# ẢNH HƯỞNG CỦA BỨC XẠ MẶT TRỜI ĐẾN HIỆU QUẢ LÀM VIỆC CỦA HỆ THỐNG LÀM LẠNH HẤP PHỤ

EFFECT OF SOLAR RADIATION ON PERFORMANCE OF ADSORPTION COOLING SYSTEMS

**Thẩm Bội Châu[1*], Trần Thế Nam[2]**
[1]Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
[2]Phòng Khoa học Công nghệ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

**TÓM TẮT**

*Trong bài báo này, một mô hình tham số tập trung được sử dụng để khảo sát đặc tính và hiệu suất nhiệt của hệ thống làm mát bằng hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, hệ thống này có thể cung cấp một công suất làm mát đơn vị cực đại 212 W/kg và hiệu suất đạt khoảng 0,31. Ảnh hưởng do sự thay đổi nhiệt độ của nguồn nhiệt theo thời gian chiếu xạ của mặt trời đến hiệu quả làm mát của hệ thống cũng được khảo cứu.*

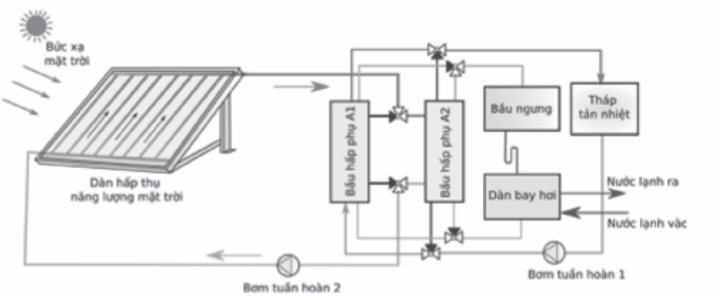
**Từ khóa:** *Điều hòa không khí; Làm lạnh hấp phụ; Năng lượng mặt trời.*

**ABSTRACT**

*In this article, a lumped parameters model was used to study the thermal performance of a solar-powered adsorption cooling system. The simulation results shows that this system can provide the highest specific cooling power of 212 W/kg and the coefficient of performance is 0.31. In addition, the influence of the variation of temperature of the heat source due to the solar irradiation on the cooling efficiency of the system was also investigated.*

**Keywords:** *Air conditioning; Adsorption cooling; Solar energy.*

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG




*Hình 1: Sơ đồ bố trí hệ thống làm mát hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời*

Công nghệ làm lạnh hấp phụ khí - rắn (solid adsorption) được xem là một sự thay thế an toàn cho chu trình máy lạnh nén hơi hiện nay. Công nghệ làm lạnh hấp phụ không chỉ loại bỏ việc sử dụng khí gây hiệu ứng nhà kính mà còn sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo như nhiệt thải nhiệt độ thấp hoặc nhiệt mặt trời [1]. Ưu thế và sự phát triển của chu trình hấp phụ được nghiên cứu rộng rãi bởi Meunier [2], Saha và Kashiwagi [3]. Nhiều cặp chất hấp phụ đã được sử dụng hệ thống làm lạnh/bơm nhiệt hấp phụ. Tuy nhiên, rất ít cặp có thể làm việc được với các nguồn nhiệt thải thấp, khi nhiệt độ dưới $100^0$C.

Trong [4, 5] trình bày kết quả nghiên cứu về chu trình hấp phụ sử dụng cặp vật liệu silica gel/nước với nhiệt độ nguồn nhiệt $80^0$C và nguồn làm mát $30^0$C.

Bài báo này trình bày việc thiết lập mô hình tham số, mô phỏng và khảo sát sự thay đổi các đặc tính nhiệt động cũng như hiệu suất của hệ thống làm lạnh hấp phụ làm việc với năng lượng mặt trời.

## 2. PHÂN TÍCH NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG

Sơ đồ nguyên lý của một hệ thống làm lạnh hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời được trình bày như trên Hình 1. Hệ thống bao gồm các thành phần cơ bản như tháp tản nhiệt, bộ hấp phụ năng lượng mặt trời, bầu hấp phụ (A1, A2), bầu ngưng, dàn bay hơi và hệ thống đường ống dẫn. Nguyên lý hoạt động của hệ thống này được trình bày chi tiết trong [4].

