

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM BƠM NHIỆT CẤP NƯỚC NÓNG SỬ DỤNG MÔI CHẤT LẠNH MỚI R32 Ở ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON HOT WATER HEAT PUMP USING NEW REFRIGERATION R32 IN CLIMATED CONDITIONS OF HO CHI MINH CITY

Lê Minh Nhật^{1*}, Trần Quang Danh²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM; nhutlm@hcmute.edu.vn

²Trường Cao đẳng Kỹ thuật Cao Thắng; tranquangdanh2702@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm bơm nhiệt cấp nước nóng (HPHW) sử dụng môi chất lạnh mới R32 ở điều kiện khí hậu tp. Hồ Chí Minh (HCM). Hệ thống HPHW được lắp đặt tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM. Hệ thống này có công suất máy nén là 1 Hp, sử dụng môi chất lạnh mới R32, nhiệt độ nước nóng yêu cầu là 50°C. Ảnh hưởng của điều kiện khí hậu Tp.HCM đến hệ số COP và các thông số như áp suất ngưng tụ, áp suất bay hơi v.v được nghiên cứu đánh giá. Các thí nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ môi trường thay đổi từ 29°C đến 34°C, nhiệt độ nước cấp qua dàn nóng thay đổi từ 23°C đến 35°C, lưu lượng nước cấp qua dàn nóng thay đổi từ 2 lít/phút đến 3,2 lít/phút. Kết quả thực nghiệm cho thấy, lưu lượng nước lớn nhất qua dàn nóng đáp ứng nhiệt độ nước nóng yêu cầu 50°C được xác định là 2,3 lít/phút ứng với máy nén có công suất là 1 Hp, hệ số COP của bơm nhiệt đạt được trong khoảng từ 4,12 đến 4,62.

Từ khóa - Hệ số COP; bơm nhiệt; nước nóng; môi chất lạnh R32; điều kiện khí hậu

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, nước nóng cho sinh hoạt và công nghiệp được sản xuất với nhiều phương pháp khác nhau như điện trở, năng lượng mặt trời, năng lượng mặt trời kết hợp bơm nhiệt và bơm nhiệt thuần túy. Trong đó, phương pháp sử dụng bơm nhiệt để gia nhiệt nước nóng là một trong các phương pháp thu hút được sự quan tâm khá nhiều từ các nhà khoa học. Nhật và Thái [1], đã nghiên cứu tận dụng nguồn nhiệt thải từ nước làm mát bình ngưng của hệ thống điều hòa không khí trung tâm water chiller để nâng cao hệ số COP của bơm nhiệt cấp nước nóng sử dụng môi chất lạnh R22. Ju và cộng sự [2], nghiên cứu thực nghiệm đánh giá hiệu quả của hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng cho hộ gia đình dùng hỗn hợp môi chất R744/R290 nhằm thay thế cho môi chất R22. Lee và cộng sự [3], trình bày nghiên cứu tính chất nhiệt động của môi chất lạnh R32/R152a cho hệ thống bơm nhiệt nước. Nghiên cứu đã xác định tỉ lệ 36% R32 - 64% R152a là tỉ lệ hỗn hợp môi chất không cháy và hệ số COP của hệ thống bơm nhiệt này cao hơn 15,8% so với hệ thống sử dụng môi chất R22. Sự ảnh hưởng tính chất nhiệt động của môi chất lạnh R744 và R410A đối với hệ số COP của bơm nhiệt cấp nước nóng cũng được Jin và cộng sự [4] nghiên cứu đánh giá. Hỗn hợp môi chất mới R32/R1234ze dùng cho bơm nhiệt cấp nước nóng cũng được nghiên cứu đánh giá so sánh hệ số COP ở điều kiện thời tiết Nhật Bản [5]. Xu và cộng sự [6], đã nghiên cứu hệ thống bơm nhiệt sử dụng môi chất R32, bài báo cho thấy hiệu quả nhiệt của hệ thống EVI sử dụng môi chất R32 cao hơn so với hệ thống một cấp từ 3 - 9%. An [7] đã nghiên cứu chế tạo bơm nhiệt đun nước nóng gia dụng sử dụng môi chất R404A và kết quả cho thấy hệ thống bơm nhiệt

