

## TÍNH TOÁN NHIỆT ĐỘ HOẠT ĐỘNG CỦA TẮM PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI BẰNG PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN NHIỆT

### CALCULATING THE OPERATING TEMPERATURE OF SOLAR PANEL BY HEAT TRANSFER METHOD

**Đặng Văn Bính<sup>1,2\*</sup>, Tiêu Xuân Hoàng<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, <sup>2</sup>Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 30/5/2023, Ngày chấp nhận đăng: 29/6/2023, Phản biện: TS. Vũ Văn Chiên

#### **Tóm tắt:**

Năng lượng tái tạo sẽ thay thế các nguồn năng lượng từ hóa thạch trong sự phát triển bền vững trên thế giới. Năng lượng mặt trời là một nguồn năng lượng tái tạo, được sử dụng chủ yếu để sản xuất điện, nước nóng, chiếu sáng bên ngoài... Tấm pin mặt trời tạo ra điện năng từ bức xạ mặt trời là một trong những ứng dụng phổ biến nhất. Hiệu suất của tấm pin năng lượng mặt trời phụ thuộc vào nhiều yếu tố trong đó có nhiệt độ hoạt động của tấm pin. Bài báo này trình bày tính toán nhiệt độ hoạt động của tấm pin mặt trời bằng phương pháp truyền nhiệt. Qua đó, chúng ta xác định được nhiệt độ của các lớp trong tấm pin cũng như hiểu được cơ chế truyền nhiệt trong tấm pin.

#### **Từ khóa:**

Nhiệt độ hoạt động, pin năng lượng mặt trời, truyền nhiệt.

#### **Abstract:**

Renewable energy will be substituting fossil energy sources in sustainable development. Solar energy is a renewable energy source, the most common uses are: generate electricity, heat water, illuminate exterior areas, etc. Solar panels produce electricity from solar radiation, it is one of the most popular applications. The efficiency of solar panel depends on many factors including the operating temperature. This paper presents calculating the operating temperature of solar panel by heat transfer method. Thereby, we can be determined temperature of the layers, and also understand the heat transfer mechanism in the panel.

#### **Keywords:**

Operating temperature, solar panel, heat transfer.

#### **1. GIỚI THIỆU**

Cùng với sự phát triển của thế giới, nguồn nguyên liệu, nhiên liệu hóa thạch ngày càng cạn kiệt. Năng lượng tái tạo (NLTT) sẽ là nguồn năng lượng quan trọng trong

sự phát triển bền vững của nhân loại. NLTT bao gồm năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng sinh khối, năng lượng thủy triều, địa nhiệt..., trong đó năng lượng mặt trời chiếm tỷ lệ cao nhất.

Năng lượng mặt trời được chuyển đổi thành hai dạng năng lượng là điện năng và nhiệt năng. Quang năng chuyển đổi thành điện năng nhờ hiệu ứng quang điện, tỷ lệ giữa công suất điện năng tạo ra và năng lượng bức xạ mặt trời được gọi là hiệu suất chuyển đổi. Hiệu suất danh nghĩa của tấm pin năng lượng mặt trời được xác định tại điều kiện tiêu chuẩn (STC) với nhiệt độ môi trường xung quang 25°C, cường độ bức xạ 1000 W/m<sup>2</sup>, khối lượng không khí 1,5 G và chùm sáng chiếu vuông góc với tấm pin [1], [2]. Hiện nay, hiệu suất của tấm pin phổ biến trong khoảng từ 15% đến 22% và cao nhất có thể đạt được đến gần 23%. Hiệu suất phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: loại pin, cường độ bức xạ, nhiệt độ môi trường, tốc độ gió, vị trí lắp đặt...

Một phần cường độ bức xạ không được chuyển hóa thành điện năng sẽ làm tăng nhiệt độ hoạt động của tấm pin, qua đó ảnh hưởng đến hiệu suất. Trong điều kiện tiêu chuẩn (STC), khi nhiệt độ làm việc của tấm pin tăng 1°C thì hiệu suất sẽ giảm 0,4-0,5% [3], [4].

