

# NGHIÊN CỨU BƠM NHIỆT VỚI HỆ THỐNG LẠNH SỬ DỤNG CHU TRÌNH RANKINE HỮU CƠ

## STUDY ON HEAT PUMP WITH REFRIGERANT SYSTEM USING ORGANIC RANKINE CYCLE PROCESS

Hoàng Thành Đạt, Hồ Trần Anh Ngọc

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật – Đại học Đà Nẵng;  
hoangthanhdat1976@gmail.com, anhngoctr@yahoo.com

**Tóm tắt** - Nghiên cứu sử dụng các nguồn nhiệt thừa cấp nhiệt cho hệ thống bơm nhiệt với hệ thống lạnh sử dụng chu trình Rankine hữu cơ ORC (Organic Rankine Cycle). Trên căn bản tính toán theo mô hình mới để chọn ra được môi chất thích hợp nhất dùng cho hệ thống, đưa ra được kết quả tính toán hệ số làm nóng và làm lạnh COP đối với các môi chất R22, R600, R601, R123, R1234ze, R134a, R152a, R227ea, R245fa, R717, R<sub>u</sub>ợu, R718. Nghiên cứu các tính năng, đặc tính thay đổi của hệ thống bơm nhiệt kết hợp làm lạnh tùy theo sự thay đổi nhiệt độ ở thiết bị sinh hơi, nhiệt độ bay hơi và nhiệt độ ngưng tụ, kết quả tính toán hiệu suất vòng tuần hoàn  $\eta_{orc}$ , hệ số làm việc của hệ thống COP<sub>s</sub>. Các kết luận rút ra từ kết quả tính toán hệ thống bơm nhiệt với hệ thống lạnh chu trình Rankine hữu cơ.

**Từ khóa** - ORC; bơm nhiệt; môi chất lạnh; COP; thu hồi nhiệt

### 1. Đặt vấn đề

Hiện nay, nguồn năng lượng ngày càng cạn kiệt, vì vậy việc nghiên cứu sử dụng nguồn năng lượng thừa, tiết kiệm đang được nhiều nhà khoa học quan tâm. Việc sử dụng nguồn nhiệt thải cao để sản xuất ra điện được nghiên cứu và thực hiện rất thuận thực, ở nguồn nhiệt thải trung bình và thấp thì nghiên cứu ứng dụng ít hơn bởi vì gặp phải những khó khăn nhất định nhưng vì số lượng lớn, tiềm năng sử dụng rất nhiều nên việc nghiên cứu sử dụng nguồn năng lượng thải này càng có ý nghĩa to lớn. Đã có nhiều kỹ thuật để thu hồi sử dụng nhiệt thải như dùng hệ thống tuần hoàn môi chất hữu cơ, sử dụng năng lượng mặt trời, các phương tiện vận tải như xe ô tô và tàu thuyền, ứng dụng kỹ thuật ống nhiệt, kỹ thuật dùng nhiệt thải để phát điện, kỹ thuật ứng dụng nhiệt thải bằng cách thay đổi thiết bị nhiệt đối với hệ thống bơm nhiệt và hệ thống làm lạnh.

Hệ thống tuần hoàn môi chất hữu cơ là dùng loại chất hữu cơ làm môi chất tuần hoàn cho hệ thống, thích hợp cho việc ứng dụng thu hồi nguồn nhiệt thải năng lượng thấp, ví dụ như là năng lượng mặt trời, năng lượng địa nhiệt, năng lượng sinh khối... Từ thập niên 60 cho đến nay các nhà nghiên cứu khoa học rất quan tâm đến những môi chất hữu cơ có nhiệt độ sôi thấp. Trung Quốc bắt đầu nghiên cứu vào thập niên 80 của thế kỷ 20. Đại học Wenshou của Đài Loan, Hung TC... Nghiên cứu phân tích dùng các môi chất benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>, R123 và R113... cho hệ thống tuần hoàn môi chất hữu cơ [1-2]. Công ty đóng tàu Mitsui của Nhật Bản đã nghiên cứu sử dụng nguồn năng lượng khói thải của lò hơi ở nhiệt độ 340°C dùng chu trình ORC để phát điện với công suất máy phát 14MW, hiệu suất hoạt động thực tế và hiệu suất năng lượng hữu ích đạt được 16,1% và 42,8% [3].

