

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM CẢI TIẾN ĐẶC TÍNH NHIỆT HỌC CỦA TẮM PIN MẶT TRỜI

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON IMPROVEMENT FOR THERMAL RESPONSE OF PHOTOVOLTAIC PANELS

Nguyễn Vũ Lâm, Hoàng An Quốc, Nguyễn Thành Sơn
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 11/5/2020, ngày phản biện đánh giá 28/5/2020, ngày chấp nhận đăng 28/5/2020.

TÓM TẮT

Đặc tính nhiệt – điện của tấm pin mặt trời (PV solar cells) thương phẩm nói chung có mối quan hệ tỷ lệ nghịch giữa nhiệt độ làm việc của tấm pin và hiệu suất sinh điện. Do đó để tối đa hóa quá trình sinh điện cần phải có cơ chế hỗ trợ sao cho nhiệt độ làm việc của tấm được giữ ở vùng giá trị càng thấp càng tốt. Tấm pin thường có cấu trúc phẳng được lắp đặt với khoảng trống thoáng ở cả mặt trước và mặt lưng. Tuy nhiên, nhiệt độ làm việc thực tế vẫn khá cao so với nhiệt độ môi trường và do đó hiệu suất sinh điện thực tế thấp hơn nhiều so với hiệu suất định mức ghi trong thông số kỹ thuật của tấm pin. Nghiên cứu này nhằm mục đích hỗ trợ quá trình giữ nhiệt độ làm việc của tấm pin ở vùng gần giá trị nhiệt độ môi trường bằng giải pháp kết hợp sử dụng vật liệu chuyển pha (PCM) và hệ thống làm mát bằng nước. Kết quả cho thấy, nhiệt độ làm việc của tấm pin khi được xử lý hỗ trợ bằng phương án kết hợp có giá trị thấp hơn tấm pin không được hỗ trợ khoảng $7^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$, qua đó giúp tăng thời gian duy trì hiệu suất sinh điện đầu ra của tấm pin trong quá trình vận hành, cao hơn hiệu suất của tấm pin không được hỗ trợ khoảng 3,07%. Mức giảm nhiệt độ và thời gian duy trì khoảng nhiệt độ làm việc thấp phụ thuộc vào hàm lượng PCM được sử dụng, hình thức trao đổi nhiệt của hệ làm mát bằng nước và điều kiện môi trường bao gồm cường độ bức xạ tới và nhiệt độ môi trường xung quanh. Bên cạnh đó, mức độ tiếp xúc trao đổi nhiệt giữa các thành phần kết cấu của hệ là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp tới hiệu quả duy trì nhiệt độ làm việc ở mức thấp của tấm pin.

Từ khóa: Pin mặt trời; Vật liệu chuyển pha; Hiệu suất tấm pin; Tấm pin làm mát; Bức xạ mặt trời.

ABSTRACT

Thermoelectric characteristic of commercial PV solar cells shows a reverse proportion between working temperature and produced electricity. Therefore, PV panels normally have flat-plate structure and are installed with open spaces at both front and back sides to facilitate natural convection and radiation to surrounding ambience. However, the actual working temperature of PV panels in general condition is usually much higher than the ambient temperature, thus its actual electrical efficiency is also quite lower than the nominated efficiency stated in its specifications. This research focuses on the solution to keep the working temperature of the PV panels by combining the supporting effects of PCMs and water cooling system. Results show that thanks to the combined solution the temperature could be maintained at $7 - 15^{\circ}\text{C}$ lower than that of the original PV without the supporting solution. It means that the electrical efficiency is kept longer at its higher range which is about 3.07% higher than that of the original PV. The temperature difference and the working period at lower temperature depend on the amount of PCM used, convection enhancement of water cooler employed, ambient conditions including incident radiation and temperature. Besides, heat transfer contact quality between each pair of components strongly affects on how effectively the working temperature is kept low.

Keywords: PV solar cells; PCM; PV efficiency; Cooled PV; Solar radiation.

Danh mục ký hiệu và chữ viết tắt		
Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
T	°C	Nhiệt độ mặt tấm PV
T _{ref}	°C	Nhiệt độ tham chiếu (nhiệt độ phòng thí nghiệm)
T _i	°C	Nhiệt độ ban đầu
T _j	°C	Nhiệt độ đo được ở các thời điểm đo
T _f	°C	Nhiệt độ cuối cùng
T _m	°C	Nhiệt độ nóng chảy
T _c	°C	Nhiệt độ làm việc của tấm PV
η _{ref}	%	Hiệu suất sinh điện ở điều kiện nhiệt độ T _{ref} = 25°C, tổng xạ G _T = 1kW/m ²
η _T	%	Hiệu suất sinh điện theo nhiệt độ
β _{ref}	%/K	Hệ số hiệu suất – nhiệt độ
G _T	W/m ²	Tổng bức xạ tới
Q	J	Nhiệt lượng
τ _{PV}	%	Độ xuyên thấu của lớp kính chắn PV
A	m ²	diện tích bề mặt PV
γ _{ref}	%/K	Hệ số công suất – nhiệt độ
E _Σ	W	Tổng năng lượng mặt trời tới trên bề mặt diện tích của tấm PV
E _d	W	Tổng lượng điện năng sinh ra của tấm PV
E _n	W	Tổng lượng nhiệt năng thu được từ tấm PV
E _l	W	Tổng năng lượng lưu trữ trong PCM hoặc các thành phần khác của hệ
E _{tt}	W	Tổng năng lượng tổn thất do phản xạ, bức xạ nhiệt, truyền nhiệt và đối lưu ra môi trường
C _p	J/kgK	Nhiệt dung riêng
C _{pr}	J/kgK	Nhiệt dung riêng trong pha rắn
C _{pl}	J/kgK	Nhiệt dung riêng trong pha lỏng
Δh _m	J/kg	Ẩn nhiệt
m	kg	Khối lượng
f	---	Tỷ lệ phần nóng chảy
PCM	---	Phase change material
PV	---	Photovoltaic
PV/T	---	Photovoltaic – Thermal system
MEPC M- PV	---	Micro enveloped Phase Change Material – Photovoltaic system

