

ẢNH HƯỞNG NGUỒN NHIỆT, NHIỆT ĐỘ NGUỒN NHIỆT ĐẾN KHẢ NĂNG HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY LẠNH HẤP THỤ SỬ DỤNG CẶP MÔI CHẤT H₂O/LiBr

THE INFLUENCE OF HEAT SOURCE AND HEAT SOURCE TEMPERATURE ON THE OPERATING PERFORMANCE OF ABSORPTION CHILLERS USING H₂O/LiBr REFRIGERANT PAIR

Đặng Trần Thọ, Đặng Văn An

Viện Khoa học và Công nghệ nhiệt - lạnh, Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài: 19/06/2023, Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2023, Phản biện: PGS.TS Nguyễn Minh Phú

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, đánh giá bằng thực nghiệm ảnh hưởng của nguồn nhiệt, nhiệt độ nguồn nhiệt đến thời gian, hiệu quả làm lạnh của máy lạnh hấp thụ. Quá trình nghiên cứu được tiến hành trên mô hình thực nghiệm máy lạnh hấp thụ H₂O/LiBr sử dụng năng lượng mặt trời với các chế độ thực nghiệm có nhiệt độ nguồn nhiệt khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt độ nguồn nhiệt có ảnh hưởng lớn hiệu quả và tốc độ làm lạnh của máy lạnh hấp thụ, cụ thể nhiệt độ nguồn nhiệt thấp làm giảm hiệu suất làm lạnh, thời gian làm lạnh và nhiệt độ bay hơi của môi chất lạnh cao hơn nhiệt độ bay hơi thiết kế khoảng 2-3°C. Nhiệt độ nguồn nhiệt cao khiến tốc độ làm lạnh và nhiệt độ bay hơi được cải thiện phù hợp với tính toán thiết kế tuy nhiên áp suất trong hệ thống duy trì ở mức cao. Việc sử dụng năng lượng mặt trời để làm lạnh trực tiếp là hoàn toàn có cơ sở.

Từ khóa:

Máy lạnh hấp thụ, cặp môi chất, năng lượng mặt trời, H₂O/LiBr.

Abstract:

The article presents the results of an experimental study that investigates the impact of heat source and heat source temperature on the operational characteristics of a solar-driven absorption refrigeration system. The research was conducted on an experimental model of a solar-powered H₂O/LiBr absorption chiller under different heat source temperature conditions. The research findings reveal that the heat source temperature exerts a substantial influence on the cooling performance and efficiency of the absorption refrigeration system. Specifically, lower heat source temperatures result in decreased cooling capacity, longer cooling duration, and higher evaporator outlet temperatures, exceeding the design evaporator temperature by approximately 2-3°C. Conversely, higher heat source temperatures enhance the cooling rate and lower the evaporator outlet temperature, aligning them more closely with the design specifications. However, this comes at the expense of maintaining higher system pressures. The utilization of solar energy as a direct cooling source demonstrates a strong scientific foundation.

Keywords:

Absorption chillers, refrigerant pair, solar energy, H₂O/LiBr.

KÝ HIỆU:

t – Nhiệt độ;

P – Áp suất;

Q – Công suất;

BHT – Bình hấp thụ;

BSH – Bình sinh hơi;

TLMC – Tiết lưu môi chất;

DBH – Dàn bay hơi;

CĐ – Chế độ.

CHỈ SỐ

ht – Hấp thụ;

sh – Sinh hơi;

bl – Buồng lạnh;

gn – Gia nhiệt;

mt – Môi trường.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Tổng quan

Máy lạnh hấp thụ là một loại máy lạnh sử dụng năng lượng dưới dạng nhiệt năng từ các nguồn nhiệt cấp để làm lạnh và điều hòa không khí [1]. Máy lạnh hấp thụ có nhiều ưu điểm trong việc tận dụng các dạng năng lượng dư thừa hoặc năng lượng tái tạo. Tuy nhiên, máy lạnh hấp thụ tồn tại một số nhược điểm trong đó có sự ảnh hưởng của các yếu tố đến hiệu suất vận hành. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của máy lạnh hấp thụ có thể kể đến như: nguồn nhiệt cấp, nhiệt độ nguồn nhiệt cấp, áp suất, độ chân không, nồng độ cặp môi chất sử dụng... Việc đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đến hiệu quả làm việc của máy lạnh hấp thụ là cần thiết nhằm xác định chế độ vận hành hợp lý