Công ty chế tạo máy của Mỹ dùng môi chất R123 làm môi chất cho hệ thống tuần hoàn hữu cơ, sử dụng năng

**Abstract** - The research is on the use of extra heat sources for heat pump systems combined with refrigeration through the ORC (Organic Rankine Cycle) system based on the new model to choose the most suitable for the system. The results of calculating the heating and cooling coefficients for COP<sub>s</sub> for R22, R600, R601, R123, R152a, R227ea, R245fa, R717, Alcohol, R718, and R718 are given. By studying the features, characteristics of the change of the heat pump combined cooling according to the temperature change in the steam generator, evaporative temperature and condensing temperature, we see that the results of the calculation of cycle efficiency complete  $\eta_{orc}$ , the working coefficient of the COP<sub>s</sub> system. The conclusions are drawn from the results of calculating the heat pump system combined cooling through the ORC system.

**Key words** - ORC; heat pump; refrigerant; COP; heat recovery

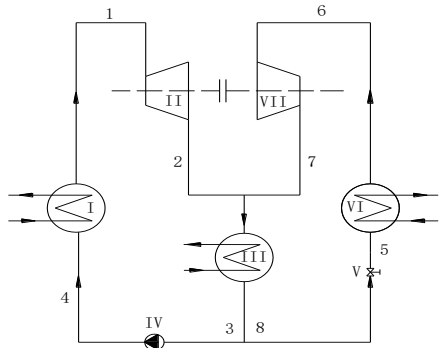
lượng thải ở nhiệt độ 120~220°C của nhà máy lọc dầu, nhà máy hóa học để phát điện công suất 1500~3500kW [4]. Demierre và nhiều tác giả [5] là những người đầu tiên dùng môi chất R134a cho hệ thống ORC-VCR với công suất ngưng tụ 20kW, Wang... [6-7] đã nghiên cứu và đưa ra hệ thống ORC-VCR với công suất lạnh là 5kW, Bu xianbiao, Li huashan, Wang lingbao [8] năm 2013 nghiên cứu, phân tích sử dụng nguồn nhiệt thải của tàu thuyền cấp nhiệt cho chu trình Rankine hữu cơ dùng chạy hệ thống điều hòa không khí. Để thu hồi được nhiệt lượng khí thải của động cơ tàu và nhiệt độ nước làm mát của động cơ, họ đã dùng chu trình Rankine hữu cơ và hệ thống lạnh để làm điều hòa nhiệt độ, xây dựng hệ thống nhiệt động học, phân tích một số loại môi chất thích hợp với tính năng của hệ thống. Nhiệt độ sinh hơi và nhiệt độ ngưng tụ có ảnh hưởng rất lớn đến tính năng của hệ thống. Thông qua thay đổi lưu lượng nước nóng có thể điều khiển và điều tiết được nhiệt độ của nước nóng từ đó có thể ưu việt hóa tính năng của hệ thống.

Hệ thống kết hợp tuần hoàn môi chất hữu cơ và hệ thống lạnh sử dụng chung một loại môi chất lạnh, dùng chung hệ thống ngưng tụ, như vậy về mặt kết cấu đơn giản, mặt khác hiện tượng rò rỉ môi chất ảnh hưởng đến hệ thống không nhiều. Ở nội dung này xây dựng mô hình hệ thống bơm nhiệt dùng chung môi chất cho chu trình Rankine hữu cơ và vòng tuần hoàn làm lạnh. Tiến hành nghiên cứu các tính năng ảnh hưởng của hệ thống, sự thay đổi nhiệt độ sinh hơi, nhiệt độ bay hơi, nhiệt độ ngưng tụ... Kết quả tính toán có thể làm tư liệu để chế tạo hệ thống, các bước nghiên cứu tiếp theo.

### 2. Nguyên lý làm việc của hệ thống

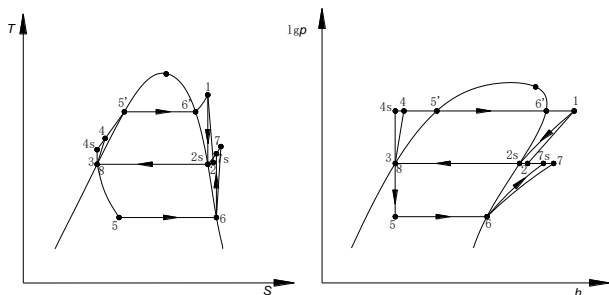
Hình 1 biểu thị hệ thống bơm nhiệt chu trình Rankine hữu cơ với hệ thống lạnh, hệ thống gồm có các thiết bị

