

TÍNH TOÁN CHU TRÌNH LẠNH ĐIỀU HÒA NHIỆT ĐỘ TẬN DỤNG NGUỒN NĂNG LƯỢNG CÓ NHIỆT ĐỘ THẤP

CALCULATIONS OF HYBRID REFRIGERATION CYCLE FOR AIR CONDITIONING UTILIZING LOW TEMPERATURE SOURCE

LÊ VĂN ĐIỂM*, NGUYỄN MẠNH CHIỀU

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: diemlv.mtb@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu kết quả tính toán chu trình lạnh một cấp cho máy điều hòa nhiệt độ có bổ sung quá trình cấp nhiệt nhằm giảm công suất nén bằng tận dụng nguồn năng lượng có chất lượng thấp như năng lượng mặt trời. Chu trình lạnh nguyên thủy được tính toán bằng phần mềm Coolpack. Sau đó, thông số cơ bản của chu trình được sử dụng để tính toán chu trình hoán cải với mức độ tận dụng nhiệt khác nhau trên phần mềm EES (Engineering Equation Solver).

Từ khóa: Chu trình lạnh nén hơi, điều hòa năng lượng mặt trời, Hệ số làm lạnh (COP).

Abstract

The paper introduces modelling of hybrid single-stage vapor-compression refrigeration cycle for air-conditioning with a heat addition process to reduce compression work by utilizing low quality heat source such as solar energy. Traditional cycle was formulated by using Coolpack. Then, outputs of the cycle were used for modelling of the hybrid cycle on Engineering Equation Solver (EES).

Keywords: Vapor-compression refrigeration cycle, Hybrid solar vapor-compression refrigeration cycle, Coefficient of Performance (COP).

1. Đặt vấn đề

Điều hòa nhiệt độ ngày càng được ứng dụng rộng rãi cùng với sự phát triển của công nghệ và nhu cầu ngày càng tăng về tiện nghi cho con người. Tùy theo phạm vi ứng dụng, hệ thống điều hòa nhiệt độ có thể được thiết kế khác nhau. Những ứng dụng lớn ở các nhà máy, trung tâm thương mại thường áp dụng các hệ thống điều hòa trung tâm hay hệ thống điều hòa gián tiếp (chiller). Những tòa nhà nhỏ hay hộ gia đình thì thường sử dụng các máy điều hòa độc lập. Phổ biến nhất hiện nay là các hệ thống gồm dàn nóng và dàn lạnh độc lập (split-type).

Vấn đề lớn nhất đối với việc trang bị điều hòa nhiệt độ là chi phí năng lượng. Ví dụ, ở Việt Nam, khi mà giá thành các máy điều hòa gia dụng chỉ khoảng từ 6-10 triệu đồng thì hầu hết các hộ dân đều có khả năng đầu tư. Việc sử dụng điều hòa nhiệt độ với chi phí điện năng hàng tháng tăng thêm cả triệu đồng là vấn đề mà nhiều gia đình phải cân nhắc. Nhiệt độ môi trường (hay cường độ bức xạ mặt trời) tỷ lệ thuận với chi phí năng lượng cho điều hòa nhiệt độ. Vì vậy, việc nghiên cứu tận dụng một phần năng lượng mặt trời cho điều hòa nhiệt độ có ý nghĩa to lớn và được nhiều nhà khoa học quan tâm. Hiện đã có nhiều nghiên cứu về vấn đề này như các hệ thống điều hòa theo nguyên lý hấp thụ hay sử dụng pin mặt trời phát điện. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu còn khá hạn chế và chưa được ứng dụng rộng rãi do chi phí đầu tư cũng như hiệu suất tận dụng năng lượng thấp. Việt Nam nằm ở vùng khí hậu nhiệt đới, nên nhu cầu sử dụng điều hòa nhiệt độ rất lớn. Vì vậy, nếu các giải pháp tận dụng nguồn năng lượng chất lượng thấp như năng lượng mặt trời được nghiên cứu thành công thì sẽ mang lại lợi ích to lớn.

2. Mô hình hệ thống điều hòa hybrid với quá trình cấp nhiệt đẳng tích

2.1. Chu trình lạnh nén hơi truyền thống

Chu trình lạnh nén hơi truyền thống được biểu diễn trên đồ thị $\log(P-h)$ và đồ thị $T-s$ như ở Hình 1, với các quá trình như sau:

1-2: Quá trình nén thực tế (1-2s là quá trình nén đoạn nhiệt);

2-3: Quá trình ngưng tụ tại dàn ngưng;

3-4: Quá trình tiết lưu tại van tiết lưu;

4-1: Quá trình nhận nhiệt tại dàn bay hơi.