Abstract - This paper presents the results of experimental investigation on the hot water heat pump (HPHW) using new refrigerant R32 in the climated condition of Ho Chi Minh City (HCMC). The HPHW was installed in the HCMC University of Technology and Education. This system has a compressor capacity of 1 Hp, using a new refrigerant R32 and the required temperature of hot water is 50°C. The effect of HCM City's climated conditions on the coefficient of performance (COP), such as condensate pressure, evaporation pressure, etc. of the HPHW pump are studied and evaluated. The experiments are carried out under the ambient temperature ranging from 29°C to 34°C, the initial water temperature into the condenser ranging from 23°C to 35°C, while the water flow rate into the condenser ranges from 2 l/min to 3.2 l/min. The experimental results show that the maximum water flow rate through the condenser of heat pump to meet the required hot water temperature of 50°C is defined as 2.3 liters/minute for compressor with a capacity of 1 Hp, the value of the COP of hot water heat pump using new refrigerant R32 obtained ranges from 4.12 to 4.62.

Key words - coefficient of performance; heat pump; hot water; refrigerant R32; climated condition

có khả năng cung cấp 50 lít nước nóng với điện năng tiêu thụ là 0,272 kWh cho 1 kWh nhiệt làm nóng nước, bằng khoảng 27% điện năng tiêu thụ của các thiết bị sản xuất nước nóng bằng điện trở có cùng công suất. Ngoài ra, hiện nay bơm nhiệt dân dụng sử dụng môi chất lạnh R410A, công suất máy nén 1 Hp, nhiệt độ nước nóng dao động từ 55°C đến 60°C, hệ số COP trong khoảng 4,0 đến 4,2 cũng được nhiều công ty trong nước cung cấp [8, 9].

Mặc dù, đã có nhiều nghiên cứu về bơm nhiệt cấp nước nóng, tuy nhiên việc nghiên cứu sử dụng các loại môi chất lạnh mới thân thiện với môi trường nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng đối với bơm nhiệt cấp nước nóng là rất cần thiết. Bài báo trình bày một số kết quả bước đầu nghiên cứu thực nghiệm bơm nhiệt cấp nước nóng sử dụng môi chất lạnh mới R32 ở điều kiện khí hậu Thành phố Hồ Chí Minh, từ đó có thể ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực cấp nước nóng cho khu vực phía Nam Việt Nam.

2. Cơ sở lý thuyết

Phía nước nóng (ngưng tụ) có nhiệt độ nước vào ban đầu t_{mn} là 29°C, nhiệt độ nước nóng ra theo yêu cầu 50°C, dung tích bình chứa nước nóng là 75 lít, công suất máy nén là 1Hp, sử dụng môi chất lạnh R32. Ở phía dàn bay hơi (dàn trao đổi nhiệt gió), không khí vào có nhiệt độ theo nhiệt độ môi trường, nhiệt độ không khí ra khỏi dàn bay hơi là 24°C.

Chọn chu trình: chu trình quá lạnh, quá nhiệt với độ quá nhiệt, quá lạnh là 5K. Theo các tài liệu [10] và [11], có thể tính các đại lượng đặc trưng cho chu trình dựa trên các công thức sau đây:

Năng suất lạnh riêng của chu trình:

$$q_o = h_6 - h_5, \text{ (kJ/kg)} \quad (1)$$

Năng suất nhiệt ngưng tụ riêng:

$$q_k = h_2 - h_4, \text{ (kJ/kg)} \tag{2}$$

Công nén riêng:

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

Năng suất dàn lạnh:

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

Ở đây hệ số cấp λ và thể tích hút lý thuyết V_{lt} được tính dựa vào điều kiện máy nén công suất 1Hp của máy điều hòa không khí RAC (Room Air conditioner) ở chế độ làm việc tiêu chuẩn của môi chất lạnh R32 và được tính theo công thức bên dưới và kết quả ghi trong Bảng 1:

$$\lambda \cdot V_{lt} = v_1 \cdot m \tag{5}$$

Hệ số cấp λ :

$$\lambda = \left[\frac{p_0 - \Delta p_0}{p_0} - C \left(\frac{p_k + \Delta p_k - \Delta p_0 - p_0}{p_0} \right) \right] \times \frac{T_o}{T_k} \tag{6}$$

Năng suất nhiệt thiết bị ngưng tụ:

$$Q_k = m \cdot q_k, \text{ kW} \tag{7}$$

Nhiệt độ ngưng tụ t_k và bay hơi t_o được tính toán như sau:

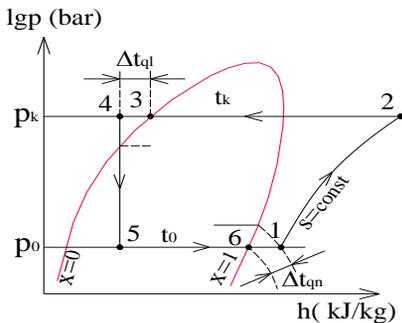
$$t_k = t_{nmr} + \Delta t_{min}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = t_{kkv} - \Delta t_{min}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Trong đó: t_{nmr} : là nhiệt độ nước nóng sau khi gia nhiệt và ra khỏi dàn nóng, $t_{kkv} = t_{kkv} - 5K$: là nhiệt độ không khí vào, t_{kkv} : là nhiệt độ không khí ra khỏi dàn lạnh. Chọn Δt_{min} là hiệu nhiệt độ tối thiểu của thiết bị trao đổi nhiệt bay hơi (chọn 5K) và ngưng tụ (chọn 8K), ở đây độ quá lạnh chọn 8K là do nhiệt độ nước vào dàn nóng là nước thủy cục có nhiệt độ dao động xoay quanh giá trị 29°C. Vậy $t_k = 55^\circ\text{C}$, $t_o = 19^\circ\text{C}$, $t_{q1} = t_4 = 47^\circ\text{C}$, $t_{q2} = t_1 = 24^\circ\text{C}$. Thông số các điểm nút chu trình được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số các điểm nút của chu trình bơm nhiệt

| Điểm | Nhiệt độ t (°C) | Áp suất p (bar) | Enthalpy h (kJ/kg) | Thể tích v (m³/kg) | Hệ số λ | Thể tích V _{lt} (m³/s) |
|------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|---------|---------------------------------|
| 6 | 19 | 14,34 | 516,83 | | | |
| 1 | 24 | 14,34 | 523,50 | 0,02625 | 0,8482 | 5.532.10 ⁻⁴ |
| 2 | 85 | 35,2 | 559,64 | | | |
| 3 | 55 | 35,2 | 309,46 | | | |
| 4 | 47 | 35,2 | 290,55 | | | |



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

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

$$F_k = \frac{Q_k}{k_k \cdot \Delta t_{tb}}, \text{ m}^2 \tag{8}$$

Trong đó: Q_k : năng suất nhiệt của dàn nóng, W ; k_k : hệ số truyền nhiệt, W/m^2K ; F_k : diện tích bề mặt trao đổi nhiệt, m^2 ; Δt_{tb} : hiệu nhiệt độ trung bình logarit, K .

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

$$F_o = \frac{Q_o}{k_o \cdot \Delta t_{tb}}, \text{ m}^2 \tag{9}$$

Trong đó: Q_o (kW) là năng suất lạnh, k_o (W/m^2k) là hệ số truyền nhiệt của dàn bay hơi. Trong nghiên cứu này, dàn bay hơi được tính toán thiết kế, sau đó chọn dàn bay hơi chế tạo sẵn, có diện tích trao đổi nhiệt phù hợp với thiết kế để dễ thương mại sau này.

Nhiệt lượng cần thiết để gia nhiệt cho nước:

$$Q_n = G_n \times C_p \times (t_{nmr} - t_{nnv}) \tag{10}$$

Trong đó: G_n là lưu lượng khối lượng của nước qua dàn nóng, kg/s ; C_p là nhiệt dung riêng của nước, $J/(kgK)$; t_{nmr} là nhiệt độ nước ra khỏi dàn nóng, $^\circ\text{C}$; t_{nnv} là nhiệt độ nước cấp vào ban đầu, $^\circ\text{C}$.