chính như sau: I - Thiết bị sinh hơi, II – Máy dẫn nở, III – Thiết bị ngưng tụ, IV – Bơm môi chất, V – Van tiết lưu, VI – Thiết bị bay hơi, VII – Máy nén lạnh. Hệ thống gồm hai bộ phận hợp thành gồm chu trình Rankine hữu cơ và vòng tuần hoàn máy lạnh, hai bộ phận thông qua máy dẫn nở - Máy nén lạnh hợp thành. Chu trình Rankine hữu cơ bao gồm: Thiết bị sinh hơi, máy dẫn nở, thiết bị ngưng tụ, bơm môi chất; Vòng tuần hoàn máy lạnh bao gồm: Thiết bị bay hơi, máy nén lạnh, thiết bị ngưng tụ, van tiết lưu, hai vòng tuần hoàn dùng chung thiết bị ngưng tụ. Quá trình hoạt động như sau: Môi chất đầu tiên tại thiết bị sinh hơi nhận nhiệt bay hơi trở thành hơi có áp suất và nhiệt độ cao được đưa đến máy dẫn nở, dẫn nở sinh công áp suất và nhiệt độ giảm xuống, ra khỏi máy dẫn nở môi chất được đưa vào thiết bị ngưng tụ nhà nhiệt cho môi trường làm mát ngưng tụ thành lỏng và được bơm môi chất bơm lên áp suất cao đưa về lại thiết bị sinh hơi nhận nhiệt sinh hơi tiếp tục chu trình (hoàn thành vòng tuần hoàn thứ nhất). Vòng tuần hoàn hệ thống lạnh (vòng tuần hoàn thứ hai): Tại thiết bị ngưng tụ, lỏng môi chất ra khỏi thiết bị được chia thành hai phần, một phần qua bơm môi chất và một phần được đi qua van tiết lưu giảm áp suất và nhiệt độ sau đó vào thiết bị bay hơi hấp thụ nhiệt của môi trường làm lạnh bay hơi có áp suất và nhiệt độ thấp đưa về máy nén, được nén đoạn nhiệt tại máy nén lên áp suất và nhiệt độ cao sau đó vào thiết bị ngưng tụ nhà nhiệt cho môi trường làm mát ngưng tụ thành lỏng, lỏng ngưng tụ ra khỏi thiết bị ngưng tụ và tiếp tục chu trình.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống bơm nhiệt kết hợp máy lạnh dùng chu trình Rankine hữu cơ

Hình 2 biểu diễn đồ thị T-s và lgp-h của hệ thống bơm nhiệt ORC kết hợp làm lạnh.



Hình 2. Đồ T-s và lgp-h hệ thống bơm nhiệt kết hợp làm lạnh và chu trình Rankine hữu cơ

1→2→3→4→5→6→1 biểu thị vòng tuần hoàn hữu cơ, 1→2s biểu thị quá trình dẫn nở đẳng entropy, quá trình 3→4s bơm môi chất đẳng enthalpy, 7→2s→3→5→6→7 biểu thị chu trình máy lạnh, 6→7s quá trình nén đoạn nhiệt

tại máy nén lạnh, 7→8 quá trình ngưng tụ đẳng áp tại thiết bị ngưng tụ, 8→5 quá trình tiết lưu, 5→6 quá trình hấp thụ nhiệt tại thiết bị bay hơi.

3. Tính toán mô hình

Công suất do máy dẫn nở sinh ra cung cấp hoàn toàn cho máy nén lạnh hoạt động. vậy ta có công thức như sau:

$$(h_1 - h_2)m_{orc} = (h_7 - h_6)m_{vcr} \tag{1}$$

Với  $m_{orc}$ : lưu lượng môi chất chu trình Rankine hữu cơ,  $m_{vcr}$ : lưu lượng môi chất vòng tuần hoàn làm lạnh,  $h_1, h_2$ : enthalpy vào ra máy dẫn nở,  $h_6, h_7$ : enthalpy vào và ra khỏi máy nén.

Tỉ số lưu lượng:

$$\frac{m_{vcr}}{m_{orc}} = \frac{h_1 - h_2}{h_7 - h_6} \tag{2}$$

Hệ số làm lạnh COP:

$$COP = \frac{(h_6 - h_5)m_{vcr}}{(h_1 - h_4)m_{orc}} = \frac{(h_6 - h_5)(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_4)(h_7 - h_6)} \tag{3}$$

Hệ số làm nóng COP:

$$COP = \frac{(h_2 - h_3)m_{orc} + (h_7 - h_8)m_{vcr}}{(h_1 - h_4)m_{orc}} \tag{4}$$

$$= \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_4)} + \frac{(h_7 - h_8)(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_4)(h_7 - h_6)}$$

Trong công thức trên.  $h_3$ : enthalpy vào bơm môi chất,  $h_5$ : enthalpy vào dàn lạnh,  $h_4$ : enthalpy ra khỏi bơm môi chất.

