

NGHIÊN CỨU THU HỒI NHIỆT THẢI HỆ THỐNG ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ WATER CHILLER GIẢI NHIỆT NƯỚC NHẪM NÂNG CAO HIỆU QUẢ CỦA BƠM NHIỆT CẤP NƯỚC NÓNG

A STUDY ON WASTE HEAT RECOVERY OF CHILLED WATER AIR CONDITIONING SYSTEM TO IMPROVE PERFORMANCE OF HEAT PUMP WATER HEATER

Lê Minh Nhựt^{1*}, Nguyễn Văn Thái²

^{1*}Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh; nhutlm@hcmute.edu.vn

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long; thaivng81@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thu hồi nhiệt thải nước làm mát bình ngưng hệ thống điều hòa không khí (ĐHKK) water chiller nhằm nâng cao hệ số COP của bơm nhiệt cấp nước nóng. Hai bơm nhiệt cấp nước nóng, một bơm nhiệt sử dụng nguồn nhiệt từ không khí (ATW) và bơm nhiệt còn lại sử dụng nguồn nhiệt thải từ nước làm mát bình ngưng của hệ thống ĐHKK trung tâm water chiller (WTW) được lắp đặt tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM để đánh giá hệ số COP của hai bơm nhiệt cấp nước nóng này. Hai bơm nhiệt có công suất máy nén là 1 HP, lượng nước nóng trong bình tích trữ là 160 lít và nhiệt độ nước nóng yêu cầu là 50°C. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hệ số COP của bơm nhiệt WTW dao động trong khoảng 5,7 đến 6,7 trong khi của bơm nhiệt ATW thấp hơn và dao động trong khoảng 2,5 đến 3,2. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của các thông số như nhiệt độ môi trường, nhiệt độ và lưu lượng nước thải đến hệ số COP của bơm nhiệt cũng được phân tích.

Từ khóa - Hệ số COP; nước làm mát; nước nóng; bơm nhiệt; điều hòa không khí

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, tốc độ phát triển du lịch tăng nhanh nên nhu cầu về xây dựng các khu nhà hàng, nghỉ dưỡng, khách sạn tăng lên dẫn đến nhu cầu về nước nóng cung cấp cho khu vực này rất lớn. Hiện nay, nước nóng cung cấp cho các khu vực này chủ yếu sử dụng nguồn gia nhiệt là điện trở hoặc bơm nhiệt, tuy nhiên các thiết bị này vẫn tiêu tốn nguồn điện năng rất lớn, do đó có nhiều nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới và trong nước nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của các hệ thống này.

Theo Ito và các cộng sự [1], đã nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng kết hợp năng lượng mặt trời làm nguồn gia nhiệt cho dàn bay hơi để nâng cao hệ số COP của bơm nhiệt vào mùa đông. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hệ số COP đạt được khoảng 5,3 khi nhiệt độ môi trường là 8°C. Xu Guoying và các cộng sự [2], trình bày nghiên cứu mô phỏng số về bơm nhiệt với dàn bay hơi kiểu uốn xoắn có cánh kết hợp năng lượng mặt trời. Hệ thống bơm nhiệt sử dụng nguồn nhiệt từ nước nóng sau khi tắm cho dàn bay hơi để nâng cao hệ số COP cũng được Wei Chena và các cộng sự [3] phân tích và đánh giá. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hệ số COP tối ưu của hệ thống đạt 4,97, tương ứng với nhiệt độ ngưng tụ là 51,5°C và nhiệt bay hơi là 11,68°C. Sadasuke và Naokatsu [4] phân tích và đánh giá lý thuyết và thực nghiệm hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng sử dụng nguồn nhiệt kép nước và không khí cho dàn bay hơi. Tác giả kết luận rằng, hệ thống khi hoạt động ở chế độ nguồn nhiệt kép có hệ số COP cao hơn so với hệ thống khi hoạt động ở chế độ nguồn nhiệt

