

# NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO CHO HỆ THỐNG LÀM LẠNH KIỂU HẤP PHỤ TẠI VIỆT NAM

## STUDY ON THE POSSIBILITY OF USING RENEWABLE ENERGY FOR ADSORPTION COOLING SYSTEM IN VIETNAM

THẨM BỘI CHÂU

Viện Cơ Khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: chautb.vck@vimaru.edu.vn

### Tóm tắt

Sử dụng năng lượng tái tạo cho hệ thống làm lạnh là xu hướng được quan tâm nghiên cứu hiện nay. Một thay thế hữu ích cho các hệ thống làm lạnh tiêu thụ điện năng thông thường là sử dụng các hệ thống làm mát mà trong đó các chu trình làm lạnh hấp phụ được kết hợp với các bộ thu nhiệt mặt trời. Ưu điểm chính của các hệ thống làm lạnh sử dụng năng lượng mặt trời là sự phù hợp của nhu cầu làm mát và cường độ bức xạ mặt trời trong vùng khí hậu mùa hè ở Việt Nam. Bài báo tập trung nghiên cứu tính khả thi của việc sử dụng năng lượng mặt trời cho chu trình làm lạnh hấp phụ mà trong đó các chất hấp phụ mới được sử dụng. Tính toán lý thuyết các quá trình xảy ra trong các thiết bị của hệ thống cũng sẽ được đề cập tới trong bài báo này.

**Từ khóa:** Năng lượng tái tạo, điều hòa không khí, làm lạnh hấp phụ, chất hấp phụ.

### Abstract

Using renewable energy for air conditioning systems is a trend of current researches. A useful alternative to conventional power-consuming cooling systems is the use of cooling systems in which the adsorption cooling cycles are combined with residential solar collectors. The main advantage of solar-powered cooling systems is the suitability of cooling needs and solar radiation intensity in summer climates in Vietnam. This paper focuses on studying the feasibility of using solar energy for the adsorption cooling cycle in which new adsorbents are used. Theoretical calculation of the processes occurring in devices of the system will also be mentioned in this paper.

**Keywords:** Renewable energy, air conditioning, adsorption cooling, adsorbent.

## 1. Giới thiệu chung

Nhu cầu làm lạnh và sử dụng các sản phẩm làm lạnh ngày càng gia tăng cùng với quá trình mở rộng

sản xuất, sự phát triển của xã hội và ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Phương pháp làm lạnh phổ biến hiện nay là sử dụng máy lạnh nén hơi bởi kết cấu nhỏ gọn và hiệu quả làm lạnh cao. Tuy nhiên, các hệ thống này sử dụng các môi chất công tác thuộc họ CFC hoặc HCFC (R12, R22,...) gây hiệu ứng nhà kính và phá hủy tầng ozone. Đồng thời, khi hoạt động, các hệ thống này tiêu thụ một lượng lớn năng lượng điện - đến 30% tổng lượng điện sản xuất được trên toàn thế giới [1]. Theo Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA), năm 2017 khoảng 64,5% tổng lượng điện năng của thế giới được sản xuất từ đốt cháy năng lượng hóa thạch. Điều này dẫn tới suy kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên, gia tăng lượng khí thải gây hiệu ứng nhà kính, mức độ nóng lên toàn cầu và suy thoái môi trường tự nhiên. Do đó, nghiên cứu ứng dụng các công nghệ làm lạnh mới, có thể hoạt động với các nguồn năng lượng tái tạo để thay thế dần cho máy lạnh nén hơi là một trong những vấn đề cấp thiết của thế giới đương đại.

Máy lạnh hấp phụ được cộng đồng khoa học thế giới xem là một giải pháp tiềm năng cho máy lạnh nén hơi vì nó có thể hoạt động trực tiếp với các nguồn nhiệt thấp như năng lượng mặt trời, khí xả từ động cơ, năng lượng địa nhiệt,... Bên cạnh đó, môi chất công tác sử dụng trong máy lạnh hấp phụ phần lớn là những chất có sẵn trong tự nhiên như Hơi nước, Amoniac, rượu Methanol,... ít hoặc không độc hại với môi trường [2].

