



Analysis of Characteristics of Refrigerants R134a, R404a, R600a for Sub-Cooling Refrigeration System

Hoang Dat

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

July 10, 2024

PHÂN TÍCH ĐẶC ĐIỂM CỦA MỘT SỐ MÔI CHẤT LẠNH THƯỜNG DÙNG R134a, R404A, R600a KHI QUÁ LẠNH ĐỐI VỚI HỆ THỐNG LẠNH

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF REFRIGERANTS R134a, R404A, R600a FOR SUB-COOLING REFRIGERATION SYSTEM

Hãy nhập tên của (các) tác giả vào đây ...

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Đại học Đà Nẵng; htddat@ute.udn.vn

Tóm tắt - Ngày nay, các loại môi chất lạnh được dùng phổ biến nhất cho hệ thống lạnh như tủ lạnh, tủ đông – tủ mát và máy điều hòa không khí trên ô tô đó là các loại môi chất như R600a, R404A và R134a. Ở nội dung này chủ yếu tính toán phân tích đặc điểm tính chất của các môi chất lạnh trên dùng trong hệ thống lạnh khi có quá lạnh, tính toán và so sánh được hệ số làm lạnh COP, năng suất làm lạnh riêng q_{sub} , công tiêu tốn khi có quá lạnh. Cụ thể khi độ quá lạnh tăng lên thì hệ số COP của ba môi chất đều tăng lên, năng suất lạnh riêng tăng lên nhưng công thì không thay đổi. Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì môi chất R404A tăng nhanh nhất mức độ tăng trung bình là 1,48%. Từ kết quả này ta nhận thấy tính hiệu quả khi chúng ta tiến hành quá lạnh cho hệ thống lạnh.

Từ khóa - Quá lạnh; môi chất lạnh; hệ số làm lạnh COP; hệ thống lạnh

1. Đặt vấn đề

Để nâng cao được hiệu suất của hệ thống lạnh có nhiều cách để thực hiện như nâng cao hiệu suất của máy nén lạnh, nâng cao hệ số trao đổi nhiệt của thiết bị, quá nhiệt trong hệ thống lạnh, nghiên cứu ứng dụng môi chất lạnh mới có tính nhiệt động tốt hơn như năng suất lạnh thể tích lớn hơn, nhiệt ẩn hóa hơi lớn và đặc biệt là an toàn và thân thiện mới môi trường. Ở nội dung này tính toán phân tích nâng cao hệ số làm lạnh COP của hệ thống lạnh bằng cách quá lạnh lỏng môi chất lạnh trước khi tiết lưu để tăng hệ số làm lạnh của chu trình.

Trên thực tế, có nhiều cách để đạt được độ quá lạnh như: Quá lạnh trong thiết bị ngưng tụ, hồi nhiệt quá lạnh, thiết bị quá lạnh để quá lạnh [1]. Nhìn chung, mức độ quá lạnh là nhỏ, để tăng được năng suất lạnh riêng và tăng hệ số làm lạnh ta dùng phương pháp quá lạnh cơ khí [2,3] (nghĩa là sử dụng một chu trình làm lạnh phụ trợ để làm lạnh chất lỏng môi chất lạnh của chu trình làm lạnh chính) chu trình chính và phụ cần kết hợp tốt để tối ưu hóa [4,6].

Các môi chất lạnh R600a, R404A, R134a, mức độ quá lạnh khác nhau, có ảnh hưởng khác nhau đến hiệu suất của hệ thống lạnh khi quá lạnh, các thông số hiệu suất của các môi chất làm lạnh R600a, R404A, R134a trong thực tế được tính toán và so sánh ở các mức độ khác nhau của quá lạnh, các ảnh hưởng của chúng đến hệ thống lạnh.

2. Phân tích chu trình hệ thống lạnh có quá lạnh

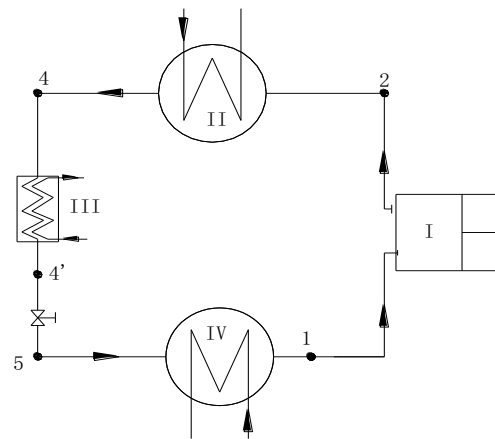
Lỏng cao áp ra khỏi thiết bị ngưng tụ bị hạn chế bởi môi trường làm mát, nói cách khác là nhiệt độ của lỏng cao áp phụ thuộc vào môi trường làm mát ở thiết bị ngưng tụ. Giả sử quá trình ngưng tụ không tốt vì lý do nào đó như dàn trao đổi nhiệt bị bẩn, môi trường làm mát có nhiệt độ cao bất thường thì nhiệt độ lỏng cao áp cao dẫn