1. GIỚI THIỆU

Pin mặt trời là một trong những thiết bị được dùng phổ biến nhất hiện nay trên thế giới để biến đổi năng lượng mặt trời (năng lượng sạch) thành điện năng. Điện năng sinh ra có thể được ứng dụng trực tiếp tại chỗ hoặc tích lũy và truyền tải dưới dạng điện năng một chiều hoặc xoay chiều trên lưới điện. Nhìn chung hiệu suất các tấm pin mặt trời thương mại hiện nay trên thị trường chưa cao, tùy thuộc vào nguyên liệu được dùng để chế tạo. Các tấm pin thương mại phổ biến được chuẩn hóa thành dạng tấm phẳng có cấu trúc tối giản (tấm pin được đặt bên dưới một lớp kính bảo vệ và nằm trên một tấm đỡ và được đóng kín bằng viền bao xung quanh) với nhiều kích thước khác nhau. Tuy nhiên, tất cả các tấm pin mặt trời đều có một nhược điểm chung là khi nhiệt độ làm việc càng cao thì hiệu suất chuyển đổi điện năng càng thấp, và do đó lượng điện năng sinh ra càng giảm. Mức suy giảm này càng mạnh với các tấm pin chế tạo từ vật liệu có hệ số hấp thụ hồng ngoại mặt trời cao. Với cấu trúc tối giản nêu trên, cơ chế ổn định nhiệt gần như không có và phụ thuộc hoàn toàn vào cường độ bức xạ và điều kiện môi trường (nhiệt độ, gió hỗ trợ đối lưu tản nhiệt ở 2 mặt tấm). Vì vậy cần có thêm các nghiên cứu thực hiện việc kết hợp các giải pháp ổn định nhiệt độ làm việc để nâng cao hiệu suất của tấm pin bên cạnh việc tìm kiếm vật liệu quang điện hiệu quả hơn. Trong nhiều hình thức cải tiến cơ chế giải nhiệt, việc sử dụng vật liệu chuyển pha (PCM) để duy trì nhiệt độ làm việc của tấm pin ở mức thấp, qua đó nâng cao hiệu suất sinh điện của pin mặt trời được nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu.

Công nghệ chế tạo pin mặt trời dựa vào nguyên lý quang điện khi lớp vật chất bán dẫn được ánh sáng với cường độ và bước sóng phù hợp chiếu vào sẽ giải phóng ra các điện tử tự do và tạo thành dòng điện. Hiệu suất của quá trình chuyển đổi từ quang năng thành điện năng phụ thuộc chủ yếu vào loại vật liệu sử dụng, chất lượng nguồn sáng, bước sóng và cường độ bức xạ. Tuy nhiên, Dubey và các cộng sự [1] đã chỉ ra rằng

hiệu suất làm việc của tấm pin mặt trời trong quá trình làm việc là một thông số tỷ lệ nghịch với hiệu suất chuyển đổi bức xạ mặt trời thành điện năng của pin. Trước thực tế đó, các giải pháp nhằm nâng cao hiệu suất sinh điện của tấm pin mặt trời ở mức cao nhất có thể bao gồm (a) Cải tiến vật chất tạo nên lớp quang điện bằng cách trộn thêm các thành phần phụ (doping) trên lớp vật liệu quang điện, và (b) khắc phục vấn đề về tăng nhiệt độ trong quá trình làm việc của tấm pin. Ở phương án (a), việc cải tiến công nghệ chế tạo đòi hỏi cơ sở vật chất thí nghiệm hoặc sản xuất hiện đại, vật liệu phải được điều chế và thực hiện công nghệ gia công nano tinh vi với chi phí đầu tư rất cao. Trong khi đó ở phương án (b) có nhiều lựa chọn cho các giải pháp nghiên cứu như tăng cường hiệu ứng đối lưu tự nhiên hoặc cưỡng bức bằng cách dùng hệ thống làm mát phụ trợ, gắn thêm cánh tản nhiệt... để hỗ trợ quá trình tỏa nhiệt của tấm pin với chi phí thấp hơn. Có thể kể đến các nghiên cứu trên thế giới đã đề xuất ra các nhóm giải pháp khác nhau như (i) nghiên cứu chế tạo vật liệu quang điện mới có hiệu suất chuyển đổi bức xạ mặt trời thành điện năng cao hơn [2]; (ii) tìm kiếm phương án điều khiển hệ thống chuyển đổi và nạp điện năng (PV-converter-battery) một cách thông minh để thu được nhiều điện năng hơn [3]; (iii) áp dụng các cơ chế hỗ trợ làm mát thông qua các cơ chế truyền nhiệt và đối lưu [4–6]; (iv) sử dụng phương pháp trao đổi nhiệt vi kênh để tăng cường tốc độ tản nhiệt [7–8]; (v) dùng vật liệu chuyển pha với khả năng giữ nhiệt độ tăng rất chậm hoặc gần như không đổi trong quá trình chuyển pha [9–12] để hỗ trợ giữ ổn định nhiệt độ làm việc. Browne và các cộng sự [13] đã có nghiên cứu tổng quan về các phương pháp quản lý nhiệt của mô hình tế bào quang điện (PV), đặc biệt chú ý đến việc sử dụng PCM trong hệ thống quản lý nhiệt của PV. Việc điều chỉnh nhiệt độ của các hệ thống PV bao gồm các tế bào silic tinh thể đường như là khả thi và kinh tế nhất khi sử dụng các hệ thống PV/PCM. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc sử dụng PCM giúp cải thiện hiệu suất của PV mặc dù vẫn còn nhiều điều cần được

khám phá và cải tiến đặc biệt là quá trình đông đặc và giải phóng nhiệt của PCM. Do đó, PCM là ứng dụng phù hợp trong lĩnh vực làm mát pin mặt trời nhằm nâng cao hiệu suất của pin. Nói đến ứng dụng này, Smith và các cộng sự [14] đã phân tích tổng quan về sản lượng năng lượng quang điện gia tăng nhờ PCM làm mát. Mô phỏng sử dụng một mô hình cân bằng năng lượng một chiều với nhiệt độ môi trường xung quanh, độ rung và tốc độ gió được trích xuất từ ERA-Interim phân tích lại dữ liệu khí hậu trên lưới toàn cầu chia độ $1,5^{\circ}$ kinh độ x $1,5^{\circ}$ vĩ tuyến. Hiệu quả của việc thay đổi nhiệt độ nóng chảy PCM từ 0°C đến 50°C đã được nghiên cứu để xác định nhiệt độ nóng chảy tối ưu tại mỗi vị trí lưới. Khi sử dụng nhiệt độ nóng chảy PCM tối ưu, sản lượng năng lượng PV hàng năm tăng hơn 6% ở Mêhicô và Đông Phi, và trên 5% ở nhiều địa điểm như Trung và Nam Mỹ, phần lớn Châu Phi, Ả Rập, Nam Á và Quần đảo Ấn Độ. Tại Châu Âu, sản lượng năng lượng tăng lên dao động từ 2% đến gần 5%. Bên cạnh đó Browne và các cộng sự [15] đã nghiên cứu giữ nhiệt của PV trong bộ thu nhiệt có PCM (PV/T/PCM), hệ thống thiết kế kết hợp một module PV với bộ thu nhiệt, trong đó nhiệt được lấy ra từ một bộ trao đổi nhiệt gắn trong PCM. Hiệu suất hệ thống trong 3 trường hợp (hệ thống chỉ có PV, hệ thống có PCM, hệ thống có/không có bộ trao đổi nhiệt) đã được so sánh. Kết quả cho thấy nước trong hệ thống sử dụng PCM có nhiệt độ cao hơn khoảng $5,5^{\circ}\text{C}$ so với nước trong hệ thống PV/T không có PCM. Hasan và các cộng sự [16] đã phát triển hệ thống PV-PCM để giảm nhiệt độ của tấm PV bằng cách so sánh và đánh giá 2 loại vật liệu PCM: muối hydrate $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ và hỗn hợp eutectic của axit béo là axit capric-palmitic và đặt ở hai địa điểm khác nhau. Cả hai PCM tích hợp đều duy trì được nhiệt độ tấm PV thấp hơn so với tấm PV nguyên bản. Muối hydrate $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ duy trì nhiệt độ PV thấp hơn axit capric-palmitic ở cả hai địa điểm được kiểm tra. Nhiệt độ PV thấp hơn do hiệu quả sử dụng PCMs đã ngăn cản sự tổn thất của PV và tăng hiệu suất chuyển đổi điện năng. Ho