Mỗi tấm pin đều có khoảng nhiệt độ làm việc và nhiệt độ tế bào quang điện hoạt động danh nghĩa (NOCT - Nominal Operating Cell Temperature) do nhà sản xuất công bố, đây có thể coi là phạm vi làm việc an toàn của tấm pin. NOCT của tấm pin được xác định theo tiêu chuẩn tại cường độ bức xạ 800 W/m<sup>2</sup>, nhiệt độ môi trường 20°C và tốc độ gió 1 m/s [5 - 7]. Dựa trên NOCT, kết quả thực nghiệm nhiệt độ hoạt động của tấm pin có thể được xác định theo công thức (1) [8]:

$$T_{hd} = T_{mt} + (NOCT - 20) \times \frac{G}{800} \quad (1)$$

Công thức (1) có thể được áp dụng nếu thỏa mãn các điều kiện đo lường do Ủy ban Kỹ thuật điện Quốc tế (IEC) cung cấp, đó là: (i) Các tấm pin được mở mạch; (ii) Loại bỏ tất cả dữ liệu khi bức xạ dưới 300 W/m<sup>2</sup>; (iii) Tốc độ gió từ 0,25 đến 1,75 m/s và (iv) Nhiệt độ môi trường trong khoảng từ 5 đến 35°C.

Hiện nay, các nghiên cứu tập trung vào đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ hoạt động đến hiệu suất của tấm pin. Bên cạnh đó việc xác định nhiệt độ của tấm pin được trình bày trong [9], [10], [11], [12], tuy nhiên phương pháp xác định nhiệt độ bề mặt tấm PV dựa trên thực nghiệm chụp ảnh hồng ngoại, sử dụng mạng ANN để phân tích và dự đoán.

Trong điều kiện làm việc thực tế của tấm pin khác với điều kiện tiêu chuẩn nên nhiệt độ hoạt động cũng khác. Nếu nhiệt độ làm việc thực tế của tấm pin cao hơn nhiệt độ làm việc nhà sản xuất đưa ra sẽ làm giảm hiệu suất và có thể xảy ra cháy, nổ.

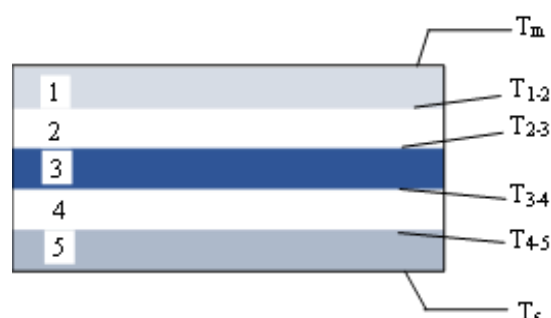
Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành tính toán nhiệt độ hoạt động của tấm pin dựa trên phương pháp truyền nhiệt. Các công thức tính toán này có thể áp dụng xác định nhiệt độ tấm pin trong điều kiện thực tế khác nhau và để hiểu rõ hơn cơ chế truyền nhiệt khi tiến hành mô phỏng nhiệt trên các phần mềm.

## 2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

### 2.1. Xác định bài toán và các giả thiết

Tấm pin có cấu tạo như Hình 1.

Tấm pin có  $\rho$ ,  $\tau$ ,  $\alpha$  lần lượt là hệ số phản xạ, hệ số truyền qua và hệ số hấp thụ ( $\rho + \tau + \alpha = 1$ ).  $l_i$ ,  $\lambda_i$  là chiều dày và hệ số dẫn nhiệt của lớp  $i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ). Tấm pin đặt nghiêng so với mặt đất góc  $\theta$ , bức xạ mặt trời  $Q_{MT}$ , nhiệt độ môi trường  $t_{mt}$ .



**Hình 1. Cấu tạo của tấm pin**

1. Kính; 2. Lớp EVA1 (Ethylene Vinyl Acetate);
3. Cell; 4. Lớp EVA2; 5. Lớp nền

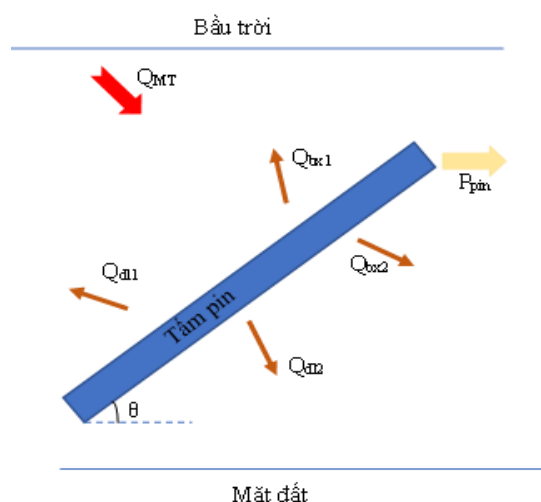
$T_m$ : Nhiệt độ bề mặt tấm pin (K);  $T_{1-2}$ : Nhiệt độ bề mặt lớp EVA1 (K);  $T_{2-3}$ : Nhiệt độ bề mặt cell (K);  $T_{3-4}$ : Nhiệt độ bề mặt lớp EVA2 (K);  $T_{4-5}$ : Nhiệt độ bề mặt lớp nền (K);  $T_s$ : Nhiệt độ mặt sau tấm pin (K)

