

PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ CỦA MÔ HÌNH THU HỒI NHIỆT THẢI TỪ ĐỘNG CƠ LỬNG NHIÊN LIỆU

PERFORMANCE ANALYSIS OF A WASTE-HEAT RECOVERY MODEL ATTACHED TO A DUEL-FUEL ENGINE

Phạm Minh Mận, Hồ Trần Anh Ngọc, Nguyễn Lê Châu Thành

Trường Cao đẳng Công nghệ - Đại học Đà Nẵng;

minhman.dnu.vn@gmail.com, anhngoctr@yahoo.com, nguyenlechauthanh@gmail.com

Tóm tắt - Bộ thu hồi nhiệt từ khí thải của động cơ lưỡng nhiên liệu là một hệ thống trao đổi nhiệt. Bên trong bộ thu hồi nhiệt được thiết kế với nhiều lớp vảy bố trí đều nhau, tạo góc lệch 60 độ để tập trung làm xoáy dòng khí thải cũng như có thể lưu trữ được lượng nhiệt lớn nhất nhằm tiết kiệm năng lượng. Kết quả phân tích sau khi thực hiện thí nghiệm từ bộ thu hồi nhiệt, rõ ràng thấy rằng quá trình thu hồi nhiệt thải chịu ảnh hưởng đáng kể từ nhiệt độ từ khí thải. Năng lượng nhiệt và khả năng truyền nhiệt trong toàn hệ thống trong quá trình gia nhiệt để lưu trữ có tính hiệu quả cao. Cuối cùng, tốc độ của động cơ và lưu lượng nước được điều khiển bên trong bộ thu hồi nhiệt ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt lượng cũng như sự chênh lệch nhiệt độ của cả nước được gia nhiệt và nhiệt khí thải sau khi ra khỏi động cơ.

Từ khóa - bộ thu hồi nhiệt; động cơ lưỡng nhiên liệu; lưu trữ năng lượng nhiệt; tiết kiệm năng lượng; hiệu quả năng lượng; truyền nhiệt.

1. Giới thiệu

Trong tất cả các loại động cơ đốt trong sử dụng nhiên liệu hóa thạch như dầu diesel, xăng hoặc sử dụng lưỡng nhiên liệu sau khi kết hợp giữa diesel-ethanol, xăng-ethanol, hydrogen-xăng, ... thì đều phát ra một lượng khí thải có hàm lượng nhiệt thải rất lớn. Lượng nhiệt từ khí thải này không những gây ô nhiễm môi trường, làm biến đổi khí hậu mà còn tiêu tốn một khoảng nhiệt lượng rất lớn khi cung cấp nhiên liệu sau quá trình đốt cháy của động cơ. Hiện nay, một số nước phát triển đã thực hiện các nghiên cứu [1, 2] và đưa vào ứng dụng hệ thống đồng phát, trong đó có sự kết hợp năng lượng từ nhiệt thải của động cơ đốt trong để tiết kiệm năng lượng và giảm lượng phát thải gây ô nhiễm môi trường dẫn tới hiện tượng gây hiệu ứng nhà kính trên toàn cầu, mà nhiều quốc gia đang quan tâm.

Cho đến nay, trong nước cũng có nhiều nghiên cứu đã tập trung vào vấn đề này và đưa ra các thực nghiệm chứng minh hiệu quả năng lượng trong quá trình tận dụng nhiệt thải là rất cần thiết và có ý nghĩa khoa học [3, 4]. Những nghiên cứu này chưa được ứng dụng nhiều, do còn phụ thuộc vào các yếu tố chủ quan và khách quan trong ngành công nghiệp chế tạo động cơ đốt trong và các chính sách liên quan đến các tiêu chuẩn về nhiệt thải gây ô nhiễm môi trường xung quanh. Bài báo này, trong phạm vi cho phép, nhóm đã thực hiện nghiên cứu tận dụng nguồn năng lượng nhiệt từ khí thải của các loại động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu để gia nhiệt cho nước trước quá trình lưu trữ và điện phân, nhằm thu được nhiên liệu hydrogen và cung cấp cho động cơ lưỡng nhiên liệu đang sử dụng trong quá trình thí nghiệm. Bên cạnh đó, việc phát triển các bộ thu hồi năng lượng nhiệt này cũng là một yếu tố rất cần thiết để dùng vào nhiều mục đích khác nhau, trong đó có quá trình gia nhiệt của nước trước khi điện phân để tạo ra nhiên liệu hydrogen cung cấp cho động cơ, nhằm tiết kiệm tiêu thụ các năng lượng do nhiên liệu truyền

