

CÁC PHƯƠNG PHÁP TẬN DỤNG NĂNG LƯỢNG NHIỆT KHÍ THẢI TRONG ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

METHODS OF UTILIZING EXHAUST WASTE HEAT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Khổng Vũ Quảng¹, Nguyễn Duy Tiến^{1,*}, Phạm Minh Tuấn¹,
Nguyễn Phi Trường², Lê Mạnh Tới¹, Lê Đăng Duy¹

TÓM TẮT

Hiện nay, việc phát triển động cơ đốt trong đang phải đối mặt với những thách thức to lớn đó là sự cạn kiệt nguồn nhiên liệu truyền thống, hiệu suất nhiệt thấp và phát thải gây ô nhiễm môi trường. Cụ thể về hiệu suất nhiệt, trong tổng số năng lượng cung cấp cho động cơ thông qua quá trình chuyển hóa từ hóa năng sang nhiệt năng ẩn chứa trong nhiên liệu, chỉ có khoảng 20 đến 40% được chuyển đổi thành công có ích, phần năng lượng còn lại được thải ra môi trường xung quanh chủ yếu thông qua khí thải và hệ thống làm mát động cơ. Nhiều nghiên cứu cho thấy tận dụng nguồn nhiệt thải này là hướng đi tiềm năng trong việc nâng cao hiệu quả sử dụng nhiệt trong động cơ. So với việc thu hồi nhiệt từ hệ thống làm mát, thu hồi và sử dụng nhiệt khí thải hiệu quả và dễ dàng hơn rất nhiều do nó ít ảnh hưởng tới kết cấu và quá trình làm việc của động cơ. Nội dung bài báo này sẽ trình bày tổng hợp những triển vọng và thách thức của các phương pháp tận dụng nhiệt khí thải đang được nghiên cứu và sử dụng hiện nay. Các nội dung này có thể được sử dụng làm cơ sở nghiên cứu nâng cao tính kinh tế, kỹ thuật thông qua tối ưu hóa các điều kiện làm việc cũng như tính toán thiết kế các hệ thống tận dụng năng lượng nhiệt khí thải - nước làm mát của động cơ.

Từ khóa: Động cơ đốt trong, nhiệt khí thải, tận dụng nhiệt.

ABSTRACT

Nowadays, the development of ICE is facing major challenges such as the exhaustion of traditional fuel sources, low thermal efficiency and environmental pollution emissions. Specifically, in the total amount of energy supplied to the engine through the transformation from chemical energy to the latent thermal energy in the fuel, only about 20 to 40% is successfully converted to useful work, the remaining thermal energy were being discharged into the environment through exhaust gas and engine cooling system. Therefore, taking advantage of this energy source is considered a challenging and promising research direction. Compared to utilizing heat of cooling water, the recovery and use of exhausted heat is much more efficient and easier because it has less impact on the structure and working process of the engine. This paper will summarize the prospects and challenges of the methods of utilizing exhausted heat currently being studied and used today. The content of the article can be used as a basis for research to improve the economics and techniques through optimizing the working conditions of the engine and for calculating the design of systems that utilize exhaust energy - engine cooling water.

Keywords: Internal combustion engine, exhaust heat, heat utilizing.

¹Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: tien.nguyenduy@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/01/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/5/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2021

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, trước sức ép về chi phí nhiên liệu cũng như các tiêu chuẩn kiểm soát phát thải đã tạo ra thách thức cũng như là nguồn động lực cho các nhà kỹ thuật nghiên cứu cải tiến Động cơ đốt trong (ĐCĐT). Hàng loạt các công nghệ hiện đại như hệ thống nhiên liệu điện tử, tăng áp tuabin - máy nén, công nghệ van biến thiên VVTi... đã được áp dụng nhằm tăng công suất, giảm tiêu thụ nhiên liệu và phát thải độc hại. Tuy vậy, hiệu suất có ích của động cơ chỉ đạt vào khoảng 30 ÷ 40% trong vùng làm việc tối ưu, ở các chế độ làm việc khác như tải nhỏ hoặc tốc độ cao hiệu suất này còn thấp hơn rất nhiều. Như vậy có thể thấy luôn có tối thiểu khoảng 60 ÷ 70% năng lượng nhiệt trong động cơ bị hao phí, phần nhiệt này chủ yếu bị mất mát do nhiệt thải qua môi chất làm mát hoặc khí thải động cơ [1, 2]. Cùng với đó, việc áp dụng các tiêu chuẩn kiểm soát phát thải ngày càng cao cũng tạo trở ngại cho các nhà sản xuất trong việc nâng cao nhiệt độ và áp suất trong quá trình cháy do đó nó cũng làm giảm khả năng cải thiện hiệu suất nhiệt của động cơ [3, 4]. Nhiều nghiên cứu cho thấy tối ưu hóa quá trình chuyển đổi năng lượng và tận dụng nguồn nhiệt hao phí sẽ là giải pháp hiệu quả để cải thiện hiệu suất sử dụng nhiệt và phát thải độc hại của ĐCĐT [5, 6].