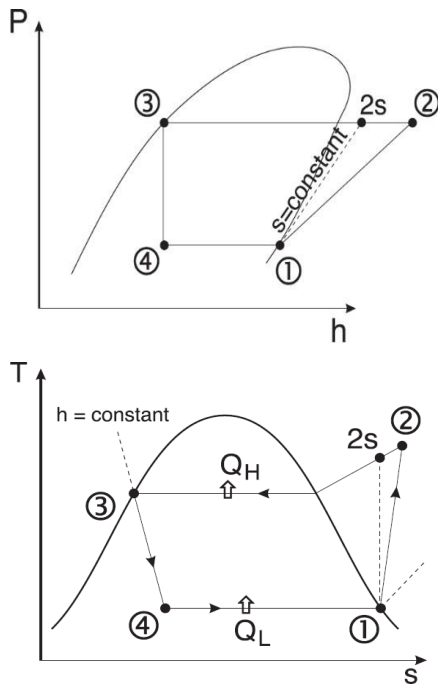
Các thông số cơ bản của chu trình được xác định theo các công thức sau [4].

Công suất làm lạnh đơn vị:

$$q_L = h_1 - h_4 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (1)$$

Công suất tiêu thụ đơn vị của máy nén:

$$w_c = h_2 - h_1 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (2)$$



Hình 1. Chu trình lạnh nén hơi truyền thống

Công suất thải nhiệt đơn vị ở dàn ngưng tụ:

$$q_H = h_2 - h_3 \text{ [kJ/kg]} \quad (3)$$

Hệ số làm lạnh:

$$COP = \frac{Q_L}{W_c} \quad (4)$$

Trong đó h_1 và h_2 là enthalpy của môi chất lạnh tại đầu vào và đầu ra của máy nén, h_3 là enthalpy của môi chất lạnh tại đầu ra dàn ngưng và h_4 là enthalpy tại đầu vào của dàn bay hơi.

Hiệu suất đoạn nhiệt của máy nén [5]:

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

Trong đó h_{2s} là entalpy tại đầu ra của máy nén với quá trình nén là đoạn nhiệt thuận nghịch.

Áp dụng tính toán chu trình lạnh trên phần mềm Coolpack với các thông số đầu vào lấy từ một mẫu máy điều hòa nhiệt độ Hãng Daikin như ở Bảng 1. Giá thiết nhiệt độ môi trường là 35°C.

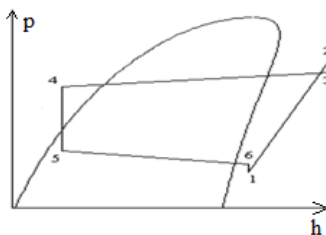
Kết quả tính toán chu trình được mô tả ở Bảng 2 và Hình 2.

Bảng 1. Thông số đầu vào tính toán chu trình máy lạnh gia dụng

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Tên máy	FTC25NV1V/RC25NV1V	Nhiệt độ bay hơi	3°C
Công suất lạnh	2,637kW (9000Btu/h)	Nhiệt độ ngưng tụ	44°C
Môi chất lạnh	R22	Độ quá nhiệt dàn lạnh	1 độ
Hiệu suất thể tích	0,8	Độ quá lạnh dàn ngưng	1 độ
Hiệu suất đoạn nhiệt	0,85	Tổng sệt áp	0,25 bar

Bảng 2. Kết quả tính chu trình lạnh nén hơi máy điều hòa nhiệt độ

Điểm	t [°C]	P [bar]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg.K]
1	3,85	5,43	0,043576	407,184	1,7510
2	69,43	16,94	0,016064	440,778	1,7658
3	69,35	16,88	0,016117	440,778	1,7660
4	42,87	16,84	-	253,515	-
5	-	5,53	-	253,515	-
6	4,00	5,48	0,043154	407,184	1,7502



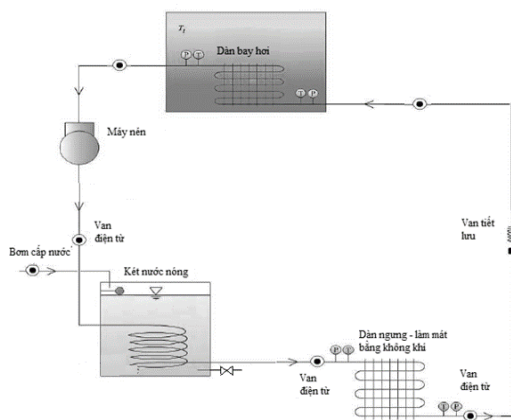
Hình 2. Chu trình lạnh máy điều hòa truyền thống trên Coolpack

2.2. Chu trình lạnh hoá hơi cải

Nhằm tận dụng năng lượng từ nguồn chất lượng thấp, thực hiện hoá hơi cải chu trình truyền thống bằng cách bổ sung bộ trao đổi nhiệt giữa môi chất và nước nóng trong két đặt trước hoặc sau máy nén. Hệ thống hoá hơi cải với két nước nóng đặt sau máy nén như ở Hình 3.