Abstract - A waste-heat recovery model with a duel-fuel engine is a heat exchanger system. The inside of the heat recovery is designed with multiple flaky layers that are arranged evenly with 60-degree angle to create the exhaust vortex flow as well as store the largest amount of heat for saving energy. The obtained results from the analysis of the heat recovery after carrying out show that the storage process is significantly influenced by the exhaust air temperature. Performance thermal energy and heat transfer capability of the entire system in the heating process for hydrogen fuel storage has high efficiency. Finally, engine speed and water flow going inside the heat recovery greatly affect the heat rate gained as well as the temperature difference of water flow and exhaust gases.

Key words - heat recovery; duel-fuel engine; thermal energy storage; save energy; energy efficiency; heat transfer.

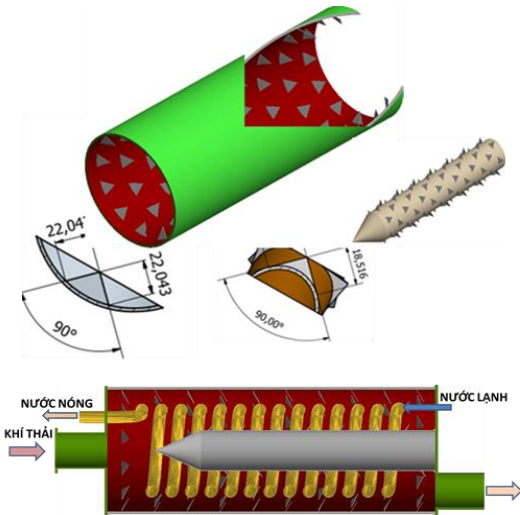
thống. Trong một số nghiên cứu trước đây, tác giả Hamtami và một số tác giả khác [5-7] cũng đã chỉ ra rằng, các hệ thống thu hồi nhiệt là cần thiết và giúp nâng cao hiệu quả năng lượng cũng như tiết kiệm nguồn nhiệt thải sau quá trình hoạt động của động cơ đốt trong. Ngược lại, trong một số nghiên cứu khác, tác giả Tagliafico và Tanda [8] cũng đã tập trung phát triển các bộ thu hồi nhiệt theo nhiều kết cấu khác nhau, nhằm duy trì khả năng trao đổi nhiệt và nâng cao hiệu quả làm việc của nó khi hấp thụ năng lượng nhiệt. Các bộ trao đổi nhiệt đó có nhiều kết cấu và cách bố trí khác nhau từ các bộ phận bên trong để tăng cường trao đổi nhiệt và tận dụng nhiệt phát thải ra từ hệ thống. Những nghiên cứu này cũng chỉ tập trung mô phỏng hoặc tối ưu hóa quá trình trao đổi nhiệt qua các hình dạng và kết cấu khác nhau, sau đó so sánh và đưa ra kết luận trên cơ sở lý thuyết của các mô hình toán học hoặc phân tích nhiệt động dòng khí thải gây ra, với các mục đích khác nhau. Ngoài ra, một số nhà nghiên cứu như Hee và Huang [9, 10] cũng đã đưa ra các điều kiện cần thiết sau khi thu hồi khí thải từ động cơ bằng cách phân tích CFD hoặc phân tích kết quả mô phỏng năng lượng nhiệt tiêu thụ của nó trong các mô hình đơn giản nhất.

Khác với những nghiên cứu trước đây, trong bài báo này, lượng nhiệt được thu vào từ khí thải của động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu, bằng phương pháp lưu trữ năng lượng nhiệt thải qua bộ trao đổi nhiệt có dòng xoáy bên trong có nhiều vảy, đồng thời đánh giá một quá trình thực nghiệm phục vụ gia nhiệt cho nước trước quá trình điện phân nhiên liệu hydrogen để cung cấp cho động cơ sử dụng diesel và hydrogen. Với việc xác định rõ tốc độ của động cơ khác nhau, việc thiết lập lưu lượng của nước được gia nhiệt cũng khác nhau. Tốc độ, áp suất và nhiệt độ khí thải trong quá trình sinh ra đi qua bộ thu hồi nhiệt được điều khiển trong thời gian 7 ngày, với các điều kiện môi trường nhiệt độ khác nhau. Ngoài ra, thông qua quá trình điều khiển động cơ