Abstract - This paper presents the study results of the waste heat recovery of condenser cooling water of the chilled water air conditioning system to improve the coefficient of performance (COP) of the heat pump hot water heater. Two heat pump hot water heaters: one heat pump using the heat source from environment ATW: air to water) and the other using the heat source from the condenser cooling water of the chilled water air conditioning system (WTW: water to water), are installed at Ho Chi Minh City University of Technology and Education to evaluate their COP. Both heat pump hot water heaters are designed with such parameters as the compressor capacity of 1 HP, the hot water storage tank of 160 liters and the required hot water temperature of 50°C. The experimental results show that the COP of the heat pump WTW fluctuates between 5.7 to 6.7 while the COP of heat pump ATW is much lower and fluctuates between 2.5 to 3.2 in all experiment days. In addition, the effect of the parameters such as ambient temperature, temperature and water flow rate on the COP of the heat pump WTW are also analyzed.

Key words - Coefficient Of Performance; cooling water; hot water; heat pump; air conditioning

riêng lẻ cho dàn bay hơi. Yusuf và Bedri [5] đã nghiên cứu tận dụng nguồn nước nóng địa nhiệt có nhiệt độ 35°C lưu thông qua dàn bay hơi để nâng cao hệ số COP của bơm nhiệt cấp nước nóng để sưởi ấm ở điều kiện thời tiết mùa đông. Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ số COP bơm nhiệt cấp nước nóng đạt 2,8 ở nhiệt độ nước nóng sưởi ấm là 45°C. Nghiên cứu thu hồi nhiệt thải từ nguồn nhiệt thải của các hệ thống nhiệt hay hệ thống điều hòa không khí để nâng cao hiệu suất của bơm nhiệt cấp nước nóng cũng được phân tích và đánh giá bởi Oguzahan và các cộng sự [6]. Đồng [7] nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm khả năng sử dụng bơm nhiệt để gia nhiệt nước nóng trong phạm vi nhiệt độ từ 35°C đến 41°C. Tác giả kết luận rằng, sử dụng bơm nhiệt để gia nhiệt nước có hiệu quả cao hơn so với phương pháp truyền thống dùng điện trở để gia nhiệt nước nóng. Hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng cũng được phân tích và đánh giá bởi An [8]. Kết quả cho thấy, để gia nhiệt nước nóng có dung tích 50 lít với nhiệt độ ban đầu 34,2°C đến nhiệt độ 44,7°C mất khoảng 30 phút, hệ số COP của bơm nhiệt đạt được tương ứng là 3,25. Mạn và Vinh [9] trình bày nghiên cứu thực nghiệm hệ thống bơm nhiệt để gia nhiệt 20 lít nước nóng từ 26°C lên đến 42°C khoảng 60 đến 65 phút. Tác giả kết luận, điện năng tiêu thụ khi gia nhiệt nước nóng bằng bơm nhiệt tiết kiệm hơn 50% so với gia nhiệt bằng điện trở. Hệ thống bơm nhiệt nước nóng sử dụng tác môi chất lạnh là R22, hoạt động ở điều kiện Việt Nam cũng được đánh giá bởi Vinh và Trung [10]. Các tác giả đã kết luận, hệ số COP của bơm nhiệt đạt 3,3 đến 3,8 ở môi trường trong nhà có nhiệt độ là 22°C và độ ẩm 60%, tiết kiệm được 65% đến 70% năng lượng tiêu thụ so với bình

gia nhiệt nước nóng bằng điện trở.

Mặc dù, đã có nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước về bơm nhiệt cấp nước nóng, tuy nhiên chưa có nghiên cứu cụ thể về bơm nhiệt thu hồi nhiệt thải hệ thống điều hòa không khí(ĐHKK) trung tâm water chiller giải nhiệt nước. Do vậy, bài báo này nghiên cứu thu hồi nhiệt thải của hệ thống điều hòa không khí trung tâm water chiller nhằm nâng cao hệ số COP của bơm nhiệt cấp nước nóng để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng của các hệ thống này.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Tính toán thiết kế hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng

Các thông số tính toán, thiết kế cho hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng được tính toán như sau:

Năng suất lạnh riêng của chu trình:

$$q_o = h_{1'} - h_4, \text{ (kJ/kg)} \tag{1}$$

Năng suất nhiệt ngưng tụ riêng:

$$q_k = h_2 - h_3, \text{ (kJ/kg)} \tag{2}$$

Công nén riêng:

$$l = h_2 - h_1, \text{ (kJ/kg)} \tag{3}$$

Năng suất dàn lạnh:

$$Q_o = m \cdot q_o = \frac{\lambda \cdot V_{lt}}{v_1} \cdot q_o, \text{ kW} \tag{4}$$