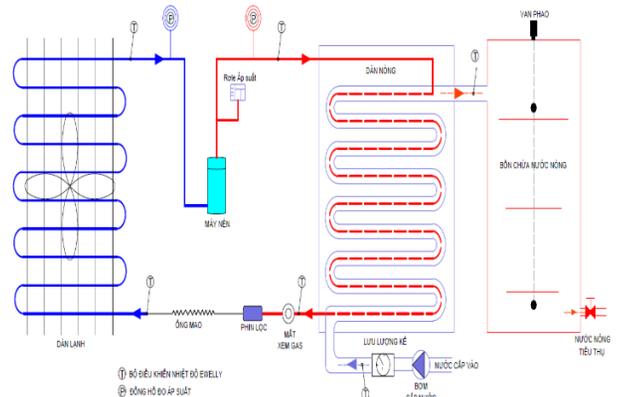
Hệ số COP của bơm nhiệt cấp nước nóng là tỷ số giữa năng lượng nhiệt truyền cho nước và tổng điện năng tiêu thụ cho máy nén (P_e) và được tính như sau:

$$COP = \frac{Q_k}{P_e}, \tag{11}$$

3. Thiết lập hệ thống thí nghiệm

3.1. Mô tả hệ thống thí nghiệm

Hệ thống thí nghiệm bơm nhiệt cấp nước nóng sử dụng môi chất lạnh R32 cung cấp nước nóng sinh hoạt với nhiệt độ nước nóng đạt yêu cầu là 50°C được mô tả như Hình 2. Hệ thống sử dụng máy nén công suất 1 Hp, môi chất lạnh là R32. Dàn bay hơi của hệ thống bơm nhiệt được chọn từ dàn lạnh hệ thống điều hòa không khí RAC (Room Air Conditioner) tiêu chuẩn. Dàn nóng của hệ thống bơm nhiệt, với nhiệm vụ gia nhiệt nước nóng, được chọn là ống xoắn bằng đồng và được lồng vào trong đường ống dẫn nước cấp. Hệ thống được trang bị thêm 1 bơm nước có thể điều chỉnh lưu lượng nước cấp và cấp nước liên tục cho hệ thống. Các đường ống dẫn môi chất được bọc cách nhiệt dày 10mm để giảm tổn thất nhiệt đường ống. Dàn bay hơi (dàn lạnh) có nhiệm vụ thu nhiệt từ không khí môi trường.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống bơm nhiệt đun nước nóng

Hệ thống được trang bị van phao để dừng hệ thống khi lưu lượng nước trong bồn chứa nước nóng đã đủ 75 lít. Rơ le áp suất cao lắp trong hệ thống nhằm bảo vệ hệ thống khi có sự cố áp suất cao. Bơm nước cấp có thể điều chỉnh lưu lượng nước cấp vào thông qua bộ điều chỉnh lưu lượng. Hệ thống

thí nghiệm thực tế bơm nhiệt cấp nước nóng như Hình 3.



Hình 3. Hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng

3.2. Phương pháp thí nghiệm

Các thông số cần ghi nhận trong quá trình đo đặc bao gồm: nhiệt độ nước cấp vào, nhiệt độ nước nóng sau khi được gia nhiệt, nhiệt độ môi trường được đo bằng 3 cảm biến nhiệt độ của bộ điều khiển Ewelly (độ chính xác ±0,5°C) đặt ở vị trí đầu vào của bơm nước (trước khi vào thiết bị gia nhiệt) và đầu ra của thiết bị gia nhiệt; hai đồng hồ đo áp suất HT60-30BS (cấp chính xác: 2) được gắn vào đầu hút và đầu đẩy máy nén để xác định áp suất ngưng tụ P_k và áp suất bay hơi P_o của hệ thống bơm nhiệt. Ngoài ra, có 1 cảm biến nhiệt độ của bộ điều khiển Ewelly (độ chính xác: ±0,5°C) để xác định nhiệt độ của môi trường. Lưu lượng nước cấp có thể thay đổi được nhờ bộ điều chỉnh lưu lượng và được đo bởi lưu lượng kế LZM-15Z (độ chính xác ±2%). Điện năng tiêu thụ của thiết bị (máy nén) được đo bằng đồng hồ đo điện PZEM-061 (độ chính xác ±1%) Wh để xác định công suất tiêu thụ điện của hệ thống.