và các cộng sự [17] đã nghiên cứu lớp vật liệu chuyên pha dạng gói micro (MEPCM) được đặt ở mặt dưới tấm PV để tạo thành một module MEPCM-PV, trôi nổi trên mặt nước, với nhiệt độ nóng chảy 30°C và 28°C và độ dày lần lượt là 5cm và 3cm. Hiệu suất phát điện được cải thiện khi sử dụng MEPCM 5cm với điểm nóng chảy ở 30°C được gắn vào mặt sau của PV. Hasan và các cộng sự [18] đã thử nghiệm với 5 loại PCM, dưới 3 cường độ khác nhau của ánh sáng ($500\text{W}/\text{m}^2$, $750\text{W}/\text{m}^2$ và $1.000\text{W}/\text{m}^2$). Kết quả cho thấy rằng hydrate muối dày 50 mm là phương pháp thành công nhất của việc duy trì giảm nhiệt độ 10°C trong thời gian dài nhất là 5h, dưới cường độ bức xạ $1.000\text{W}/\text{m}^2$. Gaur và các cộng sự [19] đã nghiên cứu mô phỏng về hiệu suất điện và nhiệt cho một bộ thu nhiệt quang điện hấp thụ hoàn toàn có và không sử dụng PCM. Nhiệt và điện được thực hiện với PCM sử dụng là PCM OM37, mô hình được đặt ở Pháp trong mùa đông và mùa hè. Trong thời gian nắng, tăng khối lượng PCM lên đến giá trị tối ưu của nó làm giảm nhiệt độ dẫn đến hiệu quả điện cao hơn và cũng cho phép cung cấp nhiệt độ nước cao hơn vào ban đêm. Atkin và Farid [20] đã nghiên cứu nâng cao hiệu quả của các tế bào quang điện sử dụng PCM trộn than chì và cánh bằng nhôm, kết quả hệ số dẫn nhiệt của PCM tinh khiết và PCM trộn than chì lần lượt là 0,25 và 16,6 W/m.K. Huang và các cộng sự [21] đã thực hiện mô hình PV tích hợp bộ tản nhiệt nhôm kết hợp PCM để nâng cao hiệu suất PV. Nhiệt độ hoạt động tăng làm giảm hiệu suất chuyển đổi điện năng mặt trời của việc xây dựng thiết bị quang điện tích hợp.

Tóm lại, mỗi giải pháp có mức độ đáp ứng không chế nhiệt độ khác nhau và có phương thức thiết kế và áp dụng khác nhau nhưng nhìn chung đều giúp giữ cho nhiệt độ làm việc của tấm PV thấp hơn mức nhiệt độ làm việc thông thường khi không có hỗ trợ và do đó có thể duy trì mức hiệu suất chuyển đổi ở khoảng gần với giá trị hiệu suất làm việc tối đa của tấm pin hơn, trong thời gian lâu hơn. Nghiên cứu này đề xuất giải pháp cải tiến cấu trúc để hỗ trợ quá trình ổn định

và duy trì nhiệt độ làm việc của tấm pin ở khoảng gần nhiệt độ môi trường. Qua đó giúp nâng cao tổng lượng điện năng sinh ra của tấm pin. Trong khi chưa thể phát minh ra vật liệu quang điện có hiệu suất chuyển đổi nhiệt cao hơn các sản phẩm sẵn có, thì việc cải tiến nâng cao hiệu quả sử dụng các tấm pin mặt trời là hoàn toàn cần thiết và khả thi ở Việt Nam để mang lại hiệu quả khai thác tốt hơn cho người sử dụng. Với một số lượng rất lớn tấm pin mặt trời đang và sẽ được sử dụng trong nước và trên phạm vi toàn thế giới, mỗi giải pháp nâng cao hiệu suất dù chỉ vài phần trăm cũng sẽ đem lại một lượng điện năng lớn và giúp tận dụng tốt hơn nguồn năng lượng sạch từ thiên nhiên.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Pin mặt trời

Khi tiếp xúc với bức xạ mặt trời, chỉ một phần của phổ bức xạ mặt trời bao gồm các bước sóng cực tím, khả kiến và cận hồng ngoại có tác dụng sinh điện cho PV (vùng bước sóng ngắn hơn 1100nm với PV làm từ Silic). Ngược lại, các bước sóng ở càng sâu trong vùng hồng ngoại sẽ không giúp sinh điện cho PV nhưng lại khiến tấm pin bị nóng lên, khiến cho hiệu suất của tấm pin bị suy giảm. Tuy nhiên, vùng bước sóng này luôn là một thành phần tự nhiên tồn tại trong bức xạ mặt trời. Cấu trúc tấm pin được biểu diễn như ở Hình 1. Thông thường, phương trình phản ánh mối quan hệ giữa nhiệt độ làm việc và hiệu suất hay công suất sinh điện của tấm PV được nêu như ở công thức sau [22]:

$$\eta_T = \eta_{\text{ref}} \times [1 - \beta_{\text{ref}} (T - T_{\text{ref}})] \quad (1)$$

Công suất sinh điện của tấm pin được tính theo công thức:

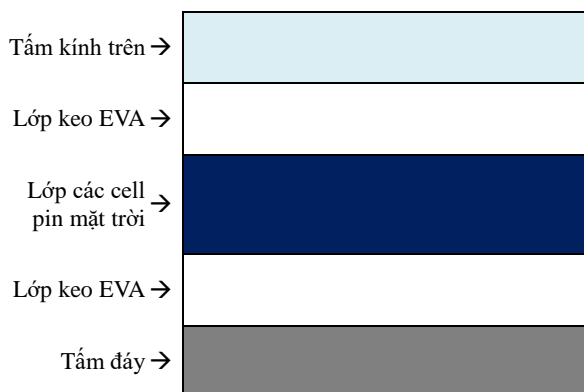
$$P = G_T \times \tau_{\text{PV}} \times \eta_{\text{ref}} \times A \times [1 - \gamma_{\text{ref}} (T_c - 25)] \quad (2)$$

Phương trình biến đổi năng lượng trên tấm PV được xác định như sau:

$$E_{\Sigma} = E_d + E_n + E_l + E_{\text{tt}} \quad (3)$$

Công thức xác định hiệu suất thực nghiệm của tấm pin trong khoảng thời gian khảo sát:

$$\eta = E_d / E_{\Sigma} \times 100\% \quad (4)$$



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo tấm pin mặt trời PV

2.2. Vật liệu biến đổi pha (PCM)

PCM được phân loại thành nhiều loại khác nhau như hợp chất hữu cơ và vô cơ, cũng như hỗn hợp eutectic của các hợp chất này. Tất cả chúng khi cung cấp nhiệt sẽ cho giai đoạn chuyển pha ở các nhiệt độ khác nhau.