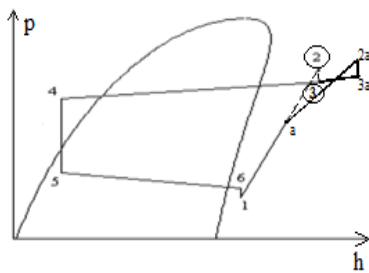
Bảng 3. Kết quả tính chu trình lạnh điều hòa hoá cái

STT	Nhiệt độ trước dàn ngưng $T_{2a}[^{\circ}\text{C}]$	Nhiệt độ sau máy nén $T_a[^{\circ}\text{C}]$	Áp suất sau máy nén $P_a[\text{bar}]$	Enthapy sau máy nén $h_a[\text{kJ/kg}]$	Công suất nén riêng chu trình gốc $w_c[\text{kJ/kg}]$	Công suất nén riêng chu trình hoá cái $w_{ca}[\text{kJ/kg}]$	COP_a	Năng lượng tiết kiệm $\eta_a [\%]$
1	75	64,67	15,81	438,3	33,99	31,42	4,88	7,56
2	80	63,01	15,39	437,4	33,99	30,59	5,01	10,01
3	85	61,44	14,99	436,6	33,99	29,79	5,15	12,34
4	90	59,94	14,63	435,9	33,99	29,04	5,28	14,57
5	95	58,50	14,28	435,2	33,99	28,31	5,42	16,70



Hình 3. Sơ đồ chu trình lạnh hoá cái

Chu trình hoá cái được biểu diễn trên đồ thị $\log(P-h)$ như trên Hình 4.



Hình 4. Chu trình hoá cái với quá trình cấp nhiệt sau máy nén

Ngoài quá trình nén thông thường, môi chất còn thực hiện quá trình nhận nhiệt đẳng tích để tăng nhiệt độ và áp suất trước khi được đưa đến dàn ngưng tụ. Nước nóng trong két có thể lấy từ bộ hâm năng lượng ngày trời nắng, các bộ hâm năng lượng mặt trời dân dụng trên thị trường có thể cung cấp nhiệt độ khoảng 95-98 $^{\circ}\text{C}$. Trạng thái điểm a của chu trình được xác định thông qua 2 quá trình: quá trình nén thực trong máy nén 1- a và quá trình cấp nhiệt đẳng tích a - $2a$.

Thực hiện tính toán mô phỏng với điều kiện nhiệt độ cuối quá trình cấp nhiệt thay đổi từ 75-95 $^{\circ}\text{C}$, áp suất ngưng tụ không thay đổi so với với chu trình nguyên thủy. Thông số trạng thái của chu trình hoá cái được xác định như dưới đây.

Các thông số trạng thái ở điểm $2a$, được ký hiệu chung là ϕ_{2a} và được xác định theo quan hệ sau:

$$\phi_{2a} = f(p_{2a} = p_2; T_{2a} = 75^{\circ}\text{C} \dots 95^{\circ}\text{C}) \quad (6)$$

Tương tự với điểm a :

$$\phi_a = f(\eta_c; s_{as}; v_a = v_{2a}) \quad (7)$$

Công suất tiêu thụ riêng của máy nén, kJ/kg:

$$w_{ca} = h_a - h_1 \quad (8)$$

Chỉ số sử dụng năng lượng hiệu quả:

$$COP_a = \frac{h_6 - h_5}{h_a - h_1} \quad (9)$$

Năng lượng tiết kiệm của máy nén, %:

$$\eta_a = \left(1 - \frac{w_{ca}}{w_c}\right) \cdot 100\% \quad (10)$$

3. Kết quả và thảo luận

Nhằm đánh giá mức độ cải thiện năng lượng, tiến hành tính toán và so sánh giữa chu trình hoá cái và chu trình truyền thống. Thực hiện việc tính toán với áp suất bình ngưng giống như chu trình nguyên thủy (17bar) và nhiệt độ trước bình ngưng thay đổi từ 75-95 $^{\circ}\text{C}$ trên phần mềm EES theo các công thức từ (6) đến (10). Kết quả tính toán như trong Bảng 3:

Đễ thấy, khi tăng nhiệt độ nước trong két nước nóng thì công nén giảm dần, hệ số làm lạnh (COP) tăng dần và đạt đến giá trị 5,42 ở nhiệt độ 95 $^{\circ}\text{C}$, còn hệ số tiết kiệm năng lượng so với chu trình nguyên thủy tăng dần. Mức độ tiết kiệm năng lượng đạt tối đa là 16,7% ở nhiệt độ 95 $^{\circ}\text{C}$. Hiệu quả tận dụng nhiệt càng tăng khi nhiệt độ nguồn nhiệt tăng.