ở các mức tốc độ khác nhau, từ nhỏ nhất đến lớn nhất, việc gia nhiệt sau khi qua bộ thu hồi nhiệt thải và lưu lượng nước đi vào bên trong sẽ giới thiệu về quá trình thí nghiệm, đặc điểm kỹ thuật của một số thông số liên quan đến bộ thu hồi nhiệt thải. Cuối cùng, chúng tôi thực hiện mô hình hóa hệ thống gia nhiệt phục vụ cho quá trình điện phân và lưu trữ hydrogen để tạo cho động cơ lưỡng nhiên liệu cần thiết. Và bằng cách so sánh kết quả, đánh giá điều kiện trao đổi nhiệt để thấy nhiệt độ khác nhau trong toàn hệ thống, qua đó cho thấy hiệu quả tiết kiệm năng lượng nhiệt.

2. Mô hình hóa bộ thu hồi nhiệt khí thải

Mô hình sử dụng bộ thu hồi nhiệt từ khí thải được thí nghiệm tại xưởng ô tô của Trường Cao đẳng Công nghệ - Đại học Đà Nẵng. Trước khi thực hiện thí nghiệm, nhóm bố trí cách ly ánh nắng mặt trời và các thông gió khác để đảm bảo quá trình đo cũng như xử lý được chính xác và giảm sai số do ảnh hưởng của môi trường. Động cơ được duy trì hoạt động trong điều kiện ban đầu cho phép.



Hình 1. Hình vẽ kết cấu thể hiện các chi tiết bên trong của bộ thu hồi nhiệt

Hình 1 thể hiện bộ thu hồi nhiệt được kết nối với động cơ lưỡng nhiên liệu diesel và hydrogen, lượng nước sau khi gia nhiệt được cung cấp vào hệ thống điện phân và lưu trữ hydrogen cấp cho động cơ chính nó làm gia nhiệt. Hệ thống lưu trữ năng lượng nhiệt thực hiện theo nguyên lý trao đổi nhiệt giữa dòng khí thải, sau khi động cơ làm việc ngược chiều với dòng nước bên trong cuộn đồng quấn quanh ống bên trong và có cánh (nhờ vào các vảy bố trí xen kẽ) tạo dòng khí xoáy. Lượng khí thải, trong suốt thời gian hoạt động của động cơ, đi qua bộ thu hồi nhiệt và bên ngoài vỏ của bộ thu hồi nhiệt, được cách nhiệt với môi trường xung quanh bằng lớp cách nhiệt dày 0,5 mm để giữ nhiệt độ ổn định và không chịu sự ảnh hưởng của môi trường. Quy luật của dòng khí thải bên trong bộ thu hồi nhiệt được tạo theo hướng thiết kế ngược dòng chảy, sao cho 2 dòng chảy giữa khí và nước là 2 dòng chảy đối lưu. Dòng khí thải theo nguyên lý chảy rối qua các vảy bên trong ống và bên ngoài cuộn đồng, được xoáy hỗn loạn với tốc độ và áp suất sau khi thải ra khỏi động cơ đốt trong.

Các chi tiết và các thông số cần thiết liên quan đến bộ thu hồi nhiệt được thể hiện tại Bảng 1, bao gồm đặc điểm và kích thước của nó. Kết cấu của các vảy được bố trí trong 3 trường