Anyanwu và cộng sự [3] phát triển một hệ thống làm lạnh hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời theo điều kiện khí hậu Nigeria. Các hệ thống tương tự được Aghbalou và cộng sự [4] thiết lập ở Tây Ban Nha, Tangkengsirisin và cộng sự [5] thiết lập ở Nhật. Pons và cộng sự [6] thiết kế và thử nghiệm một máy lạnh hấp phụ dùng trong sản xuất nước đá. Allouhi và cộng sự [7] tính toán cấp vật liệu hấp phụ - bị hấp phụ tối ưu cho hệ thống làm lạnh hấp phụ ở Morocco. Trong [8] trình bày việc phát triển và thử nghiệm các cấp vật liệu hấp phụ mới như AC/Hydrogen, Zeolite/CO<sub>2</sub>, Zeolite/N<sub>2</sub>, AC/CO<sub>2</sub>...

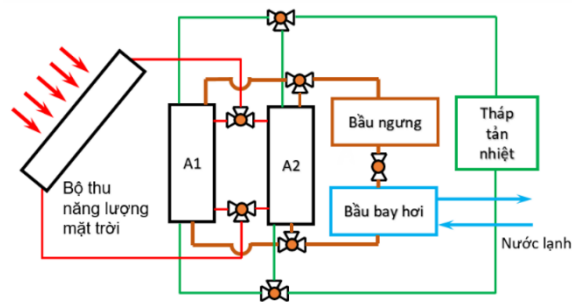
Việt Nam có vị trí địa lý, đặc thù khí hậu nhiệt đới gió mùa tạo nên các nguồn năng lượng tái tạo dồi dào

và đa dạng, có thể khai thác để sản xuất năng lượng như thủy điện, điện gió, điện mặt trời, sinh khối, địa nhiệt, nhiên liệu sinh học,... Hùng và cộng sự [9] thiết kế và thử nghiệm một máy lạnh hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời trong điều kiện khí hậu khu vực Đà Nẵng. Một thiết kế khác ứng với điều kiện khí hậu khu vực Thành phố Hồ Chí Minh, được thực hiện bởi Quốc và cộng sự [10]. Một điểm chung ở cả hai công trình trên là kết quả thử nghiệm không được công bố. Trong [11] tiến hành mô phỏng đáp ứng của máy lạnh hấp phụ làm việc với 5 cặp vật liệu hấp phụ - bị hấp phụ khác nhau. Kết quả tính toán cho điều kiện khí hậu khu vực Thành phố Hồ Chí Minh chỉ ra rằng cặp vật liệu Silica gel-Water cho hiệu quả cao hơn cả, có thể sử dụng cho phát triển các hệ thống làm lạnh hấp phụ ở Việt Nam.

Trong bài báo này, tác giả trình bày đặc điểm cấu tạo, nguyên lý làm việc, kết hợp với mô phỏng nhiệt động lực học, từ đó đưa ra những luận cứ ban đầu về khả năng sử dụng nguồn năng lượng mặt trời trong việc phát triển các hệ thống làm lạnh hấp phụ trong điều kiện khí hậu ở Việt Nam.