Năng suất nhiệt thiết bị ngưng tụ:

$$Q_k = m \cdot q_k, \text{ kW} \tag{5}$$

Diện tích trao đổi nhiệt của thiết bị ngưng tụ được tính như sau:

$$F_k = \frac{Q_k}{k_k \cdot \Delta t_{tb}}, \text{ m}^2 \tag{6}$$

Trong đó: Q_k (kW) là nhiệt lượng truyền cho nước của dàn ngưng tụ, k_k (W/m²k) là hệ số truyền nhiệt của thiết bị ngưng tụ, Δt_{tb} (K) là độ chênh nhiệt độ trung bình logarit.

Diện tích trao đổi nhiệt của dàn bay hơi được tính như sau:

$$F_o = \frac{Q_o}{k_o \cdot \Delta t_{tb}}, \text{ m}^2 \tag{7}$$

Trong đó: Q_o (kW) là năng suất lạnh, k_o (W/m²k) là hệ số truyền nhiệt của dàn bay hơi.

Nhiệt lượng cần thiết để gia nhiệt cho nước:

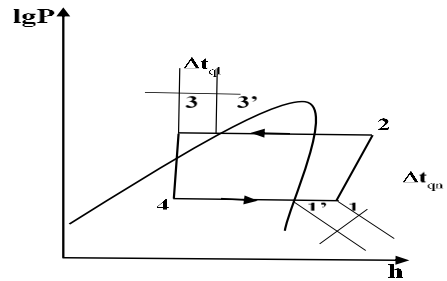
$$Q_{dun} = M \cdot C_p \cdot (t_{nn} - t_{bd}), \text{ kJ} \tag{8}$$

$$\tau = \frac{Q_{dun}}{Q_k}, \text{ giây} \tag{9}$$

Trong đó: M (kg) là lượng nước cần gia nhiệt, C_p (J/kgK) là nhiệt dung riêng của nước, t_{bd} (°C) và t_{nn} (°C) là nhiệt độ nước ban đầu và nhiệt độ nước nóng sau khi gia nhiệt, τ (giây) là thời gian gia nhiệt nước từ t_{bd} (°C) đến t_{nn} (°C).

Hệ số COP của bơm nhiệt cấp nước nóng là tỷ số giữa năng lượng nhiệt truyền cho nước và tổng điện năng tiêu thụ cho máy nén (P_e) và được tính như sau:

$$COP = \frac{Q_k}{P_e}, \tag{10}$$

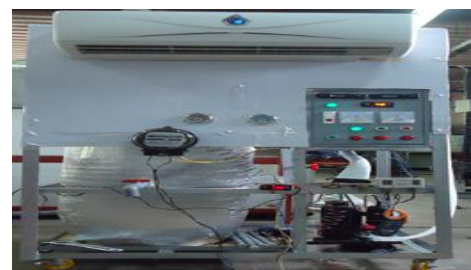
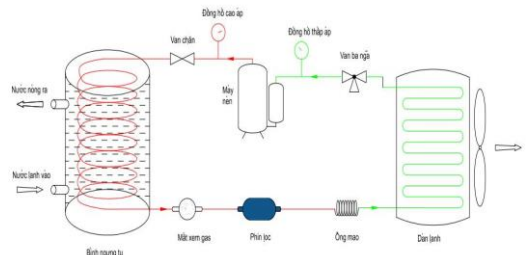


