

TÍNH TOÁN PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH QUÁ LẠNH ĐỐI VỚI HỆ THỐNG LẠNH

CALCULATING AND ANALYSING SUB-COOLING OF REFRIGERATION SYSTEM

Hoàng Thành Đạt, Hồ Trần Anh Ngọc

Trường Cao đẳng Công nghệ - Đại học Đà Nẵng; hoangthanhdat1976@gmail.com, anhngoctr@yahoo.com

Tóm tắt - Môi chất ở trạng thái lỏng cao áp sau khi ra khỏi thiết bị ngưng tụ và trước khi vào hệ thống tiết lưu được làm lạnh giảm nhiệt độ gọi là quá trình quá lạnh. Độ chênh lệch nhiệt độ giữa hơi bão hòa cao áp với lỏng chưa sôi sau khi ngưng tụ tiếp tục được làm mát gọi là độ quá lạnh. Quá lạnh lỏng sau khi ngưng tụ nhằm làm giảm tổn thất trước van tiết lưu và tăng công suất lạnh, dẫn đến hệ số làm lạnh tăng. Với nội dung này, ta sử dụng định luật nhiệt động để tính toán lý thuyết, phân tích cụ thể cho trường hợp môi chất lạnh R134a với sự ảnh hưởng của độ quá lạnh đến công suất lạnh của hệ thống, hệ số làm lạnh COP, công tiêu tốn cho chu trình, các ảnh hưởng nhiệt độ bay hơi – nhiệt độ ngưng tụ đối với sự quá lạnh, từ kết quả tính toán đưa ra được các đồ thị so sánh.

Từ khóa - độ quá lạnh; hệ thống lạnh; môi chất lạnh; ngưng tụ; COP.

Abstract - When the liquid is in high-pressure liquid state after exiting the condenser and before entering the cooled condenser, the temperature is reduced to a very cold process. The difference between the saturated temperature and the extremely cold temperature of a high-pressure liquid is called the degree of cooling. Sub cooling after condensation to reduce throttling losses and increase chiller capacity results in increased cooling coefficient. With this content, we use the law of thermodynamics for theoretical calculations and specific analysis of the case of refrigerant R134a with influence of sub cooling on the refrigeration capacity and COP cooling coefficient. The cost of the cycle, the effects of evaporative temperature - the condensation temperature for the cold from the results of the computation are shown in comparable graphs.

Key words - sub-cooling; refrigeration system; refrigerant; condenser; COP.

1. Đặt vấn đề

Điều hòa không khí tiêu hao năng lượng rất lớn trong các công trình kiến trúc, nó chiếm gần 60% trên tổng năng lượng tiêu thụ [1]. Như vậy, khi chúng ta điều chỉnh hệ thống tổ hợp máy điều hòa, độ chênh nhiệt độ lớn sẽ ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống lạnh. Đồng thời, để đáp ứng được phụ tải nhiệt thì máy nén phải thường xuyên hoạt động trong điều kiện phụ tải nhiệt lớn, tiêu hao năng lượng lớn, hệ thống làm việc trong điều kiện nặng nề. Vì vậy, việc giảm độ chênh nhiệt độ giữa phần nóng và phần lạnh, cụ thể là giảm nhiệt độ của môi chất cao áp sau khi ra khỏi thiết bị ngưng tụ bằng phương pháp quá lạnh sẽ nâng cao hiệu suất của hệ thống lạnh [2].