## 2. Mô hình và phương pháp tính

### 2.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống làm lạnh hấp phụ

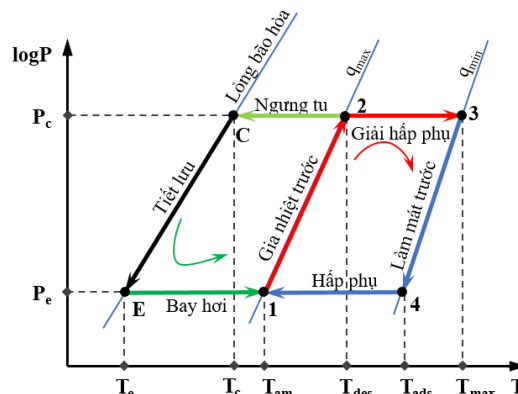


**Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống làm lạnh sử dụng năng lượng mặt trời**

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống làm lạnh hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời được mô tả như trong Hình 1. Hệ thống này bao gồm các phần chính: Tháp tản nhiệt, bộ thu năng lượng mặt trời, bể ngưng tụ, dàn bay hơi, các bể hấp phụ (A1/A2), van tiết lưu nối bể ngưng tụ với dàn bay hơi, hệ thống đường ống dẫn và các van điều khiển.

Chu trình nhiệt động lực học của hệ thống làm lạnh hấp phụ được hoàn thành bởi 4 quá trình liên tiếp: (i) tiền giải hấp phụ, (ii) giải hấp phụ, (iii) tiền hấp phụ và (iv) hấp phụ lần lượt cho bể hấp phụ A1 và A2. Trong các quá trình này, áp suất và nhiệt độ của công chất làm lạnh thay đổi và phụ thuộc vào nhau. Hình 2 biểu diễn sự phụ thuộc của áp suất vào nhiệt độ công

chất lạnh trong các quá trình của chu trình làm lạnh hấp phụ.



**Hình 2. Đồ thị P-T của chu trình làm lạnh hấp phụ [11]**

Trong quá trình tiền giải hấp phụ (quá trình 1-2), bể hấp phụ (A1 hoặc A2) được cách ly với bể ngưng tụ và dàn bay hơi. Nước nóng từ bộ thu năng lượng mặt trời tuần hoàn qua bể hấp phụ làm cho hơi nước (công chất làm lạnh) thoát ra khỏi chất hấp phụ, dẫn đến áp suất trong bể hấp phụ tăng lên. Khi áp suất trong bể hấp phụ vượt quá áp suất trong bể ngưng tụ ( $P_c$ ), van thông giữa bể hấp phụ và bể ngưng tụ mở ra, hơi công chất làm lạnh từ bể hấp phụ sẽ đi sang bể ngưng tụ và quá trình giải hấp phụ bắt đầu (quá trình 2-3). Trong khoảng thời gian đã được tính toán và đặt trước cho quá trình giải hấp phụ, áp suất trong bể hấp phụ được duy trì gần như không đổi. Khi quá trình giải hấp phụ kết thúc, van thông giữa bể hấp phụ và bể ngưng tụ đóng lại. Cùng thời điểm này nước nóng từ bộ thu năng lượng mặt trời sẽ ngừng tuần hoàn qua bể hấp phụ mà thay vào đó là nước làm mát từ tháp giải nhiệt được cho tuần hoàn qua bể hấp phụ và quá trình tiền hấp phụ (quá trình 3-4) sẽ diễn ra. Nhiệt độ trong bể hấp phụ giảm xuống, làm giảm áp suất trong đó tới áp suất của dàn bay hơi ( $P_e$ ). Lúc này van thông giữa bể hấp phụ và dàn bay hơi mở ra, hơi công chất làm lạnh được sinh ra trong dàn bay hơi đi vào bể hấp phụ và bắt đầu quá trình hấp phụ (quá trình 4-1). Trong quá trình hấp phụ, lượng nhiệt sinh ra được liên tục lấy đi bởi nước làm mát. Một chu kỳ công tác hoàn thành sau khi quá trình hấp phụ kết thúc. Trong sơ đồ này, hai bể hấp phụ được sử dụng một cách tuần hoàn. Trong thời gian ở bể A1 diễn ra quá trình giải hấp phụ thì ở bể A2 diễn ra quá trình hấp phụ.

### 2.2. Mô hình toán

Mô hình toán học của hệ thống làm lạnh hấp phụ được xây dựng dựa trên cân bằng năng lượng và khối lượng của hệ.