Trong hệ thống làm mát, phần lớn lượng nhiệt truyền qua thành vách sẽ truyền cho môi chất làm mát, thông qua bộ phận tản nhiệt (quạt, két) lượng nhiệt này được phân tán ra môi trường xung quanh. Do nhiệt độ thấp (thường nhỏ hơn 100°C) nên việc tận dụng nhiệt nước làm mát thường theo dạng nhiệt - nhiệt [7]. Ngoài ra yêu cầu về chênh lệch nhiệt độ giữa nước vào và ra nhỏ (3 ÷ 5°C) nên để tận dụng hiệu quả cần diện tích trao đổi nhiệt rất lớn do đó làm tăng kích thước của thiết bị trao đổi nhiệt, gây khó khăn cho quá trình bố trí thực tế.

Đối với khí thải, năng lượng tồn tại ở dạng nhiệt năng và động năng, với đặc điểm nhiệt độ cao (có thể lên tới 600 ÷ 800°C) và luôn chiếm tỷ lệ lớn (30 ÷ 45%) ở mọi chế độ làm việc của động cơ nên tận dụng phần năng lượng này từ lâu đã được các nhà khoa học nghiên cứu và áp dụng với các phương pháp từ đơn giản như tận dụng để sưởi ấm, hệ thống tăng áp tuabin - máy nén. Gần đây, các nhà khoa học đã đưa ra một số phương pháp tiềm năng để tận dụng nguồn năng lượng này, có thể kể đến như chuyển đổi nhiệt

- điện TEG, sử dụng nhiệt khí thải sấy nóng và giãn nở môi chất trung gian theo chu trình ORC, BOC hoặc tích trữ nhiệt dưới dạng hóa năng.

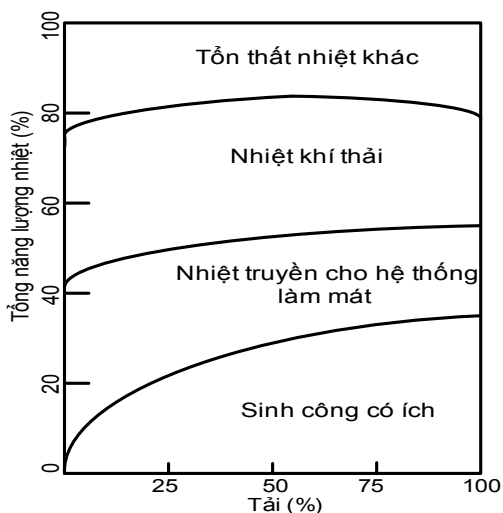
Để có cái nhìn tổng quát, bài báo này sẽ giới thiệu một số phương pháp tận dụng nguồn năng lượng nhiệt khí thải, tiềm năng và những thách thức khi áp dụng với ĐCĐT.

2. TIỀM NĂNG VÀ KHẢ NĂNG TẬN DỤNG NHIỆT KHÍ THẢI ĐỘNG CƠ

Nguồn năng lượng từ ĐCĐT truyền cho máy công tác hoàn toàn xuất phát từ sự đốt cháy nhiên liệu, chuyển hóa từ nhiệt năng thành cơ năng theo định luật nhiệt động thứ nhất. Theo định luật này luôn có sự cân bằng giữa năng lượng đầu vào và đầu ra trong hệ thống. Trong ĐCĐT nhiên liệu và không khí được đưa vào buồng cháy, tại đây diễn ra quá trình chuyển đổi từ hóa năng sang nhiệt năng thông qua quá trình cháy. Chỉ một phần năng lượng nhiệt chuyển đổi thành công có ích phần còn lại mất mát cho hệ thống làm mát và nhiệt khí thải, phần năng lượng còn lại bao gồm công tổn hao cơ giới như công dẫn động bơm nước, quạt gió, cơ cấu phối khí; ma sát giữa các ổ trục, piston - xilanh và một phần nhỏ do nhiên liệu không cháy hết.

Hình 1 thể hiện sự phân bố năng lượng trong động cơ diesel [8]. Có thể nhận thấy để giảm các tổn thất nhiệt, ĐCĐT cần làm việc ổn định ở chế độ tải trọng cao. Tuy nhiên, chế độ làm việc thực tế của ĐCĐT thường xuyên thay đổi. Đặc biệt là ĐCĐT trên các phương tiện giao thông vận tải thường làm việc ở vùng tải nhỏ và trung bình.

Như vậy, ngoài việc tối ưu hóa các thông số làm việc của động cơ thì việc tận dụng các nguồn nhiệt thải (làm mát, khí thải) sẽ cho phép nâng cao hiệu suất sử dụng nhiệt chung.