Abstract - Today, the most commonly used refrigerants for refrigeration systems such as refrigerators, freezers - coolers and car air conditioners are refrigerants such as R600a, R404A and R134a. In this content, we mainly calculate and analyze the characteristics of the above refrigerants used in the refrigeration system when there is sub-cooling, calculate and compare the sub-cooling coefficient COP, specific cooling capacity q_{sub} , and cooling capacity. consumed when there is sub-cooling. Specifically, when the sub-cooling degree increases, the COP coefficient of the three media increases, the specific cooling capacity increases but the work does not change. When the sub-cooling level increases to 20°C, the R404A refrigerant increases the fastest, with an average increase of 1.48%. From this result we see the effectiveness when we sub-cooling the refrigeration system.

Key words - Sub-cooling; refrigerant; COP; refrigeration system

đến tổn thất tiết lưu và làm giảm hệ số làm lạnh của chu trình [5, 6]. Việc sử dụng quá lạnh cho hệ thống lạnh sẽ làm tăng năng suất lạnh riêng và tăng hệ số làm lạnh COP của chu trình. Trên Hình 1 và 2 biểu diễn sơ đồ nguyên lý, đồ thị T-s và lgp-h của chu trình làm lạnh có quá lạnh.

a) Sơ đồ nguyên lý: Hình 1 biểu thị hệ thống lạnh có quá lạnh lỏng cao áp trước khi đi tiết lưu, hệ thống gồm có các thiết bị chính như sau: I – Máy nén lạnh; II – Thiết bị ngưng tụ; III – Thiết bị quá lạnh; IV – Thiết bị bay hơi.

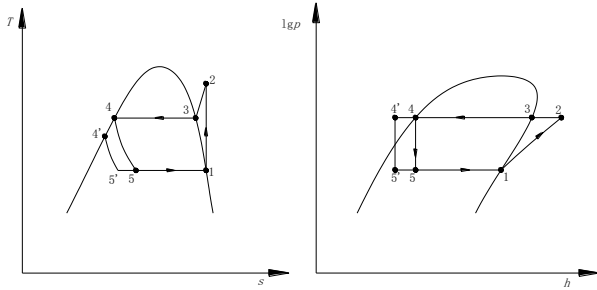


Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống lạnh có quá lạnh

Nguyên lý làm việc của hệ thống lạnh khi có quá lạnh: Hơi môi chất hạ áp ở thiết bị bay hơi có áp suất và nhiệt độ thấp (p_0, t_0) ra khỏi thiết bị bay hơi (điểm 1) được hút về máy nén được nén đoạn nhiệt tại máy nén lên áp suất và nhiệt độ cao (điểm 2), được đưa vào thiết bị ngưng tụ. Tại thiết bị ngưng tụ môi chất được làm mát (môi trường làm mát là nước hoặc không khí) ngưng tụ thành lỏng cao áp (điểm 4), lỏng cao áp ở trạng thái (p_k, t_k) tiếp tục đi qua

thiết bị quá lạnh, tại thiết bị quá lạnh lỏng cao áp được làm lạnh đến trạng thái 4' (p_k, t_{ql}). Lỏng ra khỏi thiết bị quá lạnh được đưa vào van tiết lưu giảm áp giảm nhiệt độ, sau đó vào thiết bị bay hơi nhận nhiệt của môi trường làm lạnh bay hơi đẳng áp đẳng nhiệt và được hút về máy nén tiếp tục chu trình làm lạnh.

b) Hình 2 biểu diễn đồ thị T-s và lgp-h của hệ thống lạnh có quá lạnh



Hình 2. Đồ T-s và lgp-h hệ thống lạnh có quá lạnh

Các quá trình biểu diễn trên đồ thị hình 2 như sau: 1-2: nén đoạn nhiệt tại máy nén; 2-4: môi chất ngưng tụ đẳng áp đẳng nhiệt tại thiết bị ngưng tụ; 4-4': quá lạnh lỏng cao áp tại thiết bị quá lạnh; 4'-5': tiết lưu tại thiết bị tiết lưu; 5'-1: bay hơi đẳng áp đẳng nhiệt tại thiết bị bay hơi.