Để thuận lợi trong quá trình tính toán, các giả thuyết được đưa ra:

- Các thông số vật lý của tấm pin không biến thiên theo thời gian.
- Sự dẫn nhiệt giữa thiết bị với kết cấu đỡ là không đáng kể.
- Tính chất vật liệu không phụ thuộc vào nhiệt độ và bằng nhau ở cả hai phía.
- Một phần bức xạ mặt trời không được chuyển đổi thành điện được hấp thụ bởi các tế bào quang điện dưới dạng nhiệt.
- Các tính chất quang học (hệ số phát xạ, phản xạ, hấp thụ và truyền qua) là không đổi do đó không phụ thuộc vào bước sóng, nhiệt độ và góc tới;

- Bề mặt đẳng nhiệt.
- Bầu trời không bị ảnh hưởng bởi mây (bầu trời quang mây).
- Bỏ qua trao đổi nhiệt cưỡng bức giữa tấm pin và môi trường xung quanh.
- Hệ thống lắp đặt ở độ cao mà dòng không khí đối lưu không tương tác với mặt đất.
- Nhiệt độ mặt đất bằng nhiệt độ môi trường.
- Nhiệt độ bầu trời biểu kiến  $T_{bt}$  được tính toán theo  $T_{bt} = T_{mt} - \delta T$  ( $\delta T = 20$  K).
- Mặt trước của tấm pin chỉ nhìn thấy bầu trời, trong khi mặt sau nhìn thấy chỉ có mặt đất.

## 2.2. Tính toán truyền nhiệt trong tấm pin



**Hình 2. Trao đổi nhiệt của tấm pin**

Khi tấm pin đặt trong môi trường sẽ nhận bức xạ từ mặt trời ( $Q_{MT}$ ) và trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh thông qua: trao đổi nhiệt bức xạ ( $Q_{bx1}$ ,  $Q_{bx2}$ ) ở mặt trước và mặt sau; trao đổi nhiệt đối lưu

( $Q_{dl1}$ ,  $Q_{dl2}$ ) ở mặt trước và mặt sau.

Do các thông số của tấm pin không biến thiên theo thời gian nên tại một thời điểm xác định ta có:

▪ Với tấm pin:  $A.Q_{pin} - P_{pin} - Q_{td} = 0$  (2)  
trong đó:

$$A.Q_{pin} = A.Q_{MT} (1 - \rho);$$

$P_{pin} = \eta.A.Q_{MT}$  là công suất điện của tấm;  
 $A$  là diện tích tấm pin;

$\eta$  là hiệu suất của tấm pin;

$Q_{td} = Q_{dl1} + Q_{bx1} + Q_{dl2} + Q_{bx2}$  là nhiệt trao đổi giữa tấm pin và môi trường.

▪ Với lớp 1:

$$Q_{bx1} + Q_{dl1} - Q_{dn1-2} - Q_1 = 0$$
 (3)

trong đó :

$Q_1 = \alpha_1.Q_{MT}.A$  là nhiệt hấp thụ tại lớp 1;  
 $Q_{dn1-2}$  là lượng nhiệt truyền qua lớp 1 của tấm pin.

▪ Với lớp 2:

$$Q_{dn1-2} - Q_{dn2-3} - Q_2 = 0$$
 (4)

trong đó :

$Q_2 = \tau_1.\alpha_2.Q_{MT}.A$  là nhiệt hấp thụ tại lớp 2;

$Q_{dn2-3}$  là lượng nhiệt truyền qua lớp 2 của tấm pin.