cho hệ thống. Tuy nhiên hiện nay tại Việt Nam và trên thế giới chưa có nhiều công trình tập trung phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hoạt động của máy lạnh hấp thụ $H_2O/LiBr$. Một số nghiên cứu cũng chỉ ra các yếu tố ảnh hưởng đến máy lạnh hấp thụ $H_2O/LiBr$ mà đặc biệt là ảnh hưởng của các đại lượng nhiệt độ. Boonrit Prasartkaew [2] chỉ ra rằng nhiệt độ nguồn nhiệt ảnh hưởng đến nhiệt độ bay hơi và nhiệt độ không gian làm mát, tài liệu cũng chỉ ra với nhiệt độ nguồn nhiệt là $80^\circ C$, hiệu suất làm việc của máy lạnh đạt tối ưu. Nguyễn Thành Văn, Trần Văn Vang [3] cũng đánh giá nhiệt độ nguồn nhiệt thay đổi khiến năng suất lạnh Q_o thay đổi do lưu lượng môi chất lạnh bị ảnh hưởng và một số nghiên cứu khác cũng đánh giá hiệu quả của máy lạnh hấp thụ có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên trong và bên ngoài hệ thống. Tuy nhiên, các nghiên cứu chủ yếu tính toán, thiết kế và vận hành máy lạnh hấp thụ [4], các ảnh hưởng được nhắc đến hầu hết là hệ quả từ quá trình vận hành nhưng không được tập trung phân tích đánh giá sâu hoặc là các tính toán dựa trên lý thuyết.

Nghiên cứu lý thuyết các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả làm lạnh của máy lạnh hấp thụ là không mới, nhưng nghiên cứu thực nghiệm trong điều kiện khí hậu Việt Nam và đặc biệt là nghiên cứu thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng là khá phức tạp, khó khăn do hạn chế về thiết bị, điều kiện nghiên cứu và yếu tố ảnh hưởng đến máy lạnh hấp thụ khá nhiều [5]. Vì vậy, trong nghiên cứu này nhóm nghiên cứu chỉ tập trung đánh giá ảnh hưởng của

hiệu suất nguồn nhiệt, nguồn nhiệt từ năng lượng mặt trời đến hiệu quả làm việc và khả năng vận hành của máy lạnh hấp thụ.

1.2. Mục đích

Khảo sát, đánh giá bằng thực nghiệm ảnh hưởng của nhiệt độ nguồn nhiệt, nguồn nhiệt đến hiệu quả làm lạnh và tốc độ làm lạnh của máy lạnh hấp thụ sử dụng năng lượng mặt trời dùng cặp môi chất H₂O/LiBr trong điều kiện khí hậu ở Việt Nam.

Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần xây dựng cơ sở dữ liệu cho việc lựa chọn nguồn nhiệt, dải nhiệt độ, chế độ làm việc và hiệu quả sử dụng năng lượng khi vận hành các hệ thống máy lạnh hấp thụ sử dụng cặp môi chất H₂O/LiBr tại Việt Nam.

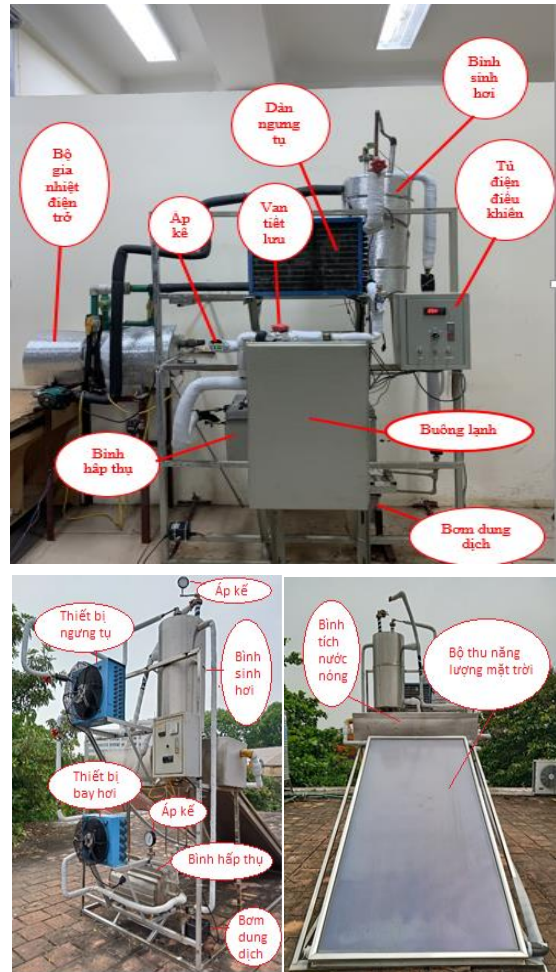
1.3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện qua việc khảo sát, đánh giá bằng thực nghiệm ảnh hưởng của nhiệt độ nguồn nhiệt, nguồn nhiệt năng lượng mặt trời trên mô hình máy lạnh hấp thụ H₂O/LiBr sử dụng năng lượng mặt trời đến khả năng làm lạnh, tốc độ làm lạnh và hiệu quả làm lạnh. Kết quả khảo sát, đo đạc thực nghiệm sẽ được tổng hợp, phân tích, đánh giá cụ thể ảnh hưởng của các yếu tố nghiên cứu đến hiệu quả vận hành của máy lạnh hấp thụ và khả năng sử dụng năng lượng mặt trời trong lĩnh vực điều hòa không khí.

2. GIỚI THIỆU MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

Quá trình khảo sát, đo đạc thực nghiệm được thực hiện trên mô hình máy lạnh hấp

thụ sử dụng năng lượng mặt trời, dùng cặp môi chất H₂O/LiBr. Hình ảnh mô hình thực nghiệm được trình bày trên Hình 1.