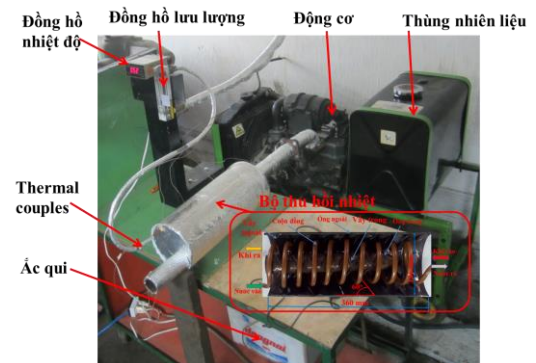
hợp khác nhau: có vảy bên trong ống lớn (được gắn 72 vảy có khoảng cách đều nhau); có vảy bên ngoài ống nhỏ (được gắn 33 vảy); các vảy được xen kẽ nhau tạo thành dòng rối tuyệt đối và sau đó là cả ống lớn và ống nhỏ được lệch với hướng thẳng đứng là 60 độ so với thân hay vỏ bên ngoài và bên trong. Kích thước vảy có dạng tam giác đều, cạnh gần 22,5 mm. Ống nhỏ bên trong được thiết kế cách với vỏ nắp vỏ bộ thu hồi nhiệt là 35 mm, ống trong được làm nhọn, đỉnh được vát 60 độ so với bề mặt của ống, vị trí của đỉnh ống được đặt cách 25 mm (so với miệng vào của khí thải) để hướng dòng chảy ban đầu đi vào bên trong, sau đó gấp ống đồng và vảy tạo dòng chảy xoáy lốc. Cuộn đồng bên trong được làm bằng đồng, có hệ số trao đổi nhiệt lớn, bên trong cuộn đồng là dòng chất lỏng được gia nhiệt uốn quanh trước khi đi vào bộ điện phân để tạo nhiên liệu hydrogen cho động cơ, khoảng cách bố trí các vòng của cuộn đồng là xen kẽ với các vảy để thực hiện quá trình trao đổi nhiệt trong thời gian lâu nhất.

Bảng 1. Đặc điểm thông số của bộ thu hồi nhiệt được kết nối với động cơ lưỡng nhiên liệu [11]

Thông số kích thước	Giá trị được đo	
Đường kính trong của cuộn đồng	$9 \pm 1,1$	mm
Đường kính ngoài của cuộn đồng	$10 \pm 1,1$	mm
Số vảy của ống ngoài	70	
Số vảy của ống trong	36	
Bước của cuộn đồng	$30 \pm 0,01$	mm
Số vòng cuộn đồng	10,0	vòng
Đường kính trong vỏ	$136 \pm 1,5$	mm
Đường kính ngoài vỏ	$140 \pm 2,1$	mm

3. Thí nghiệm đo các thông số bộ thu hồi nhiệt khí thải

Trong quá trình thí nghiệm, mô hình gồm nhiều cụm chi tiết như: động cơ đốt trong dùng diesel, hệ thống phun nhiên liệu hydrogen sau khi được gia nhiệt và điện phân sau khi qua bộ thu hồi nhiệt từ khí thải. Bên cạnh đó, còn có các dụng cụ đo như đồng hồ đo áp suất tĩnh, lưu lượng kế, hệ thống làm mát nước để duy trì nhiệt độ đầu vào, bộ đo lưu lượng và tốc độ của khí thải từ động cơ, hệ thống đo và xử lý nhiệt độ nhờ vào các dây thermocouple kết nối với máy tính trong suốt quá trình thí nghiệm. Động cơ được điều khiển theo tốc độ tăng dần và có giá trị khác nhau, kết quả đo được thực hiện nhiều lần và trong vòng một tuần, với các ngày khác nhau và có điều kiện khác nhau. Sau cùng chọn kết quả tối ưu nhất trong quá trình tạo khí thải và tận dụng ở ba tốc độ đều sinh ra một lượng nhiệt thải đáng kể để có thể tận dụng và thu hồi vào trong bộ trao đổi nhiệt được thực hiện để thiết kế.



Hình 2. Quá trình thí nghiệm được thực hiện trong xưởng ô tô

Nguyên lý hoạt động và điều khiển trong Hình 2 như sau: Đầu tiên, thực hiện điều chỉnh lưu lượng nước qua bộ thu hồi nhiệt bằng các van và đồng hồ đo lưu lượng; tiếp theo, thực hiện kiểm tra mức độ nước sau khi gia nhiệt ra khỏi và đi vào bộ điện phân hydrogen với lưu lượng cho phép; sau đó, thực hiện chạy khởi động động cơ và cho hoạt động để cân bằng nhiệt độ môi trường; cuối cùng, thực hiện từng bước đo nhiệt độ tại các vị trí có cảm biến nhiệt, tốc độ khác nhau của động cơ mỗi lần đo và đánh giá kết quả đo được.