▪ Với lớp 3:

$$Q_{dn2-3} - Q_{dn3-4} - Q_3 - P_{pin} = 0$$
 (5)

trong đó:

$Q_3 = \tau_1.\tau_2.(\alpha_3.K - \alpha_2(1-K)) \times Q_{MT}.A$  là nhiệt

hấp thụ tại lớp 3;

$Q_{dn3-4}$  là lượng nhiệt truyền qua lớp 3 của tấm pin;

$K = A_{cell}/A$  là tỉ số giữa diện tích cell và diện tích tấm pin.

▪ Với lớp 4:

$$Q_{dn3-4} - Q_{dn4-5} - Q_4 = 0$$
 (6)

trong đó:

$Q_4 = \tau_1.\tau_2.\tau_4.\alpha_3.(1 - K).Q_{MT}.A$  là nhiệt hấp thụ tại lớp 4;

$Q_{dn4-5}$  là lượng nhiệt truyền qua lớp 4 của tấm pin.

▪ Lớp 5:

$$Q_{dn4-5} - Q_{bx2} - Q_{dl2} - Q_5 = 0$$
 (7)

trong đó :

$Q_5 = \tau_1.\tau_2.\tau_4.\tau_5.\alpha_3.(1 - K).Q_{MT}.A$  là nhiệt hấp thụ tại lớp 5.

Ta có:

$$Q_{dn1-2} = A.(T_m - T_{1-2})/(l_1/\lambda_1);$$

$$Q_{dn2-3} = A.(T_{1-2} - T_{2-3})/(l_2/\lambda_2);$$

$$Q_{dn3-4} = (K/(l_3/\lambda_3) - (1 - K)/(l_2/\lambda_2)).A.(T_{2-3} - T_{3-4});$$

$$Q_{dn4-5} = A.(T_{3-4} - T_{4-5})/(l_4/\lambda_4).$$

$$Q_{dl1} = h_{dl1}.A.(T_m - T_{mt});$$

$$Q_{dl2} = h_{dl2}.A.(T_s - T_{mt})$$

trong đó  $h_{dl1}$ ,  $h_{dl2}$  là hệ số tỏa nhiệt tại bề mặt trước và sau tấm pin và được xác định bằng các phương pháp thực nghiệm.

$$Q_{bx1} = A \cdot \sigma \left[ \frac{1 + \cos\theta}{2} \varepsilon_1 (T_m^4 - T_{bt}^4) + \frac{1 - \cos\theta}{2} \varepsilon_1 (T_m^4 - T_{mt}^4) \right]$$

$$Q_{bx2} = A \cdot \sigma \left[ \frac{1 + \cos(\pi - \theta)}{2} \varepsilon_5 (T_s^4 - T_{bt}^4) + \frac{1 - \cos(\pi - \theta)}{2} \varepsilon_5 (T_s^4 - T_{mt}^4) \right]$$

Với  $\sigma$  là hằng số Stephan-Boltzmann,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$ ;  $\varepsilon$  là hệ số phát xạ.

### 3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

#### 3.1. Thông số tính toán

Bảng 1 là một số thông số cơ bản của tấm pin tính toán. Các lớp của tấm pin có một số tính chất như trong Bảng 2.

**Bảng 1. Một số thông số cơ bản của tấm pin**

| TT | Thông số                          | Giá trị                 |
|----|-----------------------------------|-------------------------|
| 1  | Mã sản phẩm                       | OS-M36-100              |
| 2  | Công suất                         | 100 W                   |
| 3  | Loại cell                         | Monocrystalline Silicon |
| 4  | Hiệu suất                         | 14,99%                  |
| 5  | Nhiệt độ hoạt động                | -40°C ~ +85°C           |
| 6  | Nhiệt độ vận hành của cell (NOCT) | 47 ± 2°C                |
| 7  | Hệ số suy giảm công suất          | -0,45%/°C               |
| 8  | Số cell                           | 3×14 = 42               |
| 9  | Kích thước cell                   | 156×76 mm               |
| 10 | Kích thước tấm pin                | 1200×540×30 mm          |

**Bảng 2. Một số tính chất của các lớp trong tấm pin**

| TT | Lớp  | Chiều dày l (mm) | Hệ số dẫn nhiệt $\lambda$ (W/m.K) | $\rho$ | $\tau$ | $\alpha$ |
|----|------|------------------|-----------------------------------|--------|--------|----------|
| 1  | Kính | 4                | 1,8                               | 0,1    | 0,88   | 0,08     |
| 2  | EVA  | 0,4              | 0,35                              | -      | 0,97   | 0,03     |
| 3  | Cell | 0,4              | 150                               | -      | -      | 1        |
| 4  | Nền  | 0,3              | 0,3                               | -      | -      | 1        |

Hệ số phát xạ của các bề mặt và môi trường như Bảng 3.