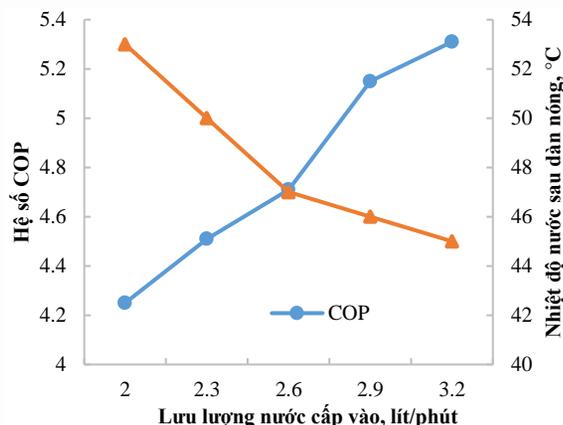
Để xác định COP của hệ thống, các giá trị đo được thu thập thường xuyên sau mỗi khoảng thời gian là 5 phút. Khi thực hiện thí nghiệm, bơm nước cấp tiến hành bơm nước vào bộ trao đổi nhiệt (dàn nóng), quạt dàn lạnh hoạt động, sau 3 phút máy nén bắt đầu làm việc. Tiến hành lấy các giá trị nhiệt độ, áp suất, lưu lượng, điện năng tiêu thụ ở từng thời điểm cách nhau 5 phút cho đến khi nước nóng trong bồn đạt 75 lít thì van phao ngắt hệ thống bơm nhiệt, tiến hành xả nước trong bồn, tiếp tục thí nghiệm. Các số liệu đo được từ thí nghiệm được lưu vào file excel để thực hiện tính toán phân tích và đánh giá.

4. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

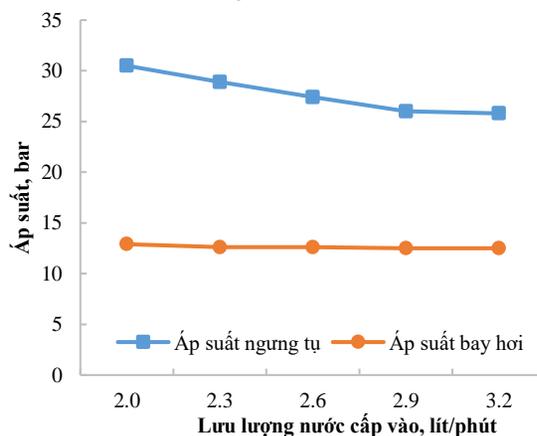
Hình 4a cho thấy, khi lưu lượng nước cấp tăng từ 2 lít/phút lên 2,3 lít/phút thì hệ số COP tăng từ 4,25 lên 4,5, trong khi nhiệt độ nước nóng sau dàn nóng giảm từ 53°C xuống đến 50°C. Khi lưu lượng nước nóng tiếp tục tăng từ 2,3 lên đến 3,2 lít/phút thì hệ số COP tiếp tục tăng lên đến 5,31 trong khi nước nóng ra khỏi dàn ngưng tiếp tục giảm đến 45°C. Điều này có thể giải thích rằng, do sự tăng lưu lượng nước cấp qua dàn nóng đã làm tăng quá trình nhả nhiệt của môi chất cho nước nên công cấp cho máy nén giảm do nhiệt độ ngưng tụ của môi chất giảm xuống, đồng thời áp suất ngưng tụ cũng giảm theo, trong khi áp suất bay hơi gần như tuyến tính (Hình 4b). Chi tiết các thông số như áp suất bay hơi P_o , áp suất ngưng tụ P_k và hệ số COP của bơm nhiệt được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của lưu lượng nước cấp vào dàn nóng đến P_k , P_o và hệ số COP của bơm nhiệt

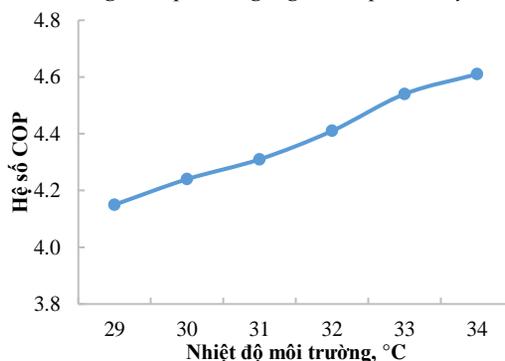
| Lưu lượng(lít/phút) | 2 | 2,3 | 2,6 | 2,9 | 3,2 |
|------------------------------|-------|-------|------|-------|------|
| Hệ số COP | 4,29 | 4,55 | 4,72 | 5,12 | 5,33 |
| Áp suất ngưng tụ P_k (bar) | 30,42 | 28,86 | 27,5 | 25,76 | 25,1 |
| Áp suất bay hơi P_o (bar) | 12,88 | 12,72 | 12,6 | 12,52 | 12,6 |