Hình 1. Phân bố năng lượng trong ĐCĐT

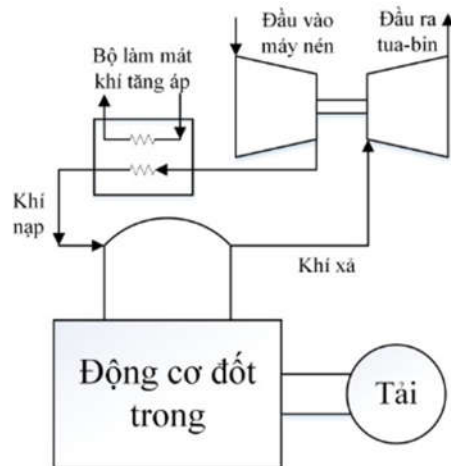
3. CÁC PHƯƠNG PHÁP TẬN DỤNG NHIỆT KHÍ THẢI ĐỘNG CƠ

3.1. Trang bị cụm tuabin - máy nén

Trang bị thêm cụm Tuabin - Máy nén (TB-MN) trên đường nạp - thải nhằm mục đích tăng công suất, công

suất riêng của động cơ. Trong phương pháp này, TB-MN được lắp đồng trục, dòng khí thải của động cơ sẽ không thải trực tiếp ra môi trường mà được đưa qua TB giãn nở sinh công. Công giãn nở từ TB truyền qua MN, nén môi chất nạp tới một áp suất nhất định. Để tăng hiệu quả, khí nạp mới sau máy nén sẽ được làm mát trước khi nạp vào xilanh ĐCĐT, như thể hiện trên hình 2.

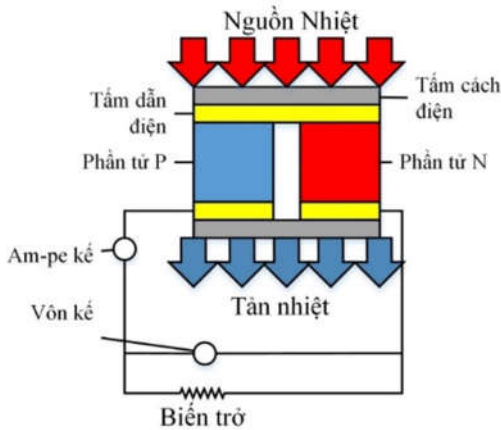
Cụm TB-MN không liên hệ cơ khí với trục khuỷu do đó không lấy mất công suất của động cơ. Mặt khác, khi tăng áp suất khí nạp (nếu hòa khí động cơ không thay đổi) sẽ làm giảm tỷ lệ lượng nhiệt truyền cho nước làm mát cũng như công tổn hao cơ giới, do đó sẽ làm tăng hiệu suất có ích của ĐCĐT. Tuy nhiên, tăng áp TB-MN cũng có những hạn chế như ở chế độ tải nhỏ, năng lượng của khí thải thấp, không đủ để cung cấp cho cụm TB-MN. Ở các chế độ này cụm TB-MN còn làm tăng cản trên đường nạp thải, làm tăng tổn hao cơ giới của ĐCĐT. Để khắc phục hạn chế này các động cơ hiện nay đã trang bị hàng loạt các công nghệ hiện đại như tăng áp tuabin kép Bi-Turbo hay Twin Turbo, thay đổi cấu trúc hình học tuabin VGT (Variable Geometry Turbocharger), tuabin có hai cửa cấp khí vào (Twin-scroll divided turbochargers), tuabin với quán tính nhỏ kết hợp với cửa xả (Wastegate)...[9, 10, 11].



Hình 2. Sơ đồ hệ thống tăng áp Tuabin - Máy nén

3.2. Chuyển đổi năng lượng nhiệt khí thải thành điện theo nguyên lý nhiệt - điện TEG

Chuyển đổi nhiệt - điện TEG (Thermo Electric Generators) là phương pháp dựa trên hiệu ứng Seebeck [12]. Mỗi phân tử TEG bản chất là một cặp tấm bán dẫn loại N và P, các tấm bán dẫn được bố trí một bề mặt tiếp xúc với nguồn nóng T_1 một mặt tiếp xúc với nguồn lạnh T_2 . Khi chênh lệch nhiệt độ giữa nguồn nóng và nguồn lạnh đủ lớn các hạt mang điện tích trên hai nhánh bán dẫn sẽ di chuyển về phía có nhiệt độ thấp, với tấm bán dẫn loại N là các hạt điện tích âm (electron), tấm bán dẫn loại P là các lỗ trống mang điện tích dương. Do đó, nơi tập chung ít electron trên tấm bán dẫn loại N sẽ mang điện tích dương (+) còn nơi tập trung ít lỗ trống trên tấm bán dẫn P mang điện tích âm. Do đó khi nối hai bề mặt bán dẫn như hình 3 sẽ tạo thành mạch kín sinh ra dòng điện.