Hình 1. Đồ thị lgp-h của chu trình bơm nhiệt

3. Thiết lập hệ thống thí nghiệm

3.1. Mô tả hệ thống thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, hai bơm nhiệt cấp nước nóng có các thông số thiết kế giống nhau, trong đó một bơm nhiệt sử dụng nguồn nhiệt từ không khí (ATW) như Hình 2 và một bơm nhiệt sử dụng nguồn nhiệt thải (nước làm mát bình ngưng) của hệ thống điều hòa không khí trung tâm(WTW) như Hình 3 được thiết kế, chế tạo và lắp đặt tại xưởng Nhiệt - Điện Lạnh, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM để so sánh và đánh giá hệ số COP của bơm nhiệt ATW và WTW. Các thông số thiết kế của bơm nhiệt ATW và WTW như sau: thể tích bình chứa nước nóng của bơm nhiệt là 160 lít, đường kính là 0,45m, chiều cao là 1m, để giảm tổn thất nhiệt bình chứa được bọc cách nhiệt bằng bông thủy tinh dày 30mm, nước vào bình chứa nước nóng là nước thủy cục ra khỏi bình chứa nước nóng là 50°C, sử dụng môi chất lạnh R22, công suất máy nén là 1 Hp.

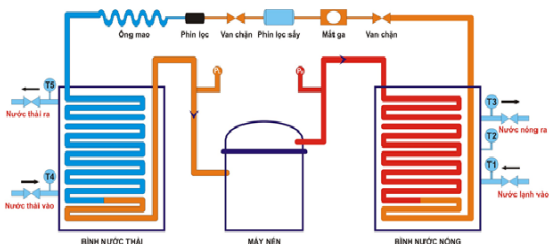


Hình 2. Hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng ATW

Nguyên lý hoạt động của bơm nhiệt cấp nước nóng ATW như Hình 2: khi hoạt động, hơi môi chất lạnh ra ở thiết bị bay hơi có nhiệt độ thấp và áp suất thấp được hút về máy nén và nén lên áp suất cao, nhiệt độ cao rồi đi vào thiết bị ngưng tụ tại bình nước nóng, hơi quá nhiệt môi chất ngưng tụ thành lỏng và nhả nhiệt cho nước sau đó lỏng cao áp được tiết lưu xuống áp suất thấp vào thiết bị bay hơi. Ở thiết bị bay hơi, hơi môi chất thu nhiệt của không khí môi trường và được hút về kết thúc chu trình. Sau khoảng thời gian hoạt động 60 đến 80 phút thì nhiệt độ nước nóng trong bình chứa đạt 50°C, bộ điều khiển nhiệt độ ngừng cấp điện cho máy nén. Hệ thống dừng hoạt động, nước nóng ra sẽ

cấp cho các hộ tiêu thụ.

Nguyên lý hoạt động của bơm nhiệt cấp nước nóng WTW như Hình 3: khi hoạt động, hơi môi chất lạnh ở thiết bị bay hơi tại bình nước thải có nhiệt độ thấp và áp suất thấp được máy hút về và nén lên áp suất cao, nhiệt độ cao rồi đẩy vào thiết bị ngưng tụ tại bình nước nóng, hơi quá nhiệt môi chất ngưng tụ thành lỏng và nhả nhiệt cho nước cần làm nóng sau đó lỏng cao áp được tiết lưu xuống áp suất thấp vào thiết bị bay hơi. Tại bình nước thải (Hình 3) nước giải nhiệt sau khi ra khỏi bình ngưng được trích một phần đưa qua bình nước thải nhả nhiệt cho môi chất lạnh trong dàn bay hơi của bơm nhiệt rồi đi đến tháp giải nhiệt, môi chất lạnh trạng thái bão hòa ẩm thu nhiệt của nước giải nhiệt của hệ thống water chiller bay hơi được hút về máy nén kết thúc vòng tuần hoàn môi chất lạnh. Lưu lượng nước giải nhiệt vào bình nước thải của hệ thống bơm nhiệt được điều chỉnh bởi van tay và lưu lượng được đo bởi đồng hồ đo lưu lượng SENSUS. Sau khoảng thời gian hoạt động 45 đến 55 phút thì nhiệt độ trong bình nước nóng đạt 50°C, bộ điều khiển nhiệt độ ngừng cấp điện cho máy nén. Hệ thống dừng hoạt động, nước nóng ra sẽ cấp cho các hộ tiêu thụ.