### 2.1. Mô hình toán

Phương trình cân bằng năng lượng cho bộ thu năng lượng mặt trời được xác định theo công thức (1), (2) và (3):

$$\frac{d}{dt}\left\{\sum_i M_{sc,i}C_{p,i}T_{sc}\right\} = \eta_{sc}A_{sc}I_{sc} + \dot{m}_{sc}C_{p,sc}\left(T_{hw,sc,in} - T_{hw,sc,out}\right) \quad (1)$$

Trong đó, $\eta_{sc}$ là hiệu quả hấp thụ bức xạ mặt trời phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường xung quanh $T_{amb}$, cường độ bức xạ mặt trời I và nhiệt độ trung bình của nước nóng tuần hoàn trong ống $\bar{T}_{hw}$ được xác định theo công thức:

$$\eta_{sc} = K_0 - K_1\left(\frac{\bar{T}_{hw} - T_{abm}}{I}\right) - K_2\left(\frac{\left(\bar{T}_{hw} - T_{abm}\right)^2}{I}\right) \quad (2)$$

Với $\bar{T}_{hw}$ là nhiệt độ trung bình của nước nóng xác định theo công thức.

$$\bar{T}_{hw} = 0,5\left(T_{hw,sc,in} + T_{hw,sc,out}\right)$$

Cường độ bức xạ mặt trời thay đổi theo thời gian I(t) tính từ lúc mặt trời mọc ($t_{sr}$) đến khi mặt trời lặn ($t_{ss}$) theo công thức:

$$I(t) = I_{c,max}\sin\left(\frac{\pi\left(t - t_{sr}\right)}{\left(t_{ss} - t_{sr}\right)}\right) \quad (3)$$

Trong đó, $I_{c,max}$ là cường độ bức xạ mặt trời lớn nhất trong ngày.

Phương trình cân bằng năng lượng cho bầu hấp phụ được xác định theo công thức (4) và (5):

$$\frac{d}{dt}\left\{\left(W_M C_{pM} + W_s C_s + W_s q C_{r,v}\right)T_{bed}\right\} = Q_{st}W_s\frac{dq}{dt} + \delta W_s C_{r,v}\frac{dq}{dt}\left(T_{eva} - T_{bed}\right) + \dot{m}_f C_f\left(T_{bed,in} - T_{bed,out}\right) \quad (4)$$

$$T_{bed,out} = T_{bed} + \left(T_{bed,in} - T_{bed}\right)\exp\left(\frac{-UA_{bed}}{\dot{m}_f C_f}\right) \quad (5)$$

Trong đó, δ = 0 hoặc δ = 1 khi bầu hấp phụ làm việc trong quá trình giải hấp thụ và hấp thụ.

Phương trình cân bằng nhiệt của bầu ngưng được xác định theo phương trình (6) và (7):

$$\begin{aligned}&\frac{d}{dt}\left\{\left(W_{con,M}C_{con,M} + W_{con,r}C_{r,l}\right)T_{con}\right\} = \\ &-LW_{con}\frac{dq_d}{dt} + W_s C_{r,v}\frac{dq_d}{dt}\left(T_{con} - T_{bed}\right) \\ &+\dot{m}_{f,con}C_f\left(T_{con,in} - T_{con,out}\right)\end{aligned} \quad (6)$$

$$T_{con,out} = T_{con} + \left(T_{con,in} - T_{con}\right)\exp\left(\frac{-UA_{con}}{\dot{m}_{f,con}C_f}\right) \quad (7)$$

Phương trình cân bằng năng lượng của dàn bay hơi được xác định theo phương trình (8) và (9):

$$\begin{aligned}&\frac{d}{dt}\left\{\left(W_{eva,M}C_{eva,M} + W_{eva,r}C_{r,l}\right)T_{eva}\right\} = \\ &-LW_{con}\frac{dq_a}{dt} + W_s C_{r,v}\frac{dq_d}{dt}\left(T_{eva} - T_{con}\right) \\ &+\dot{m}_{f,chill}C_f\left(T_{chill,in} - T_{chill,out}\right)\end{aligned} \quad (8)$$

$$T_{chill,out} = T_{eva} + \left(T_{chill,in} - T_{eva}\right)\exp\left(\frac{-UA_{eva}}{\dot{m}_{f,chill}C_f}\right) \quad (9)$$

Cân bằng khối lượng môi chất làm lạnh trong hệ thống được xác định theo thức (10):

$$\frac{dW_{evap,r}}{dt} = -W_s\left(\frac{dq_a}{dt} + \frac{dq_d}{dt}\right) \quad (10)$$