Hình 3. Nguyên lý hoạt động của tế bào TEG theo hiệu ứng See-bek

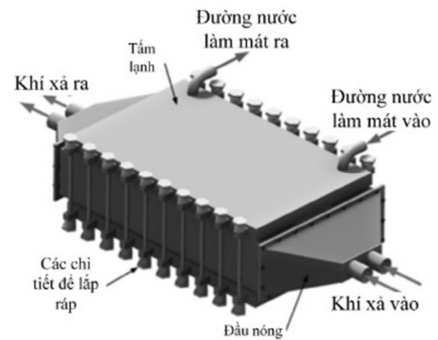
Hiệu suất nhiệt - điện của một phần tử TEG được xác định theo công thức sau:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{2T_1 - 1/2(T_1 - T_2) + 4/Z} \quad (1)$$

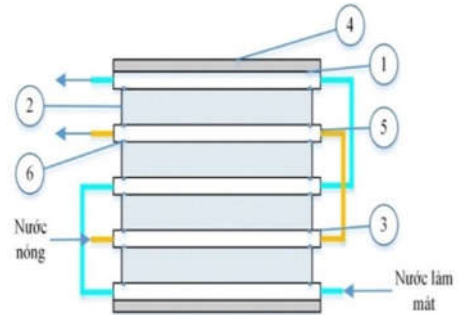
Trong đó, T_1, T_2 lần lượt là nhiệt độ nguồn nóng và nguồn lạnh, Z hệ số phẩm chất (đơn vị K^{-1}) phụ thuộc loại vật liệu bán dẫn.

Với những ưu điểm nổi trội như kích thước nhỏ gọn, chuyển đổi năng lượng nhiệt thành điện một cách trực tiếp nên công nghệ này đã được các hãng xe nổi tiếng trên thế giới như BMW, Ford, hay Honda đầu tư nghiên cứu, hiện tại BMW đã ứng dụng TEG trên một số dòng xe của mình [13, 14]. Tuy nhiên, TEG vẫn còn nhiều hạn chế cần nghiên cứu cải tiến như hiệu suất chuyển đổi thấp ($5 \div 8\%$), chi phí đầu tư khá lớn. Từ công thức (1) có thể thấy để tăng hiệu suất chuyển đổi cần tăng chênh lệch nhiệt độ giữa nguồn nóng và nguồn lạnh cũng như đòi hỏi vật liệu có phẩm chất tốt (hệ số Z cao). Thực tế để tăng hiệu quả sử dụng nhiệt người ta thường sử dụng TEG kết hợp với hệ thống trao đổi nhiệt như thể hiện trên hình 4. Trong phương pháp này, các ống trao đổi nhiệt có mục đích thay thế các cánh tản nhiệt, làm tăng khả năng trao đổi nhiệt của hệ thống từ đó làm tăng hiệu suất tận dụng nhiệt. Phương pháp này cho thấy rất nhiều triển vọng bởi cả TEG và ống trao đổi nhiệt đều ở dạng rắn, ổn định, không gây ồn cũng như có độ bền cao. Hơn nữa, ống tận dụng nhiệt sẽ làm giảm nhiệt trở giữa khí thải và TEG, giảm sự mất mát áp suất của dòng khí và tạo ra sự cơ động trong việc thiết kế hệ thống. Tuy nhiên, phương pháp này còn một số mặt hạn chế như TEG có hiệu suất tận dụng nhiệt thấp cùng nhiệt độ cho phép cao nhất ở bề mặt bị hạn chế và ống thu hồi nhiệt có vấn đề về tốc độ trao đổi nhiệt cũng như vùng nhiệt độ hoạt động hiệu quả.

Để tăng tỷ lệ tận dụng nhiệt khí thải, hình 5 trình bày cách thức bố trí các tấm TEG xếp chồng lên nhau, xen giữa các tấm là các kênh dẫn khí thải và nước làm mát [15]. Phương pháp này sẽ tận dụng triệt để hơn nhiệt khí thải qua đó làm tăng hiệu quả sử dụng nhiệt của cả hệ thống. Tuy nhiên, cách thức bố trí này cũng sẽ làm tăng không gian bố trí, khó khăn trong việc lắp đặt, bảo dưỡng sửa chữa.



Hình 4. Mô hình TEG kết hợp với hệ thống trao đổi nhiệt khí thải



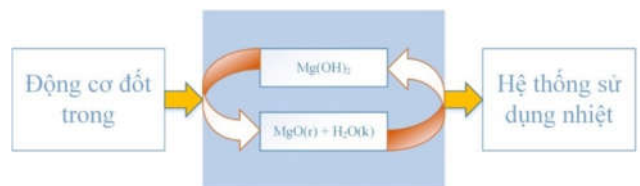
Hình 5. Mô hình TEG song song kết hợp với hệ thống trao đổi nhiệt khí thải

- 1- Đường nước làm mát; 2- TEG mô đun; 3- Đường nước mang nhiệt;
- 4- Tấm cách nhiệt; 5- Dầu dẫn nhiệt; 6- T-type.

3.3. Chuyển đổi năng lượng khí thải thành năng lượng lưu trữ dưới dạng hóa năng

Hệ thống lưu trữ năng lượng hóa học hay CHS (Chemical heat storage) là một dạng của hệ thống lưu trữ nhiệt năng. CHS được sử dụng để chuyển đổi nhiệt năng thành hóa năng theo phương trình phản ứng thuận nghịch như sau: $A + \text{Nhiệt} \leftrightarrow B + C$.