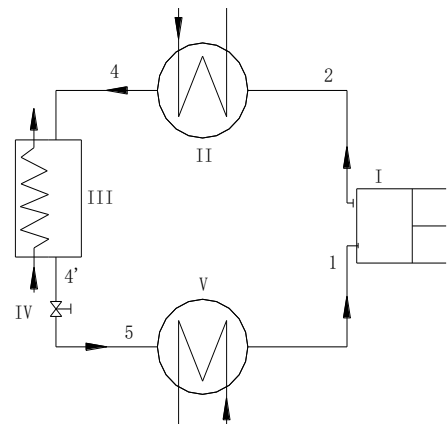
Những năm gần đây, trong và ngoài nước đã có rất nhiều công trình nghiên cứu đối với hệ thống lạnh nên hơi nhằm nâng cao hiệu suất của hệ thống lạnh. Kỹ thuật quá lạnh đã được ứng dụng khá phổ biến ở nhiệt độ trung bình và thấp nhằm tiết kiệm năng lượng cho hệ thống lạnh. Một số phương pháp thường dùng để quá lạnh như sau: Dùng nhiệt độ môi trường để quá lạnh, trao đổi nhiệt với đường hút về máy nén để tiến hành quá lạnh, cải tạo hệ thống bằng cách lắp thêm bộ phận trao đổi nhiệt để tạo ra quá lạnh, dùng thiết bị trao đổi nhiệt để quá lạnh [3]. Một số kết quả và kết luận quan trọng đã được đưa ra sau khi tính toán là nhằm nâng cao hiệu suất của hệ thống lạnh, đạt được hiệu quả cao, góp phần tiết kiệm năng lượng.

Ở bài báo này, tác giả chủ yếu nghiên cứu dùng môi chất lạnh R134a cho hệ thống lạnh, dùng thiết bị quá lạnh, tiến hành tính toán phân tích lý thuyết. Đưa ra được kết quả tính toán và các thông số ảnh hưởng đến hệ số làm lạnh của hệ thống lạnh.

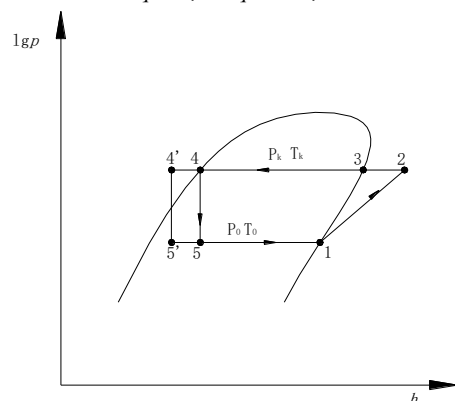
2. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị lgp-h của hệ thống quá lạnh

Hình 1 thể hiện sơ đồ nguyên lý hệ thống quá lạnh của hệ thống lạnh. Biểu diễn chu trình của một hệ thống lạnh 1 cấp, trong chu trình ta có sử dụng thiết bị quá lạnh, hệ thống bao gồm các thiết bị sau đây:

- I - Máy nén lạnh;
- II - Thiết bị ngưng tụ;
- III - Thiết bị quá lạnh;
- IV - Thiết bị tiết lưu;
- V - Thiết bị bay hơi.



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



Hình 2. Đồ thị lgp-h hệ thống lạnh có quá lạnh

Hình 2 gồm các quá trình: 1-2 - quá trình nén đoạn nhiệt môi chất lạnh tại máy nén lạnh, 2-4 - quá trình ngưng tụ đẳng áp đẳng nhiệt tại thiết bị ngưng tụ, 4-4' - quá trình quá lạnh tại thiết bị quá lạnh, 4'-5 - quá trình tiết lưu đoạn nhiệt đẳng enthalpy tại thiết bị tiết lưu, 5-1 - quá trình bay hơi đẳng áp đẳng nhiệt tại thiết bị bay hơi.

3. Tính toán và phân tích quá trình quá lạnh

Trên đồ thị lgp-h ta có chu trình 1-2-4-5-1 không có quá lạnh, chu trình 1-2-4'-5'-1 có quá lạnh, dựa vào các định luật nhiệt động ta tính được như sau:

(1) Chu trình không có quá lạnh:

Đơn vị khối lượng lạnh riêng:

$$q_0 = h_1 - h_5 = h_1 - h_4 \quad (1)$$

Đơn vị khối lượng lạnh thể tích:

$$q_{zv} = (h_1 - h_5)/v_1 = q_0 / v_1 \quad (2)$$

Công nén lý thuyết:

$$W_0 = h_2 - h_1 \quad (3)$$

Công nén chỉ thị:

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

Đơn vị phụ tải nhiệt ở thiết bị ngưng tụ:

$$q_k = h_2 - h_4 \quad (5)$$

Hệ số làm lạnh của chu trình COP:

COP lý thuyết:

$$COP_0 = \frac{q_0}{W_0} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

$$COP \text{ chỉ thị: } COP_i = \frac{q_0}{W_i} \quad (7)$$

(2) Chu trình có quá lạnh:

Đơn vị khối lượng lạnh riêng:

$$q_{0-sub} = h_1 - h_{5'} = h_1 - h_{4'} \quad (8)$$

Đơn vị khối lượng lạnh thể tích:

$$q_{zv} = (h_1 - h_{5'})/v_1 = q_{0-sub} / v_1 \quad (9)$$

Công lý thuyết:

$$W_{sub} = W_0 = h_2 - h_1 \quad (10)$$

Công chỉ thị:

$$W_i = W_0 / \eta_i \quad (11)$$

Đơn vị phụ tải nhiệt ở thiết bị ngưng tụ:

$$q_{k-sub} = (h_2 - h_4) + (h_4 - h_{4'}) \quad (12)$$

Đơn vị phụ tải nhiệt ở thiết bị quá lạnh:

$$q_{gl} = (h_4 - h_{4'}) \quad (13)$$

Hệ số làm lạnh của chu trình COP:

COP_{sub} lý thuyết:

$$COP_{sub} = \frac{q_{0-sub}}{W_0} = \frac{h_1 - h_{5'}}{h_2 - h_1} \\ = \frac{(h_1 - h_5) + (h_5 - h_{5'})}{h_2 - h_1} = COP_0 + \frac{h_5 - h_{5'}}{h_2 - h_1} \quad (14)$$

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

So với vòng tuần hoàn không có quá lạnh thì vòng tuần hoàn quá lạnh có công suất lạnh tăng lên:

$$m_0 (h_5 - h_{5'});$$

$$COP \text{ tăng lên: } \frac{h_4 - h_{4'}}{h_2 - h_1} \quad (15)$$

Bảng 1. Tính năng tuần hoàn

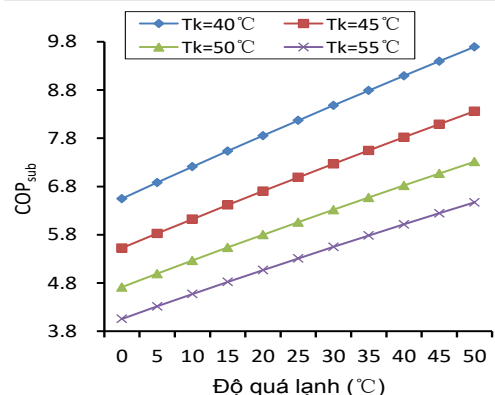
| Tuần hoàn | Tuần hoàn lý thuyết | Tuần hoàn có quá lạnh | Ảnh hưởng của quá lạnh |
|-----------------|---|--|------------------------|
| q ₀ | h ₁ - h ₅ | h ₁ - h _{5'} | Tăng lên |
| q _{zv} | (h ₁ - h ₅)/v ₁ | (h ₁ - h _{5'})/v ₁ | Tăng lên |
| Công chỉ thị | h ₂ - h ₁ | h ₂ - h ₁ | Không đổi |
| COP | (h ₁ - h ₅)/(h ₂ - h ₁) | (h ₁ - h _{5'})/(h ₂ - h ₁) | Tăng lên |

4. Ảnh hưởng của quá trình quá lạnh đối với hệ thống

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 40~55°C, nhiệt độ bay hơi trong khoảng -10~5°C
- Không tính tổn thất nhiệt, tổn thất lưu động và tổn thất trao đổi nhiệt với môi trường trên đường ống
- Hiệu suất làm việc của máy nén là 0,8, độ quá lạnh hơi hút là 5°C.