Tốc độ hấp phụ và giải hấp phụ môi chất trong bầu hấp phụ được xác định theo công thức (11) và (12):

$$\frac{dq}{dt} = \frac{15D_{s0}}{R_p^2}e^{\frac{-Ea}{RT}}\left(A_T \cdot \left(\frac{P_s\left(T_v\right)}{P_s\left(T_b\right)}\right)^{B_T} - q\right) \quad (11)$$

Trong đó,

$$\begin{aligned}A_T &= A_0 + A_1T + A_2T^2 + A_3T^3 \\ B_T &= B_0 + B_1T + B_2T^2 + B_3T^3\end{aligned} \quad (12)$$

Áp suất bão hòa $P_s$ tính theo công thức Antonie, các hệ số $A_i$ và $B_i$ được trình bày trong [6].

### 2.2. Hiệu suất của hệ thống

Công suất làm mát đơn vị (SCP, W/kg) và hệ số làm lạnh (COP) là các thông số cơ bản, thường dùng để đánh giá hiệu suất của hệ thống làm mát hấp phụ, lần lượt được xác định theo công thức (13) và (14).

$$SCP = \frac{\int_0^t \left(\dot{m}_{chill}Cp_{chill}\right)\left(T_{chill,in} - T_{chill,out}\right)dt}{M_s t_{cycle}} \quad (13)$$

$$COP = \frac{\int_0^t \left(\dot{m}_{chill}Cp_{chill}\right)\left(T_{chill,in} - T_{chill,out}\right)dt}{\int_0^t \left(\dot{m}_{hw}Cp_{w}\right)\left(T_{hw,in} - T_{hw,out}\right)dt} \quad (14)$$

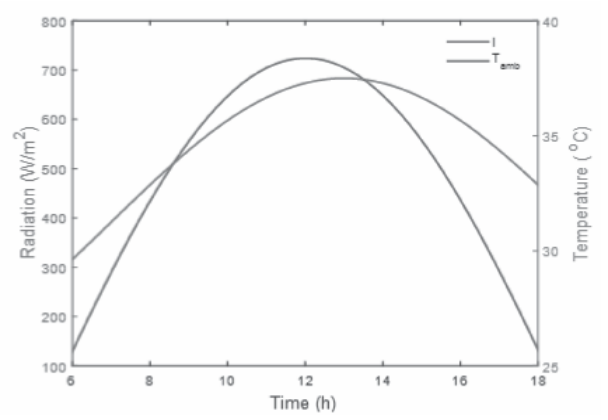
*Bảng 1. Thông số thiết kế của hệ thống:*

| Tham số | Tên gọi | Giá trị | Tham số | Tên gọi | Giá trị |
|---|---|---|---|---|---|
| $A_{sc}$ | Diện tích bộ thu năng lượng mặt trời | 20 $m^2$ | $W_{con}$ | Khối lượng bầu ngưng | 24.28 kg |
| $U_{bed}$ | Hệ số trao đổi nhiệt của bộ thu năng lượng mặt trời | 2014W/$m^2$K | $m_w$ | Lưu lượng nước nóng/làm mát | 1.3 kg/s |
| $A_{bed}$ | Diện tích bầu hấp phụ | 2.46 $m^2$ | $W_{sg}$ | Khối lượng silica gel trong bầu hấp phụ | 47 kg |
| $U_{bed}$ | Hệ số trao đổi nhiệt bầu hấp phụ | 1724.1W/$m^2$K | $W_{w,eva}$ | Khối lượng nước ban đầu trong dàn bay hơi | 50 kg |
| $W_{cu}$ | Khối lượng ống của thiết bị trao đổi nhiệt | 51.2 kg | $m_{chill}$ | Lưu lượng nước lạnh | 0.7 kg/s |
| $W_{Al}$ | Khối lượng phin của thiết bị trao đổi nhiệt | 64.04 kg | $h_{fg}$ | Nhiệt ẩn hóa hơi của nước | $2.6*10^6$ J/kg |
| $A_{eva}$ | Diện tích dàn bay hơi | 1.91$m^2$ | $H_{st}$ | Nhiệt hấp phụ | $2.81*10^6$ J/kg |
| $U_{eva}$ | Hệ số trao đổi nhiệt dàn bay hơi | 2557.54W/$m^2$K | $R_{wg}$ | Hằng số khí | $4.62*10^2$ J/kgK |
| $W_{eva}$ | Khối lượng dàn bay hơi (ống đồng) | 12.45 kg | $D_{so}$ | Hệ số khuếch tán | $2.54*10^{-4}$ $m^2$/s |
| $A_{con}$ | Diện tích bầu ngưng | 3.73 W/$m^2$K | $R_p$ | Bán kính hạt Silica gel | $0.35*10^{-3}$ m |