Hình 4a. Ảnh hưởng của lưu lượng nước cấp vào dàn nóng đến hệ số COP



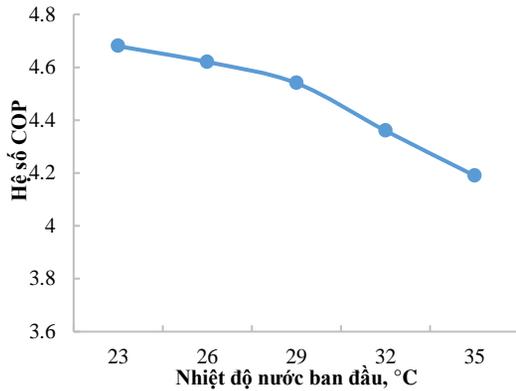
Hình 4b. Ảnh hưởng của lưu lượng nước cấp vào dàn nóng đến áp suất ngưng tụ và áp suất bay hơi



Hình 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến hệ số COP của bơm nhiệt

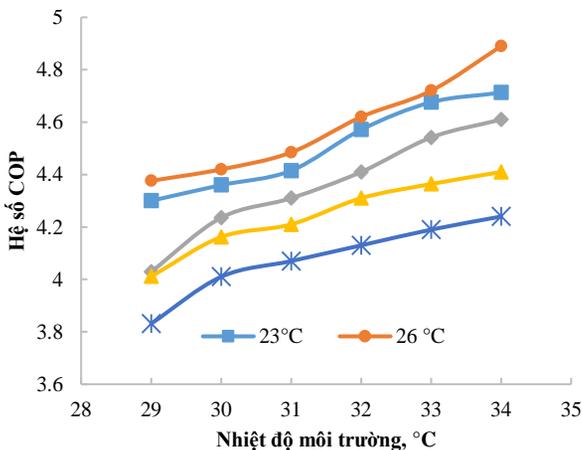
Hình 5 thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến hệ số COP của bơm nhiệt. Ở thí nghiệm này, lưu lượng nước qua dàn nóng được chọn là 2,3 lít/phút và nhiệt độ nước nóng vào dàn nóng là 29°C, khi nhiệt độ môi trường tăng từ 29°C đến 34°C thì hệ số COP của bơm nhiệt tăng từ 4,03 đến 4,61.

Điều này là do khi nhiệt độ môi trường tăng, lượng nhiệt nhận được tại dàn bay hơi tăng dẫn đến nhiệt lượng nhà cho nước cần làm nóng tại thiết bị ngưng tụ tăng, nên rút ngắn được thời gian hoạt động của hệ thống nên hệ số COP tăng.



Hình 6. ảnh hưởng của nhiệt độ nước cấp ban đầu đến hệ số COP của bơm nhiệt

Hình 6 cho thấy, sự ảnh hưởng của nhiệt độ nước cấp ban đầu đến hệ số COP của bơm nhiệt. Thí nghiệm được thực hiện với lưu lượng nước qua dàn nóng là 2,3 lít/phút và nhiệt độ môi trường là 33°C, khi nhiệt độ nước cấp ban đầu tăng dần từ 23°C đến 35°C thì hệ số COP của bơm nhiệt cũng giảm dần từ 4,7 đến 4,15. Điều này có thể giải thích rằng, do sự tăng nhiệt độ của nước cấp ban đầu vào dàn ngưng tụ nên quá trình nhả nhiệt của môi chất cho nước cần gia nhiệt chậm dần, nhiệt độ ngưng tụ tăng, công nén tăng từ đó dẫn tới COP của hệ thống giảm dần.