Hình 1. Mô hình thực nghiệm

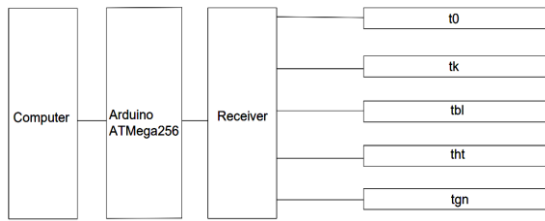
Cấu tạo của mô hình:

Trên Hình 1, mô hình thực nghiệm máy lạnh hấp thụ sử dụng năng lượng mặt trời, dùng cặp môi chất H₂O/LiBr gồm các bộ phận sau:

- + Bình sinh hơi;
- + Bình hấp thụ;
- + Bộ dung dịch;

- + Dàn ngưng tụ;
- + Buồng lạnh chứa dàn bay hơi;
- + Bộ gia nhiệt điện trở;
- + Tủ điện điều khiển, van tiết lưu.

Các thiết bị đo thông số áp suất, nhiệt độ của mô hình bao gồm các cảm biến nhiệt độ và cảm biến áp suất có độ chính xác cao được kết nối, lập trình xuất kết quả tự động ra máy tính để thuận tiện cho việc thu thập số liệu, đánh giá mô hình. Sơ đồ thiết bị đo đặc thu thập dữ liệu về nhiệt độ được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý thiết bị thu thập dữ liệu

Trong đó: t_0 – nhiệt độ bay hơi; t_k – nhiệt độ ngưng tụ; t_{bl} – nhiệt độ buồng lạnh, t_{ht} – nhiệt độ bình hấp thụ; t_{gn} – nhiệt độ gia nhiệt; Receiver – bộ thu thập tín hiệu; Arduino ATmega256 – Bộ xử lý xuất tín hiệu; Computer – máy tính ghi dữ liệu đo đạc.

Ngoài ra, trên hệ thống còn được bố trí 2 áp kế điện tử để đo đạc giám sát áp suất ngưng tụ, áp suất bay hơi trong qua trình vận hành thiết bị.

Nguyên lý hoạt động:

Nguồn nhiệt (nước được gia nhiệt bằng năng lượng mặt trời hoặc bộ gia nhiệt điện trở) thông qua thiết bị trao đổi nhiệt cấp nhiệt cho dung dịch $H_2O/LiBr$ loãng

trong bình sinh hơi. Môi chất lạnh là hơi nước sinh ra bay lên dàn ngưng tụ ở phía trên, truyền nhiệt cho nước làm mát và ngưng tụ lại thành nước. Nước sau khi ngưng tụ ở dàn ngưng sẽ chảy về bình chứa. Khi có nhu cầu sử dụng, van sẽ mở cho nước trong bình chứa chảy qua hồi nhiệt, tiết lưu để giảm áp rồi chảy xuống dàn bay hơi. Tại đây, nhờ áp suất thấp, nước bay hơi sinh lạnh. Hơi nước sinh ra sẽ được dung dịch đậm đặc hấp thụ ở bộ phận hấp thụ. Nhiệt tỏa ra do hấp thụ (hay ngưng tụ tại áp suất thấp) sẽ tỏa ra môi trường. Sau khi hấp thụ hơi nước, dung dịch trở thành dung dịch loãng và được bơm dung dịch bơm lên bình sinh hơi tiếp tục vòng tuần hoàn.

Thông số kỹ thuật của mô hình:

Mô hình thực nghiệm được chế tạo và vận hành ổn định với nguồn nhiệt cấp từ năng lượng mặt trời cũng như nguồn nhiệt từ bộ gia nhiệt điện trở trong phòng thí nghiệm với các thông số kỹ thuật như sau:

- + Cấp môi chất sử dụng: $H_2O/LiBr$;
- + Công suất lạnh: 3,5 kW;
- + Nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 42^\circ C$;
- + Nhiệt độ bay hơi $t_0 = 6^\circ C$.

Quy trình đo đạc thực nghiệm :

Quy trình thực nghiệm mô hình được thực hiện như sau:

1. Kiểm tra để đảm bảo mô hình đã sẵn sàng hoạt động, khóa các van chặn, van tiết lưu.
2. Kết nối máy tính, kết nối các đường truyền cảm biến, khởi động phần mềm

giám sát, bắt đầu thu thập dữ liệu.

3. Khởi động bộ cấp nhiệt cho bình sinh hơi.

4. Khi nhiệt độ nguồn nhiệt cấp đạt yêu cầu thực nghiệm, khởi động bơm dung dịch, mở van cho dung dịch đi vào bình sinh hơi.

5. Quan sát mắt gas, khi môi chất lạnh bắt đầu ngưng tụ, mở van tiết lưu môi chất, mở van tiết lưu dung dịch, điều chỉnh để áp suất tại bình sinh hơi, bình hấp thụ đạt thông số kỹ thuật yêu cầu.