Nguyên lý cơ bản của phương pháp này là năng lượng nhiệt được hấp thụ trong quá trình lưu trữ nhiệt bởi một hóa chất A để trở thành hai thành phần B và C. Khi cần sinh nhiệt, hai sản phẩm B và C được trộn với nhau để hoàn nguyên thành A ban đầu và nhiệt được giải phóng. So với các hệ thống lưu trữ năng lượng nhiệt khác, CHS có mật độ năng lượng cao hơn và có thể lưu trữ trong thời gian dài hơn với tổn thất nhiệt tương đối nhỏ [16]. Phương pháp này hiện đã được áp dụng để lưu trữ năng lượng mặt trời để đun nóng ở các hộ gia đình cũng như để lưu trữ năng lượng điện ở các giờ thấp điểm trong các nhà máy điện [17, 18]. Nhược điểm chính của hệ thống này là phần trăm nhiệt tích trữ được còn thấp và chỉ có thể lưu trữ năng lượng từ các nguồn nhiệt có nhiệt độ cao.



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống CHS lưu trữ năng lượng nhiệt khí thải ĐCĐT

Tại Việt Nam, Cao Đức Lượng và các cộng sự đã tiến hành nghiên cứu một hệ thống lưu trữ nhiệt hóa học sử dụng hợp chất của $Mg(OH)_2$ và than chì với tỉ lệ khối lượng là 8:1 (block state) [19]. Nhiệt độ để phản ứng của hệ thống phù hợp với nhiệt độ khí xả của ĐCĐT và sử dụng thêm than chì sẽ cho hỗn hợp khối lượng riêng lớn hơn cũng như khả năng trao đổi nhiệt tốt hơn chỉ sử dụng $Mg(OH)_2$. Nguyên lý làm việc của hệ thống được thể hiện trong hình 6.

Tania Morabito và các đồng nghiệp đã tiến hành thử nghiệm một loại vật liệu dựa trên các tinh thể nhôm mangan để làm vật liệu trung gian trong quá trình biến đổi từ hóa năng sang nhiệt năng và ngược lại để sử dụng trong các nhà máy năng lượng điện mặt trời [20]. Nhóm nghiên cứu sử dụng môi chất trung gian là khí nén và thu được kết quả khả quan với hỗn hợp có kết cấu ổn định, giảm thiểu tối đa sự giảm áp khi các phản ứng hóa học xảy ra đồng thời vật liệu có mật độ năng lượng trên đơn vị thể tích tương đối cao. Tuy nhiên, tác giả cũng đã đề cập rằng hiệu suất của hệ thống lưu trữ năng lượng này có thể được cải thiện đáng kể bằng cách tối ưu hóa các đặc tính của hỗn hợp tinh thể nhôm mangan. Đặc biệt việc cải thiện enthalpy của phản ứng là hoàn toàn có thể thực hiện được.

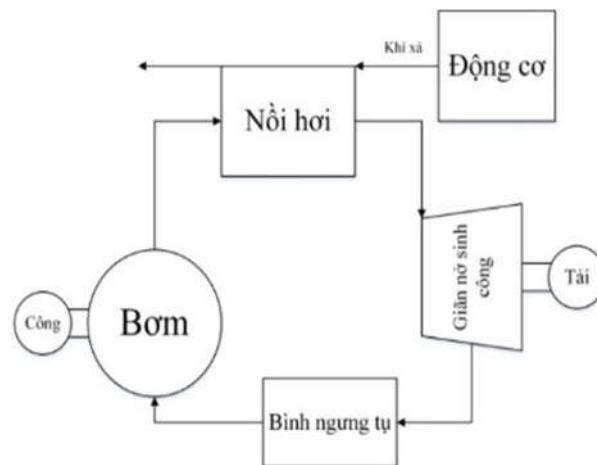
3.4. Chuyển đổi năng lượng khí thải thành năng lượng cơ khí hoặc điện ORC hoặc BOC

Chu trình rankine ORC (Organic Rankine Cycle) được coi là chu trình đơn giản, hiệu quả và phù hợp với mức nhiệt thấp như khí thải của ĐCĐT. Mô hình ORC đơn giản như thể hiện trên hình 7 [21]. Hệ thống bao gồm nồi hơi, thiết bị giãn nở sinh công (tuabin), bình ngưng tụ, bơm và môi chất trung gian. Khí thải động cơ được dẫn qua nồi hơi, tại đây môi chất trung gian nhận nhiệt, chuyển pha từ lỏng sang khí. Tiếp theo, môi chất khí được đưa tới giãn nở sinh công tại tuabin. Công sinh ra từ quá trình giãn nở sẽ được sử dụng dẫn động máy phát điện hoặc dẫn động cơ khí cho các ứng dụng khác. Sau khi qua tuabin, môi chất được ngưng tụ tại bình ngưng sau đó được bơm trở lại nồi hơi thực hiện một chu trình kín. BOC (Breyton Organic Cycle) là một trường hợp riêng của ORC khi sử dụng các chất khí làm môi chất trung gian. Phương pháp này giúp rút ngắn thời gian quá độ của hệ thống cũng như cải thiện hiệu suất tận dụng của hệ thống ở các chế độ tải trọng nhỏ của ĐCĐT. Các môi chất trung gian BOC thường được sử dụng hiện nay như CO_2 , CFC.... Không có môi chất trung gian nào là hoàn hảo, mỗi môi chất chỉ phù hợp và phát huy hiệu suất cao trong một số vùng làm việc nhất định của động cơ [22].