Ở trạng thái rắn hoàn toàn hoặc lỏng hoàn toàn của PCM, khi quá trình trao đổi nhiệt diễn ra, nhiệt lượng được lưu trữ do sự gia tăng nhiệt độ của PCM (quá trình nạp) hoặc nhiệt lượng được giải phóng do sự giảm nhiệt độ của PCM (quá trình xả) sẽ phụ thuộc vào các yếu tố bao gồm nhiệt dung riêng, sự thay đổi nhiệt độ và khối lượng vật liệu lưu trữ. Phương trình nhiệt của các thể rắn và lỏng của PCM là:

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m C_p dT \quad (5)$$

Khi coi C_p không thay đổi theo nhiệt độ thì:

$$Q = m C_p (T_f - T_i) \quad (6)$$

Khi ở trạng thái chuyển đổi giữa 2 pha, nhiệt lượng hấp thụ sẽ được chuyển thành ẩn nhiệt trên vật liệu (quá trình nạp) và nhiệt lượng giải phóng sẽ được chuyển từ ẩn nhiệt của vật liệu sinh ra môi trường. Ẩn nhiệt trên một đơn vị khối lượng càng cao thì càng tốt để giảm thiểu sự giãn nở nhiệt của lớp chứa PCM. Dung lượng lưu trữ nhiệt ẩn của hệ thống với một lượng PCM trung bình được cho bởi phương trình:

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} m C_p dT + m f \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} m C_p dT \quad (7)$$

Nếu C_{pr} và C_{pl} không thay đổi theo nhiệt độ:

$$Q = m [C_{pr}(T_m - T_i) + f \Delta h_m + C_{pl}(T_f - T_m)] \quad (8)$$

3. MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1 Mô hình thực nghiệm

Tấm pin mặt trời được sử dụng thuộc loại Mono 35W của hãng Solarhouse với kích thước 675mm × 395mm × 35mm, cường độ dòng ngắn mạch 1,93A và điện áp hở mạch cực đại 21,6V.

Trong nghiên cứu này, vật liệu chuyển pha PAL-33, một loại PCM hữu cơ dạng rắn – lỏng thuộc họ parafin được sử dụng có xuất xứ từ Đài Loan và có thông số nhiệt học như trong Bảng 1. Trong điều kiện làm việc thông thường của tấm PV, đặc biệt là ở khu vực Thành phố Hồ Chí Minh, thì nhiệt độ môi trường (trong thời gian có nắng chiếu) ở khoảng 30°C đến 40°C, và nhiệt độ bề mặt tấm pin là khoảng trên 60°C. Do vậy, tác giả chọn PCM có nhiệt độ nóng chảy ở mức 33°C để đảm bảo quá trình nóng chảy của PCM sẽ giữ nhiệt độ làm việc của tấm PCM ở gần mức nhiệt độ môi trường. Nếu giá trị nhiệt độ nóng chảy được chọn quá thấp so với nhiệt độ môi trường thì PCM gần như sẽ luôn ở trạng thái lỏng và mất đi khả năng chuyển pha đặc biệt của nó. Nếu giá trị nhiệt độ nóng chảy được chọn cao hơn nhiều so với mức nhiệt độ làm việc thông thường của tấm pin thì PCM gần như luôn ở thể rắn và cũng không thể hiện được tính năng đặc biệt của quá trình chuyển pha. Do mục đích của nghiên cứu là duy trì quá trình giữ nhiệt độ làm việc của tấm PV ở mức thấp (so với tấm PV nguyên bản) càng lâu càng tốt, việc sử dụng PCM có dung lượng ẩn nhiệt càng lớn sẽ càng cần dùng khối lượng PCM ít hơn. Mặc dù có nhược điểm dễ cháy, nhưng nếu được bao bọc cẩn thận, không rò rỉ thì vẫn đảm bảo an toàn. Ngoài ra, vật liệu PCM hữu cơ rắn – lỏng có tính oxi hóa thấp và do đó vật liệu chứa đựng PCM có thể là các dạng bao gói thông thường bằng nhựa hoặc kim loại. Lớp hỗ trợ không chế nhiệt độ làm việc không thể nằm phía trên bề mặt tấm PV (vì sẽ cản ánh sáng mặt

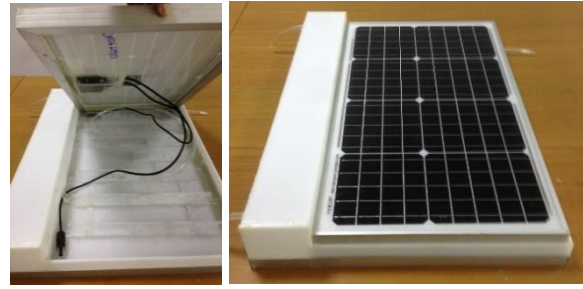
trời tới bề mặt của tấm) do đó lớp PCM được thêm vào ở phía lưng của tấm PV. Việc đưa thêm nước kết hợp PCM (Hình 2) nhằm mục đích nhờ lực nổi lớp PCM sẽ luôn được đẩy nổi lên và áp sát lưng tấm PV (do khối lượng riêng của PCM nhỏ hơn của nước) và do đó quá trình trao đổi nhiệt giữa tấm PV và lớp PCM được đảm bảo.

Bảng 1. Đặc tính nhiệt học của PCM PAL-33

Đặc tính vật lý	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Điểm nóng chảy	T_c	~ 33	°C
Nhiệt dung riêng (ở thể rắn)	C_{pr}	1,7	kJ/kgK
Nhiệt dung riêng (ở thể lỏng)	C_{pl}	1,9	kJ/kgK
Khối lượng riêng (ở thể rắn)	ρ_r	851	kg/m ³
Khối lượng riêng (ở thể lỏng)	ρ_l	781	kg/m ³
Hệ số dẫn nhiệt (ở thể rắn)	λ_r	0,17	W/mK
Hệ số dẫn nhiệt (ở thể lỏng)	λ_l	0,25	W/mK
Ẩn nhiệt chuyển pha	ΔH	45,8	kJ/kg



Hình 2. Sơ đồ cấu tạo của mô hình thí nghiệm tấm PV + PCM + nước (mẫu 4)



Hình 3. Mô hình Mẫu 2 và Mẫu 4

Có 4 mẫu thực nghiệm bao gồm tấm PV nguyên bản (mẫu 1), tấm PV kết hợp nước (mẫu 2), tấm PV kết hợp PCM (mẫu 3), tấm PV kết hợp PCM và nước (mẫu 4) được gia công và thực nghiệm ở 2 chế độ trong phòng thí nghiệm và ngoài trời. Máng chứa bằng nhựa mica được chế tạo để chứa nước và PCM trong các mẫu 2 và mẫu 4 như trong Hình 3.