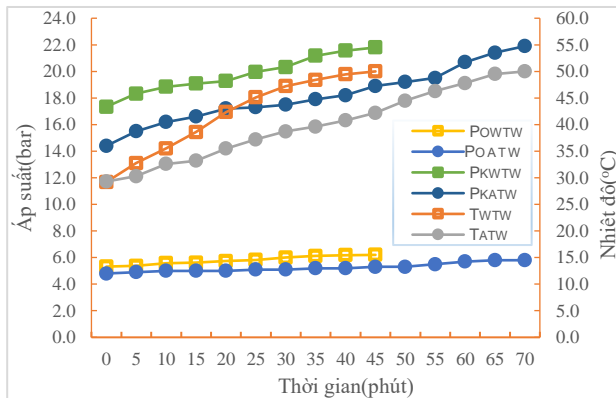
Hình 3. Hệ thống thí nghiệm bơm nhiệt cấp nước nóng WTW

3.2. Phương pháp thí nghiệm

Thời gian thực nghiệm thu thập dữ liệu thí nghiệm được thực hiện từ 7h30 phút đến 16h40 phút cho tất cả các ngày, các thông số thực nghiệm trong các lần đo từ hai hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng ATW và WTW như sau: nước ban đầu trong bình chứa nước nóng là nước thủy cục có nhiệt độ giống nhau, nhiệt độ nước nóng yêu cầu sau khi gia nhiệt là 50°C, nhiệt độ nước thải (nước làm mát bình ngưng của hệ thống water chiller) vào thiết bị bay hơi dao động từ 33°C đến 37°C, nhiệt độ nước thải ra thiết bị bay hơi dao động từ 30°C đến 33°C. Ở thí nghiệm này, lưu lượng nước thải vào bình nước thải chứa thiết bị bay hơi bằng lưu lượng nước ra và dao động từ 14,4 lít/phút đến 33,8 lít/phút. Thông số nhiệt độ được đo bằng cảm biến nhiệt độ Ewelly-EW và DT8016H (độ chính xác ±0,5°C), điện năng tiêu thụ (kWh) được đo bằng đồng hồ điện một pha EMIC (độ chính xác ±0,5°C), áp suất ngưng tụ (bar) và áp suất bay hơi (bar) được đo bằng áp kế có độ chính xác ± 2PSI, lưu lượng nước thải (nước làm mát bình ngưng)

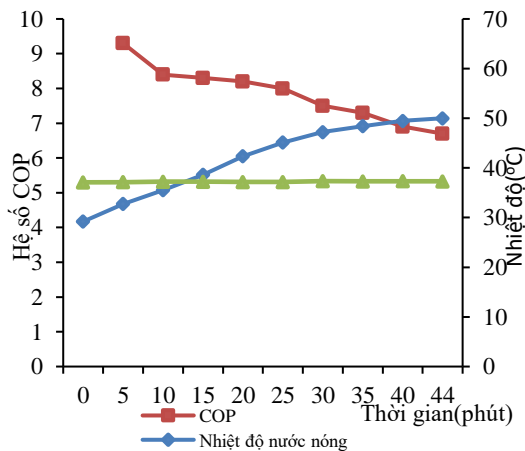
được đo bằng đồng hồ lưu lượng SENSUS (độ chính xác ±2%). Các thông số đo được ghi 5 phút một lần, các số liệu được thống kê bằng phần mềm excel được dùng để tính toán và đánh giá kết quả thí nghiệm.

4. Kết quả nghiên cứu và đánh giá



Hình 4. Sự thay đổi của áp suất bay hơi, áp suất ngưng tụ và nhiệt độ nước nóng theo thời gian ngày 12/11/2016 của bơm nhiệt WTW và bơm nhiệt ATW khi thí nghiệm cùng một thời điểm