Để xác định hiệu quả năng lượng nhiệt trong bộ thu hồi nhiệt của dòng khí thải bên trong ống đối lưu với dòng nước được gia nhiệt bên trong cuộn đồng, bên cạnh việc kết hợp hai nguồn nhiệt khác nhau, trong quá trình phân tích còn đề cập đến một số thông số liên quan đến các vảy tạo thành dòng chảy rối để đảm bảo quá trình tận dụng nhiệt là tốt nhất trong quá trình hoạt động của hệ thống. Với kết cấu của bộ thu hồi nhiệt có chiều dài 350 mm, ống bên trong dài 300 mm, cuộn đồng có 10 vòng (bước cuộn là 20 mm), nhiệt độ của môi chất được làm nóng và được duy trì phù hợp với nhiệt độ môi trường trong suốt thời gian thực hiện mô hình, bằng cách làm mát sau và kiểm tra để điều chỉnh trước khi vào bên trong. Các giá trị thí nghiệm được ghi lại sau khi đo và xử lý bằng máy tính có cấu hình mạnh (Intel Core i5) được cách ly với môi trường đo để không bị ảnh hưởng. Việc tính toán và kiểm tra sau phân tích các quá trình tận dụng nhiệt là một bài toán dẫn nhiệt không ổn định, được xem xét trên nhiều yếu tố có kết cấu được đơn giản như bộ trao đổi nhiệt, và việc thực hiện xem xét theo quá trình dẫn nhiệt 2 chiều của các vảy tam giác là quan trọng nhất. Ở đây, thí nghiệm chủ yếu thu hồi nhiệt được thải ra từ động cơ lưỡng nhiên liệu để tận dụng năng lượng nhiệt thải nhưng không can thiệp vào quá trình cháy của động cơ lưỡng nhiên liệu. Trong thời gian tiếp theo, nhóm sẽ thực hiện đo và phân tích các thành phần khí thải để đánh giá ảnh hưởng đến quá trình cháy của động cơ dùng lưỡng nhiên liệu này.

4. Cơ sở phân tích hiệu quả tận dụng nhiệt

Quá trình trao đổi nhiệt được sinh ra bên trong bộ thu hồi nhiệt nhờ hiệu quả của quá trình truyền nhiệt qua ống thép và cuộn đồng. Các thông số như số Reynol, Nussel, LMTD, cũng được xác định dựa vào các điều kiện biên cho phép trong quá trình trao đổi nhiệt đối lưu này, hiệu quả trao đổi năng lượng được thiết lập từ phương trình cân bằng nhiệt bên trong bộ thu hồi nhiệt. Trong bài báo này, chúng tôi cũng thực hiện xem xét theo quá trình dẫn nhiệt 2 chiều của các vảy tam giác là quan trọng nhất. Những thông số này được phân tích và lựa chọn từ những tham khảo sau quá trình khảo sát của các nghiên cứu trước đây [12-14]. Việc cản trở của các vảy rõ ràng có ảnh hưởng đến đường khói thải như làm cho áp suất của khói thải có thể tăng lên, tốc độ của khói thải giảm dần do quá trình lốc xoáy. Nhưng, trong thí nghiệm của bài báo này, là tận dụng nguồn nhiệt thải nhiều nhất nhờ vào các nguồn xoáy. Trong thí nghiệm tiếp theo, chúng tôi sẽ xét đến từng yếu tố ảnh hưởng của các loại khí thải cũng như áp suất gây ra ảnh hưởng đến quá trình cháy của động cơ như thế nào.

Lượng nhiệt bị mất đi qua bộ thu hồi nhiệt từ khí thải nóng được thống nhất dựa vào phương trình cân bằng nhiệt sau giữa nước lạnh được gia nhiệt sau khi qua cuộn đồng xoắn và khí nóng qua bên ngoài và xoáy qua các vảy cả

được xếp xen kẽ với phương trình (1) theo [15].

$$Q = \dot{m}_w c_w (T_{iw} - T_{ow}) \cong \dot{m}_a c_a (T_{oa} - T_{ia}) \quad (1)$$

Ngoài ra, nhiệt độ khác nhau của hai dòng đối lưu nhau khi qua bộ thu hồi năng lượng nhiệt cũng được xác định nhờ vào biểu thức (2), cũng từ tài liệu [11].

$$LMTD = \Delta T_m = \frac{(T_{ow} - T_{ia}) - (T_{iw} - T_{oa})}{\ln \left[\frac{(T_{ow} - T_{ia})}{(T_{iw} - T_{oa})} \right]} \quad (2)$$