*Bảng 2. Điều kiện làm việc của hệ thống:*

| Tham số | Tên gọi | Giá trị |
|---|---|---|
| $T_{cw}$ | Nhiệt độ nước làm mát | 30°C |
| $T_{ch,in}$ | Nhiệt độ nước lạnh | 15°C |
| $I_{max}$ | Cường độ bức xạ lớn nhất | 724 W/$m^2$ |
| $T_{max}$ | Nhiệt độ môi trường lớn nhất | 37.5°C |
| $t_{cycle}$ | Chu kì làm việc | 840 s |

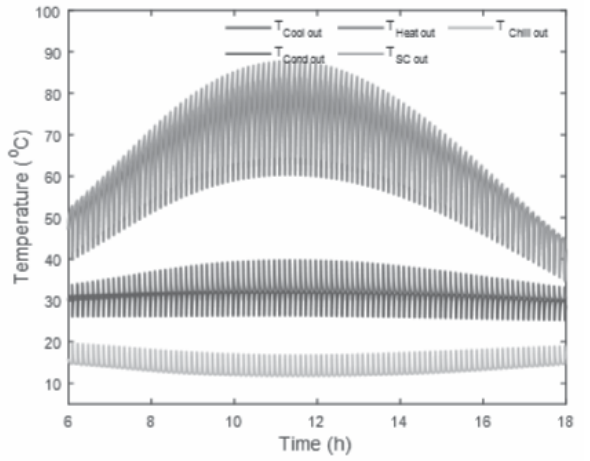
Hệ thống các phương trình trên được giải theo phương pháp số với sự hỗ trợ của phần mềm MATLAB. Khi bắt đầu quá trình giải, các giá trị ban đầu được giả định và các phương trình năng lượng được giải theo trình tự giải hấp phụ, ngưng tụ, thiết bị bay hơi và hấp phụ. Các thông số thiết kế và vận hành của hệ thống làm mát hấp phụ, sử dụng trong nghiên cứu này, được cho trong Bảng 1 và Bảng 2. Tham số thời tiết tại Việt Nam được tham khảo trên Solcast API Tookit [9]. Sự thay đổi của cường độ bức xạ mặt trời và nhiệt độ môi trường theo thời gian chiếu sáng, từ 6:00 AM đến 18: 00 PM, được trình bày trên Hình 2. Cường độ bức xạ lớn nhất là 724W/m$^2$. Nhiệt độ lớn nhất trong ngày là 37.5°C.



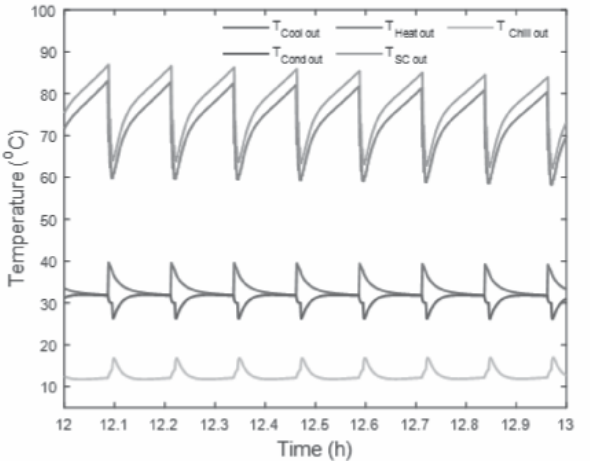

*Hình 2. Nhiệt độ môi trường và cường độ bức xạ theo thời gian*

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 3a, trình bày profile nhiệt độ đầu ra của nước nóng, nước làm mát và nước lạnh. Sự thay đổi của các thông số động lực học của bầu hấp phụ, bầu ngưng và dàn bay hơi theo nhiệt độ môi trường và thời gian chiếu sang được cho trên Hình 3b. Nhiệt độ trung bình của nước lạnh cung cấp cho làm mát có thể đạt khoảng 13°C.