3.2 Phương pháp nghiên cứu

Hệ thống thí nghiệm sử dụng 6 cảm biến Pt-100 (với sai số dưới 0,15°C, khoảng đo -50°C – 200°C) kết nối với bộ thu thập dữ liệu ADAM-4015 được kết nối với máy tính qua giao thức truyền RS-232. Sơ đồ bố trí vị trí đo nhiệt độ bề mặt tấm PV như ở Hình 4. Ở chế độ trong phòng thí nghiệm, 02 đèn halogen loại 500W/220V được sử dụng để tạo ra nguồn sáng giả lập chiếu bức xạ tương đối đồng đều cỡ 800W/m² trên bề mặt tấm pin. Ở chế độ ngoài trời, thiết bị đo Tenmars 206 được sử dụng để đo cường độ bức xạ tới (với độ phân giải 0,1W/m²). Mỗi chế độ thực nghiệm được thực hiện nhiều lần để loại trừ trường hợp có thể xảy ra các tác động nhiễu đột biến ngoài ý muốn. Sau đó, các điểm giá trị kết quả ở mỗi bước đo giống nhau được lấy giá trị trung bình từ các phiên thực nghiệm cùng điều kiện nhằm tạo ra giá trị đại diện chung để tăng cường độ chính xác của kết quả. Đồ thị thực nghiệm được tái hiện với bộ dữ liệu đã được xử lý này và làm cơ sở phát biểu các nhận xét so sánh. Dựa vào dữ liệu thực nghiệm, đề tài sẽ chỉ ra phương trình hồi quy thể hiện mối quan hệ hiệu suất và nhiệt độ của tấm pin. Mô hình hồi quy bậc một được sử dụng với phương trình biểu diễn như sau:

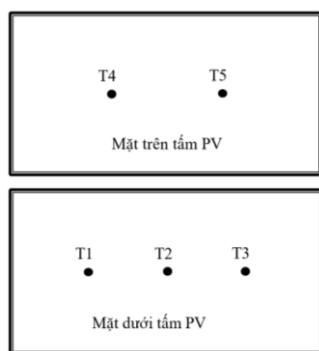
$$\eta(T) = a_0 + a_1 T \quad (9)$$

$$\begin{cases} (n)a_0 + (\sum T_i)a_1 = (\sum \eta_i) \\ (\sum T_i)a_0 + (\sum T_i^2)a_1 = (\sum T_i \eta_i) \end{cases} \quad (10)$$

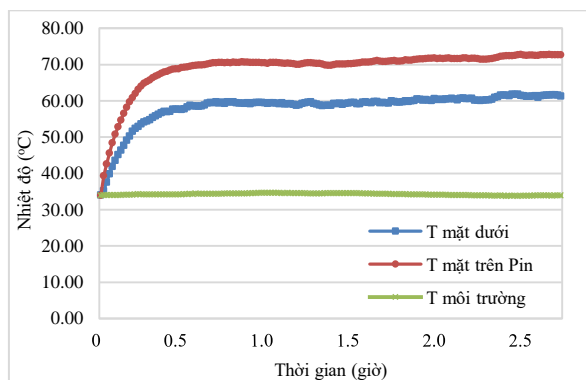
4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1 Chế độ phòng thí nghiệm

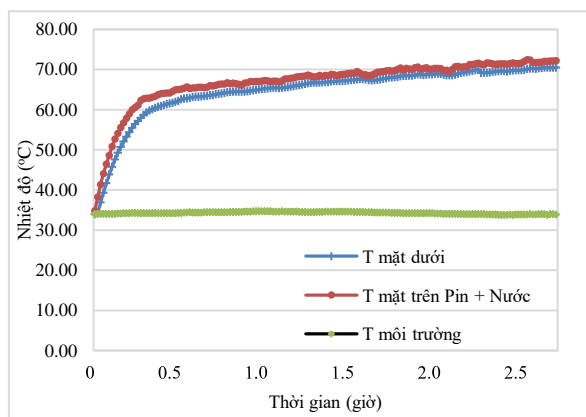
Thực nghiệm trong chế độ trong phòng thí nghiệm (indoor) được thực hiện nhằm mục đích đánh giá và so sánh hiệu quả làm mát tấm PV giữa 4 mẫu pin. Do điều kiện trong phòng thí nghiệm giúp đảm bảo được sự ổn định của một số thông số ảnh hưởng đến quá trình tản nhiệt của tấm pin như nhiệt độ môi trường (nhiệt độ phòng), bỏ qua luồng gió đối lưu (gần bằng 0), không bị gián đoạn nguồn nhiệt do bóng râm hoặc tán xạ ngoài ý muốn. Đây là những điều không thể được đảm bảo khi thực hiện thí nghiệm ở ngoài trời và do vậy sẽ khó so sánh kết quả hơn. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là phải dùng nguồn sáng giả lập từ đèn halogen với quang phổ chủ yếu ở vùng cận hồng ngoại và hồng ngoại, không hoàn toàn giống quang phổ của bức xạ mặt trời. Do vậy, giá trị đo được chỉ mang tính chất so sánh về mặt nhiệt học, không mang tính chất đánh giá hiệu quả chuyển đổi điện năng của tấm pin. Ở chế độ thực nghiệm này, các thông số thực nghiệm đã được thiết lập như sau: cường độ bức xạ giả lập tới bề mặt tấm pin $800\text{W}/\text{m}^2$, nhiệt độ phòng duy trì khoảng 34°C , tốc độ gió $\approx 0\text{m}/\text{s}$, nhiễu ánh sáng $\approx 0\%$ so với cường độ bức xạ của đèn, thời gian thực nghiệm: kéo dài trong $2,5 \sim 3,0$ giờ (đủ để các điểm đo đạt đến các giá trị nhiệt độ ổn định dài hạn). Kết quả đo được của từng mô hình được diễn giải như ở các Hình 5, 6, 7, 8 dưới đây.



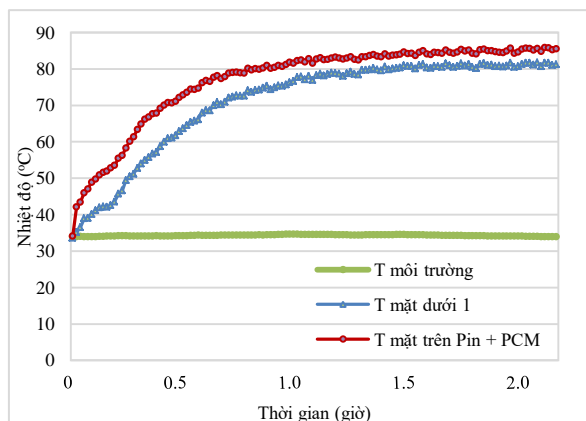
Hình 4. Sơ đồ vị trí các điểm đặt đầu đo nhiệt độ trên tấm PV