Trong hệ thống ORC thì áp suất hơi là thông số quan trọng nhất ảnh hưởng tới hiệu suất hệ thống. Tuy nhiên chênh lệch nhiệt độ, tổn hao của bộ trao đổi nhiệt, nhiệt độ tối hạn của môi chất trung gian sẽ là những rào cản chính ảnh hưởng tới áp suất làm việc tối đa của chu trình. ORC được sử dụng trong các hệ thống kết hợp nhiệt với công là một lựa chọn tốt để tăng cường hiệu suất và giảm thiểu giá thành [23].

Có thể thấy, ORC là một phương pháp có nhiều triển vọng trong việc tận dụng các nguồn nhiệt thấp và trung

bình như khí thải động cơ. Tuy nhiên, để nâng cao hiệu quả vẫn cần nghiên cứu xác định các môi chất trung gian mới, nâng cao hiệu suất của quá trình giãn nở, hiệu suất quá trình trao đổi nhiệt tại nồi hơi và bình ngưng, phối hợp quá trình làm việc của hệ thống phù hợp với chế độ làm việc của ĐCĐT để có thể cải thiện hiệu suất của cả hệ thống ORC-ĐCĐT.



Hình 7. Mô hình ORC đơn giản

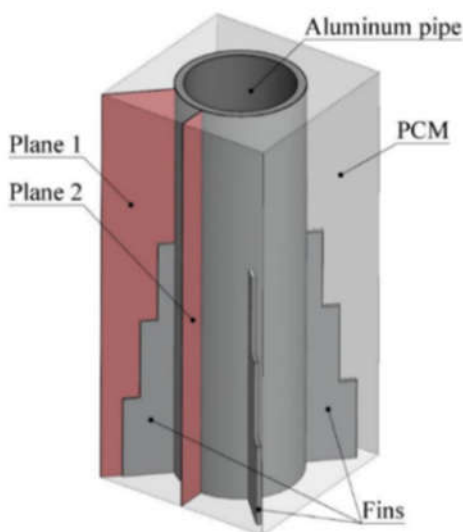
3.5. Lưu trữ và hấp thụ nhiệt khí thải sử dụng vật liệu thay đổi pha

Vật liệu thay đổi pha (PCM) là vật liệu mà pha của nó sẽ thay đổi ở nhiệt độ nhất định. Trong quá trình thay đổi pha, PCM hấp thụ hoặc giải phóng một lượng nhiệt lớn để thực hiện quá trình biến đổi. Hiện tượng này được gọi là nhiệt ẩn của phản ứng tổng hợp hoặc hóa hơi, và thông qua quá trình này, năng lượng được lưu trữ hoặc giải phóng. Vật liệu làm PCM được chia thành hai nhóm chính, vô cơ và hữu cơ (paraffin) [24]. Ưu điểm của PCM là vật liệu được sử dụng để chế tạo ra PCM có thể tái chế được, không gây ra sự ăn mòn đối với loại hữu cơ và có nhiệt ẩn cao. Hạn chế của phương pháp này là thời gian lưu trữ không dài, hệ số truyền nhiệt kém, có hiện tượng nóng chảy không đồng nhất và hiện tượng siêu lạnh [25].

V.Pandiyarajan cùng nhóm nghiên cứu đã giới thiệu khái niệm bình tích trữ nhiệt PCM. Hệ thống bao gồm một khoang chứa các bình lưu trữ nhiệt, đường vào và ra của môi chất truyền nhiệt, môi chất là dầu được bơm vào hệ thống từ đường vào ở trên để trao đổi nhiệt với các bình lưu trữ và đi ra ở phía dưới [26]. Kết quả cho thấy hệ thống có thể lưu trữ tới 50% lượng nhiệt khí thải của động cơ do đó giúp nâng cao hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống ĐCĐT-PCM lên $10 \div 15\%$. Lượng nhiệt lưu trữ này được tái sử dụng để sấy nước làm mát, khí nạp trong trường hợp khởi động lạnh. Tuy nhiên, khối lượng và thể tích không gian của hệ thống còn lớn, tốc độ trao đổi nhiệt thấp.