3. Tính toán chu trình hệ thống lạnh có quá lạnh

Đơn vị khối lượng lạnh riêng

$$q_{0-sub} = h_1 - h_{5'} = h_1 - h_{4'} \quad (1)$$

Trong đó:

h_1 : Entanpi của hơi bão hòa trước khi hút về máy nén, kJ/kg

$h_{4'}$: Entanpi của lỏng cao áp sau khi quá lạnh, kJ/kg

$h_{5'}$: Entanpi của lỏng sau khi tiết lưu từ trạng thái 4' đến 5', kJ/kg

Đơn vị khối lượng lạnh thể tích

$$q_{zv} = (h_1 - h_{5'}) / v_1 = q_{0-sub} / v_1 \quad (2)$$

Trong đó:

v_1 : Thể tích riêng tại điểm 1, m³/kg

Công lý thuyết

$$W_{sub} = W_0 = h_2 - h_1 \quad (3)$$

Trong đó:

W_{sub} : Công thực hiện chu trình khi có quá lạnh, kJ/kg

W_0 : Công thực hiện chu trình khi không quá lạnh, kJ/kg

Công chỉ thị

$$W_i = W_0 / \eta_i \quad (4)$$

Trong đó:

η_i : Hiệu suất chỉ thị của máy nén

Đơn vị phụ tải nhiệt ở thiết bị ngưng tụ

$$q_{k-sub} = (h_2 - h_4) + (h_4 - h_{4'}) \quad (5)$$

Trong đó:

$h_{4'}$: Entanpi của lỏng cao áp trước khi quá lạnh, kJ/kg

Đơn vị phụ tải nhiệt ở thiết bị quá lạnh

$$q_{qt} = (h_4 - h_{4'}) \quad (6)$$

Hệ số làm lạnh của chu trình không quá lạnh COP_0

$$COP_0 = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} \quad (7)$$

Hệ số làm lạnh của chu trình có quá lạnh COP_{sub}

$$\begin{aligned} COP_{sub} &= \frac{q_{0-sub}}{W_0} = \frac{h_1 - h_{5'}}{h_2 - h_1} = \frac{(h_1 - h_5) + (h_5 - h_{5'})}{h_2 - h_1} \\ &= COP_0 + \frac{h_5 - h_{5'}}{h_2 - h_1} \end{aligned} \quad (8)$$

COP_i chỉ thị: $COP_i = q_{0-sub} / W_i$

So với chu trình không quá lạnh thì chu trình có quá lạnh lượng làm lạnh tăng lên:

$$m_0 (h_5 - h_{5'}), \text{ COP tăng lên } \frac{h_4 - h_{4'}}{h_2 - h_1}$$

Trong đó:

m_0 : Lượng môi chất tuần hoàn trong hệ thống, kg/s

4. Quá trình quá lạnh ảnh hưởng đến hệ thống lạnh như sau

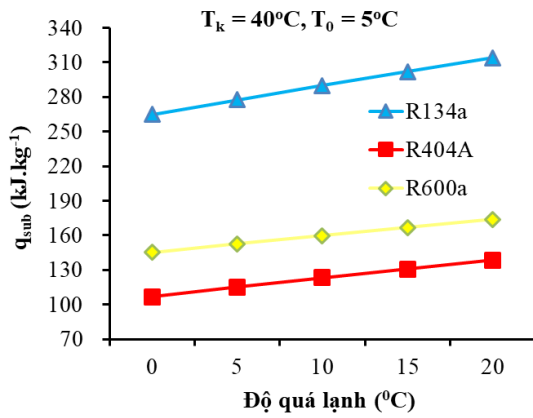
Tính cho các môi chất lạnh thường dùng trong hệ thống lạnh như: R600a, R404A, R134a. Để thuận tiện cho việc tính toán ta giả định:

- Hệ thống hoạt động với các thông số ổn định;
- Nhiệt độ ngưng tụ được chọn trong khoảng 40 ÷ 50°C, nhiệt độ bay hơi trong khoảng 5 ÷ -5°C;
- Không tính tổn thất nhiệt, tổn thất lưu động và tổn thất trao đổi nhiệt với môi trường và trên đường ống;
- Hiệu suất làm việc của máy nén là 0,8.