6. Khởi động bộ làm mát bình hấp thụ.

7. Quan sát, theo dõi hoạt động của mô hình, điều chỉnh độ mở van khi cần thiết để hệ thống hoạt động ổn định.

8. Kết thúc thử nghiệm, dừng máy theo thứ tự ngược lại.

9. Truy xuất kết quả đo đạc thử nghiệm và xử lý số liệu thí nghiệm.

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

3.1. Các chế độ vận hành thực nghiệm

Với mục đích nghiên cứu, đánh giá khả năng ứng dụng năng lượng mặt trời và ảnh hưởng của nhiệt độ nguồn nhiệt cấp đến hiệu quả hoạt động của máy lạnh hấp thụ dùng cặp môi chất $H_2O/LiBr$, đã xây dựng các chế độ thực nghiệm như sau:

- Các chế độ thực nghiệm có kể đến điều kiện môi trường, bức xạ mặt trời đến khả năng ứng dụng nguồn nhiệt từ năng lượng mặt trời ứng dụng cho máy lạnh hấp thụ sử dụng cặp môi chất $H_2O/LiBr$;

- Các chế độ thực nghiệm có giá trị nhiệt độ nguồn nhiệt thay đổi từ $80-90^{\circ}C$ phù hợp với nguồn nhiệt từ năng lượng mặt trời đến hiệu quả làm việc của máy lạnh hấp thụ sử dụng cặp môi chất $H_2O/LiBr$ [6]. Các chế độ thực nghiệm có nhiệt độ nguồn nhiệt khác nhau được trình bày trên Bảng 1.

Bảng 1. Bảng các chế độ vận hành thực nghiệm

STT	Chế độ	Nồng độ dung dịch		Nhiệt độ nguồn gia nhiệt [$^{\circ}C$]
		Loãng [%]	Đậm đặc [%]	
1	01	56	60	80
2	02	56	60	85
3	03	56	60	90

3.2. Đánh giá sai số

Trong quá trình đo đạc thực nghiệm, kết quả thực nghiệm thu được luôn luôn tồn tại các sai số do nhiều nguyên nhân khác nhau. Đánh giá độ chính xác của kết quả đo là vấn đề hết sức khó khăn. Điều này chỉ có thể thực hiện được bằng cách so sánh các kết quả đo được với các kết quả chuẩn có sẵn. Tuy nhiên, không phải lúc nào chúng ta cũng có sẵn các kết quả chuẩn để so sánh, nhất là trong các thí nghiệm mới. Vì vậy, độ chính xác của kết quả đo ở đây sẽ được đánh giá qua các chỉ tiêu sau:

- Độ chính xác của phương pháp đo;
- Độ chính xác của thiết bị đo;
- Các sai số ngẫu nhiên trong thực nghiệm.

Phương pháp đo ở đây là xác định giá trị biến đổi về chất của môi chất trong quá trình trao đổi nhiệt, cụ thể là nhiệt độ. Về lý thuyết, với hệ đoạn nhiệt thuận nghịch thì các lượng biến đổi này là cân bằng. Trong thực tế hệ đang xét không phải là hệ đoạn nhiệt, nên sẽ xuất hiện sai số giữa các đại lượng khi tính cân bằng. Vì vậy, không thể sử dụng sai số này để làm sai số của kết quả thực nghiệm.

Các thiết bị đo nhiệt độ luôn có sai số [7]. Thông thường, sai số của thiết bị đo được nhà sản xuất công bố. Để hạn chế sai số từ thiết bị đo, các cảm biến sử dụng trên mô hình thực nghiệm đều đã được kiểm chuẩn trước khi sử dụng để hạn chế tối đa sai số có thể gặp phải.

Trong quá trình đo đạc, những sai số mà không thể tránh khỏi gây bởi sự không chính xác tất yếu do các nhân tố hoàn toàn ngẫu nhiên được gọi là sai số ngẫu nhiên. Sự xuất hiện mỗi sai số ngẫu nhiên riêng biệt không có quy luật. Nguyên nhân gây sai số ngẫu nhiên là do sự biến đổi rất nhỏ thuộc rất nhiều mặt không có liên quan đến nhau xảy ra trong khi đo lường mà ta không có cách nào tránh được. Để hạn chế sai số này thì việc thực hiện nghiên cứu thực nghiệm đúng quy trình, mặt khác điều kiện môi trường thực nghiệm trong các lượt đo đạc có thể không hoàn toàn như nhau, nên các kết quả thực nghiệm thu được cũng có thể sai khác nhau. Vì vậy, mỗi chế độ thí nghiệm sẽ được tiến hành nhiều lần và kết quả thực nghiệm sẽ là giá trị trung bình của các lần đo, để hạn chế sai số ngẫu nhiên này.