Mert Gürtürk cùng các cộng sự đã thực hiện một nghiên cứu về một phương pháp thiết kế mới cho các vây truyền nhiệt trong bộ PCM [27]. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã phân tích quá trình trao đổi và tích trữ nhiệt của PCM và đưa ra kết cấu cánh và vây truyền nhiệt mang lại hiệu quả

cao nhất trong quá trình nóng chảy của PCM từ đó cải thiện các tính năng kỹ thuật của bình lưu trữ nhiệt, kết cấu này được thể hiện trong hình 8. Kết quả cho thấy, định hướng để thiết kế cánh trao đổi nhiệt trong đó để ý đến quá trình nóng chảy của PCM trong bình trữ nhiệt là một hướng đi đang được các nhà nghiên cứu thử nghiệm và phát triển. Bằng cách đặt các tấm cánh trao đổi nhiệt một cách hợp lý, nhóm của Mert Gürtürk đã tăng tốc độ nóng chảy của PCM lên đến 65% từ đó cải thiện tốc độ truyền nhiệt cũng như lượng nhiệt hấp thụ và lưu trữ được của PCM. Nghiên cứu này đem lại nhiều triển vọng và hứa hẹn để cải thiện các tính năng kỹ thuật của bình lưu trữ nhiệt sử dụng vật liệu đổi pha tuy nhiên các cải tiến về vật liệu làm cánh cũng như giá thành sản phẩm sẽ cần được tiến hành để nghiên cứu này có thể được sớm đi vào thực tế.



Hình 8. Cấu tạo cánh và vây truyền nhiệt của bộ PCM

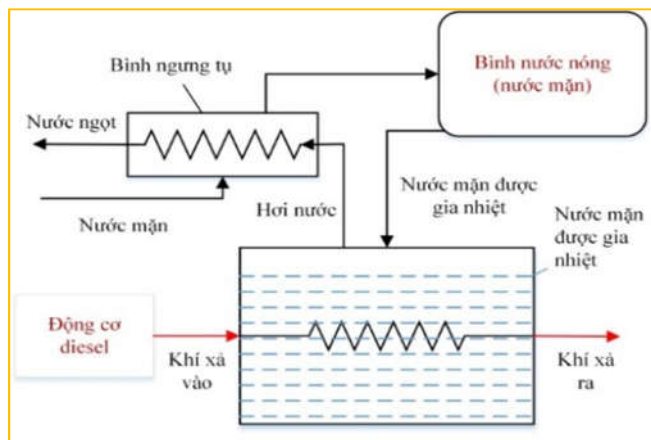
3.6. Tận dụng trực tiếp nhiệt khí thải

Phương pháp tận dụng nhiệt khí thải trực tiếp để sấy nóng khí nạp, dầu bôi trơn (khí động cơ mới khởi động) đã được sử dụng trên nhiều động cơ, trên một số dòng xe du lịch hiện nay người ta còn sử dụng nhiệt khí thải (phía sau bộ xúc tác) để sưởi ấm không gian trong xe [28].

Trên các tàu thủy cỡ lớn, nhiệt khí thải và nước làm mát động cơ không những được tận dụng để sưởi ấm mà còn có thể được sử dụng để chưng cất nước biển tạo thành nước sinh hoạt trên tàu. K.S.Maheshwari cùng các cộng sự đã nghiên cứu tận dụng nhiệt thải của động cơ diesel để chưng cất nước ngọt [29]. Hệ thống sử dụng nhiệt thải của khí xả động cơ để đun nóng nước biển rồi chưng cất thành nước ngọt, nước mặn còn được đưa qua bình ngưng tụ để hấp thụ nhiệt của quá trình ngưng tụ. Sơ đồ của hệ thống được thể hiện trên hình 9.

Kết quả của nghiên cứu cho thấy so với khi không sử dụng bộ phận gia nhiệt cho nước biển thì hệ thống có bình gia nhiệt sẽ có hiệu suất cao hơn từ 20 ÷ 30% tăng dần khi tăng tải của ĐCĐT. Trong bình ngưng, nước muối đóng vai trò như một chất làm mát cho hơi trong bình hóa hơi và được lưu trữ trong bình riêng ở nhiệt độ 60°C. Điều này mở

ra các hướng cải tiến mới cho hệ thống trong tương lai để tận dụng nguồn nhiệt này. Nhược điểm của hệ thống là còn cồng kềnh, bố trí khó khăn và lượng nước ngọt tạo ra vẫn còn thấp.



Hình 9. Sơ đồ hệ thống chưng cất nước ngọt

4. KẾT LUẬN

Có thể nhận thấy tiềm năng rất lớn về sử dụng hiệu quả năng lượng thông qua việc áp dụng các công nghệ thu hồi nhiệt khí thải. Việc sử dụng hiệu quả không chỉ là tận dụng nguồn nhiệt thải này để sinh công cơ khí mà còn có thể sử dụng nguồn nhiệt này để sưởi ấm, tạo năng lượng điện hoặc vận hành hệ thống làm lạnh. Việc thu hồi nhiệt thải từ khí thải và chuyển đổi thành năng lượng cơ học là có thể với sự trợ giúp của các chu trình nhiệt động học Rankine, Stirling và Brayton, hấp thụ hơi. Đối với hệ thống thu hồi nhiệt thải sử dụng nhiệt thấp, có hiệu suất thấp thì nó rất hữu ích cho cùng khả năng tăng hiệu suất nhiệt và giảm phát thải. Tái sử dụng nhiệt khí thải cũng sẽ giúp cải thiện hiệu suất nhiệt, suất tiêu hao năng lượng và khí thải của động cơ. Nếu những công nghệ này được các nhà sản xuất áp dụng thì nó sẽ làm tăng hiệu suất chung của động cơ đốt trong.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. John B. Heywood, 2018. *Internal Combustion Engine Fundamentals Second edition*. McGraw-Hill Education, ISBN: 978-1-26-011611-3.
- [2]. Charles Fayette Taylor, 1985. *Internal Combustion Engine in Theory and Practice, Volume 1: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance*. MIT Press.
- [3]. Eran Sher, 1998. *Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines*.
- [4]. Georgios Fontaras, et al, 2013. *Development and review of Euro 5 passenger car emission factors based on experimental results over various driving cycles*. Science of the Total Environment.
- [5]. J. S. Jadhao, et al, 2013. *Review on Exhaust Gas Heat Recovery for I.C. Engine*. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 12.
- [6]. M. Sc. Milkov N., et al, 2015. *Advanced Technologies For Waste Heat Recovery In Internal Combustion Engines*. Technical University of Sofia.