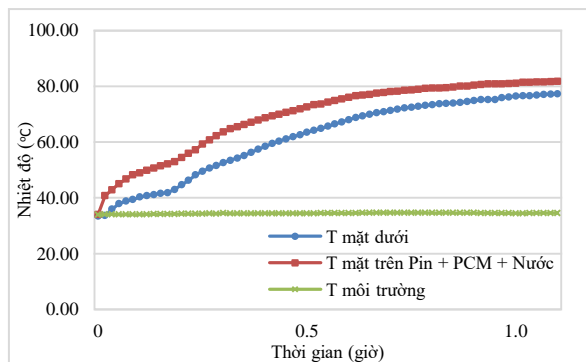
Hình 5. Nhiệt độ của tấm PV nguyên bản



Hình 6. Nhiệt độ tấm PV + nước

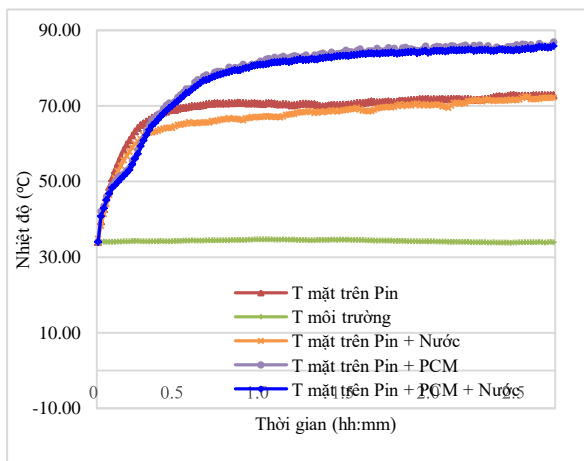


Hình 7. Nhiệt độ của tấm PV + PCM



Hình 8. Nhiệt độ của tấm PV + PCM + nước

Hình 7 và Hình 8 cho thấy sự làm giảm nhiệt độ làm việc của tấm pin chủ yếu là nhờ PCM gây nên. Nước đóng vai trò rất nhỏ trong việc hỗ trợ quá trình giải nhiệt cho tấm pin vì thực chất lớp nước trong trường hợp này có vai trò chính là để giúp nâng và giữ tấm PCM lên tiếp xúc với mặt lưng của tấm pin. Kết quả so sánh chỉ ra phương án làm mát bằng PCM + Nước cho khả năng duy trì nhiệt độ của tấm PV ở giá trị gần nhiệt độ môi trường tốt hơn cả và mức giảm nhiệt độ trong phạm vi $7^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$. Do khối lượng PAL-33 được sử dụng tương đối ít, nên thời gian duy trì nhiệt độ PV thấp chỉ kéo dài trong khoảng gần nửa giờ. Rõ ràng rằng, nếu lượng PCM được sử dụng đủ nhiều sẽ giúp duy trì vùng nhiệt độ bề mặt thấp trong suốt thời gian làm việc của tấm PV trong ngày. Trong trường hợp có PCM với ẩn nhiệt cao gấp 2 đến 3 lần ẩn nhiệt của PAL-33 thì khối lượng PCM cần dùng sẽ suy giảm đáng kể. Trong thực tế điều này là hoàn toàn có thể đạt được vì giá trị ẩn nhiệt của nhiều loại PCM thương phẩm hiện nay nằm trong khoảng 100 đến 200 kJ/kg [23].



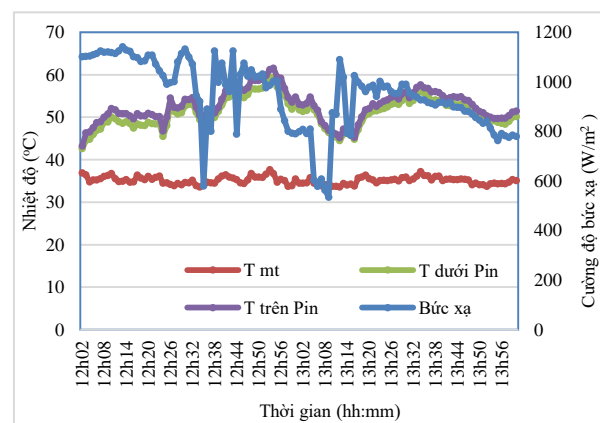
Hình 9. So sánh nhiệt độ mặt trên của tấm PV ở 4 mẫu

4.2 Chế độ ngoài trời

Chế độ thực nghiệm ngoài trời (outdoor) nhằm mục đích so sánh và đánh giá hiệu quả sinh điện thực tế của tấm PV khi làm việc trong điều kiện tự nhiên. Ở chế độ này, các thông số thực nghiệm bao gồm cường độ bức xạ thực tế đến bề mặt tấm PV giao động trong khoảng $750\text{W}/\text{m}^2$ đến $1150\text{W}/\text{m}^2$, nhiệt độ

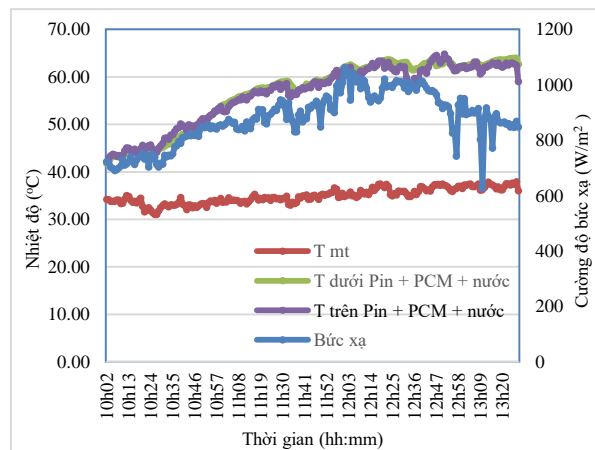
môi trường trung bình khoảng 36°C , tốc độ gió trung bình khoảng 0,2 m/s. Do có sự biến động tự nhiên như bóng mây, phản xạ, tán xạ, gió thổi, nhiệt độ môi trường nên điều kiện làm việc này khó khăn cho kết luận so sánh về tác động của riêng một biến số lên nhiệt độ làm việc của tấm PV giữa các phiên thực nghiệm khác nhau. Tuy nhiên, vì hệ thống làm việc dưới bức xạ mặt trời thực tế nên giá trị nhiệt độ và điện năng đầu ra phản ánh hiệu quả thực tế của giải pháp cải tiến trên hệ thống. Kết quả đo ở chế độ ngoài trời của từng mẫu thí nghiệm được trình bày lần lượt ở các đồ thị trong các Hình 10 đến Hình 13.

Để so sánh hiệu suất sinh điện trong điều kiện vận hành thực tế của các tấm pin, tổng lượng bức xạ tới trên diện tích bề mặt tấm pin và tổng lượng điện năng sinh ra của tấm pin được tính theo Bảng 2 và qua đó suy ra giá trị hiệu suất trung bình của các mẫu pin. Mẫu pin được giữ ổn định nhiệt bằng PCM + Nước cho kết quả hiệu suất cao nhất. Điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả thí nghiệm trong phòng thí nghiệm. Mặc dù như đã giải thích ở trên, giá trị nhiệt độ làm việc của tấm pin và do đó hiệu suất sinh điện của các tấm pin có chịu ảnh hưởng của gió, nhiệt độ môi trường và sự biến động của bức xạ mặt trời giữa các ngày thực nghiệm, nhưng tác giả đã sàng lọc trong những dữ liệu thí nghiệm có điều kiện ngoài trời gần giống nhau (nhiệt độ môi trường giao động quanh khoảng $35 - 36^{\circ}\text{C}$, tốc độ gió thấp hơn 0,1 m/s (những ngày trời nắng oi và lặng gió), bức xạ tương đối ổn định ở mức gần $900-1000\text{W}/\text{m}^2$, bỏ qua một số thời điểm bị mây che khuất).