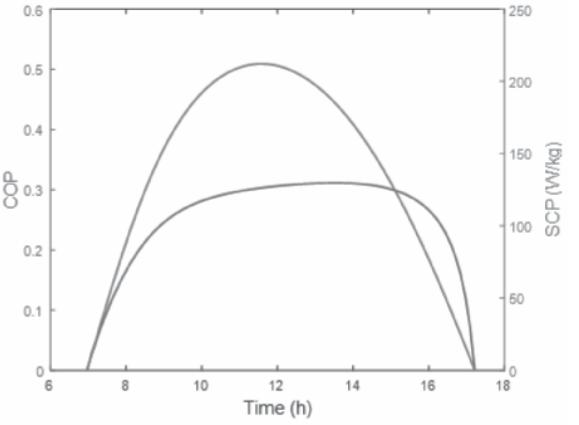



*(a)*




*(b)*

*Hình 3. Nhiệt độ đầu ra của công chất theo thời gian*




*Hình 4. COP và SCP của hệ thống theo thời gian*

Hình 4, trình bày kết quả mô phỏng cho các thông số đánh giá hiệu suất hệ thống SCP và COP. Từ đồ thị, có thể thấy rằng, hệ thống có thể làm việc hiệu quả khi nhiệt độ nguồn nhiệt đạt trên 60°C (sau 10: 00AM). Công suất làm lạnh riêng SCP tăng lên đến 212W/kg khi nước nóng đạt giá trị lớn nhất. Hệ số làm lạnh đạt giá trị lớn nhất COP ≈ 0.31. Các chỉ số này giảm nhanh sau 17: 00 PM, khi chuẩn bị kết thúc thời gian chiếu sang trong ngày.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày việc thiết lập một mô hình tham số sử dụng trong phân tích, thiết kế và mô phỏng hệ thống làm lạnh hấp phụ làm việc với nguồn năng lượng mặt trời.

Từ kết quả mô phỏng, hệ thống làm lạnh hấp phụ bằng năng lượng mặt trời có thể làm việc hiệu quả trong khoảng thời gian từ 10: 00AM đến 17: 00PM. Nhiệt độ nước lạnh trung bình đạt khoảng 13°C. Hiệu quả chuyển đổi năng lượng COP lớn nhất của hệ thống đạt 0,31 với năng suất làm lạnh riêng có thể đạt 212 W/kg. Do đó, có thể sử dụng các hệ thống này cho mục đích điều hoà và làm lạnh vào ban ngày để giảm thiểu điện năng tiêu thụ, tránh quá tải cho hệ thống cung cấp điện.

Kết quả bài báo này có thể sử dụng để tham khảo khi thiết kế, chế tạo các hệ thống làm lạnh hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời.

**Lời cảm ơn:**

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.34. Các tác giả xin chân thành cảm ơn Nhà trường.❖

Ngày nhận bài: **18/4/2022**
Ngày phản biện: **28/4/2022**

**Tài liệu tham khảo:**

[1]. Wang, R. and R. Oliveira, *Adsorption refrigeration—An efficient way to make good use of waste heat and solar energy☆*. Progress in Energy and Combustion Science, 2006. 32(4): p. 424-458.

[2]. Meunier, F., *Solid sorption heat powered cycles for cooling and heat pumping applications*. Applied Thermal Engineering, 1998. 18(9-10): p. 715-729.

[3]. Saha, B.B., E.C. Boelman, and T. Kashiwagi, *Computational analysis of an advanced adsorption-refrigeration cycle*. Energy, 1995. 20(10): p. 983-994.

[4]. Châu, T.B., *Nghiên cứu khả năng sử dụng năng lượng tái tạo cho hệ thống làm lạnh kiểu hấp phụ tại Việt Nam*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, 2021. 68.

[5]. Quang, D.X. and T.B. Châu, *Mô phỏng hệ thống làm lạnh hấp phụ sử dụng năng lượng tái tạo*. TNU Journal of Science and Technology, 2021. 226 (07): p. 3-10.

[6]. Saha, B.B., E.C. Boelman, and T. Kashiwagi, *Computer simulation of a silica gel-water adsorption refrigeration cycle - the influence of operating conditions on cooling output and COP*. 1995, Ashrae Transactions: San Diego, CA, USA.

[7]. Solcast API Toolkit. [cited 2022 April 21]; Available from: https://toolkit.solcast.com.au/live-forecast.

☞