4.1. Độ quá lạnh ảnh hưởng đến hệ thống khi nhiệt độ ngưng tụ và nhiệt độ bay hơi thay đổi

4.1.1. Độ quá lạnh ảnh hưởng đến q_{0-sub} khi nhiệt độ bay hơi $t_0 = 5^\circ\text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 40^\circ\text{C}$.

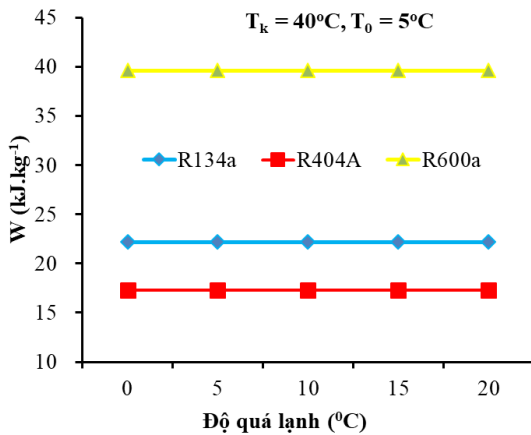
Hình 3 thể hiện mối quan hệ giữa độ quá lạnh và năng suất lạnh riêng. Môi chất R134a có q_{0-sub} lớn nhất. Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì năng suất lạnh riêng của các môi chất lạnh R134a, R404A, R600a đều tăng lên tương ứng như sau: 49,26%; 31,62%; 28,9%. Như vậy, khi độ quá tăng lên thì cả ba môi chất có năng suất lạnh riêng q_{0-sub} đều tăng lên nhưng R134a có độ tăng lên nhanh hơn.



Hình 3. Ảnh hưởng độ quá lạnh đến q_{o-sub}

4.1.2. Độ quá lạnh ảnh hưởng đến công (W) khi nhiệt độ bay hơi $t_0 = 5^\circ C$, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 40^\circ C$.

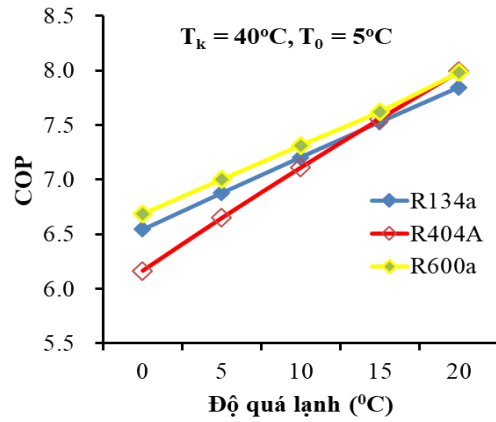
Hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa độ quá lạnh và công nén chu trình. Môi chất R600a có công nén lớn nhất, công nén của môi chất R404A là nhỏ nhất, công nén của môi chất R600a lớn hơn R134a và R404A tương ứng: 39,6%; 22,3%; 17,4% và Khi độ quá lạnh tăng lên thì cả ba môi chất R600a, R404A và R134a có W không thay đổi.



Hình 4. Ảnh hưởng độ quá lạnh đến công W, kJ/kg

4.1.3. Độ quá lạnh ảnh hưởng đến COP khi nhiệt độ bay hơi $t_0 = 5^\circ C$, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 40^\circ C$.

Hình 5 thể hiện mối quan hệ giữa độ quá lạnh và hệ số làm lạnh của chu trình COP. Khi không có quá lạnh thì R600a có COP lớn nhất kế tiếp là R134a. Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì các môi chất lạnh R134a, R404A, R600a có COP tăng lên tương ứng 1,30%; 1,82 và 1,29%. Như vậy, khi độ quá lạnh tăng thì cả ba môi chất đều tăng lên nhưng R404A có độ tăng nhanh hơn hai môi chất còn lại là 0,5%.