Giả sử nhiệt độ, áp suất và nồng độ hấp phụ trong bầu hấp phụ là đồng nhất. Phương trình cân bằng năng lượng cho bầu hấp phụ được biểu diễn bởi công thức (1) và (2) [12]:

$$\frac{d}{dt} \left\{ (m_M C_{pM} + m_s C_s + m_s q C_{r,v}) T_{bed} \right\} = Q_{st} m_s \frac{dq}{dt} + \delta m_s C_{r,v} \frac{dq}{dt} (T_{eva} - T_{bed}) + \dot{m}_f C_f (T_{bed,in} - T_{bed,out}) \quad (1)$$

$$T_{bed,out} = T_{bed} + (T_{bed,in} - T_{bed}) \exp \left( \frac{-U A_{bed}}{\dot{m}_f C_f} \right) \quad (2)$$

Hệ số  $\delta = 0$  khi trong bầu hấp phụ diễn ra quá trình giải hấp phụ và  $\delta = 1$  khi trong bầu hấp phụ diễn ra quá trình hấp phụ.

Tốc độ hấp phụ được xác định theo công thức [12]:

$$\frac{dq}{dt} = kasp (q^* - q) \quad (3)$$

Trong đó:

$$kasp = D_s \exp \left( -Ea / (RT) \right) \left. \begin{aligned} D_s &= 15D_{s0} / R_p^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Lượng hấp phụ cân bằng được xác định bởi phương trình (B-S-K) như sau [12]:

$$q^* = A_s \cdot \left( \frac{P_s(T_v)}{P_s(T_b)} \right)^{B_s} \quad (5)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} A_s &= A_0 + A_1 T + A_2 T^2 + A_3 T^3 \\ B_s &= B_0 + B_1 T + B_2 T^2 + B_3 T^3 \end{aligned} \quad (6)$$

Áp suất bão hòa của chất công tác  $P_s(T_i)$  tính theo công thức Antonie, các hệ số  $A_i$  và  $B_i$  xác định từ thực nghiệm bởi Saha và các cộng sự [13].

### 2.3. Hiệu suất của hệ thống

Quá trình công tác của hệ thống làm lạnh hấp phụ được đánh giá bởi hai thông số quan trọng là công suất làm lạnh riêng (SCP, W/kg) và hệ số làm lạnh hay hệ số công tác (COP). Giả thiết rằng công suất tiêu thụ cho bơm nước nóng, bơm nước làm mát và bơm nước lạnh là nhỏ và như vậy các thành phần này đã được bỏ qua trong phương trình cân bằng năng lượng. Các thông số này được xác định bởi các phương trình (7) và (8):

$$SCP = \frac{Q_{eva}}{M_s t_{cycle}} \quad (7)$$

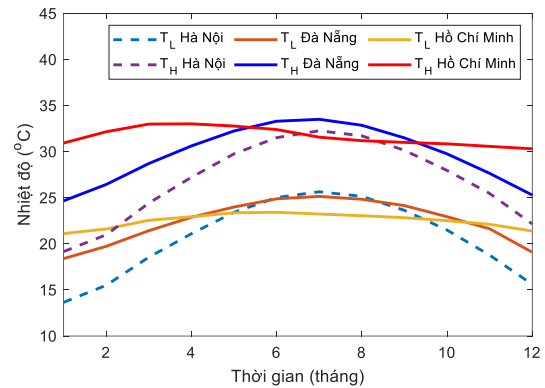
$$COP = \frac{Q_{eva}}{Q_{in}} \quad (8)$$

Trong đó:  $Q_{eva}$  là nhiệt lượng hấp thu được từ đối tượng được làm lạnh trong quá trình bay hơi ở dàn bay hơi và  $Q_{in}$  là nhiệt lượng cấp vào cho bầu hấp phụ trong quá trình giải hấp phụ.  $Q_{eva}$  và  $Q_{in}$  được xác định theo các công thức (9) và (10):

$$Q_{eva} = \int_{t_{ads}}^{t_{des}} M_s \left( \frac{dq}{dt} \right) dt \quad (9)$$

$$Q_{in} = \int_{t_{des}}^{t_{ads}} \dot{m} C_{p,f} (T_{bed,in} - T_{bed,out}) dt \quad (10)$$