- Tính cho chu trình Rankine hữu cơ

$$W_{exp} = m_{orc} (h_1 - h_{2s}) \tag{5}$$

Công thức trên:  $W_{exp}$ : công suất máy dẫn nở sinh ra.  $h_{2s}$  đẳng enthalpy ra khỏi máy dẫn nở.

$$W_{pump} = m_{orc} \left( \frac{h_{4s} - h_3}{\eta_{pump}} \right) \tag{6}$$

Với:  $\eta_{pump}$  : công suất của bơm.  $h_{4s}$ : đẳng enthalpy ra khỏi bơm,  $W_{pump}$ : công suất bơm.

$$P_b = m_{orc} (h_1 - h_4) \tag{7}$$

Với:  $P_b$ : công suất cấp nhiệt cho thiết bị sinh hơi

$$W_{net} = W_{exp} - W_{pump} \tag{8}$$

Với:  $W_{net}$ : công thực sinh ra của chu trình Rankine hữu cơ

$$\eta_{orc} = \frac{W_{net}}{P_b} \tag{9}$$

Với:  $\eta_{orc}$ : hiệu suất chu trình Rankine hữu cơ

$$W_m = \frac{W_{net}}{m_{orc}} = (h_1 - h_{2s})\eta_{exp} - \frac{h_{4s} - h_3}{\eta_{pump}} \tag{10}$$

Với:  $W_m$ : với tỉ số  $W_{net}$ : và  $\eta_{exp}, m_{orc}$ : hiệu suất, đẳng enthalpy của máy dẫn nở.

- Tính cho vòng tuần hoàn lạnh

$$W_{com} = W_{exp} \tag{11}$$

Công thức trên.  $W_{com}$ : công suất máy lạnh:

$$W_{com} = m_{vcr} (h_{7s} - h_6) \tag{12}$$

Công thức trên.  $h_{7s}$ : đẳng enthalpy ra khỏi máy nén

Hệ số làm lạnh của máy lạnh:

$$COP_{vcr} = \frac{Q_{eva}}{W_{com}} = \frac{h_6 - h_5}{h_{7s} - h_6} \tag{13}$$

Công thức trên,  $Q_{eva}$ : công suất làm lạnh

Tỉ số áp suất vào và ra của máy nén

$$R = \frac{P_{7s}}{P_6} \tag{14}$$

Công thức trên,  $P_{7s}$ : áp suất ra khỏi máy nén;  $P_6$ : áp suất vào máy nén,

$$CR = \frac{COP_{vcr}}{R} \tag{15}$$

Công thức trên,  $CR$  bằng tỉ số  $COP_{vcr}$  và  $R$

Hệ số  $COP_s$  của toàn hệ thống:

$$COP_s = \eta_{orc} COP_{vcr} \tag{16}$$

Chọn thông số làm việc: Nhiệt độ ở thiết bị sinh hơi  $55^\circ\text{C} \sim 95^\circ\text{C}$ . Nhiệt độ ngưng tụ  $35^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ,  $45^\circ\text{C}$  và  $50^\circ\text{C}$ . nhiệt độ bay hơi  $1^\circ\text{C} \sim 7^\circ\text{C}$ . Máy dẫn nở. máy nén lạnh, bơm môi chất với hiệu suất đẳng enthalpy lần lượt là 0,85, 0,80 và 0,90. Nhiệt lượng cung cấp cho thiết bị sinh hơi là  $P_b = 2\text{kW}$ .

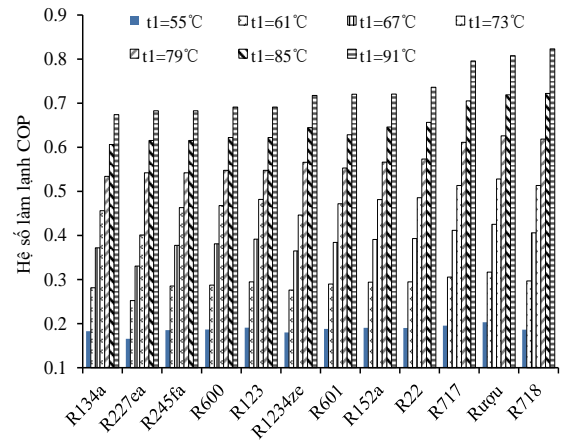
Chọn các môi chất tính toán: R22, R600, R601, R123, R1234ze, R134a, R152a, R227ea, R245fa, R717, Rượu, R718. Dùng phần mềm *NIST* để xác định các tính năng vật lý như: Nhiệt độ, áp suất, enthalpy, entropy, thể tích và các thông số khác.

Giả định:

- (1) Hệ thống hoạt động ổn định;
- (2) Không tính đến tổn thất áp suất, tổn thất nhiệt trên đường ống và tại các thiết bị trao đổi nhiệt;
- (3) Quá trình tiết lưu đẳng enthalpy.