4.1. Độ quá lạnh ảnh hưởng đến hệ số COP_{sub}



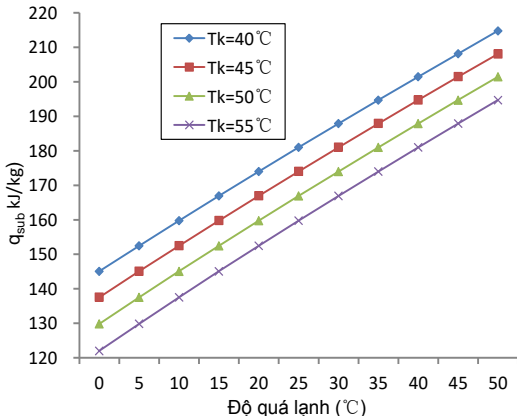
Hình 3. T₀ = 5°C, mối quan hệ giữa độ quá lạnh với COP_{sub}

Hình 3 thể hiện hệ số làm lạnh COP_{sub} với độ quá lạnh ở nhiệt độ bay hơi T₀ = 5°C. Tùy theo nhiệt độ ngưng tụ tăng cao, hệ số làm lạnh COP_{sub} giảm xuống, nhưng độ quá lạnh tăng lên thì COP_{sub} tăng lên. Ở nhiệt độ quá lạnh từ Δt = 0°C tăng lên Δt = 50°C, nhiệt độ ngưng tụ tương ứng 40°C, 45°C, 50°C, 55°C thì COP_{sub} tăng lên tương ứng là: 3,1; 2,8; 2,6; 2,4, tăng lên trung bình là 52,78%.

4.2. Độ quá lạnh ảnh hưởng đến q_{sub} với nhiệt độ ngưng tụ thay đổi

Hình 4 biểu thị mối quan hệ giữa độ quá lạnh và công suất lạnh của hệ thống. Kết quả thể hiện độ quá lạnh tăng 1°C thì công suất lạnh của hệ thống tăng trung bình là 1,06%. Độ quá lạnh có sự chênh lệch nhiệt độ từ: Δt = 0°C đến Δt = 50°C, nhiệt độ ngưng tụ tương ứng 40°C, 45°C, 50°C, 55°C thì q_{sub} tăng lên tương ứng là: 69,7kJ/kg, 70,5

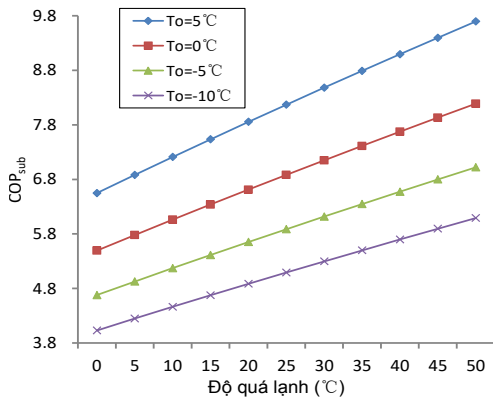
kJ/kg, 71,6 kJ/kg, 72,7kJ/kg, trung bình là 53,24%. Cùng với độ quá lạnh, nhiệt độ ngưng tụ từ 40°C sẽ tăng đến 55°C thì lúc đó q_{sub} liên tục tăng lên:



Hình 4. $T_0 = 5^\circ\text{C}$, mối quan hệ giữa độ quá lạnh với công suất lạnh của hệ thống

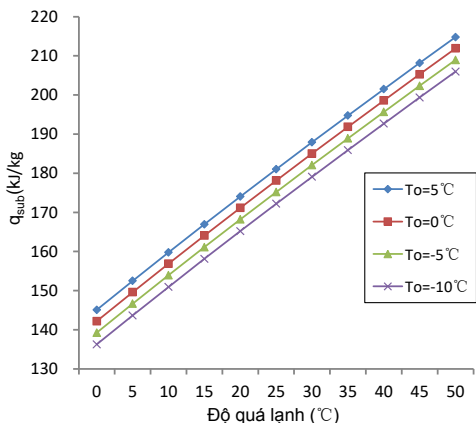
4.3. Độ quá lạnh ảnh hưởng đến COP_{sub} khi nhiệt độ bay hơi thay đổi

Từ Hình 5 ta nhận thấy rằng, khi nhiệt độ bay hơi và độ quá lạnh tăng lên, dẫn đến hệ số COP_{sub} tăng cao. Ở độ quá lạnh từ $\Delta t = 0^\circ\text{C}$ tăng đến $\Delta t = 50^\circ\text{C}$, nhiệt độ bay hơi từ $5^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}, -5^\circ\text{C}, -10^\circ\text{C}$ thì hệ số COP_{sub} tăng lên tương ứng 3,1;2,7;2,3;2,1; trung bình tăng lên 49,36%.