### 3. Điều kiện khí hậu ở Việt Nam



**Hình 3. Nhiệt độ trung bình cao nhất và thấp nhất trong năm 2019 [6]**

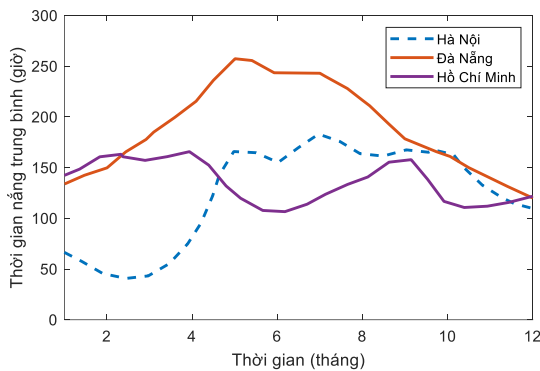
Việt Nam nằm ở khu vực Đông Nam Á, với khí hậu nhiệt đới gió mùa. Nhiệt độ trung bình cao nhất ( $T_H$ ) và thấp nhất ( $T_L$ ) theo thời gian được biểu diễn trên Hình 3. Từ kết quả trên đồ thị cho thấy nhiệt độ trung bình cao nhất ở khu vực phía Nam như thành phố Hồ Chí Minh ở khoảng từ  $30 \div 35^\circ\text{C}$  và nền nhiệt độ cao này quan sát thấy được trong cả năm. Trong khi đó, nhiệt độ ở Hà Nội và Đà Nẵng chỉ cao trên  $30^\circ\text{C}$  trong khoảng từ tháng 5 đến tháng 9 [14].

Cùng với nền nhiệt độ trung bình cao là thời gian nắng trung bình cao hơn so với các tháng khác trong năm. Đồ thị trên Hình 4 cho thấy giờ nắng trung bình ở thành phố Hồ Chí Minh cao trong khoảng 150 giờ từ tháng 1 đến tháng 4. Tuy nhiên từ tháng 5 đến tháng

**Bảng 1. Thông số thiết kế và điều kiện làm việc**

Tham số	Tên gọi	Giá trị
$A_{bed}$	Diện tích trao đổi nhiệt của bầu hấp phụ	2,46m <sup>2</sup>
$U_{bed}$	Hệ số trao đổi nhiệt bầu hấp phụ	1724,1W/m <sup>2</sup> K
$W_M$	Khối lượng thiết bị trao đổi nhiệt	51,2kg
$W_{sg}$	Khối lượng silica gel trong bầu hấp phụ	47kg
$W_{w,eva}$	Khối lượng nước ban đầu trong dàn bay hơi	50kg
$R_p$	Bán kính hạt Silica gel	0,35×10 <sup>-3</sup> m
$T_{cw}$	Nhiệt độ nước làm mát	30°C
$T_{hw}$	Nhiệt độ nước nóng	80°C
$T_{ch,in}$	Nhiệt độ nước lạnh	14°C
$t_{cycle}$	Chu kì làm việc	900s

9 thời gian nắng lại giảm xuống còn khoảng 120 giờ. Tại Hà Nội và Đà Nẵng thời gian nắng cao trong khoảng từ tháng 5 đến tháng 9 ở mức trên 150 giờ. Đặc biệt Đà Nẵng có thời gian nắng trung bình lên tới 250 giờ tại tháng 5.