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

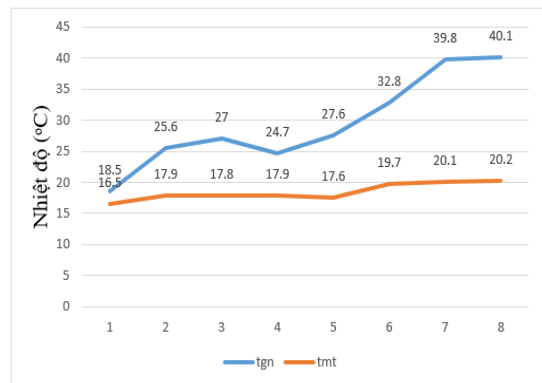
4.1. Thực nghiệm đánh giá nguồn năng lượng mặt trời

Với nguồn nhiệt cấp từ bộ thu năng lượng mặt trời, trong các điều kiện môi trường có nhiệt độ dưới 20°C, từ 20-30°C và trên 30°C, nhiệt độ nước gia nhiệt cấp cho mô hình thực nghiệm máy lạnh hấp thụ sử dụng năng lượng mặt trời được trình bày trong Bảng 2. Thực nghiệm nguồn nhiệt từ năng lượng mặt trời được thí nghiệm tại Đại học Bách khoa Hà Nội từ tháng 12/2021-9/2022.

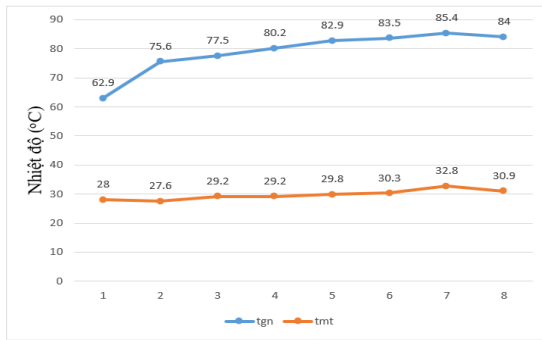
Bảng 2. Nhiệt độ nước cấp gia nhiệt

STT	Nhiệt độ môi trường [°C]	Nhiệt độ nguồn nhiệt [°C]		
		CĐ1	CĐ2	CĐ3
1	< 20	~ 40	~ 40	~ 39
2	20-30	~ 85	~ 83	~ 84
3	> 30	~ 93	~ 92	~ 93

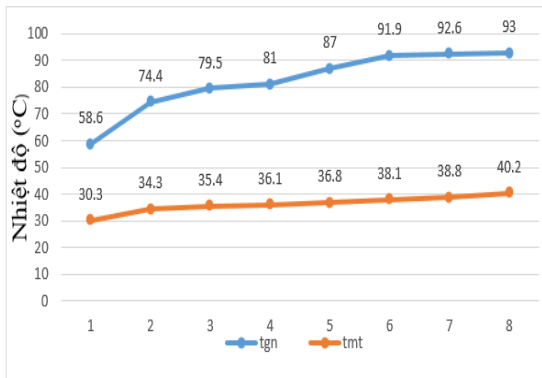
Biến thiên nhiệt độ theo thời gian của 3 chế độ trên được trình bày trong Hình 3, Hình 4, Hình 5 như sau:



Hình 3. Biến thiên nhiệt độ nước khi t_{mt} dưới 20°C



Hình 4. Biến thiên nhiệt độ nước khi t_{mt} từ 20 – 30°C



Hình 5. Biến thiên nhiệt độ nước khi $t_{mt} > 30^\circ\text{C}$

Từ kết quả thực nghiệm ở trong Bảng 2 và đồ thị Hình 3, Hình 4 và Hình 5 cho thấy:

- Khi nhiệt độ môi trường $< 20^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước gia nhiệt thu được cao nhất khoảng gần 40°C . Không đủ đáp ứng hoạt động của điều hòa không khí sử dụng năng lượng mặt trời do nhiệt độ tối thiểu của nguồn nhiệt cấp cho máy lạnh hấp thụ $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ là 80°C .

- Khi nhiệt độ môi trường giao động từ $20\text{-}30^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước gia nhiệt thu được khá cao, nhiệt độ nước gia nhiệt thu được đạt $80,2^\circ\text{C}$ sau 100 phút vận hành và dao động quanh ngưỡng $83\text{-}85^\circ\text{C}$ sau 120 phút. Với nhiệt độ nguồn nhiệt này đã có

thể đáp ứng cho máy lạnh hấp thụ làm việc.

- Khi nhiệt độ môi trường $> 30^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước gia nhiệt đạt 80°C sau 80 phút vận hành và dao động ở mức trên 90°C , duy trì ổn định sau 120 phút, với nhiệt độ nguồn nhiệt $> 90^\circ\text{C}$ hoàn toàn đảm bảo cung cấp năng lượng cho máy lạnh hấp thụ hoạt động.