Hình 10. Nhiệt độ của tấm PV nguyên bản

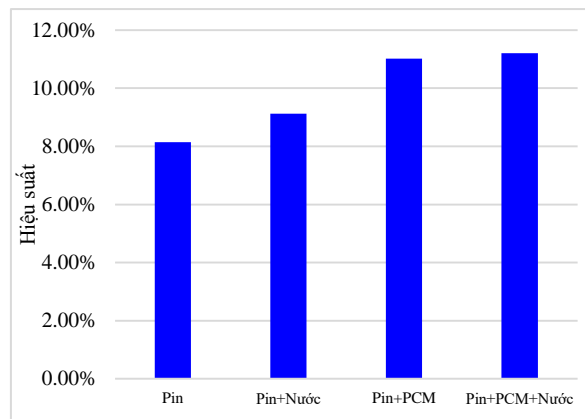
Xét trong khoảng thời gian 2 giờ đầu tiên (là khoảng thời gian mà PAL-33 từ trạng thái rắn chuyển pha hoàn toàn sang lỏng và sau đó hệ lỏng tiếp tục gia tăng nhiệt độ), nhờ giải pháp hỗ trợ ổn định nhiệt bằng PCM kết hợp với nước, hiệu suất sinh điện đạt mức 11,21%, cao hơn khoảng 3,07% so với hiệu suất có thể đạt được của tấm PV nguyên bản. Rõ ràng, khoảng chênh lệch này sẽ tăng lên nếu lượng PCM sử dụng đủ nhiều trong toàn bộ thời gian làm việc trong ngày của tấm PV. Hình 14 thể hiện biểu đồ so sánh tương quan giữa các giá trị hiệu suất trung bình đạt được ở các mẫu pin.



Hình 13. Nhiệt độ của tấm PV+PCM+nước



Hình 11. Nhiệt độ của tấm PV + nước



Hình 14. Biểu đồ so sánh hiệu suất sinh điện trung bình của 04 mẫu pin

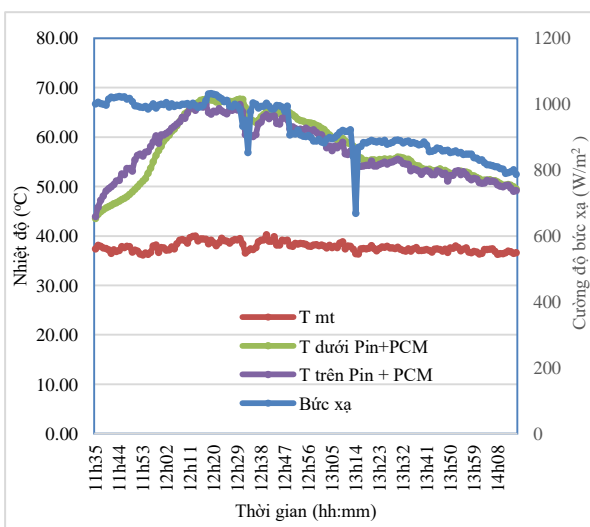
Bảng 2. Kết quả thực nghiệm hiệu suất sinh điện của pin ở các mẫu khác nhau

Mẫu	Hiệu suất
Pin	8.14%
Pin + Nước	9.12%
Pin + PCM	11.02%
Pin + PCM + Nước	11.21%

Bảng 3 thống kê giá trị hiệu suất thực nghiệm ứng với các mức nhiệt độ làm việc khác nhau trong điều kiện thí nghiệm ngoài trời của mẫu 4. Dựa trên bảng dữ liệu này, tác giả đã thực hiện phương pháp hồi quy bậc 2 theo các phương trình (9) và (10), và thu được hàm hồi quy thể hiện quan hệ giữa nhiệt độ tấm pin và hiệu suất sinh điện có dạng:

$$\eta(T) = 18,21 - 0,15 \times T \quad (11)$$

Trong trường hợp chung khi lớp PCM chỉ có thể tiếp xúc với mặt dưới (theo



Hình 12. Nhiệt độ của tấm PV + PCM

phương trọng trường) của đối tượng cần làm mát (cụ thể như trong thiết kế với tấm PV trong nghiên cứu này) thì cần phải có giải pháp nâng ép lớp PCM này tiếp xúc chặt lên bề mặt của đối tượng. Một sáng kiến của nghiên cứu là tận dụng khối lượng của PCM riêng nhỏ hơn nước nên sử dụng lớp nước bên dưới để luôn đẩy lớp PCM (nhờ lực nổi) lên tiếp xúc với mặt đáy của đối tượng cần ổn định nhiệt. Đây là một giải pháp đem lại lợi ích kép, nhất là đối với hệ thống làm mát bằng PCM do lớp nước bên dưới đồng thời giúp tản nhiệt một phần cho lớp PCM nóng chảy khi làm việc. Khi tấm PV đặt ở phương nằm ngang thì lực nổi sẽ phân bố đều trên toàn bộ tiết diện tấm, do vậy lớp PCM sẽ luôn tiếp xúc tốt với bề mặt cần được làm mát. Và do đó, không cần có vỏ bọc cho lớp PCM mà PCM và nước có thể được chứa chung trong cùng một hộp chứa kín như đã thiết kế trong đề tài nhưng sẽ phân thành 2 lớp riêng biệt (do tính không hòa tan trong nước của PAL-33 và khối lượng riêng khác nhau). Tuy nhiên, khi tấm PV đặt ở phương nghiêng (15° ở khu vực Thành phố Hồ Chí Minh) thì lực nổi sẽ có xu hướng đẩy lớp PCM lên phía mép cao của tấm PV trong khi nước sẽ nằm phía mép thấp của tấm PV. Do cơ chế đối lưu tự nhiên, nước khi hấp thụ nhiệt sẽ nóng và đối lưu lên trên sẽ trao đổi nhiệt với khối PCM, sau khi giải nhiệt sẽ tuần hoàn xuống dưới để tiếp tục chu trình làm mát tấm PV. Nếu muốn đảm bảo tác động của PCM đồng đều hơn lên bề mặt tấm PV thì ta nên có một lớp vỏ PCM dạng tấm để lực đẩy của nước sẽ giúp áp tấm PCM lên tiếp xúc đều trên bề mặt lưng của tấm PV.

