

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CÔNG SUẤT VÀ HIỆU SUẤT CỦA MỘT HỆ THỐNG ĐUN NƯỚC NÓNG DÙNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI BẰNG THỰC NGHIỆM

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THERMAL POWER AND PERFORMANCE
OF A SOLAR WATER HEATING SYSTEM

Nguyễn Quốc Uy
Trường Đại học Điện lực

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm để xác định công suất và hiệu suất của một hệ thống đun nước nóng bằng năng lượng mặt trời đặt tại thành phố Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa. Mục đích của nghiên cứu là cung cấp cho người đọc số liệu đánh giá công suất và hiệu suất tại thực địa của một mẫu bộ thu năng lượng mặt trời kiểu ống thủy tinh chân không đang sử dụng ở Việt Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu suất thực tế đo được nhỏ hơn so với các kết quả đã được công bố đối với bộ thu cùng loại và là cơ sở tham khảo định hướng cho các tính toán thiết kế cũng như tính toán kiểm tra các hệ thống bộ thu tương tự.

Từ khóa:

Bộ thu năng lượng mặt trời kiểu ống chân không, hiệu suất nhiệt.

Abstract:

This article presents results of an experimental study on thermal power and performance of a solar water heating system located in Nha Trang City, Khanh Hoa Province. The aim of this study is to provide data for evaluation of thermal power and performance of a glass vacuum tube solar collector in Vietnam. The test results revealed that measured performances are smaller than the published results for the same class of collectors and will be reference bases for design and test calculations of similar systems.

Keywords:

Evacuated tube solar collector, thermal performance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nhận bài: 12/08/2015; Ngày chấp nhận:
20/08/2015; Phản biện: PGS.TS. Phạm Văn Trí.

Đề đối phó với tình hình ngày càng cạn kiệt nguồn năng lượng hóa thạch và biến đổi khí hậu ảnh hưởng xấu đến môi trường thì việc sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo là yêu cầu cấp bách. Trong

số các nguồn năng lượng tái tạo thì năng lượng mặt trời (NLMT) là nguồn có triển vọng hơn cả và ngày càng được khai thác sử dụng nhiều hơn. NLMT có thể sử dụng để sản xuất điện năng hoặc để cung cấp nhiệt cho nhiều ứng dụng khác nhau, trong đó đun nước nóng là một ứng dụng phổ biến hiện nay. Việc đun nước nóng bằng NLMT được thực hiện trong các hệ thống thiết bị chuyên dụng mà trong các hệ thống này thì bộ thu NLMT là bộ phận quan trọng nhất. Bộ thu NLMT ở đây là thiết bị chuyển đổi bức xạ mặt trời thành nhiệt năng đun nước nóng lên, cung cấp cho nhu cầu sử dụng trong sinh hoạt dân dụng cũng như cho nhiều quá trình công nghệ đặc thù. Có nhiều kiểu bộ thu NLMT được sử dụng trong thực tế, nhưng phổ biến là kiểu tấm phẳng và kiểu ống thủy tinh chân không. Bộ thu kiểu ống thủy tinh chân không là kiểu được sử dụng phổ biến ở nhiều nước, đặc biệt là Trung Quốc và Việt Nam vì có nhiều ưu điểm đã được kiểm chứng qua thực tiễn như cấu tạo đơn giản, dễ lắp đặt, bảo trì, sửa chữa, đồng thời có giá thành hợp lý với hiệu quả sử dụng cao. Khi tính toán thiết kế cũng như tính toán kiểm tra hiệu quả làm việc của các hệ thống thiết bị đun nước nóng bằng NLMT thì việc xác định các đặc tính bộ thu như công suất, hiệu suất là yêu cầu bắt buộc. Cho đến nay đã có rất nhiều nghiên cứu về bộ thu NLMT kiểu này bằng lý thuyết cũng như thực nghiệm của nhiều tác giả trong và ngoài nước.

Ở trong nước, tác giả Nguyễn Quân [1] đề xuất phương pháp thực nghiệm để nghiên cứu xác định các thông số đặc trưng của bộ thu kiểu tấm phẳng. Tác giả Hà Đăng Trung [2] nghiên cứu thực

nghiệm hiệu quả của bộ thu NLMT kiểu hộp phẳng mỏng có cánh bên trong. Việc chế tạo, thử nghiệm và đánh giá hiệu suất của bộ thu NLMT kiểu ống thủy tinh chân không sử dụng ống nhiệt đã được thực hiện bởi nhóm tác giả Hoàng An Quốc và các cộng sự [3]. Tác giả Lê Chí Hiệp và các cộng sự [4] đánh giá khả năng cấp nhiệt của các bộ thu NLMT sử dụng ống nhiệt thông qua việc đánh giá hiệu suất bộ thu bằng thực nghiệm. Nhóm tác giả Hoàng An Quốc và các cộng sự [5] đã xây dựng phần mềm để xác định hiệu suất bộ thu NLMT kiểu ống thủy tinh chân không sử dụng ống nhiệt. Tác giả Nguyễn Nguyên An [6] xây dựng hệ thống cung cấp nước nóng kết hợp bộ thu NLMT và bơm nhiệt để đáp ứng nhu cầu nước nóng cho các hộ gia đình.