Hình 5. $T_k=40^\circ\text{C}$, thể hiện quan hệ giữa độ quá lạnh và COP_{sub} khi T_0 thay đổi

*** Độ quá lạnh ảnh hưởng đến q_{sub} khi nhiệt độ bay hơi thay đổi**



Hình 6. $T_k=40^\circ\text{C}$, biểu thị mối quan hệ giữa q_{sub} với độ quá lạnh khi T_0 thay đổi

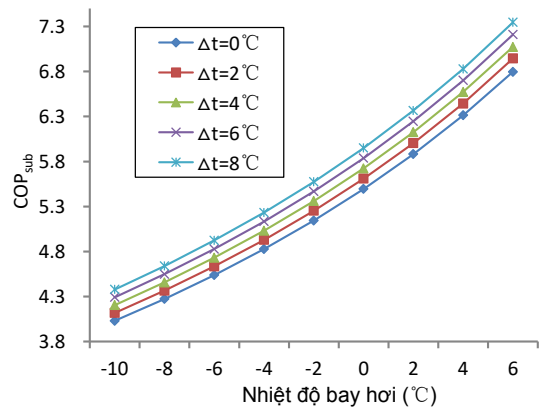
Kết quả ở Hình 6 biểu diễn sự ảnh hưởng của độ quá lạnh đến công suất lạnh, ở mỗi 1°C , độ quá lạnh tăng lên thì công suất lạnh tăng lên trung bình là 0,99%.

4.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ bay hơi đến hệ số COP_{sub}

4.4.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ bay hơi đến hệ số COP_{sub} với độ quá lạnh khác nhau

Tính cho môi chất R134a, với các thông số không thay đổi, độ quá lạnh chọn ($0\sim 8^\circ\text{C}$). Vẫn tính cho nhiệt độ ngưng tụ 40°C , độ quá lạnh Δt phân biệt $0^\circ\text{C}, 2^\circ\text{C}, 4^\circ\text{C}, 6^\circ\text{C}, 8^\circ\text{C}$, kết quả tính toán được thể hiện ở Hình 7 như sau:

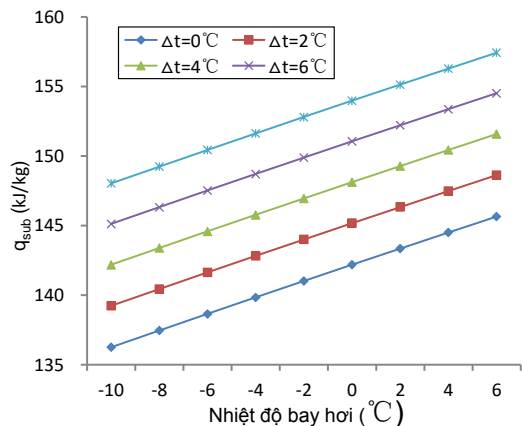
Hình 7 thể hiện mối quan hệ giữa COP_{sub} và sự thay đổi nhiệt độ bay hơi cùng sự biến đổi độ quá lạnh. Tùy theo sự tăng lên của nhiệt độ bay hơi mà COP_{sub} tăng lên rõ rệt. Ở nhiệt độ bay hơi $-10^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}, 6^\circ\text{C}$, độ quá lạnh tăng lên 1°C thì COP_{sub} tăng lên trung bình tương ứng là: 1,08%, 1,04%, 1,01%. Có thể kết luận, ở nhiệt độ bay hơi càng thấp thì ảnh hưởng của độ quá lạnh đối với COP_{sub} có chiều hướng tăng lên nhanh hơn; khi nhiệt độ bay hơi tăng lên thì COP_{sub} tăng lên.