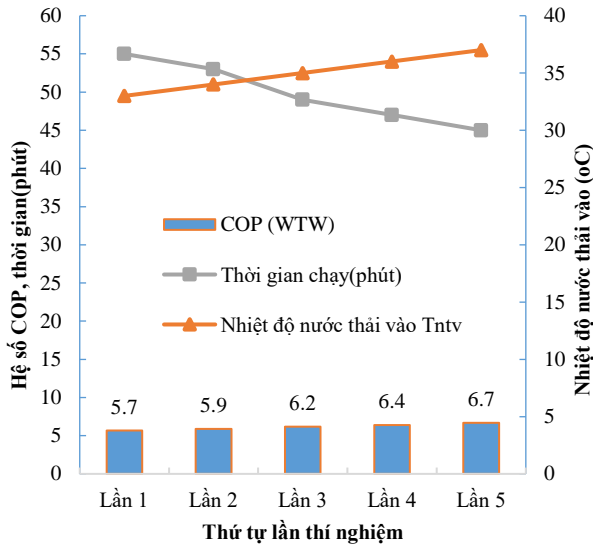
Hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa của áp suất bay hơi, áp suất ngưng tụ và nhiệt độ nước nóng theo thời gian ngày của bơm nhiệt WTW và bơm nhiệt ATW khi thí nghiệm cùng một thời điểm của một mẻ thí nghiệm. Qua thực nghiệm đối với một mẻ thí nghiệm nhiệt độ nước trong bình nước nóng từ 29°C đến 50°C cho thấy, đối với bơm nhiệt WTW thì áp suất ngưng tụ P_{kWTW} tăng từ 17,3 bar đến 21,8 bar và áp suất bay hơi P_{owTW} tăng nhẹ từ 5,3 bar đến 6,2 bar trong khi bơm nhiệt ATW thì áp suất ngưng tụ P_{kATW} tăng từ 14,4 đến 21,9 bar và áp suất bay hơi P_{oATW} tăng từ 4,7 bar đến 5,8 bar. Thời gian để nhiệt độ nước T_{WTW} trong bình nước nóng của bơm nhiệt WTW tăng từ nhiệt độ ban đầu 29°C đến 50°C là 44 phút trong khi nhiệt độ nước T_{ATW} của bơm nhiệt ATW là 70 phút. Điều đó cho thấy, khi tận dụng nguồn nhiệt từ nước thải làm mát bình ngưng của hệ thống ĐHKK trung tâm water chiller cho dàn bay hơi bơm nhiệt WTW có thể nâng cao được áp suất bay hơi của hệ thống này, từ đó rút ngắn được thời gian đun nóng nước và nâng cao được hệ số COP của bơm nhiệt WTW.



Hình 5: Mối quan hệ giữa nhiệt độ nước thải, COP, nhiệt độ nước nóng theo thời gian của bơm nhiệt WTW

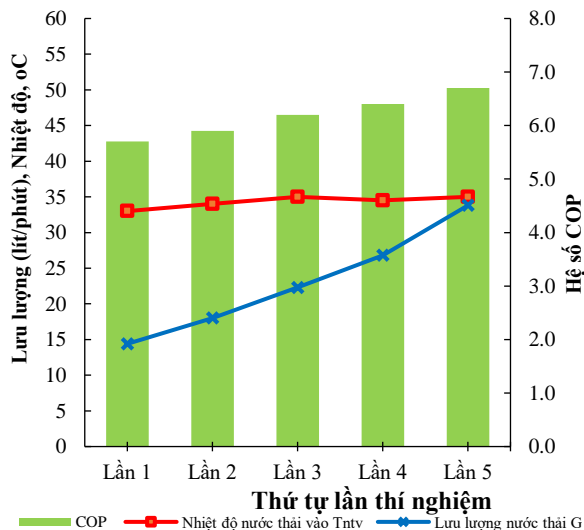
Hình 5 trình bày mối quan hệ giữa nhiệt độ nước thải vào dàn bay hơi, nhiệt độ nước nóng trong bình chứa và hệ

số COP của bơm nhiệt WTW. Kết quả cho thấy, ở nhiệt độ trung bình nước thải vào dàn bay hơi bơm nhiệt là 37°C, vào lúc bắt đầu quá trình gia nhiệt nước nóng trong bình chứa tăng lên đến nhiệt độ yêu cầu 50°C thì hệ số COP giảm dần theo thời gian. Điều này do nhiệt độ nước nóng tăng làm cho nhiệt độ ngưng tụ và áp suất ngưng tụ của môi chất tăng dẫn đến công nén tăng.