4.2. Thực nghiệm với giá trị nhiệt độ nguồn nhiệt khác nhau

Từ kết quả thực nghiệm mô hình với nguồn nhiệt thu được từ năng lượng mặt trời, đã tiến hành đánh giá bằng thực nghiệm ảnh hưởng của nhiệt độ nguồn nhiệt đến thời gian và hiệu quả hoạt động của mô hình máy lạnh hấp thụ với 3 chế độ thực nghiệm đã trình bày trong Bảng 1. Kết quả thực nghiệm ảnh hưởng của nhiệt độ nguồn nhiệt tới thời gian và hiệu quả của máy lạnh hấp thụ sử dụng cặp môi chất $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ cụ thể như sau:

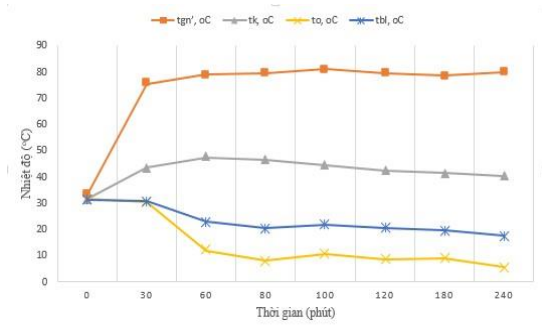
4.2.1. Thực nghiệm chế độ 01

Kết quả đo đạc, thực nghiệm với chế độ thực nghiệm có giá trị nhiệt độ nguồn nhiệt 80°C , được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả thực nghiệm chế độ 1

Thời gian	t_{gn} [°C]	t_k [°C]	t_o [°C]	t_{bl} [°C]	P_{sh} [kPa]	P_{ht} [kPa]
0	33,5	31,5	31,5	31,19	-100,8	-101,2
30	75,5	43,5	30,5	31	-92,6	-101,2
60	79	47,5	12	23,06	-90,3	-99,7
80	79,5	46,5	8	20,37	-90,9	-101,1
100	81	44,5	10,5	21,87	-92,2	-100,0
120	79,5	42,5	8,5	20,44	-92,9	-100,1
180	78,5	41,5	9	19,56	-93,4	-100,0
240	80	40,5	5,5	17,69	-93,8	-100,4

Từ kết quả thực nghiệm đã thu được trong Bảng 3, đã xây dựng đồ thị miêu tả sự biến thiên nhiệt độ của nhiệt độ nguồn gia nhiệt, nhiệt độ ngưng tụ, nhiệt độ bay hơi của môi chất và nhiệt độ trong buồng lạnh theo các thời gian trình bày trong hình 6.



Hình 6. Biến thiên các giá trị nhiệt độ theo thời gian khi nhiệt độ nguồn nhiệt bằng 80 °C.

Từ kết quả thực nghiệm với giá trị nguồn cấp nhiệt bằng 80°C được biểu diễn trên Bảng 3 và Hình 3 cho thấy:

- Nhiệt độ nước gia nhiệt tăng tuyến tính từ nhiệt độ môi trường đến nhiệt độ cài đặt sau 32 phút vận hành. Sau khi bật bơm dung dịch, nhiệt độ nước gia nhiệt giảm và dao động quanh ngưỡng 80°C với biên độ $\pm 2,5^\circ\text{C}$ do trao đổi nhiệt với dung dịch bơm lên từ bình hấp thụ và quán tính nhiệt, độ trễ của bộ điều khiển nhiệt độ.
- Nhiệt độ ngưng tụ t_k tăng nhanh lên 47,5°C sau đó giảm dần và dao động quanh ngưỡng 42°C.
- Nhiệt độ bay hơi giảm mạnh từ nhiệt độ môi trường xuống 12°C và tiếp tục giảm nhẹ dao động quanh ngưỡng 8-9°C, đặc biệt có lúc nhiệt độ bay hơi đạt đến 5,5°C nhưng không duy trì lâu và lại trả về ngưỡng trung bình 8°C sau 5-10 phút.

- Nhiệt độ buồng lạnh giảm dần từ nhiệt độ môi trường xuống 23,06°C và tiếp tục giảm nhẹ xuống mức 20°C sau đó dao động ổn định ở ngưỡng 21°C. Đặc biệt khi nhiệt độ bay hơi đạt 5,5 °C, thì nhiệt độ buồng lạnh giảm xuống đến 17°C sau đó ổn định ở giá trị nhiệt độ 21°C.

Như vậy với nhiệt độ nguồn nhiệt là 80°C, nhiệt độ bay hơi ổn định ở mức 8-9°C và nhiệt độ buồng đạt 21°C sau 80 phút hoạt động. Về lý thuyết, với chế độ này có thể hoàn toàn ứng dụng năng lượng mặt trời cho máy lạnh hấp thụ để làm mát không khí. Tuy nhiên, thiếu tính ổn định, cần nhiều thời gian để đạt được trạng thái ổn định.

4.2.2. Thực nghiệm chế độ 02

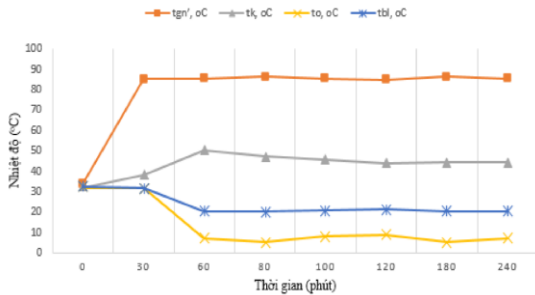
Khi thực nghiệm ở chế độ thí nghiệm 02, cụ thể, nhiệt độ nguồn nhiệt được khống chế dao động ở giá trị 85°C, kết quả thực nghiệm thu thập được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả thực nghiệm chế độ 2