Hình 7. Quan hệ giữa COP_{sub} và nhiệt độ T_0 khi độ quá lạnh thay đổi

4.4.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ bay hơi đến q_{sub} với độ quá lạnh khác nhau

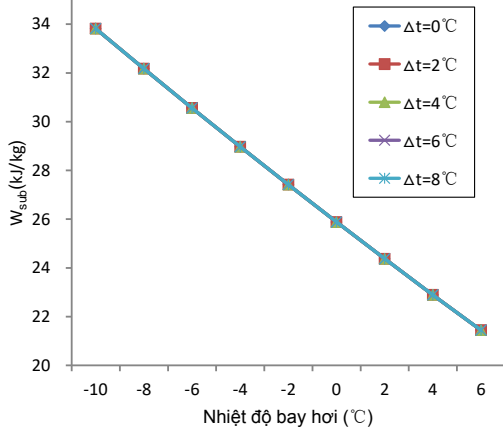
Từ Hình 8 ta nhận thấy, khi nhiệt độ bay hơi tăng lên thì q_{sub} tăng lên, khi nhiệt độ bay hơi tăng lên 1°C thì đơn vị lạnh khối lượng tăng lên trung bình là 0,41%. Cùng với sự tăng nhiệt độ bay hơi, độ quá lạnh tăng lên thì công suất lạnh của hệ thống tăng, tuy nhiên tốc độ tăng không thay đổi.



Hình 8. Quan hệ giữa T_0 và công suất lạnh khi độ quá nhiệt thay đổi

4.4.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ bay hơi đến công lý thuyết W_{sub} với độ quá lạnh khác nhau

Từ Hình 9 ta nhận thấy nhiệt độ bay hơi tăng lên thì công lý thuyết giảm xuống rõ rệt. Nhiệt độ bay hơi tăng lên 1°C thì công giảm xuống trung bình là 2,07%. Độ quá lạnh tăng lên không ảnh hưởng đến sự tăng lên hay giảm xuống của công.



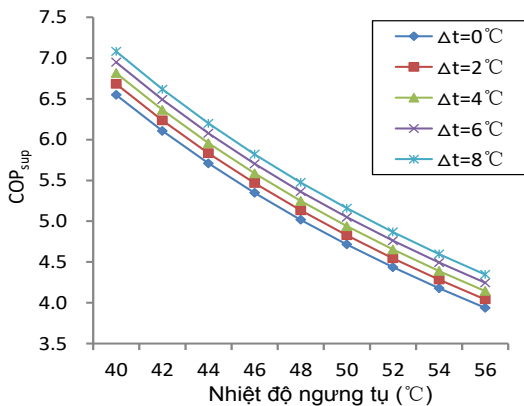
Hình 9. Quan hệ giữa công lý thuyết và T_0 với thay đổi độ quá lạnh

4.5. Ảnh hưởng của nhiệt độ ngưng tụ đến hệ số COP_{sub}

4.5.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ ngưng tụ đến hệ số COP_{sub} với độ quá nhiệt thay đổi

Nhiệt độ bay hơi $T_0 = 5^\circ\text{C}$, chọn độ quá lạnh Δt : 0°C , 2°C , 4°C , 6°C , 8°C . Tính toán phân tích nhiệt độ ra khỏi thiết bị ngưng tụ đối với COP_{sub} .

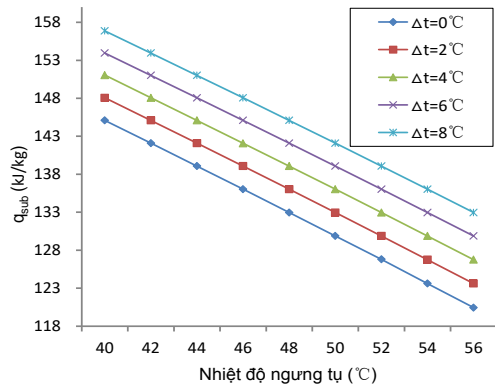
Từ Hình 10 ta nhận thấy nhiệt độ ngưng tụ tăng lên thì COP_{sub} giảm xuống. Ở nhiệt độ ngưng tụ từ 40°C đến 48°C thì COP_{sub} giảm xuống trung bình 23%, nhiệt độ ngưng tụ từ 48°C đến 56°C thì COP_{sub} giảm xuống trung bình 21%. Nhiệt độ ngưng tụ càng thấp thì COP_{sub} càng cao, đồng thời tốc độ COP_{sub} tăng càng nhanh.