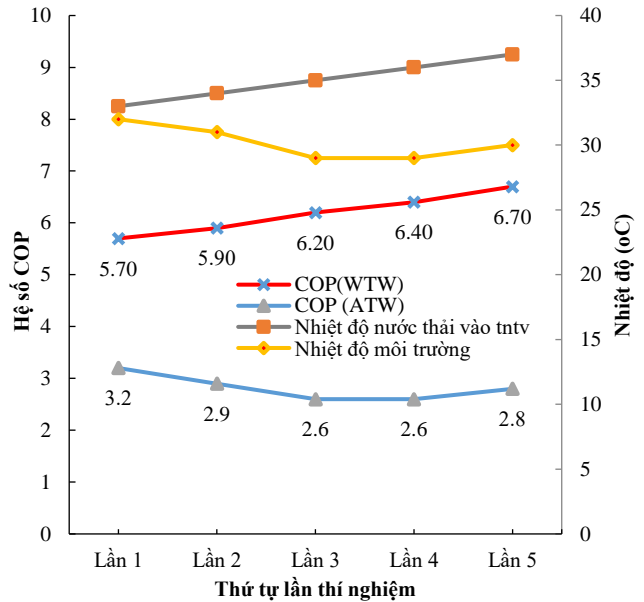


Hình 6. Sự phụ thuộc của COP vào nhiệt độ nước thải gia nhiệt cho dàn bay hơi của bơm nhiệt WTW

Hình 6 trình bày mối quan hệ giữa hệ số COP của bơm nhiệt và nhiệt độ nước thải T_{ntv} vào dàn bay hơi của bơm nhiệt WTW. Như đã thấy trên Hình 6, khi nhiệt độ nước thải vào dao động từ 33°C đến 37°C thì COP tăng từ 5,7 đến 6,7 và thời gian gia nhiệt nước giảm tương ứng từ 55 phút đến 45 phút. Điều này có thể giải thích rằng, khi nhiệt độ nước thải vào dàn bay hơi bơm nhiệt tăng nên độ chênh lệch nhiệt độ giữa nước thải và môi chất lạnh ở dàn bay hơi càng lớn, lượng nhiệt thu được tại dàn bay hơi tăng lên dẫn đến thời gian gia nhiệt để nước nóng trong bình chứa đạt nhiệt độ yêu cầu 50 °C ngắn nên COP tăng lên.



Hình 7. Ảnh hưởng của lưu lượng nước thải đến COP và thời gian đun nước nóng của bơm nhiệt WTW



Hình 8. So sánh hệ số COP của bơm nhiệt WTW và ATW trong các lần thí nghiệm

Hình 7 cho thấy sự ảnh hưởng của lưu lượng nước thải đến hệ số COP và thời gian gia nhiệt nước nóng trong bình chứa của bơm nhiệt WTW. Khi nhiệt độ nước thải gần như không đổi, lưu lượng nước thải vào dàn bay hơi bơm nhiệt tăng từ 14,4 lít/ phút đến 33,8 lít/phút thì hệ số COP cũng dao động tăng từ 5,7 đến 6,7. Điều này là do lưu lượng nước thải qua dàn bay hơi bơm nhiệt tăng lên nên tăng hiệu quả trao đổi nhiệt làm cho lượng nhiệt thu được tại dàn bay hơi tăng lên. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này lưu lượng nước thải chỉ tăng đến 33,8 lít/phút mà không tăng lên nữa vì ảnh hưởng đến kết cấu của bình nước thải.

Hình 8 so sánh hệ số COP của hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng WTW và ATW trong các lần thí nghiệm. Kết quả cho thấy, khi thí nghiệm ở cùng điều kiện nhiệt độ môi trường, lưu lượng nước thải không đổi, nhiệt độ nước thải vào tăng từ 33°C đến 37°C thì hệ số COP của bơm nhiệt WTW cao gấp đôi và dao động từ 5,7 đến 6,7 so với bơm nhiệt ATW, chỉ dao động xung quanh giá trị từ 2,8 đến 3,2. Điều này cho thấy, nhiệt độ nước thải ảnh hưởng lớn đến hệ số COP của bơm nhiệt WTW trong khi nhiệt độ môi trường ảnh hưởng lớn đến COP của bơm nhiệt ATW.