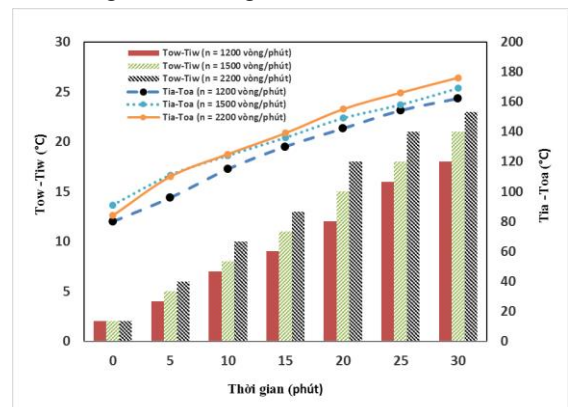
Nhiệt lượng tiêu hao được xác định từ năng lượng làm nóng nước được gia nhiệt sau khi qua bộ thu hồi với biểu thức (3).

$$q = \dot{m}_w c_w \Delta T_m \quad (3)$$

Các thông số được giải thích và cụ thể đơn vị theo báo cáo tham gia hội nghị của chính nhóm nghiên cứu của tác giả trong tham khảo [11].

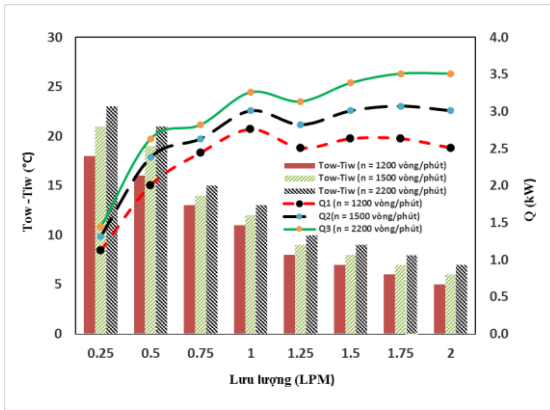
5. Thảo luận và đánh giá kết quả

Sự khác nhau về nhiệt độ giữa đầu vào và đầu ra của dòng khí thải từ động cơ lưỡng nhiên liệu và nước có bên trong ống đồng của bộ thu hồi nhiệt được gia nhiệt, được thực hiện trong thời gian 30 phút kiểm tra với 3 tốc độ khác nhau, được thể hiện trên Hình 3. Rõ ràng, nhiệt độ khác nhau tăng lên theo thời gian đáng kể và cũng tương ứng với điều kiện tốc độ của động cơ ở 3 tốc độ khác nhau. Với điều kiện nhiệt độ môi trường là 26°C, lưu lượng nước được đưa vào trong điều kiện này là 1 LPM (lít/phút) và tốc độ cả động cơ được duy trì lần lượt ở các chế độ 1.200 vòng/phút, 1.500 vòng/phút và 2.200 vòng/phút tương ứng với tốc độ nhỏ nhất, trung bình và lớn nhất khi động cơ hoạt động được cài đặt.



Hình 3. Nhiệt độ khác nhau của khí thải động cơ và nước được gia nhiệt sau khi qua bộ thu hồi nhiệt với ba tốc độ động cơ khác nhau

Hình 4 cũng cho thấy rằng, nhiệt độ khác nhau của nước sau khi được gia nhiệt có xu hướng tăng mạnh, từ 2°C lên 23°C trong khoảng thời gian 30 phút, khi động cơ được điều khiển ứng với mỗi tốc độ. Bên cạnh đó, nhiệt độ khác nhau của khí thải sau khi ra động cơ cũng tăng không nhẹ, từ 100°C lên đến 180°C, tương ứng với tốc độ của động cơ trong suốt thời gian hoạt động, và thời gian thực hiện cũng 30 phút. Điều này chỉ ra rằng, bộ thu hồi nhiệt được thiết kế khi tiến hành thí nghiệm đã đạt được nhiệt độ gia nhiệt cho nước, khi tận dụng lượng nhiệt thoát ra từ khí thải của động cơ trong khoảng thời gian vận hành và tốc độ của động cơ khác nhau (tốc độ và lưu lượng của khí thải là khác nhau). Nói cách khác, bộ thu hồi nhiệt từ khí thải động cơ đã tác động tích cực đáng kể đến việc tận dụng nhiệt thải từ động cơ để gia nhiệt cho nước, đáp ứng các nhu cầu trước quá trình điện phân tạo nhiên liệu hydrogen.