#### 4. Tính toán và phân tích kết quả

##### 4.1. Hệ số làm nóng và lạnh COP của các môi chất

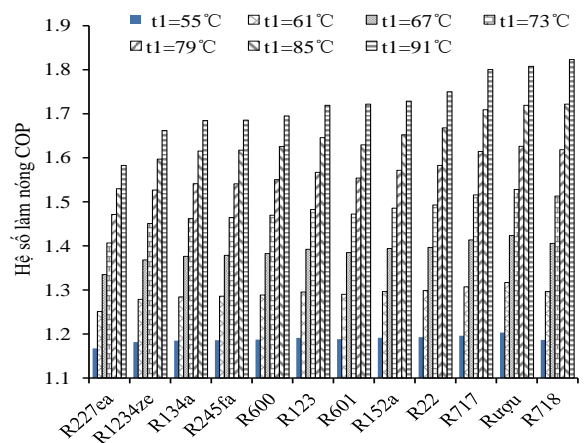


Hình 3. Hệ số làm lạnh COP với các môi chất khác nhau

Hình 3 biểu thị mối quan hệ của các loại môi chất với hệ số làm lạnh COP tùy theo nhiệt độ thay đổi. Từ Hình 3 ta thấy, nhiệt độ sinh hơi tăng lên thì hệ số làm lạnh COP của tất cả các môi chất đều tăng theo. Tại cùng nhiệt độ sinh hơi các môi chất có hệ số làm lạnh COP khác nhau. Môi chất R717, Rượu và R718 đạt được hệ số làm lạnh COP cao. Môi chất R134a, R227ea và R245fa đạt được hệ số làm lạnh thấp nhất cụ thể tại nhiệt độ sinh hơi  $91^\circ\text{C}$ , COP của R718 đạt được trung bình 0,8 nhưng R134a đạt trung bình 0,66.

Hình 4 thể hiện tùy theo nhiệt độ sinh hơi khác nhau mà hệ số làm nóng COP của các môi chất khác nhau.

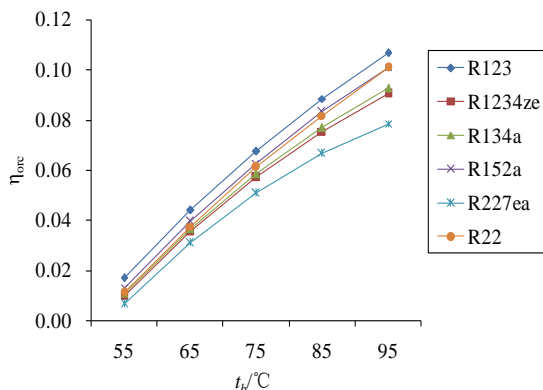
Từ Hình 4 ta nhận thấy, nhiệt độ sinh hơi tăng cao thì hệ số làm nóng COP các môi chất cũng tăng cao. Tại nhiệt độ sinh hơi khác nhau thì hệ số làm nóng COP của các môi chất cũng khác nhau. Các môi chất R717, Rượu, và R718 có hệ số làm nóng COP cao tương đương nhau. Các môi chất R227ea, R1234ze và R134a có hệ số làm nóng COP thấp nhất. Cụ thể nhiệt độ tại thiết bị sinh hơi  $95^\circ\text{C}$  hệ số làm nóng của môi chất R718 là 1,8 trong khi R227ea nhỏ nhất bằng 1,58.



Hình 4. Hệ số làm nóng COP với các môi chất khác nhau

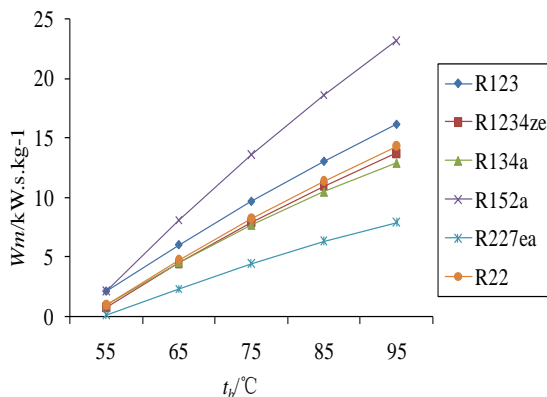
##### 4.2. Các thông số ảnh hưởng đến hệ thống

Hình 5 biểu thị sự ảnh hưởng của nhiệt độ bay hơi đối với hiệu suất chu trình Rankine hữu cơ. Từ Hình 5 ta biết được hiệu suất của chu trình Rankine hữu cơ  $\eta_{orc}$  tăng lên khi nhiệt độ tại thiết bị bay hơi tăng lên. Nhiệt độ sinh hơi tăng từ  $55^\circ\text{C}$  đến  $95^\circ\text{C}$  thì hiệu suất chu trình Rankine hữu cơ tăng từ 0,01 đến 0,11.



