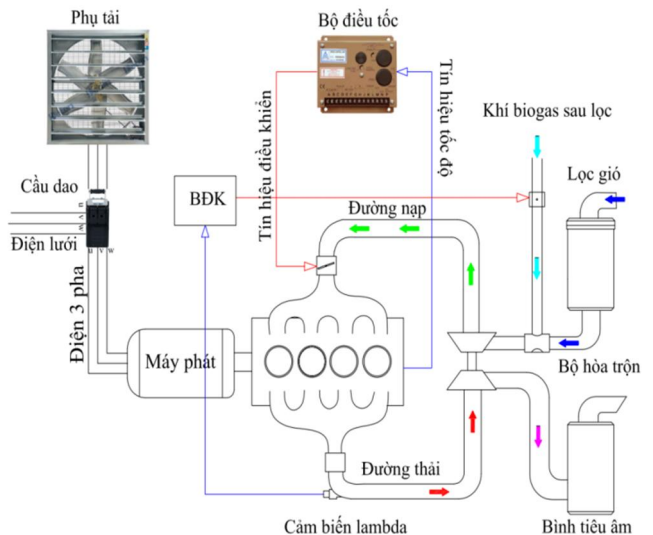
Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống đánh lửa sau cải tạo

Trong nghiên cứu này, để đánh giá hiệu suất chuyển đổi năng lượng, động cơ cải tạo được thực nghiệm với góc đánh lửa sớm 26 độ trục khuỷu. Theo đó phần dẫn động bơm cao áp được cải tạo thành bộ tạo xung đánh lửa. Nhóm nghiên cứu sử dụng một giải pháp tuy đơn giản nhưng hiệu quả đó là sử dụng nhiều cảm biến và một vấu xung, thay vì một cảm biến và nhiều vấu xung như thể hiện trên hình 1. Theo đó hai cảm biến được bố trí đối xứng nhau qua mặt phẳng kính và có cơ cấu giúp thay đổi vị trí tương đối của các cảm biến với vấu tạo xung để điều chỉnh góc đánh lửa. Để thuận lợi cho việc lắp đặt bugi đánh lửa, vị trí lắp vòi phun diesel nguyên bản được cải tạo để lắp đặt bugi một cách dễ dàng mà không ảnh hưởng đến kết cấu nắp máy và các cơ cấu khác.

Khí biogas sau lọc sẽ được cung cấp cho động cơ qua bộ hòa trộn có họng khuếch tán kiểu ống venturi như thể hiện trên hình 2. Áp suất khí biogas cung cấp được duy trì ở giá trị ổn định bằng áp suất môi trường nên việc cung cấp nhiên liệu khí vào ống venturi hoàn toàn phụ thuộc vào kết cấu họng khuếch tán và lưu lượng không khí nạp đi qua họng, tức là phụ thuộc chế độ làm việc của động cơ tương tự như nguyên lý tạo hỗn hợp trong bộ chế hòa khí của động cơ xăng.



Hình 2. Bộ tạo hỗn hợp nhiên liệu biogas dùng ống venturi có lỗ xung quanh họng

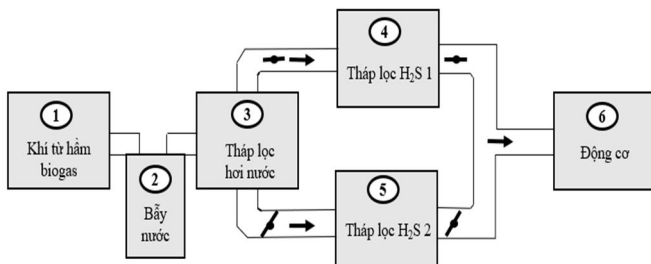


Hình 3. Sơ đồ hệ thống máy phát điện sử dụng nhiên liệu biogas

Đối với hệ thống nhiên liệu kiểu venturi, do không tự động điều chỉnh được tỷ lệ không khí/nhiên liệu phù hợp nên hiệu suất sử dụng nhiên liệu không cao. Ngoài ra trong quá trình sử dụng, chất lượng của nhiên liệu khí biogas không ổn định. Vì vậy, để nâng cao chất lượng cung cấp nhiên liệu và tạo hỗn hợp bằng phương pháp sử dụng bộ hòa trộn, nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp điều chỉnh lượng nhiên liệu cung cấp điện tử. Van tiết lưu điều khiển bằng điện được bố trí trên đường cấp nhiên liệu để điều chỉnh tỷ lệ hòa trộn giữ biogas và khí nạp ở giá trị phù hợp thông qua tín hiệu gửi về từ cảm biến lambda. Sơ đồ tổng thể hệ thống sau khi cải tạo được thể hiện trên hình 3.