Thời gian	t_{gn} [°C]	t_k [°C]	t_o [°C]	t_{bi} [°C]	P_{sh} [kPa]	P_{ht} [kPa]
0	33,5	32	32	32,06	-100,5	-101,1
30	85	38	31,5	31,5	-94,6	-101
60	85,5	50	7	20,5	-88,9	-100,1
80	86,5	47,5	5	20,06	-90,1	-100,3
100	85,5	45,5	8	20,75	-91,6	-100
120	84,5	44	8,5	21,12	-91,8	-100
180	86,5	44,5	5	20,19	-91,8	-100,4
240	85,5	44,5	7	20,25	-91,6	-100,2

Từ bảng kết quả thực nghiệm thu thập được trong Bảng 4, đã tiến hành xây dựng

đồ thị miêu tả sự biến thiên nhiệt độ của nhiệt độ nước gia nhiệt, nhiệt độ ngưng tụ, nhiệt độ bay hơi của môi chất và nhiệt độ không khí trong buồng lạnh theo thời gian được trình bày trên Hình 7.



Hình 7. Biến thiên các giá trị nhiệt độ theo thời gian khi nhiệt độ nguồn nhiệt bằng 85°C

Từ kết quả thực nghiệm với giá trị nguồn nhiệt bằng 85°C được biểu diễn trên Bảng 4 và Hình 4 cho thấy:

- Nhiệt độ nước gia nhiệt tăng tuyến tính từ nhiệt độ môi trường đến nhiệt độ cài đặt sau 30 phút vận hành. Sau khi bật bơm dung dịch, nhiệt độ nước gia nhiệt giảm và dao động quanh ngưỡng 85°C với biên độ $\pm 2,5^\circ\text{C}$ do trao đổi nhiệt với dung dịch bơm lên từ bình hấp thụ và quán tính nhiệt, độ trễ của bộ điều khiển nhiệt độ.
- Nhiệt độ ngưng tụ t_k tăng nhanh lên 50°C sau đó giảm dần và dao động quanh ngưỡng 44,5°C.
- Nhiệt độ bay hơi giảm mạnh từ nhiệt độ môi trường xuống 7°C và tiếp tục giảm nhẹ dao động quanh ngưỡng 5-8°C sau 60 phút vận hành.
- Nhiệt độ buồng lạnh giảm dần từ nhiệt độ môi trường xuống 20,5°C duy trì ổn định đến hết quá trình vận hành thiết bị.

Như vậy với nhiệt độ nguồn nhiệt là 85°C, nhiệt độ bay hơi ổn định ở mức 5-8°C và nhiệt độ buồng đạt 20,5°C sau 60 phút hoạt động. Về lý thuyết, với chế độ này có thể hoàn toàn ứng dụng năng lượng mặt trời cho máy lạnh hấp thụ để làm mát không khí. Tính ổn định cao hơn, cần ít thời gian để đạt được trạng thái ổn định hơn so với khi sử dụng nguồn nhiệt có nhiệt độ nước gia nhiệt là 80°C.

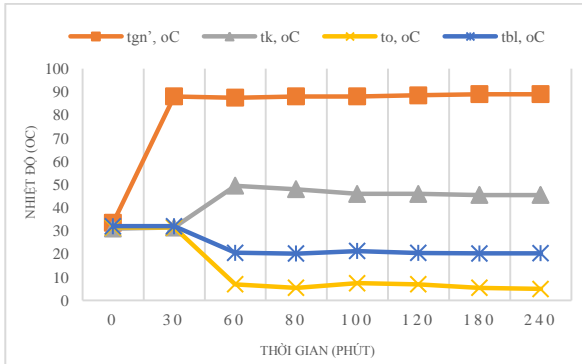
4.2.3. Kết quả thực nghiệm chế độ 03

Khi vận hành thực nghiệm mô hình ở chế độ thực nghiệm 03 với nhiệt độ nguồn nhiệt được ổn định dao động có giá trị 90°C, kết quả đo đạc thực nghiệm thu thập được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả thực nghiệm chế độ 3

Thời gian	t_{gn} [°C]	t_k [°C]	t_o [°C]	t_{bi} [°C]	P_{sh} [kPa]	P_{ht} [kPa]
0	33,5	31	31,5	32,08	-100,6	-101
30	88	31,5	31,5	32,08	-100,5	-101,1
60	87,5	49,5	7	20,56	-89,2	-100,2
80	88	48	5,5	20,25	-90,3	-100,4
100	88	46	7,5	21,37	-90,2	-100,0
120	88,5	46	7	20,5	-90,3	-100,1
180	89	45,5	5,5	20,31	-91,6	-100,4
240	89	45,5	5	20,37	-91,6	-100,5

Từ kết quả thực nghiệm thu được trong Bảng 5, đã tiến hành xây dựng đồ thị biểu diễn sự biến thiên nhiệt độ của nhiệt độ nước gia nhiệt, nhiệt độ ngưng tụ, nhiệt độ bay hơi của môi chất và nhiệt độ không khí trong buồng lạnh theo thời gian được trình bày trên hình 8.