Rõ ràng, việc cung cấp thêm một quá trình cấp nhiệt đã làm tăng nhiệt độ và áp suất của môi chất so với trước khi ra khỏi máy nén. Nhờ vậy mà công suất tiêu thụ cho máy nén giảm đi. Tuy nhiên, để đạt được áp suất ngưng tụ không đổi, quá trình cấp nhiệt đẳng tích đã làm nhiệt độ môi chất trước dàn ngưng tụ tăng cao hơn so với chu trình nguyên thủy. Điều này có nghĩa là cần phải thực hiện quá trình ngưng tụ hiệu quả hơn để đảm bảo thông số của môi chất sau dàn ngưng trở lại giống như đối với chu trình nguyên thủy.

4. Kết luận

Việc nghiên cứu tận dụng những nguồn năng lượng có chất lượng thấp, có khả năng tái tạo như năng lượng mặt trời là xu hướng tất yếu. Nhiều nghiên cứu hiện nay hướng đến sử dụng năng lượng mặt trời cho điều hòa nhiệt độ bằng chu trình lạnh hấp thụ hay sử dụng tấm pin mặt trời kết hợp ắc quy để vận hành máy nén. Hướng tận dụng trực tiếp năng lượng nhiệt từ mặt trời chưa có nhiều nghiên cứu, cả trong nước và trên thế giới. Kết quả tính toán lý thuyết cho thấy khả năng tiết kiệm trên 15% với nhiệt tạo ra các bộ hâm năng lượng mặt trời dân dụng. Trước khi tiến hành nghiên cứu thực nghiệm, cần tiếp tục giải quyết các nhiệm vụ sau:

- Nghiên cứu tính toán bộ trao đổi nhiệt dạng ống cho quá trình cấp nhiệt trong két nước nóng;

- Tính chọn dàn ngưng tụ phù hợp khi nhiệt độ của môi chất sau quá trình nén cao hơn so với chu trình nguyên thủy nhằm đảm bảo nhiệt độ môi chất sau dàn ngưng tụ tương đương như đối với chu trình nguyên thủy;

- Nghiên cứu hệ thống tự động điều chỉnh máy nén nhằm duy trì áp suất môi chất trước dàn ngưng tụ không đổi khi nhiệt độ nguồn nhiệt năng lượng mặt trời thay đổi.

Ngoài ra, để có thể áp dụng vào thực tiễn, cần nghiên cứu mức độ bức xạ mặt trời theo từng địa

phương để có thể đánh giá tổng thể các chỉ tiêu kỹ thuật, kinh tế của phương án. Dễ thấy, giải pháp tận dụng năng lượng mặt trời là phù hợp nhất cho các ứng dụng điều hòa nhiệt độ cho công sở, trường học - nơi mà nhu cầu sử dụng năng lượng điều hòa chủ yếu vào thời gian có bức xạ mặt trời cao. Giải pháp cũng hiệu quả hơn với các vùng có cường độ bức xạ mặt trời ổn định trong năm như miền Trung và miền Nam Việt Nam.

Lời cảm ơn

Bài báo này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường năm học 2019-2020, tên đề tài: “Nghiên cứu tính toán hệ thống điều hòa không khí sử dụng kết hợp nguồn năng lượng có chất lượng thấp”, được hỗ trợ kinh phí bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Xuân Hòa, *Giáo trình Kỹ thuật lạnh*, NXB Đại học Sư phạm kỹ thuật TPHCM, 2007.
- [2] M. Khalaji Assadi, S. I. Gilani and T. C. Jun Yen, *Design a solar hybrid air conditioning compressor system*, MATEC Web of Conferences, 2016.
- [3] Kaidir, Mulyanef and Burmawi, *Performance study on a solar hybrid air-conditioning system for residential water heating*, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) Volume 8, Issue 10, October 2017.
- [4] Shan K. Wang, *Handbook of Air-Conditioning and Refrigeration, second edition*, McGraw-Hill, 2001.
- [5] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, *Thermodynamisc: An engineering approach, Eighth Edition*, McGraw Hill, 2015.

Ngày nhận bài:	21/04/2020
Ngày nhận bản sửa:	18/05/2020
Ngày duyệt đăng:	25/05/2020