Hình 10. Mọi quan hệ giữa COP_{sub} và T_k với sự thay đổi độ quá lạnh

4.5.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ ngưng tụ đến q_{sub} với độ quá lạnh thay đổi

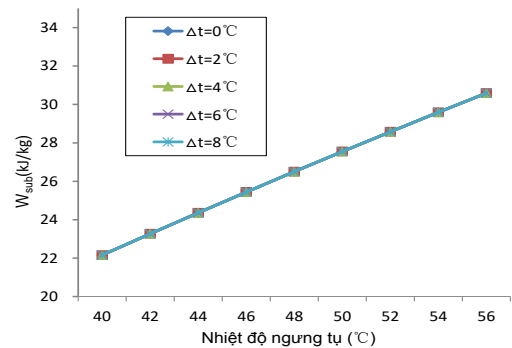
Từ Hình 11 ta nhận thấy, khi nhiệt độ ngưng tụ tăng lên thì công suất lạnh hệ thống giảm xuống trung bình là 1%. Nhiệt độ ngưng tụ từ 40°C đến 56°C thì đơn vị lạnh khối lượng riêng giảm trung bình từ 1 - 1,3%. Đồng thời nhiệt độ ngưng tụ càng cao thì công suất lạnh giảm càng nhanh.



Hình 11. Quan hệ giữa T_k và q_{sub} với sự thay đổi độ quá lạnh

4.5.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ ngưng tụ đến W_{sub} với độ quá lạnh thay đổi

Từ Hình 12 ta nhận thấy nhiệt độ ngưng tụ tăng lên thì công lý thuyết của vòng tuần hoàn cũng tăng lên. Độ quá lạnh tăng lên không ảnh hưởng đến công nén.



Hình 12. Quan hệ giữa nhiệt độ ngưng tụ và công nén với sự thay đổi độ quá lạnh

5. Kết luận

- 1) Quá lạnh lỏng cao áp trước khi vào tiết lưu nâng cao hệ số làm lạnh COP_{sub} của chu trình.
- 2) Ở nhiệt độ bay hơi cao thì ảnh hưởng của độ quá lạnh đối với COP_{sub} lớn hơn, đồng thời ở nhiệt độ ngưng tụ cao, lỏng cao áp được quá lạnh sẽ giúp nâng cao hệ số làm lạnh của chu trình một cách rõ rệt.
- 3) Các kết quả tính toán cho thấy quá trình quá lạnh lỏng không ảnh hưởng gì đến công nén của chu trình.
- 4) Đối với hệ thống có quá lạnh, chúng ta có thể nâng cao hệ số làm lạnh của chu trình và thực hiện việc tiết kiệm năng lượng cho hệ thống lạnh, góp phần bảo vệ môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Abdel-Nahi D Y, Zubair, S M, Abdelrehman, et al., *Regression analysis of a residential air conditioning energy consumption at Dahrahan, Saudi Arabia*, ASHRAE Transactions 199, 96, pp. 223-232.

[2] Qureshi B A, Zubair S M., "Mechanical sub - Cooling vapor compression system - Current status and future direction", *International Journal of Refrigeration [J]*, 2013.

[3] Bila Ahmed Qureshi, Syed M Zubair., "The effect of refrigerant combinations on performance of a vapor compression refrigeration system with dedicated mechanical sub - cooling", *International journal of Refrigeration [J]*, 35, 2012, pp. 47-57.

[4] Đinh Văn Thuận, Võ Chí Chính, *Hệ thống máy và thiết bị lạnh*, NXB Khoa học Kỹ thuật, 2004.