Hình 7. Sự thay đổi hệ số COP của hệ thống bơm nhiệt ở các nhiệt độ nước cấp vào dàn nóng khác nhau trong điều kiện nhiệt độ môi trường thay đổi

Hình 7, thể hiện sự thay đổi hệ số COP của bơm nhiệt khi nhiệt độ nước cấp ban đầu vào dàn nóng thay đổi. Thí nghiệm được thực hiện với lưu lượng 2,3 lít/phút, nhiệt độ nước cấp ban đầu vào dàn nóng thay đổi từ 23°C đến 35°C và nhiệt độ môi trường thay đổi tăng từ 29°C đến 34°C ứng cho một giá trị nước cấp ban đầu. Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi nhiệt độ nước cấp ban đầu vào dàn nóng tăng từ 23°C đến 35°C thì hệ số COP của bơm nhiệt giảm tương ứng tại mỗi giá trị nhiệt độ môi trường. Điều này có thể giải thích rằng, do sự tăng nhiệt độ của nước cấp ban đầu vào

dàn ngưng tụ nên quá trình nhả nhiệt của môi chất cho nước cần gia nhiệt chậm dần, nhiệt độ ngưng tụ tăng, công nén tăng từ đó dẫn tới COP của hệ thống giảm dần. Bên cạnh đó, khi nhiệt độ nước cấp ban đầu tăng nếu nhiệt độ môi trường tăng thì hệ số COP sẽ tăng theo. Ở điều kiện khí hậu Tp.HCM cũng như khu vực phía nam Việt Nam nhiệt độ nước cấp ban đầu (nước thủy cục khoảng 29°C và nhiệt độ môi trường dao động trong khoảng 29°C đến 34°C) thì hệ số COP đạt được đối với bơm nhiệt cấp nước nóng sử dụng môi chất R32 là từ 4,12 đến 4,62.

5. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu hệ thống bơm nhiệt cấp nước nóng sử dụng môi chất lạnh mới R32 ở điều kiện khí hậu Tp.HCM có thể thấy:

- Đối với điều kiện khí hậu Tp.HCM cũng như khu vực phía nam Việt Nam khi sử dụng bơm nhiệt cấp nước nóng dùng môi chất R32 với nhiệt độ nước nóng yêu cầu 50°C thì áp suất ngưng tụ P_k nằm trong khoảng từ 25 bar đến 30 bar và áp suất bay hơi P_0 nằm trong khoảng từ 12 bar đến 13 bar.

- Lưu lượng nước qua dàn nóng của bơm nhiệt là 2,3 lít/phút để nhiệt độ nước ra khỏi dàn nóng đạt 50°C như yêu cầu.

- Hệ số COP của bơm nhiệt sử dụng môi chất R32 để cấp nước nóng ở điều kiện khí hậu Tp.HCM cũng như khu vực phía nam dao động trong phạm vi từ 4,12 đến 4,62.

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

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Văn Thái và Lê Minh Nhật. 2017. Nghiên cứu ảnh hưởng nhiệt độ nước thải đến hiệu suất của bơm nhiệt đun nước nóng WTW. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, số 44B (10/2017).
- [2] Fujun Ju, Xiaowei Fan, et al., "Experimental investigation on a heat pump water heater using R744/R290 mixture for domestic hot water". *International Journal of Thermal Sciences* Volume 132, October 2018, Pages 1-13.
- [3] Ho-Saeng Lee, Hyeon-Ju Kim, Dong-gyu Kang, Dongsoo Jung, 2012. *Thermodynamic performance of R32/R152a mixture for water source heat pumps*. Energy 40 (2012) 100 – 106.
- [4] Zhequan Jin., et al. "Annual energy performance of R744 and R410A heat pumping systems", *Thermal Engineering*, Volume 117, 5 May 2017, Pages 568-576.
- [5] S. Taira and T. Haikawa., "Evaluation of Performance of Heat Pump System using R32 and HFO-mixed Refrigerant", (2014). *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Paper 1451.
- [6] Xu Shuxue*, Ma Guoyuan, Liu Qi, Liu Zhongliang., 2013. Experiment study of an enhanced vapor injection refrigeration/heat pump system using R32. *International Journal of Thermal Sciences* 68 (2013) 103 – 109.
- [7] Nguyễn Nguyễn An. 2013. Nghiên cứu chế tạo bơm nhiệt đun nước nóng gia nhiệt. 20* NLN – 109*1/2013.
- [8] <http://www.sonha.com.vn/may-bom-nhiệt-dun-nuoc-nong-gia-dinh-euroheat.html>
- [9] <https://megasunsolar.vn/san-pham/bom-nhiệt-dan-dung-mgs-1hp-may-nuoc-nong-gia-dinh>
- [10] Nguyễn Đức Lợi. *Bơm nhiệt*. NXB Giáo dục Việt Nam, 2014.
- [11] Nguyễn Đức Lợi. *Hướng dẫn thiết kế hệ thống lạnh*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 2005.