**Bảng 3. Hệ số phát xạ**

| TT | Bề mặt/môi trường        | Hệ số phát xạ $\varepsilon$ |
|----|--------------------------|-----------------------------|
| 1  | Mặt trước tấm pin (kính) | 0,91                        |
| 2  | Mặt sau tấm pin (nền)    | 0,85                        |
| 3  | Bầu trời                 | 0,91                        |
| 4  | Nền đất                  | 0,94                        |
| 5  | Khung nhôm bảo vệ        | 0,04                        |

#### 3.2. Kết quả

Dựa trên các công thức (2) - (7), với các thông số tính toán trong mục 3.1, nhóm tác giả sẽ tính toán nhiệt độ hoạt động của tấm pin và so sánh với nhiệt độ hoạt động được xác định bằng công thức (1) tại điều kiện:  $Q_{MT} = 800 \text{W/m}^2$ ,  $t_{mt} = 20^\circ\text{C}$  và tốc độ gió 1 m/s và tấm pin nằm ngang ( $\theta = 0^\circ$ ).

Nhiệt độ hoạt động tính toán của tấm pin được xác định như sau:

$$T_{hdt} = \frac{T_m + T_{1-2} + T_{2-3} + T_{3-4} + T_{4-5} + T_s}{6} \quad (8)$$

Với điều kiện tính toán và các giải thuyết đưa ra trong mục 2.1, trao đổi nhiệt đối lưu ở các bề mặt tấm pin với môi trường xung quanh là đối lưu tự nhiên. Hệ số tỏa nhiệt đối lưu  $h_{dl1}$ ,  $h_{dl2}$  được xác định bằng các công thức thực nghiệm. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng công thức tính hệ số tỏa nhiệt đối lưu do Duffie và Beckman [13] gợi ý sử dụng dựa trên biểu thức do McAdams [14] xây dựng cho tấm phẳng tiếp xúc với gió môi trường bên ngoài:

$$h_{dl} = 5,7 - 3,8v \quad (9)$$

với  $v$  là vận tốc của gió (m/s).

Ở trạng thái làm việc ổn định, nhiệt độ mặt trước của tấm pin thường cao hơn nhiệt độ mặt sau khoảng  $2-3^{\circ}\text{C}$  [15]. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn độ chênh lệch nhiệt độ giữa mặt trước và mặt sau của tấm pin là  $2^{\circ}\text{C}$ . Bảng 4 thể hiện nhiệt độ bề mặt các lớp của tấm pin tính toán.

**Bảng 4. Nhiệt độ các lớp của tấm pin**

| $t_m$ | $t_{1-2}$ | $t_{2-3}$ | $t_{3-4}$ | $t_{4-5}$ | $t_s$ | $t_{hdt}$ | Sai số $^{\circ}\text{C}$ | Sai số % |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-----------|---------------------------|----------|
| 48,5  | 49,4      | 50,0      | 50,4      | 48,8      | 46,5  | 48,9      | 1,9                       | 4,04%    |

Qua kết quả tính toán ta thấy, nhiệt độ trung bình của tấm pin cao hơn nhiệt độ NOCT do nhà sản xuất công bố là  $1,9^{\circ}\text{C}$ , tương đương 4,04%. Ta thấy rằng, trong tấm pin nhiệt độ bề mặt lớp cell có nhiệt độ cao nhất do lớp kính, lớp EVA có hệ số truyền qua lớn và lớp cell có hệ số hấp thụ năng lượng bằng 1 nên nhiệt lượng được các cell hấp thụ nhiều nhất.

Hiệu suất của tấm pin thực tế được xác định theo công thức [16]:

$$\eta_t = \eta \cdot (1 - \beta(t_{hdt} - t)) \quad (10)$$

với  $\eta$ ,  $\beta$  là hiệu suất và hệ số suy giảm công suất của tấm pin do nhà sản xuất đưa ra;

$t = 25^{\circ}\text{C}$  là nhiệt độ ở điều kiện tiêu chuẩn STC.