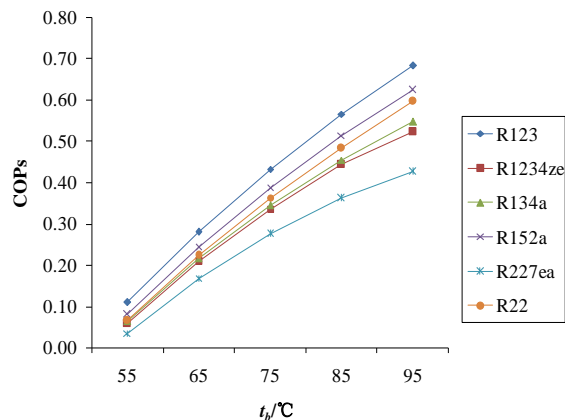
**Hình 5.** Ảnh hưởng của nhiệt độ sinh hơi đối với hiệu suất chu trình Rankine hữu cơ

Hình 6 biểu thị  $W_m$  với tỉ số  $W_{net}$  và  $m_{orc}$  tùy thuộc vào nhiệt độ sinh hơi. Từ hình 6 ta nhận thấy  $W_m$  tăng lên khi nhiệt độ bay hơi tăng lên. Cụ thể đối với môi chất R152a ở nhiệt độ sinh hơi 55°C thì  $W_m=2,5$  như khi nhiệt độ sinh hơi ở 95°C thì  $W_m= 23$ , như vậy tăng trung bình gấp 10 lần. Nguyên nhân như sau: từ công thức (10) có thể nhận thấy nhiệt độ sinh hơi tăng lên cao nhưng dường như nhiệt độ ngưng tụ không đổi,  $h_1$  tăng với  $h_{2s}$  khoảng cách lớn nhưng  $h_{4s}$  và  $h_3$  thay đổi không lớn dẫn đến  $W_m$  tăng rất nhiều.



**Hình 6.** Ảnh hưởng của nhiệt độ sinh hơi đối với  $W_m$

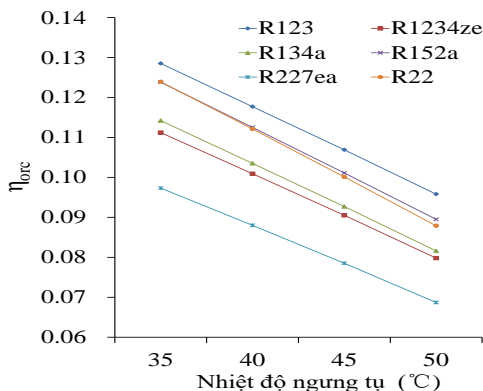
Hình 7 biểu thị hệ số làm việc của hệ thống  $COP_s$  tùy theo nhiệt độ sinh hơi. Đối với tất cả môi chất thì hệ số  $COP_s$  tùy theo nhiệt độ  $t_b$  tăng cao thì tăng cao, R227ea có hệ số  $COP_s$  thấp nhất, nhiệt độ tại thiết bị sinh hơi tăng lên 1°C thì hệ số  $COP_s$  tăng bình quân 2%. Thứ tự các môi chất có  $COP_s$  từ cao đến thấp như sau: R123>R152a>R22>R134a>R1234ze>R227ea



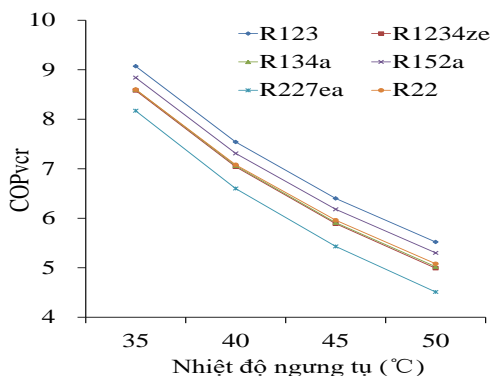
**Hình 7.** Ảnh hưởng của nhiệt độ sinh hơi đối với hệ số  $COP_s$  và nhiệt độ ngưng tụ đối với hệ số làm việc của hệ thống

Hình 8 biểu thị mối quan hệ giữa hiệu suất  $\eta_{orc}$  của chu trình Rankine hữu cơ đối với nhiệt độ ngưng tụ. Từ Hình 8 ta nhận thấy nhiệt độ ngưng tụ tăng lên thì  $\eta_{orc}$  giảm xuống. Cụ thể tại nhiệt độ 35°C các môi chất R123, R152a, R22, R134a, R1234ze và R227ea đối với  $\eta_{orc}$  có các giá trị tương ứng: 0,1285, 0,1238, 0,1239, 0,1142, 0,1112 và 0,0973 nhưng tại nhiệt độ ngưng tụ 50°C thì các môi chất trên có  $\eta_{orc}$  giảm như sau: 0,0958, 0,0895m, 0,0879, 0,0816, 0,0798 và 0,0687.