**Hình 4. Giờ nắng trung bình trong năm 2019 [14]**

Với điều kiện nhiệt độ và thời gian nắng trung bình cao nên nhu cầu về điều hòa không khí ở nước ta ngày càng tăng trong thời gian gần đây dẫn đến việc tăng tải cho hệ thống lưới điện quốc gia. Ngoài ra, ở các khu vực nông thôn, miền núi, hải đảo, những nơi không có điện, nhu cầu làm mát và đặc biệt là sản xuất nước đá để bảo quản một số dược phẩm hoặc thực phẩm là không thể đáp ứng được. Sử dụng năng lượng mặt trời trong các hệ thống làm lạnh hấp phụ là phương án khả thi và hoàn toàn có thể đáp ứng được nhu cầu trên.

#### 4. Kết quả và thảo luận

Với các thông số được cho trong Bảng 1, để giải các phương trình (1) - (10) ta giả thiết như sau:

- Nước nóng thu được từ bộ thu năng lượng mặt trời

được chứa trong bình nước nóng có dung tích đủ lớn nên có thể giả thiết nhiệt độ của nguồn nóng là ổn định;

- Nhiệt độ của nguồn làm mát là ổn định;
- Bỏ qua tổn thất nhiệt từ bầu hấp phụ ra môi trường;
- Quá trình bay hơi và ngưng tụ tại bầu ngưng và dàn bay hơi ở điều kiện áp suất không đổi.

Hình 5 mô tả thay đổi của nhiệt độ bầu hấp phụ A1, A2, nhiệt độ của nước nóng và nước làm mát vào và ra khỏi hệ thống theo thời gian.

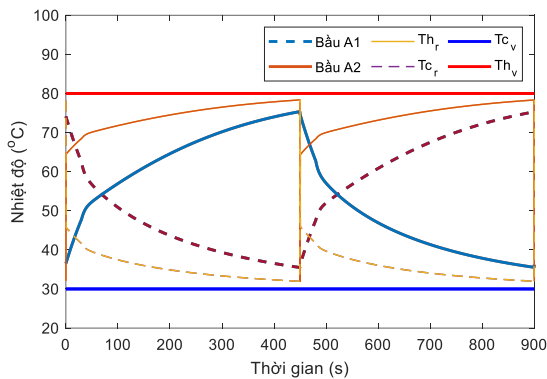
Từ đồ thị biểu diễn này ta thấy rằng: Nhiệt độ của bầu hấp phụ A1, khi được làm mát, giảm dần, độ chênh lệch nhiệt độ giữa nước làm mát vào và ra ( $\Delta T = T_{c,in} - T_{c,out}$ ) lớn nhất là 15°C và giảm dần khi nhiệt độ của bầu hấp phụ giảm xuống. Đồng thời nhiệt độ bầu hấp phụ A2 tăng dần. Thay đổi nhiệt độ trong các bầu hấp phụ A1 và A2 diễn ra theo chu kì.

Hình 6 dưới đây biểu diễn sự thay đổi áp suất trong bầu hấp phụ theo nhiệt độ. Trong quá trình giải hấp phụ áp suất trong bầu hấp phụ được duy trì bằng với áp suất của bầu ngưng là 4144Pa, còn trong quá trình hấp phụ, áp suất được duy trì bằng với áp suất của dàn bay hơi là 1650Pa.

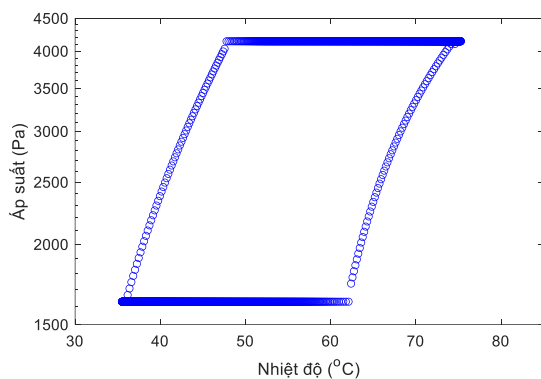
Với các thông số đã chọn trong Bảng 1. Hệ số làm lạnh của hệ thống (COP) tính theo công thức (9) và năng suất làm lạnh riêng của hệ thống (SCP) tính theo công thức (10) có giá trị tính được trong Bảng 2 sau:

**Bảng 2. Kết quả mô phỏng**

Tham số	Tên gọi	Giá trị
$COP$	Hệ số làm lạnh	0,48
$SCP$	Năng suất làm lạnh riêng	249,1W/kg



**Hình 5. Nhiệt độ của bầu hấp phụ, nước nóng và nước làm mát**



**Hình 6. Đồ thị logP-T chu trình làm lạnh hấp phụ**

### 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày này cấu tạo, nguyên lý làm việc và tính toán các quá trình xảy ra trong các thiết bị của hệ thống làm lạnh sử dụng hai bầu hấp phụ, thực hiện việc tổng hợp và phân tích các dữ liệu thống kê về điều kiện khí hậu ở Việt Nam trong những năm gần đây.

Từ kết quả mô phỏng, cùng với tính sẵn có của các cặp chất hấp phụ /bị hấp phụ (công chất làm lạnh) như Khoáng silic /Hơi nước, Than hoạt tính /Rượu Methyllic hoặc Than hoạt tính /Rượu Etylic,... có thể kết luận về tính khả thi trong việc tận dụng năng lượng mặt trời để vận hành các hệ thống làm lạnh hấp phụ ở Việt Nam. Đặc biệt, khi kết hợp các hệ thống này với các hệ thống làm lạnh sử dụng máy nén hơi sẽ tạo thành các hệ thống có hiệu quả cao, thân thiện với môi trường.

#### DANH MỤC KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Tên gọi
$A_{bed}$	$m^2$	Diện tích trao đổi nhiệt của bầu hấp phụ
$U_{bed}$	$W/m^2K$	Hệ số trao đổi nhiệt bầu hấp phụ
$W_M$	kg	Khối lượng thiết bị trao đổi nhiệt
$A_{eva}$	$m^2$	Diện tích dàn bay hơi

$U_{eva}$	$W/m^2K$	Hệ số trao đổi nhiệt dàn bay hơi
$W_{eva,M}$	kg	Khối lượng dàn bay hơi
$A_{con}$	$W/m^2K$	Diện tích bầu ngưng
$U_{con}$	$W/m^2K$	Hệ số trao đổi nhiệt bầu ngưng
$W_{con,M}$	kg	Khối lượng bầu ngưng
$m_w$	kg/s	Lưu lượng nước nóng/ làm mát
$W_{w,eva}$	kg	Khối lượng nước ban đầu trong dàn bay hơi
$m_{chill}$	kg/s	Lưu lượng nước lạnh
$C_f$	J/kgK	Nhiệt dung riêng của nước
$C_{f,chill}$	J/kgK	Nhiệt dung riêng của nước lạnh
$C_{r,v}$	J/kgK	Nhiệt dung riêng của hơi nước
$C_{pM}$	J/kgK	Nhiệt dung riêng của thiết bị trao đổi nhiệt
$C_s$	J/kgK	Nhiệt dung riêng của Silica gel
$h_{fg}$	J/kg	Nhiệt ẩn hóa hơi của nước
$Q_{st}$	J/kg	Nhiệt hấp phụ
$R$	J/kgK	Hằng số khí
$E_a$	J/kg	Năng lượng kích hoạt
$D_{so}$	$m^2/s$	Hệ số khuếch tán
$L$	kJ/kg	Nhiệt ẩn hóa hơi
$R_p$	m	Bán kính hạt Silica gel
$T_{cw}$	$^{\circ}C$	Nhiệt độ nước làm mát
$T_{hw}$	$^{\circ}C$	Nhiệt độ nước nóng
$T_{ch,in}$	$^{\circ}C$	Nhiệt độ nước lạnh
$t_{cycle}$	s	Chu kì làm việc
$T_{bed}$	$^{\circ}C$	Nhiệt độ bầu hấp phụ
$T_{cond}$	$^{\circ}C$	Nhiệt độ bầu ngưng
$T_{eva}$	$^{\circ}C$	Nhiệt độ dàn bay hơi