5. Kết luận

Dựa vào kết quả nghiên cứu thực nghiệm, tiến hành cho hai hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng tận dụng nhiệt thải bình ngưng hệ thống ĐHKK water chiller (WTW) và hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng kiểu không khí (ATW), kết quả nghiên cứu cho thấy, hệ số COP hệ thống bơm nhiệt tận dụng nhiệt thải bình ngưng của hệ thống water chiller (WTW) phụ thuộc vào nhiệt độ và lưu lượng nước thải: khi nhiệt độ nước thải vào dao động từ 33°C đến 37°C và lưu lượng nước thải vào dao động từ 14,4 lít/phút đến 33,8 lít/phút thì hệ số COP của hệ thống dao động từ 5,7 đến 6,7 và thời gian gia nhiệt cho nước nóng từ nhiệt độ ban đầu đến nhiệt độ yêu cầu 50°C giảm xuống. Đối với hệ thống bơm nhiệt ATW thì hệ số COP phụ thuộc vào điều kiện nhiệt độ môi trường, khi nhiệt độ môi trường dao động từ

29⁰C đến 32⁰C thì hệ số COP dao động từ 2,6 đến 3,2. Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy, hệ số COP của bơm nhiệt WTW dao động từ 5,7 đến 6,7 và cao hơn nhiều so với hệ số COP của hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng ATW dao động từ 2,5 đến 3,2. Do đó, hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng tận dụng nhiệt thải bình ngưng của hệ thống water chiller đã giúp nâng cao hiệu suất nhiệt COP của bơm nhiệt WTW và góp phần giảm đáng kể năng lượng tiêu thụ cho các bơm nhiệt cấp nước nóng.

Lời cảm ơn: Tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM đã hỗ trợ kinh phí cho đề tài T2018-24TĐ để thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ito, S., Miura, N., et al. Performance of a heat pump using direct expansion solar Collectors. *Pergamon. Solar Energy* Vol. 65, No. 3, pp. 189–196, 1999.
- [2] Guoying, X., Xiaosong, Z., et al. A simulation study on the operating performance of a solar–air source heat pump water heater. *Elsevier. Applied Thermal Engineering* 26, 1257–1265, 2006.
- [3] Chen, W., Lianga, S., et al. Investigation on the thermal performance and optimization of a heat pump water heater assisted by shower waste water. *Elsevier. Energy and Buildings* 64, 172–181, 2013.
- [4] Sadasuke Ito and Naokatsu Miura. Studies of a heat pump using water and air heat sources in parallel. *Heat transfer- Asian Research* 29, 243-0292, 2000.
- [5] Yusuf Ali Kara, Bedri Yuksel. Evaluation of low temperature geothermal energy through the use of heat pump. *Elsevier. Energy Conversion and Management* 42, 773-781, 2001.
- [6] Oguzhan Culha, Huseyin Gunerhan, Emrah Biyik, Orhan Ekren, Arif Hepbasli. Heat exchanger applications in waste water source heat pumps for buildings: A key review. *Elsevier. Energy and Buildings* 104, 215–232, 2015.
- [7] Hoàng Ngọc Đồng. Nghiên cứu chế tạo mô hình gia nhiệt nước nóng bằng bơm nhiệt. *Hội nghị Khoa học toàn quốc ngành Nhiệt Việt Nam lần thứ II*, Hà Nội 27/4/2012.
- [8] Nguyễn Nguyên An. Nghiên cứu chế tạo bơm nhiệt đun nước nóng gia dụng. *Tạp chí Năng lượng nhiệt* số 20-10-9-2013.
- [9] Phạm Minh Mận và Nguyễn Công Vinh. Nghiên cứu việc sử dụng máy bơm nhiệt tiết kiệm năng lượng để gia nhiệt hệ thống nước nóng. *Kỷ yếu hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí - Lần thứ IV*, 2015, tr 568-575.
- [10] Nguyễn Đình Vinh, Hà Đăng Trung. Thiết kế chế tạo và thử nghiệm bơm nhiệt đun nước nóng sử dụng dàn lạnh không khí. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt*. số 58- 3- 2006.
- [11] Nguyễn Đức Lợi. Bơm nhiệt. NXB Giáo dục Việt Nam, 2014.

(BBT nhận bài: 11/3/2019, hoàn tất thủ tục phản biện: 20/5/2019)