Bảng 3. Hiệu suất sinh điện của mẫu 4 theo các nhiệt độ làm việc khác nhau

Nhiệt độ bề mặt tấm PV ($^\circ\text{C}$)	Hiệu suất (%)
38	13.07
43	11.57
48	10.72
53	10.25
58	9.44
63	8.93
68	8.31

Tùy theo các thông số kỹ thuật của loại PCM được dùng (ẩn nhiệt, nhiệt độ chuyển pha, khối lượng riêng...) và mức cường độ bức xạ mặt trời ở nơi sử dụng mô hình cải tiến này, lượng PCM cần được tính toán và thiết kế với lượng đủ lớn để duy trì quá trình chuyển pha trong suốt thời gian tấm PV bị làm nóng lên do nhận bức xạ từ mặt trời trong ngày. Nếu lượng PCM chưa đủ thì sau khi bị chuyển hóa hết sang dạng lỏng, chính lớp PCM sẽ làm chậm khả năng tản nhiệt ở phía bề mặt lưng tấm PV, kéo theo nhiệt độ của tấm khi đó thậm chí sẽ cao hơn mức nhiệt độ ở cùng điều kiện làm việc của tấm PV nguyên bản. Đây là một chú ý quan trọng trong thiết kế nếu không sẽ có thể làm tổng hiệu suất sinh điện của mô hình tấm PV cải tiến giảm đi thay vì tăng thêm so với tấm PV nguyên bản.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đề ra một cấu trúc cải tiến đặc tính nhiệt học của tấm pin mặt trời thông qua việc kết hợp vật liệu chuyển pha và nước để ổn định nhiệt độ làm việc cho tấm pin. Bằng việc sử dụng vật liệu chuyển pha PAL-33, mức giảm nhiệt độ của tấm pin có thể đạt khoảng $7^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}$ và thời gian làm việc tại giá trị nhiệt độ thấp này được duy trì dài hay ngắn tùy thuộc vào hàm lượng và giá trị ẩn nhiệt của loại PCM được sử dụng trong thiết kế. Nhờ nhiệt độ làm việc được duy trì ở mức thấp hơn so với trường hợp của tấm pin thông thường, hiệu suất sinh điện tổng đã được tăng từ khoảng 8.14% (tấm PV nguyên bản) lên khoảng 11.21% (tấm PV+PCM+nước). Đây là một kết quả tích cực cho thấy giải pháp thiết kế của nghiên cứu này là phù hợp và có thể ứng dụng để đem lại hiệu quả trong việc khai thác nguồn năng lượng mặt trời.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh, cơ quan chủ trì của đề tài nghiên cứu B2019-SPK-10.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Swapnil Dubey, Jatin Narotam Sarvaiya, Bharath Seshadri, “Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review”, *Energy Procedia*, Volume 33, 2013, pp. 311–321.
- [2] Miguel Fisac, Francesc X. Villasevil1, Antonio M. López, “High-efficiency photovoltaic technology including thermoelectric generation”, *Journal of Power Sources*, Volume 252, 2014, pp. 264–269.
- [3] Hassan Fathabadi, “Increasing energy efficiency of PV-converter-battery section of standalone building integrated photovoltaic systems”, *Energy and Buildings*, Volume 101, 2015, pp. 1–11.
- [4] M. Abdolzadeh, M. Ameri, “Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells”, *Renewable Energy*, Volume 34, 2009, pp. 91–96.
- [5] Linus Idoko, Olimpo Anaya-Lara, Alasdair McDonald, “Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique”, *Energy Reports*, Volume 4, 2018, pp. 357–369.
- [6] Elias Roumpakias, Olympia Zogou, Anastassios Stamatelos, “Correlation of actual efficiency of photovoltaic panels with air mass”, *Renewable Energy*, Volume 74, 2015, pp. 70–77.
- [7] Mawufemo, Modjinou, JiJie, Weiqi Yuan, Fan Zhou, Sarah Holliday, Adeel Waqas, Xudong Zhao, “Performance comparison of encapsulated PCM PV/T, microchannel heat pipe PV/T and conventional PV/T systems”, *Energy*, Available online 19 October 2018.
- [8] Ali Najah Al-Shamani, Mohammad H. Yazdi, M.A. Alghoul, Azher M. Abed, M.H. Ruslan, Sohif Mat, K. Sopian, “Nanofluids for improved efficiency in cooling solar collectors –A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 38, 2014, pp. 348–367.
- [9] Anant Shukla, D. Buddhi, R.L. Sawhney, “Solar water heaters with phase change material thermal energy storage medium: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, 2009, pp. 2119-2125.
- [10] Atul Sharma, C.R. Chen, Nguyen Vu Lan, “Solar-energy drying systems: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, 2009, pp. 1185-1210.
- [11] Huann-Ming Chou, Chang-Ren Chen, Vu-Lan Nguyen, “A new design of metal-sheet cool roof using PCM”, *Energy and Buildings*, Volume 57, 2013, pp. 42-50.
- [12] S.A.Nada, D.H.El-Nagar, “Possibility of using PCMs in temperature control and performance enhancements of free stand and building integrated PV modules”, *Renewable Energy*, Volume 127, 2018, pp. 630-641.
- [13] M.C. Browne, B. Norton, S.J. McCormack, “Phase change materials for photovoltaic thermal management”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 47, 2015, pp. 762-782.
- [14] Christopher J. Smith, Piers M. Forster, Rolf Crook, “Global analysis of photovoltaic energy output enhanced by phase change material cooling”, *Applied Energy*, Volume 126, 2014, pp. 21-28.
- [15] Maria C. Browne, Brian Norton, Sarah J. McCormack, “Heat retention of a photovoltaic/thermal collector with PCM”, *Solar Energy*, Volume 133, 2016, pp. 533-548.
- [16] A. Hasan, S.J. McCormack, M.J. Huang, J. Sarwar, B Norton, “Increased photovoltaic performance through temperature regulation by phase change materials: Material comparison in different climates”, *Solar Energy*, Volume 115, 2015, pp. 264-276.
- [17] C.J. Ho, Wei-Len Chou, Chi-Ming Lai, “Thermal and electrical performance of a water-surface floating PV integrated with a water-saturated MEPCM layer”, *Energy Conversion and Management*, Volume 89, 2015, pp. 862-872.

- [18] A Hasan, S.J. McCormack, M.J. Huang, B. Norton, “Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated photovoltaics”, *Solar Energy*, Volume 84, 2010, pp. 1601-1612.
- [19] Ankita Gaur, Christophe Ménézo, Stéphanie Giroux-julien, “Numerical studies on thermal and electrical performance of a fully wetted absorber PVT collector with PCM as a storage medium”, *Renewable Energy*, Volume 109, 2017, pp. 168-187.
- [20] Peter Atkin, Mohammed M. Farid, “Improving the efficiency of photovoltaic cell using PCM infused graphite and aluminium fins”, *Solar Energy*, Volume 114, 2015, pp. 217-228.
- [21] M.J. Huang, P.C. Eames, B. Norton, N.J. Hewitt, “Natural convection in an internally finned phase change material heat sink for the thermal management of photovoltaics”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Volume 95, 2011, pp. 1598-1603.
- [22] Tao Ma, Hongxingyang, Yiping Zhang, Lin Lu, Xin Wang, “Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 43, 2015, pp. 1273-1284.
- [23] Sachin V. Chavan, D. Devaprakasam, Improving the Performance of Solar Photovoltaic Thermal System using Phase Change Materials – Review, *Int. J. Adv. Sci. Eng.* Vol. 4 No3 687-697 (2018) 687, ISSN 2349 5359.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

TS. Nguyễn Vũ Lân

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

Email: lannv@hcmute.edu.vn