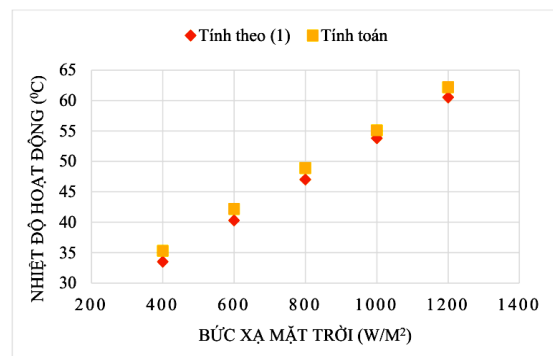
Với nhiệt độ hoạt động là nhiệt độ trung bình của tấm pin, ta có:

$$\eta_t = 14,99 \cdot (1 - 0,45\% \cdot (48,9 - 25)) = 13,78\%$$

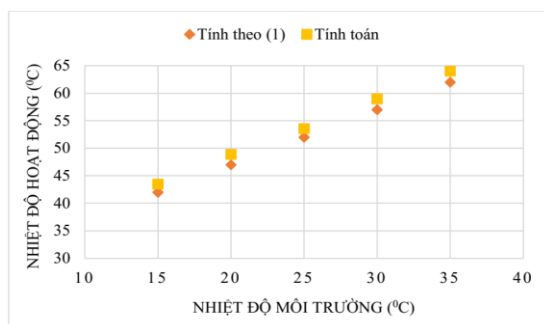
Với nhiệt độ của lớp cell, ta có:

$$\eta_t = 14,99 \cdot (1 - 0,45\% \cdot (50,4 - 25)) = 13,28\%$$

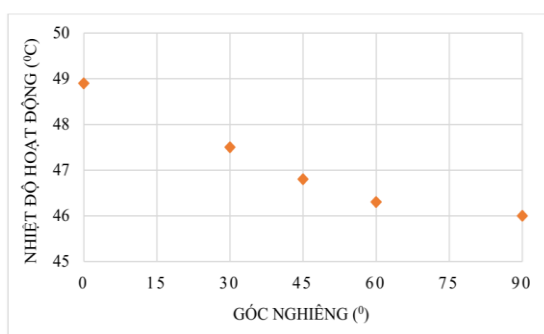
Như vậy, với nhiệt độ hoạt động trung bình tính toán được thì hiệu suất của tấm pin là 13,78%, tương đương công suất giảm 8,1%. Còn nếu tính với nhiệt độ bề mặt của lớp cell thì hiệu suất của tấm pin là 13,28%, tương đương công suất giảm 11,4%.



**Hình 3. Nhiệt độ hoạt động của tấm pin khi bức xạ mặt trời thay đổi**



**Hình 4. Nhiệt độ hoạt động của tấm pin khi nhiệt độ môi trường thay đổi**



**Hình 5. Nhiệt độ hoạt động của tấm pin khi góc nghiêng thay đổi**

Hình 3, 4, 5 lần lượt là đồ thị thể hiện nhiệt độ hoạt động trung bình của tấm pin khi bức xạ mặt trời, nhiệt độ môi trường và góc nghiêng tấm pin thay đổi. Hình 3, 4 cho thấy, khi bức xạ mặt trời và nhiệt độ môi trường tăng thì nhiệt độ hoạt động trung bình của tấm pin cũng tăng. Hình 5 cho thấy góc nghiêng của tấm pin có ảnh hưởng đến nhiệt độ hoạt động của nó nhưng không đáng kể, khi góc nghiêng của

tấm pin tăng thì nhiệt độ hoạt động giảm.

#### 4. KẾT LUẬN

Tấm pin mặt trời chuyển hóa quang năng thành điện năng nhờ hiệu ứng quang điện. Hiệu suất chuyển đổi bị ảnh hưởng của nhiều yếu tố như cường độ bức xạ, tốc độ gió, vị trí lắp đặt,... trong đó có nhiệt độ hoạt động của tấm pin. Khi nhiệt độ hoạt động của tấm pin tăng thì hiệu suất của nó sẽ giảm. Bài báo đã trình bày cách tính toán nhiệt độ hoạt động của tấm pin bằng phương pháp truyền nhiệt. Khi tính toán áp dụng cho một tấm pin cụ thể cho thấy kết quả khá tương đồng với phương pháp tính nhiệt độ thông qua NOCT. Thông qua xây dựng các công thức tính toán cũng giúp chúng ta nắm được cơ chế truyền nhiệt và xác định được nhiệt độ cụ thể của các lớp trong tấm pin. Trong những nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ tính toán, đánh giá nhiệt độ hoạt động khi có xét đến sự biến thiên nhiệt độ theo thời gian của tấm pin.

#### LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ nghiên cứu thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường mã số 28-2022-RD/HĐ-ĐHCN.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J.T. Pinho and M.A. Galdino, "Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos" [Engineering Manual for Photovoltaic Systems], Rio de Janeiro, 2014.
- [2] ASTM, ASTM G173-03 Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. 2012.
- [3] A.H. Alami, "Effects of evaporative cooling on efficiency of photovoltaic modules," Energy Convers Manag, vol. 77, pp. 668–679, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.10.019>.

- [4] S.K. Natarajan, T.K. Mallick, M. Katz, and S. Weingaertner, "Numerical investigations of solar cell temperature for photovoltaic concentrator system with and without passive cooling arrangements," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 50, no. 12, pp. 2514–2521, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2011.06.014.
- [5] D.R. Myers, K. Emery, and C. Gueymard, "Revising and Validating Spectral Irradiance Reference Standards for Photovoltaic Performance Evaluation," in *Solar Energy*, ASME/ASME, Jan. 2002, pp. 367–376. doi: 10.1115/SED2002-1074.
- [6] ASTM, "Standard test methods for electrical performance of non concentrator terrestrial photovoltaic modules and arrays using reference cells - Standard E1036," West Conshohocken, Pa, USA, 1998.
- [7] Nolay Pierre, "Developpement dunem ethode generale danalyse des systemes photovoltaiques," 1987.
- [8] S. Krauter and A. Preiss, "Comparison of module temperature measurement methods," in 2009 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), IEEE, Jun. 2009, pp. 000333–000338. doi: 10.1109/PVSC.2009.5411669.
- [9] G. Ciulla, V. Lo Brano, and E. Moreci, "Forecasting the Cell Temperature of PV Modules with an Adaptive System," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, pp. 1–10, 2013, doi: 10.1155/2013/192854.
- [10] A. Razak, Y.M. Irwan, W.Z. Leow, M. Irwanto, I. Safwati, and M. Zhafarina, "Investigation of the Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance," *Int J Adv Sci Eng Inf Technol*, vol. 6, no. 5, p. 682, Oct. 2016, doi: 10.18517/ijaseit.6.5.938.
- [11] M. Hammami, S. Torretti, F. Grimaccia, and G. Grandi, "Thermal and Performance Analysis of a Photovoltaic Module with an Integrated Energy Storage System," *Applied Sciences*, vol. 7, no. 11, p. 1107, Oct. 2017, doi: 10.3390/app7111107.
- [12] M. Bardhi, G. Grandi, and M. Premuda, "Steady State Global Power Balance for Ground-Mounted Photovoltaic Modules," *ID109/copyright IREC2011-STPE*, pp. 359–365, Jan. 2011.
- [13] J.A. Duffie and W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [14] W.H. McAdams, *Heat Transmission*, third ed. New York, USA: McGraw-Hill, 1954.
- [15] B.J. Brinkworth, R.H. Marshall, and Z. Ibarahim, "A validated model of naturally ventilated PV cladding," *Solar Energy*, vol. 69, no. 1, pp. 67–81, 2000, doi: 10.1016/S0038-092X(99)00076-6.
- [16] D.L. Evans and L.W. Florschuetz, "Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration," *Solar Energy*, vol. 19, no. 3, pp. 255–262, 1977, doi: 10.1016/0038-092X(77)90068-8.

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Đặng Văn Bính tốt nghiệp đại học ngành trang thiết bị nhiệt và lạnh tại Trường Đại học Giao thông Vận tải năm 2009, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật năng lượng tại Trường Đại học Điện lực năm 2017. Hiện nay tác giả là giảng viên Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: tiết kiệm năng lượng trong hệ thống điều hòa không khí, hệ thống lạnh; ống nhiệt; công nghệ năng lượng.



Tác giả Tiêu Xuân Hoàng tốt nghiệp đại học ngành nhiệt điện năm 2015, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật năng lượng năm 2017 tại Trường Đại học Điện lực. Hiện nay tác giả công tác tại Phòng Quản lý khoa học và Hợp tác quốc tế - Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: tiết kiệm năng lượng, công nghệ năng lượng, năng lượng tái tạo.