#### 2.4. Hệ thống cung cấp nhiên liệu biogas

Nhiên liệu biogas chứa một lượng không nhỏ khí  $H_2S$ , là loại khí gây ăn mòn các chi tiết kim loại. Đặc biệt ở điều kiện nhiệt độ và áp suất cao trong buồng cháy của động cơ thì tốc độ ăn mòn còn nhanh hơn nữa. Vì vậy, để động cơ đốt trong có thể làm việc lâu dài với khí biogas cần thiết phải xử lý thành phần  $H_2S$ . Khí  $H_2S$  có thể được xử lý bằng phương pháp hấp thụ bởi oxit sắt như trình bày trong nghiên cứu của Parameshwaran Ravishanker và cộng sự [15]. Trên cơ sở đó một hệ thống lọc khí do Công ty Cổ phần Kankyo Việt Nam sản xuất được đưa vào hệ thống để loại bỏ  $H_2S$  trước khi đưa biogas vào động cơ như thể hiện hình 4. Các hạt lọc chủ yếu là sắt oxit, sau khi hấp thụ  $H_2S$  có thể nhả hấp thụ để tái sinh hạt lọc khi tiếp xúc với không khí. Do đó, hệ thống trang bị 2 tháp lọc để sử dụng luân phiên, khi một tháp lọc đang trong quá trình hấp thụ  $H_2S$  thì tháp lọc còn lại sẽ trong quá trình nhả hấp thụ. Chất lượng khí biogas sau lọc duy trì được hàm lượng  $CH_4$  từ 60 đến 65%, hàm lượng  $CO_2$  từ 30 đến 35% và gần như loại bỏ hoàn toàn  $H_2S$  (chỉ còn lại 3 ÷ 8ppm).



Hình 4. Sơ đồ hệ thống lọc biogas sử dụng cho máy phát điện

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Sau cải tạo, cụm động cơ - máy phát được chạy thử nghiệm để đánh giá tính năng kỹ thuật động cơ khi sử dụng biogas. Công suất cực đại của động cơ được xác định bằng cách tăng dần phụ tải điện cho đến khi cụm động cơ - máy phát phát không duy trì được tần số. Công suất sẽ được tính theo công thức  $P = \sqrt{3}UI$ . Trong đó,  $U$  là điện áp ra của máy phát (400VAC) và  $I$  là cường độ dòng điện tiêu thụ. Giá trị  $I_{max}$  đo được tại thời điểm này là 45A, tương đương công suất  $P = 31,14kW$  với tỷ lệ  $CH_4$  trong nhiên liệu là 64%.

So với động cơ nguyên bản, khi sử dụng nhiên liệu biogas, có thể đạt được có hệ số chuyển đổi công suất tối đa là:

$$k_{max} = \frac{P_{biogas-max}}{P_{dm}} = \frac{31,14}{36} = 0,865 \quad (2)$$

Tiến hành thực nghiệm cho động cơ - máy phát vận hành phát điện liên tục 2 ca/ngày và mỗi ca 4 tiếng để đảm bảo tuổi thọ của động cơ. Kết quả số liệu năng lượng điện sản sinh và lượng biogas tiêu thụ (bảng 2) được ghi chép để đánh giá hiệu suất chuyển đổi năng lượng.

Bảng 2. Thống kê lượng điện sản sinh và lượng khí tiêu thụ

TT	Số điện (kW)	Lượng khí tiêu thụ ( $m^3$ )	Tỷ lệ $CH_4$ (%)	Số giờ
Ca 1	67	57,3	64,1	4h
Ca 2	40	33,9	64,5	4h
Ca 3	75	64,7	65,0	4h
Ca 4	50	45,5	63,2	4h
Ca 5	58	50,4	64,5	4h
Ca 6	62	52,1	65,2	4h
Ca 7	67	55,8	65,7	4h
Ca 8	53	44,9	66,0	4h
Ca 9	65	54,6	64,0	4h
Ca 10	61	51,7	63,8	4h
<b>Trung bình</b>	<b>59,80</b>	<b>51,9</b>	<b>64,7</b>	
<b>Hiệu suất chuyển đổi năng lượng: <math>\varphi = \frac{59,80}{51,09} = 1,17</math></b>				