Hình 4. Biểu đồ thể hiện nhiệt lượng và nhiệt độ khác nhau của nước được gia nhiệt theo tỉ lệ lưu lượng nước được điều chỉnh

Với các chế độ điều khiển lưu lượng nước tương ứng khi vận hành hệ thống để thu hồi nhiệt từ khí thải, nhiệt độ khác nhau và nhiệt lượng của nước được gia nhiệt cũng được thể hiện trong Hình 4. Trong hình cũng cho thấy rằng, khi điều khiển ở 3 tốc độ khác nhau của động cơ, lưu lượng nước thay đổi từ 0,2 LPM (lít/phút) đến 2 LPM (lít/phút) thì nhiệt độ khác nhau của nước cũng giảm một mức đáng kể. Rõ ràng rằng, lưu lượng nước càng lớn thì nhiệt độ khác nhau càng nhỏ. Trong khoảng thời gian 30 phút và tốc độ điều khiển thay đổi của động cơ là 1.200 vòng/phút, 1.500 vòng/phút, 2.200 vòng/phút thì nhiệt độ khác nhau của nước đạt giá trị cực đại ở 23°C và giảm tối thiểu đến 5°C. Ngoài ra, ứng với tốc độ lớn nhất của động cơ thì nhiệt lượng để gia nhiệt cũng lớn nhất và đạt 3,5 kW khi lưu lượng của nước được điều khiển từ 0,2 LPM (lít/phút) đến 2 LPM (lít/phút). Rõ ràng, khi tăng lưu lượng nước thì nhiệt lượng thu được cũng được tăng lên theo tốc độ của động cơ ở 3 giá trị khác nhau.

Có thể kết luận rằng, khi lưu lượng nước được tăng lên trong quá trình tận dụng nhiệt để gia nhiệt trong bộ thu hồi nhiệt từ khí thải động cơ thì nhiệt độ của nước sẽ giảm ở các mức khác nhau và nhiệt lượng thu được để gia nhiệt sẽ tăng. Ngoài ra, khi điều khiển với các tốc độ khác nhau của động cơ và các mức nhiệt độ khác nhau của nước cũng đạt được các giá trị theo tốc độ tương ứng để gia nhiệt trong suốt thời gian cần thiết. Điều này khẳng định bộ thu hồi nhiệt được thiết kế có ích trong quá trình tận dụng nhiệt thải từ khí thải của động cơ.

6. Kết luận

Sau quá trình kiểm tra kết quả thực nghiệm, bài báo này đã xác định được tốc độ của động cơ là khác nhau ở các giá trị nhỏ nhất, lớn nhất và trung bình, cùng với điều kiện môi trường cho phép trong một tuần, thực hiện đo và đánh giá mức độ hiệu quả của bộ thu hồi nhiệt từ khí thải động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu để gia nhiệt cho nước trước quá trình điện phân với các mức điều khiển lưu lượng nước đi vào bên trong khác nhau.

Kết quả tận dụng lưỡng nhiên liệu, bộ thu hồi nhiệt được thiết kế với cấu tạo gồm các vây tam giác, bố trí phù hợp để tạo dòng chảy rối cho khí thải đi vào bên trong gấp cuộn đồng và các vây. Kết quả đánh giá rõ sự khác nhau giữa nhiệt độ đầu vào và đầu ra của khí thải và nước sau khi được gia nhiệt, tạo bởi bộ thu hồi nhiệt là hiệu quả. Với tốc độ của động cơ, lưu lượng nước được điều khiển đi vào bên trong bộ thu hồi