Hình 8. Biến thiên các giá trị nhiệt độ theo thời gian khi nhiệt độ nguồn nhiệt bằng 90°C

Từ kết quả thực nghiệm khi giá trị nguồn cấp nhiệt bằng 90°C biểu diễn trên Bảng 5 và Hình 5 cho thấy:

- Nhiệt độ nước gia nhiệt tăng tuyến tính từ nhiệt độ môi trường đến nhiệt độ cài đặt sau 40 phút vận hành. Sau khi bật bơm dung dịch, nhiệt độ nước gia nhiệt giảm và dao động quanh ngưỡng 90°C với biên độ $\pm 2,5^\circ\text{C}$ do trao đổi nhiệt với dung dịch bơm lên từ bình hấp thụ và quán tính nhiệt, độ trễ của bộ điều khiển nhiệt độ.
 - Nhiệt độ ngưng tụ t_k tăng nhanh lên 49,5°C sau đó giảm dần và dao động quanh ngưỡng 46°C.
 - Nhiệt độ bay hơi giảm mạnh từ nhiệt độ môi trường xuống 7°C và tiếp tục giảm nhẹ dao động quanh ngưỡng 5-7°C sau 60 phút vận hành.
 - Nhiệt độ bù lạnh giảm dần từ nhiệt độ môi trường xuống 20,56°C duy trì ổn định đến hết quá trình vận hành thiết bị.
- Như vậy với nhiệt độ nguồn nhiệt là 90°C, nhiệt độ bay hơi ổn định ở mức 5-7°C và nhiệt độ không khí bù lạnh đạt 20,5°C

sau 60 phút hoạt động. Với giá trị nguồn nhiệt này có thể hoàn toàn ứng dụng năng lượng mặt trời cho máy lạnh hấp thụ để làm mát không khí. Tính ổn định cao hơn, thời gian để đạt được trạng thái ổn định tốt hơn so với chế độ thực nghiệm sử dụng nguồn nhiệt có nhiệt độ 85°C, đặc biệt khi so sánh với chế độ thực nghiệm có nhiệt độ nguồn nhiệt là 80°C.

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình máy lạnh hấp thụ dùng cặp môi chất H₂O/LiBr sử dụng năng lượng mặt trời với các giá trị nhiệt độ nguồn nhiệt khác nhau (80°C, 85°C và 90°C) cho phép rút ra một số kết luận sau:

- Việc sử dụng năng lượng mặt trời cho máy lạnh hấp thụ dùng cặp môi chất H₂O/LiBr để ứng dụng vào lĩnh vực điều hòa không khí là hoàn toàn có cơ sở.
- Nhiệt độ nguồn cấp nhiệt có ảnh hưởng lớn tới tốc độ làm mát và độ ổn định của máy lạnh hấp thụ. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy với nguồn nhiệt cấp có nhiệt độ trên 85°C thì máy lạnh hấp thụ dùng cặp môi chất H₂O/LiBr hoạt động ổn định, đảm bảo tin cậy.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo qua đề tài mã số B2021-BKA-24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Chí Hiệp, Máy lạnh hấp thụ trong kỹ thuật điều hòa không khí, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2004.
- [2] Boonrit Prasartkaew, Performance Test of a Small Size LiBr-H₂O Absorption Chiller, Energy procedia, Vol 56, 2014.
- [3] Nguyễn Thành Văn, Trần Văn Vang, Nghiên cứu thiết kế chế tạo máy lạnh hấp thụ điều hòa không khí sử dụng năng lượng mặt trời, Tạp chí khoa học và công nghệ Đà Nẵng, số 5/2016.
- [4] Đặng Trần Thọ, Hoàng Mai Hồng, Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, ứng dụng máy lạnh hấp thụ sử dụng năng lượng mặt trời và nhiệt thải, 2015.
- [5] Đặng Trần Thọ, Đặng Thế Hùng, Nghiên cứu chế tạo máy lạnh hấp thụ sử dụng nhiệt thải và năng lượng mặt trời, Báo Năng lượng nhiệt số 104 – 3/2012.
- [6] Đặng Trần Thọ, Đặng Văn An, Nguyễn Quốc Thịnh, Ngô Xuân Lộc, Mạc Đức Hải Linh, Nghiên cứu tiềm năng ứng dụng năng lượng mặt trời trong lĩnh vực điều hòa không khí, Tạp chí Năng lượng nhiệt, 7/2019.
- [7] Hoàng Dương Hùng, "Giáo trình đo lường nhiệt", tr. 14,15,55, 2004.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Đặng Trần Thọ tốt nghiệp đại học năm 2001; nhận bằng Thạc sĩ ngành công nghệ nhiệt - lạnh năm 2003, bằng Tiến sĩ ngành công nghệ nhiệt - lạnh năm 2007 tại Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: truyền nhiệt - truyền chất, năng lượng, năng lượng mới, kỹ thuật nhiệt.



Tác giả Đặng Văn An tốt nghiệp đại học năm 2020, nhận bằng Thạc sĩ ngành công nghệ nhiệt - lạnh năm 2022 tại Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: năng lượng, năng lượng mới, kỹ thuật nhiệt.