Kết quả thực nghiệm chạy máy phát điện biogas nhiều ngày liên tục cho thấy nếu duy trì tần suất chạy máy phát 8 tiếng một ngày phục vụ trang trại trong giờ cao điểm thì trung bình mỗi ngày có thể tiết kiệm tới 120kW điện. Với giá điện giờ cao điểm tại nước ta là 2,871 đồng/kWh thì mỗi ngày trang trại có thể tiết kiệm tới 300 ngàn đồng. Như vậy, một tháng có thể tiết kiệm khoảng 10 triệu đồng. Như vậy, việc cải tạo máy phát điện sử dụng nhiên liệu diesel sang sử dụng khí biogas có nguồn gốc từ chăn nuôi đã đem lại hiệu quả về kinh tế. Ngoài ra, việc sử dụng biogas phát điện còn là giải pháp hữu hiệu trong bảo vệ môi trường, tận dụng nguồn năng lượng tái tạo trong sản xuất nông nghiệp, hướng tới phát triển nông nghiệp bền vững.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Klaus von Mitzlaff, 1988. *Engines for biogas*. Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- [2]. Anne Roubaud, Daniel Favrat, 2005. *Improving performances of a lean burn cogeneration biogas engine equipped with combustion prechambers*. Fuel, volume 84, Issue 16, November 2005, Pages 2001-2007
- [3]. Santosh Kumar Hotta, Niranjana Sahoo, Kaustubha Mohanty, 2019. *Comparative assessment of a spark ignition engine fueled with gasoline and raw biogas*. Renewable Energy, Volume 134, April 2019, Pages 1307-1319.
- [4]. Tjokorda Gde Tirta Nindhia, Wayan Surata, Ketut Adi Atmika, Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, and Ari Wardana, 2013. *Method on Conversion of Gasoline to Biogas Fueled Single Cylinder of Four Stroke Engine of Electric Generator*. International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 4, No. 3, June 2013, pp.300-303.
- [5]. Bùi Văn Ga, Ngô Văn Lành, Ngô Kim Phụng, 2007. *Tinh luyện khí biogas để chạy động cơ đốt trong*. Tạp chí Sở khoa học và Công nghệ thành phố Đà Nẵng, Khoa học và Phát triển, số 127.
- [6]. I Wayan Surata, Tjokorda Gde Tirta Nindhia, I Ketut Adi Atmikac, Dewa Ngakan Ketut Putra Negarad, and I Wayan Eka Permana Putrae, 2013. *Simple Conversion Method from Gasoline to Biogas Fueled Small Engine to Powered Electric Generator*. International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies, pp 626 - 632.
- [7]. Juan Pablo Gomez Montoya, Andres A. Amell Arrieta, and Jaime F. Zapata Lopez, 2015. *Spark ignition engine performance and emissions in a high compression engine using biogas and methane mixtures without knock occurrence*. Thermal science, Vol. 19, No. 6, pp. 1919-1930.
- [8]. Debabrata Barik and S. Murugan, 2016. *Experimental investigation on the behavior of a DI diesel engine fueled with raw biogas-diesel dual fuel at different injection timing*. Journal of the Energy Institute, Volume 89, Issue 3, August 2016, Pages 373-388.
- [9]. Sittiboon Siripornakarachai and Thawan Sucharitakul, 2007. *Modification and tuning of diesel bus engine for biogas electricity production*. Maejo International Journal of Science and Technology, pp 194-207.
- [10]. Văn Ga Bùi, Minh Tiến Lê, Bích Trâm Trương Lê, Văn Đông Nguyễn, 2009. *Khả năng giảm phát thải CO<sub>2</sub> ở Việt Nam nhờ sản xuất điện năng bằng biogas*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng, số 1(30), pp. 7-13.
- [11]. Semin and Rosli Abu Bakar. *A Technical Review of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel for Internal Combustion Engines*. American Journal of Engineering and Applied Science, Volume 1, Issue 4, Pages 302-311
- [12]. Martin Malenshek, Daniel B. Olsen, 2009. *Methane number testing of alternative gaseous fuels*. Fuel 88, 650-656.
- [13]. Ting DSK, Checkel MD, 1995. *The effects of turbulence on spark-ignited, ultra lean, premixed methane-air flame growth in a combustion chamber*. SAE Paper 952410.
- [14]. E.Porpatham, A.Ramesh, B.Nagalingam, 2008. *Investigation on the effect of concentration of methane in biogas when used as a fuel for a spark ignition engine*. Fuel, Volume 87, Issues 8-9, July 2008, Pages 1651-1659.
- [15]. Parameshwaran Ravishanker and David Hills, 1984. *Hydrogen sulfide removal from anaerobic digester gas*. Agricultural Wastes, Volume 11, Issue 3, Pages 167-179.

## AUTHORS INFORMATION

Nguyen Khac Tung<sup>1</sup>, Trinh Xuan Phong<sup>2</sup>, Nguyen Duc Khanh<sup>1</sup>,  
Hoang Anh<sup>1</sup>, Bui Van Chinh<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Science and Technology

<sup>2</sup>Namdingh University of Technology Education

<sup>3</sup>Hanoi University of Industry