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT20-21.37**.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Vietnam Electricity (EVN), *EVN Annual Report 2018, 2019*. Accessed: Jan. 12, 2021. [Online]. Available: [https://www.evn.com.vn/userfile/User/tcdl/files/2019/8/EVNAAnnualReport2018\(1\).pdf](https://www.evn.com.vn/userfile/User/tcdl/files/2019/8/EVNAAnnualReport2018(1).pdf)

[2] Ruzhu Wang and Rogerio G. Oliveira, *Adsorption refrigeration-An efficient way to make good use of waste heat and solar energy*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol.32, pp.424-458, 2006.

[3] E. E. Anyanwu and N. V. Ogueke, *Transient analysis and performance prediction of a solid adsorption*



- solar refrigerator*, Applied Thermal Engineering, Vol.27, No.14-15, pp.2514-2523, 2007.
- [4] F. Aghbalou, A. Mimet, F. Badia, J. Illa, A. El Bouardi, and J. Bougard, *Heat and mass transfer during adsorption of ammonia in a cylindrical adsorbent bed: Thermal performance study of a combined parabolic solar collector, water heat pipe and adsorber generator assembly*, Applied Thermal Engineering, Vol.24, No.17-18, pp.2537-2555, 2004.
- [5] Vichan Tangkongsirisin, Atsushi Kanzawa, and Takayuki Watanabe, *A solar-powered adsorption cooling system using a silica gel-water mixture*, Energy, Vol.23, No.5, pp.347-353, 1998.
- [6] M. Pons and J. J. Guilleminot, *Design of an Experimental Solar-Powered, Solid-Adsorption Ice Maker*, Journal of Solar Energy Engineering, Vol.108, No.4, pp.332-337, 1986.
- [7] A. Allouhi, T. Kousksou, A. Jamil, T. El Rhafiki, Y. Mourad, and Y. Zeraouli, *Optimal working pairs for solar adsorption cooling applications*, Energy, Vol.79, pp.235-247, 2015.
- [8] Ahmed A. Askalany, M. Salem, I. M. Ismael, A. H. H. Ali, M. G. Morsy, and Bidyut B. Saha, *An overview on adsorption pairs for cooling*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.19, pp.565-572, 2013.
- [9] Hoàng Dương Hùng, Trần Ngọc Lân, *Máy lạnh hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Đại học Đà Nẵng, Vol.2-2007, pp.2-7, 2007.
- [10] Hoàng An Quốc, Trần Văn Vang, Lê Chí Hiệp, Quảng Thị, Cẩm Thì, *Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm mô hình máy lạnh hấp phụ mặt trời sử dụng zeolite - nước*, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật, Vol.27, pp.23-29, 2014.
- [11] Thẩm Bội Châu, Lê Văn Điềm, Dương Xuân Quang, Cao Ngọc Vi, *Tính toán lựa chọn cặp chất hấp phụ-bị hấp phụ cho chu trình làm lạnh hấp phụ sử dụng năng lượng mặt trời trong hệ thống điều hòa không khí ở Việt Nam*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, No. T10/2020, p.5, 2020.
- [12] Ali Alahmer, Xiaolin Wang, and K. C. Amanul Alam, *Dynamic and economic investigation of a solar thermal-driven two-bed adsorption chiller under Perth climatic conditions*, Energies, Vol.13, 2020.
- [13] B.B. Saha, 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*, ASHRAE Trans., Vol.101, 1995.
- [14] weather-and-climate.com. *Climate and Average Weather in Vietnam*. <https://weather-and-climate.com/about> (accessed).

Ngày nhận bài:	19/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	26/6/2021
Ngày duyệt đăng:	29/6/2021