- [7]. John R. Armstead, et al, 2014. *Review of Waste Heat Recovery Mechanisms for Internal Combustion Engines*. Journal of Thermal Science and Engineering Applications, Vol. 6.
- [8]. Nguyễn Tất Tiến, 1994. *Nguyên lý động cơ đốt trong*. NXB Giáo dục.
- [9]. Dengting Zhu, et al, 2019. *Fuel consumption and emission characteristics in asymmetric twin-scroll turbocharged diesel engine with two exhaust gas recirculation circuits*. Applied Energy 238.
- [10]. Adam J. Feneleya, et al, 2016. *Variable Geometry Turbocharger Technologies for Exhaust Energy Recovery and Boosting-A Review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [11]. Viktor Olsson, 2015. *An on-engine twin-scroll turbine performance estimation*. Master of Science Thesis, KTH Industrial Engineering and Management
- [12]. H. Julian Goldsmid, 2009. *Introduction to Thermoelectricity*. Springer Series in Materials Science 121, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [13]. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03226939>
- [14]. B. Orr, et al, 2016. *A review of car waste heat recovery systems utilising thermoelectric generators and heat pipes*. Applied Thermal Engineering 101, 490–495.
- [15]. Xing Niu, et al, 2009. *Experimental study on low-temperature waste heat thermoelectric generator*. Journal of Power Sources 188, 621–626.
- [16]. Benoît Stutz, et al, 2016. *Storage of thermal solar energy*. Comptes Rendus Physique, p. 401–414.
- [17]. Pelay U., et al, 2017. *Thermal energy storage systems for concentrated solar power plants*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79: p. 82-100.
- [18]. Zamengo M., 2014. *A Study on Heat Transfer-Enhanced Composites for a Magnesium Oxide/Water Chemical Heat Pump*. Tokyo Institute of Technology.
- [19]. Duc Luong Cao, et al, 2018. *Investigation of chemical heat storage processes for recovering exhaust gas energy in internal combustion engines*. 21st Australasian Fluid Mechanics Conference Adelaide, Australia.
- [20]. Tania Morabito, Salvatore Sau, et al, 2020. *Chemical CSP storage system based on a manganese aluminium spinel*. Solar Energy 197, 462–471.
- [21]. Alias Mohd Noor et al, 2015. *Technologies for Waste Heat Energy Recovery from Internal Combustion Engine: A Review*. Conference Paper.
- [22]. U. Drescher, D. Bruggemann, 2007. *Fluid selection for the organic Rankine cycle (ORC) in biomass power and heat plants*. Applied Thermal Engineering 27: 223–228.
- [23]. Chen Yue, et al, 2019. *Thermal and economic analysis on vehicle energy supplying system based on waste heat recovery organic Rankine Cycle*. Applied Energy 248, 241–255.
- [24]. Luisa F. Cabeza, 2014. *Advances in Thermal Energy Storage Systems: Methods and Applications*. Woodhead Publishing (Woodhead Publishing Series in Energy).
- [25]. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/supercooling>
- [26]. V. Pandiyarajan et al, 2011. *Experimental investigation on heat recovery from diesel engine exhaust using finned shell and tube heat exchanger and thermal storage system*. Applied Energy 88, 77–87.
- [27]. Mert Gurturk, Besir Kok, 2020. *A new approach in the design of heat transfer fin for melting and solidification of PCM*. International Journal of Heat and Mass Transfer 153, 119671.
- [28]. Mahmoud Khaled, et al, 2016. *Heating fresh air by hot exhaust air of HVAC systems*. Case Studies in Thermal Engineering, Volume 8, Pages 398-402
- [29]. K.S.Maheswari, et al, 2015. *Thermal desalination using diesel engine exhaust waste heat*. Desalination 358, 94 –100.

AUTHORS INFORMATION

**Khong Vu Quang¹, Nguyen Duy Tien¹, Pham Minh Tuan¹,
Nguyen Phi Truong², Le Manh Toi¹, Le Dang Duy¹**

¹School of Transportation Engineering, Hanoi University of Science and Technology

²Hanoi University of Industry