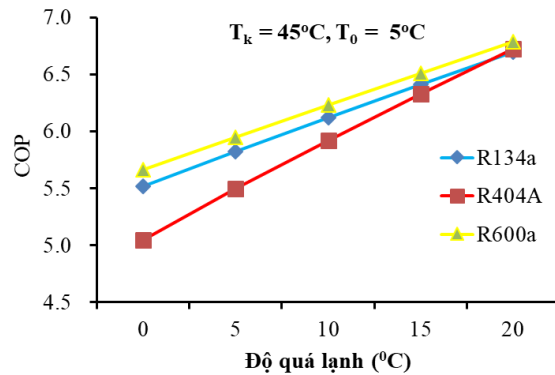


Hình 5. Ảnh hưởng độ quá lạnh đến COP

4.2 Độ quá lạnh ảnh hưởng đến COP khi nhiệt độ bay và ngưng tụ thay đổi

4.2.1 Khi nhiệt độ bay hơi $t_0 = 5^\circ C$, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 45^\circ C$

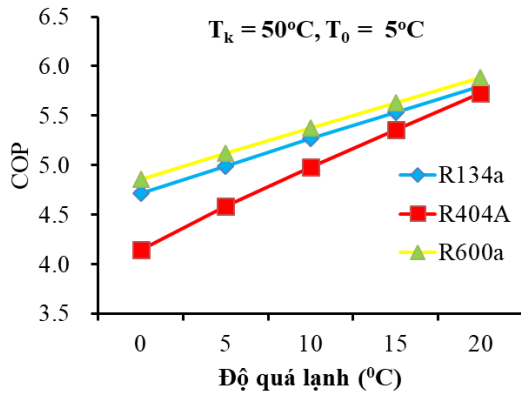
Hình 6 thể hiện mối quan hệ giữa độ quá lạnh và COP. Khi không quá lạnh thì môi chất R404A có COP nhỏ nhất tiếp đến là R134a. Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì cả 3 môi chất R134a, R404A, R600a có COP tăng lên tương ứng: 1,17%; 1,67% và 1,12%. Như vậy, khi độ quá tăng lên thì môi chất R404A có độ tăng lên nhanh hơn R134a là 0,5%.



Hình 6. Ảnh hưởng độ quá lạnh đến COP

4.2.2 Khi nhiệt độ bay hơi $t_0 = 5^\circ C$, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 50^\circ C$

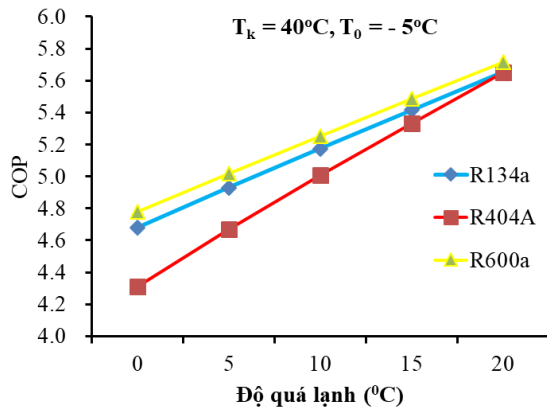
Hình 7 thể hiện mối quan hệ giữa độ quá lạnh và COP. Khi không quá lạnh thì môi chất R404A có COP nhỏ nhất: 4,14 tiếp đến là R134a: 4,71 và R600a: 4,85. Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì cả 3 môi chất R134a, R404A, R600a có COP tăng lên tương ứng: 1,08%; 1,58% và 1,03%. Như vậy, khi độ quá tăng lên thì môi chất R404A có độ tăng lên nhanh hơn R134a là 0,49%.



Hình 7. Ảnh hưởng độ quá lạnh đến COP

4.2.3 Khi nhiệt độ bay hơi $t_0 = -5^\circ\text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 40^\circ\text{C}$

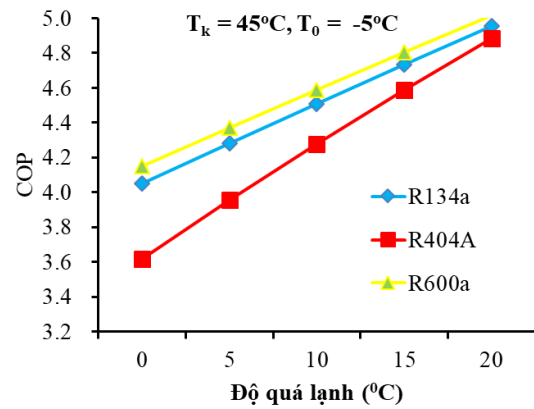
Hình 8 thể hiện mối quan hệ giữa độ quá lạnh và COP. Khi không quá lạnh thì môi chất R404A có COP nhỏ nhất: 4,13 tiếp đến là R134a: 4,68 và R600a: 4,77. Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì cả 3 môi chất R134a, R404A, R600a có COP tăng lên tương ứng: 0,97%; 1,33% và 0,9%. Như vậy, khi độ quá tăng lên thì môi chất R404A có độ tăng lên nhanh hơn R134a là 0,4%.