nhiệt ảnh hưởng lớn đến tỉ lệ nhiệt lượng thu được cũng như nhiệt độ chênh lệch của nước và của dòng khí thải trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu này. Kết quả cũng cho thấy một quá trình tận dụng nhiệt thải sử dụng bộ thu hồi nhiệt có kết cấu làm xoáy lốc các dòng khí biến thành dòng rối, là một thiết kế có hiệu quả cao về năng lượng và khả năng trao đổi nhiệt toàn diện cho hệ thống để ứng dụng vào thực tế. Trong bài báo tiếp theo, nhóm sẽ tiến hành đo và phân tích các loại khí thải, áp lực cản và mức độ ảnh hưởng đến quá trình cháy khí phun nhiên liệu hydrogen vào trong động cơ lưỡng nhiên liệu này. Hơn nữa, nghiên cứu này sẽ phát triển giải pháp tận dụng nhiệt khi xét đến quá trình đóng sừng của khối thải để làm giảm âm, tạo dòng chảy tầng cho khí thải, nhằm tận dụng nhiệt nhiều hơn trong quá trình gia nhiệt cho nước trong suốt quá trình điều chế hydrogen cung cấp cho động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mahyar Momen, Mehrdad Shirinbakhsh, Amir Baniassadi, Ali Behbahani-nia, "Application of Monte Carlo method in economic optimization of cogeneration systems – Case study of the CGAM system", *Applied Thermal Engineering*, Volume 104, 5 July 2016, pp. 34-41.
- [2] L. Ariyanfar, M. Yari, E. Abdi Aghdam, "Proposal and performance assessment of novel combined ORC and HDD cogeneration systems", *Applied Thermal Engineering*, Volume 108, 5 September 2016, pp. 296-311.
- [3] Murat Emre Demir, Ibrahim Dincer, "Performance assessment of a thermoelectric generator applied to exhaust waste heat recovery", *Applied Thermal Engineering*, Volume 120, 25 June 2017, pp. 694-707.
- [4] Xianglong Liu, Guangcai Gong, Yi Wu, Hangxin Li, "Thermal performance analysis of Brayton cycle with waste heat recovery boiler for diesel engines of offshore oil production facilities", *Applied Thermal Engineering*, Volume 107, 25 August 2016, pp. 320-328.
- [5] M. Hatami, M.D. Boot, D.D. Ganji, M. Gorji-Bandpy, "Comparative study of different exhaust heat exchangers effect on the performance and exergy analysis of a diesel engine", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 90, 2015, pp. 23-37.
- [6] M. Hatami, D.D. Ganji, M. Gorji-Bandpy, "Experimental and thermodynamical analyses of the diesel exhaust vortex generator heat exchanger for optimizing its operating condition", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 75, 2015, pp. 580-579.
- [7] M. Hatami, D.D. Ganji, M. Gorji-Bandpy, "Experimental investigation of the diesel exhaust exergy recovery using delta winglet vortex generator heat exchanger", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 93, 2015, pp. 52-63.
- [8] L. Tagliafico, G. Tanda, "Radiation and natural convection heat transfer from wire-and-tube heat exchangers in refrigeration appliances", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 20, No. 7, 1997, pp. 461-469.
- [9] M.G. Parent, Th.H. Van der Meer, K.G.T. Hollands, "Natural convection heat exchangers in solar water heating systems: Theory and experiment", *Solar Energy*, Vol. 45, No. 1, 1990, pp. 43-52.
- [10] Phạm Minh Sơn, Đỗ Thành Trung, Trần Minh Thế Uyên, Phạm Thanh Bình, *Application of CAE to design the waste heat recovery from the internal combustion engines*. Kỷ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí - Lần thứ IV, Số ISBN: 978-04-73-3690-6, 2015, trang 602-607.
- [11] Phạm Minh Mận, *Thiết kế bộ thu hồi nhiệt từ khí thải của động cơ lưỡng nhiên liệu để gia nhiệt trong sản xuất nhiên liệu hydrogen*, Đề tài cấp cơ sở.
- [12] A.N. Dravid, K.A. Smith, E.W. Merrill, P.L.T. Brain, "Effect of secondary fluid on laminar flow heat transfer in helically coiled tubes", *AIChE Journal*, Vol.17, 1971, pp. 1114-1122.
- [13] S.V. Patankar, V.S. Pratap, D.B. Spalding, "Prediction of laminar flow and heat transfer in helically coiled pipes", *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 62, 1974, pp. 539-551.
- [14] Saiful Bari, Shekh N. Hossain, "Waste heat recovery from a diesel engine using shell and tube heat exchanger", *Applied Thermal Engineering*, Volume 61, Issue 2, 3 November 2013, pp. 355-363.
- [15] J.P. Holman, *Heat Transfer*, Tenth Edition, McGraw-Hill International Edition, 2009.