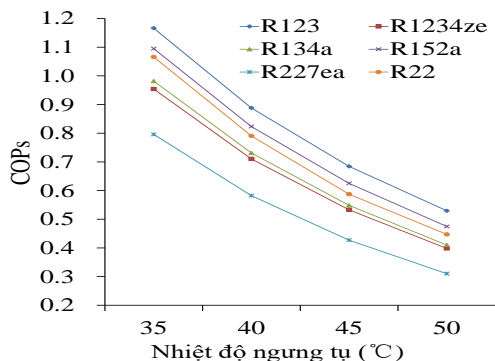
Hình 9 biểu thị mối quan hệ giữa hệ số làm lạnh  $COP_{ver}$  đối với sự thay đổi nhiệt độ ngưng tụ. Từ Hình 9 ta nhận thấy, tất cả các môi chất lạnh có  $COP_{ver}$  giảm xuống khi nhiệt độ ngưng tụ tăng cao. Cụ thể như sau: Tại nhiệt độ ngưng tụ 35°C các môi chất R123, R152a, R22, R134a, R1234ze và R227ea có  $COP_{ver}$  phân biệt là 9,07, 8,84, 8,60, 8,60, 8,58 và 8,17. Nhưng tại nhiệt độ ngưng tụ 50°C các môi chất trên có  $COP_{ver}$  lần lượt giảm 5,52, 5,30, 5,08, 5,02, 4,99 và 4,51.



**Hình 8.** Ảnh hưởng của nhiệt độ ngưng tụ đối với hệ số  $\eta_{orc}$



Hình 9. Ảnh hưởng của nhiệt độ ngưng tụ đối với hệ số COP<sub>ver</sub>

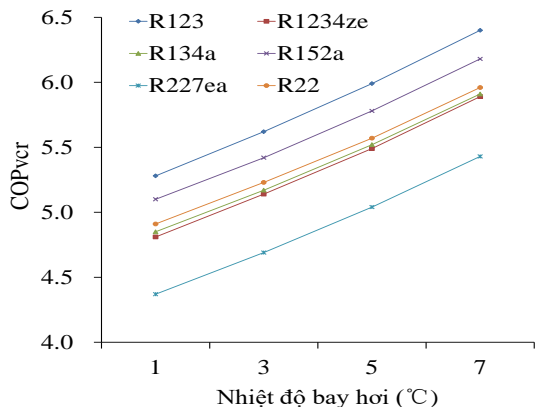


Hình 10. Ảnh hưởng của nhiệt độ ngưng tụ đối với hệ số COP<sub>s</sub>

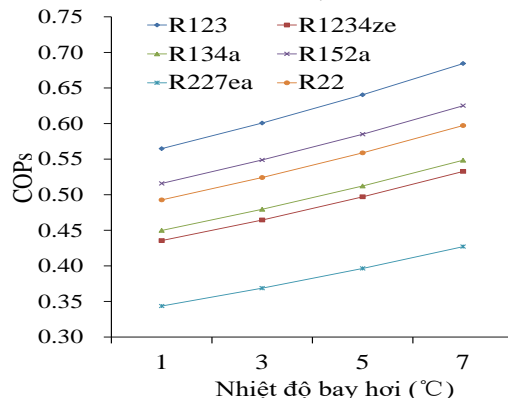
Hình 10 biểu thị mối quan hệ giữa hệ số làm lạnh toàn hệ thống COP<sub>s</sub> đối với sự thay đổi nhiệt độ ngưng tụ. Từ Hình 10 ta thấy, tất cả các môi chất có hệ số làm việc COP<sub>s</sub> tùy theo nhiệt độ ngưng tụ tăng lên hoặc giảm xuống. Cụ thể tại nhiệt độ ngưng tụ từ 35°C đến 55°C môi chất R123 có COP<sub>s</sub> có giá trị bằng 1,18 giảm xuống 0,55 như vậy tỉ lệ trung bình giảm 53,3%.