Hình 8. Ảnh hưởng độ quá lạnh đến COP_{sub}

4.2.4 Khi nhiệt độ bay hơi $t_0 = -5^\circ\text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 45^\circ\text{C}$

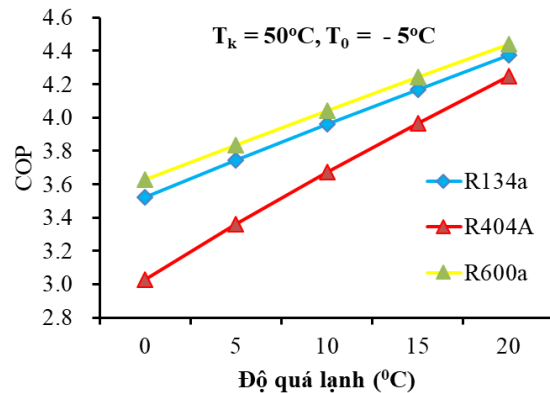
Hình 9 thể hiện mối quan hệ giữa độ quá lạnh và COP. Khi không quá lạnh thì môi chất R404A có COP nhỏ nhất: 3,617 tiếp đến là R134a: 4,05 và R600a: 4,149. Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì cả 3 môi chất R134a, R404A, R600a có COP tăng lên tương ứng: 0,9%; 1,26% và 0,86%. Như vậy, khi độ quá tăng lên thì môi chất R404A có độ tăng lên nhanh hơn R134a là 0,36%.



Hình 9. Ảnh hưởng độ quá lạnh đến COP

4.2.5 Khi nhiệt độ bay hơi $t_0 = -5^\circ\text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 50^\circ\text{C}$

Hình 10 thể hiện mối quan hệ giữa độ quá lạnh và COP. Khi không quá lạnh thì môi chất R404A có COP nhỏ nhất: 3,027 tiếp đến là R134a: 3,52 và R600a: 3,62. Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì cả 3 môi chất R134a, R404A, R600a có COP tăng lên tương ứng: 0,85%; 1,22% và 0,81%. Như vậy, khi độ quá tăng lên thì môi chất R404A có độ tăng lên nhanh hơn R134a là 0,37%.



Hình 10. Ảnh hưởng độ quá lạnh đến COP

5. Kết luận

Từ phân tích tính toán đặc tính của các môi chất thường dùng R134a, R404A và R600a đã chỉ ra được đại lượng hữu ích khi quá lạnh. Vậy khi chúng ta quá lạnh lỏng môi chất sau khi ngưng tụ để tiết lưu thì hệ số COP của hệ thống tăng lên rất rõ ràng.

Phần nội dung đã thể hiện được các mối liên hệ giữa độ quá lạnh và năng suất lạnh riêng, công tiêu tốn cho chu trình và hệ số làm việc hiệu quả của chu trình COP. Đặc biệt khi giảm nhiệt độ ngưng tụ T_k thì COP tăng lên và giảm nhiệt độ bay hơi T_0 thì COP giảm.

1) Khi không quá lạnh thì môi chất R404A có hệ số làm lạnh thấp nhất kể đến là R134a.

2) Ở cùng nhiệt độ bay hơi và nhiệt độ ngưng tụ thì môi chất R600a có hệ số làm lạnh cao nhất.

3) Khi độ quá lạnh tăng lên thì năng suất lạnh riêng và hệ số làm lạnh COP của R134a, R404A và R600a tăng lên.

4) Khi độ quá lạnh tăng lên 20°C thì môi chất R404A tăng nhanh nhất mức độ tăng trung bình là: 1,48%.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A Vidal, R Best, R Rivero, J Cervantes, Analysis of a combined power and refrigeration cycle by the exergy method. *Energy*, 2006, (31): 3401 - 3414.
- [2] Afif Akel Hasan, D Yogi Goswami, Sanjay Vijayaraghavan. First and second law analysis of a new power and refrigeration thermodynamic cycle using a solar heat source. *Solar Energy*, 2002, (73): 385 - 393.
- [3] KCizungu, A Mani, M Groll. Performance comparison of vapour jet refrigeration system with environment friendly working fluids. *Applied Thermal Engineering*, 2001, (21): 585 - 598.
- [4] I Horuz, T M S Callander. Experimental investigation of a vapor absorption refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 2004, (27): 10 - 16.
- [5] Andy Pearson. Refrigeration with ammonia. *International Journal of Refrigeration*, 2008, (31): 545 - 551.
- [6] Pega Hrňjak, Andy D Litch. Microchannel heat exchangers for charge minimization in air-cooled ammonia condensers and chillers. *International Journal of Refrigeration*, 2008, (31): 658 - 668.