4.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ bay hơi đối với hệ số làm lạnh của chu trình COP<sub>ver</sub>

Hình 11 biểu thị mối quan hệ giữa COP<sub>ver</sub> với sự thay đổi nhiệt độ bay hơi. Từ Hình 11 ta thấy, tất cả các môi chất đối với hệ số COP<sub>ver</sub> tăng lên tùy theo nhiệt độ bay hơi tăng cao. Cụ thể như sau: Tại nhiệt độ bay hơi 1°C các môi chất R123, R152a, R22, R134a, R1234ze và R227ea đối với COP<sub>ver</sub> phân biệt là 5,28, 5,10, 4,91, 4,85, 4,81 và 4,37. Nhưng ở nhiệt độ bay hơi 7°C các môi chất trên có hệ số COP<sub>ver</sub> có các giá trị trình tự tăng như sau: 6,40, 6,18, 5,96, 5,91, 5,89 và 5,43.



Hình 11. Ảnh hưởng của nhiệt độ bay hơi đối với hệ số COP<sub>ver</sub>



Hình 12. Ảnh hưởng của nhiệt độ bay hơi đối với hệ số COP<sub>s</sub>

Hình 12 biểu thị mối quan hệ giữa nhiệt độ bay hơi với hệ số làm việc của toàn hệ thống COP<sub>s</sub>. Từ Hình 12 ta nhận thấy, tất cả các môi chất có nhiệt độ bay hơi tăng lên thì hệ số COP<sub>s</sub> tăng lên. Tại nhiệt độ bay hơi 1°C các môi chất R123, R152a, R22, R134a, R1234ze và R227ea đối với COP<sub>s</sub> các giá trị lần lượt 0,5647, 0,5158, 0,4927, 0,4498, 0,4355 và 0,3435. Nhưng ở nhiệt độ bay hơi 7°C với các môi chất trên COP<sub>s</sub> có các giá trị tăng lên lần lượt như sau: 0,6843, 0,6251, 0,5972, 0,5484, 0,5327 và 0,4270.

5. Kết luận

Ở nội dung này đề xuất ra nguyên lý hệ thống bơm nhiệt tuần hoàn hữu cơ kết hợp làm lạnh đồng thời xây dựng và tính toán tính chất của mô hình. Căn bản của việc tính toán mô hình hệ thống là nghiên cứu đặc tính biến đổi các loại môi chất khác nhau tùy theo nhiệt độ sinh hơi, nhiệt độ bay hơi, nhiệt độ ngưng tụ, rút ra được các kết quả sau đây:

- 1) Đối với hệ số làm lạnh và làm nóng COP thì R717, Rượu và R718 đạt được hệ số cao hơn, còn môi chất R227ea, R245fa với R134a đạt được hệ số thấp hơn.
- 2) Nhiệt độ tại thiết bị sinh hơi ảnh hưởng lớn đối với tổng hiệu năng của hệ thống, nhiệt độ sinh hơi tăng 1°C thì tổng hiệu năng của hệ thống tăng lên trung bình 2%.
- 3) Mức độ hiệu năng trung bình của các môi chất tăng lên hoặc giảm xuống tùy thuộc vào nhiệt độ bay hơi tăng lên hay giảm xuống. Do là chúng ta tính toán thiết kế hệ thống dùng chung một môi chất khi tính toán hệ thống bơm nhiệt kết hợp hai vòng tuần hoàn nên trên căn bản nâng cao nhiệt độ sinh hơi, có thể giảm nhiệt độ ngưng tụ, nâng cao nhiệt độ bay hơi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hung T.C, Shai T.Y, Wang S.K. A review of organic rankine cycles (ORCs) for the recovery of low-grade waste heat [J]. Energy, 1997, 22(7): 66-667.

[2] Hung T.C. Waste heat recovery of organic rankine cycle using dryfluids. Energy Conversion and Management. 2001, 42(5): 539-553.

[3] Hirakawa Y. 14MW ORC plant installed at Nippon steel [J]. 1981.

[4] Legmann H. Recovery of industrial heat in the cement industry by means of the ORC process [C]. Cement Industry Technical Conference. IEEE-IAS/PCA 44th. IEEE. 2002: 29-35.

[5] LIM S. M. Economies of ship size: A new evaluation [J]. Maritime Policy and Management. 1994. 21 (2):149-166.

- [6] RYDER S. C. CHAPPELL D. Optimal speed and ship size for liner trades[J]. *Maritime Policy and Management*. 1980, 7 (1): 55-57.
- [7] TALLEY W. K. Optimal Container ship size [J]. *Maritime Policy and Management*. 1980, 17 (3): 165-175.
- [8] 卜宪标, 李华山, 王令宝等. 船舶余热驱动的有机朗肯-蒸汽压缩空调性能分析与工质选择. *大连海事大学学报*. 2013, 4:101-103.

(BBT nhận bài: 19/9/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 30/10/2018)