Trên thế giới, thời gian gần đây đã có nhiều tác giả nghiên cứu, đánh giá hiệu suất bộ thu cả bằng lý thuyết lẫn thực nghiệm. Một số nghiên cứu điển hình như C.H. Bae và các cộng sự [8] nghiên cứu hiệu suất nhiệt của hệ thống đun nước nóng dùng bộ thu kiểu ống chân không với ống nhiệt có xẻ rãnh đặt tại Jinju, Hàn Quốc. I. Budihardjo và G.L. Morrison [9] đánh giá hiệu suất các thiết bị đun nước nóng bằng NLMT bằng cách đo thực nghiệm trên hai hệ thống thiết bị dùng bộ thu tấm phẳng và bộ thu ống thủy tinh chân không sử dụng tấm phản xạ đặt tại Sydney, Australia. Phân tích bằng thực nghiệm hiệu suất nhiệt của các bộ thu NLMT kiểu tấm phẳng và kiểu ống thủy tinh chân không đặt tại Đại học Padova, Ý được thực hiện bởi E. Zambolin và D. Del Col [10].

Runsheng Tang và các cộng sự [11] nghiên cứu ảnh hưởng của góc nghiêng đến hiệu suất bộ thu NLMT kiểu ống thủy tinh chân không đặt tại Vân Nam, Trung Quốc. Tin-Tai Chow và các cộng sự [12] đánh giá hiệu suất của các hệ thống đun nước nóng bằng NLMT kiểu ống thủy tinh chân không và kiểu ống thủy tinh chân không có sử dụng ống nhiệt bằng mô phỏng số và bằng thực nghiệm ở Hong Kong. Kết quả cho thấy hiệu suất bộ thu kiểu ống nhiệt cao hơn chút ít nhưng thời gian thu hồi vốn thì bằng nhau. Xinyu Zhang và các cộng sự [13] kiểm tra bằng thực nghiệm hiệu suất của hơn 1000 hệ thống thiết bị đun nước nóng gia dụng bằng NLMT kiểu ống thủy tinh chân không theo các tiêu chuẩn của Trung Quốc.

Việc nghiên cứu đánh giá các đặc tính cơ bản của bộ thu NLMT như công suất, hiệu suất đã và vẫn được nhiều tác giả quan tâm thực hiện. Các công ty sản xuất ống thủy tinh chân không cũng như các công ty sản xuất thiết bị đun nước nóng bằng NLMT, khi đưa sản phẩm ra thị trường thông thường có công bố một số đặc tính kỹ thuật của chúng, trong đó có công suất, hiệu suất. Tuy nhiên vấn đề đặt ra là: khi lắp đặt một hệ thống bộ thu NLMT cụ thể ở một địa điểm nhất định trong điều kiện Việt Nam (bao gồm điều kiện khí hậu cũng như các điều kiện kỹ thuật và kinh tế như chất lượng ống thủy tinh nhập ngoại được cung cấp trên thị trường, trình độ và trang thiết bị chế tạo, lắp đặt, thiết bị đo đạc...) thì công suất, hiệu suất của hệ thống sẽ như thế nào, có sai khác nhiều so với công bố của nhà

sản xuất hay không? Cơ sở nào sẽ giúp ích cho việc định hướng thiết kế chế tạo cũng như tính toán kiểm tra các hệ thống thiết bị bộ thu như vậy? Vì thế việc nghiên cứu thực nghiệm, đánh giá công suất, hiệu suất của một hệ thống sử dụng bộ thu NLMT kiểu ống thủy tinh chân không trong điều kiện nước ta để có được số liệu thực tế định hướng cho việc thiết kế chế tạo hay thiết kế kiểm tra là yêu cầu cần thiết.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Công suất nhiệt của bộ thu NLMT là năng lượng hữu ích mà bộ thu nhận được trong 1 giây. Công suất nhiệt được xác định bằng hiệu của bức xạ nhiệt mà bộ thu hấp thụ được và tổng tổn thất nhiệt từ bộ thu ra môi trường (tính trong 1 giây). Do nhiệt độ của bộ thu lớn hơn nhiệt độ môi trường nên luôn có sự truyền nhiệt bằng đối lưu và bức xạ từ bộ thu ra môi trường xung quanh. Vì vậy, tổng tổn thất nhiệt này có thể được tính bằng tích của hệ số tổn thất nhiệt toàn phần của bộ thu với chênh lệch giữa nhiệt độ trung bình bề mặt bộ thu và nhiệt độ môi trường. Do đó, công suất nhiệt của bộ thu được xác định như sau [7]:

$$Q_u = A_C \cdot S - A_C \cdot U_L \cdot (t_m - t_a) \quad (1)$$

Trong công thức này, A_C là diện tích bề mặt hấp thụ của bộ thu, S là năng lượng bức xạ được hấp thụ trên 1 m² mặt phẳng bộ thu trong 1 giây, U_L là hệ số tổn thất nhiệt toàn phần của bộ thu, t_a là nhiệt độ môi trường, t_m là nhiệt độ trung bình bề mặt của bộ thu. Tuy nhiên, theo [1], [7] vì nhiệt độ trung bình của bề mặt bộ thu

khó đo hoặc khó xác định bằng giải tích nên để thuận tiện hơn, người ta đưa ra hệ số nhận nhiệt F_R là tỉ số giữa năng lượng hữu ích thực của bộ thu và năng lượng hữu ích cực đại đạt được khi toàn bộ bề mặt hấp thụ của bộ thu có nhiệt độ đồng đều và bằng nhiệt độ nước đi vào bộ thu (trương đương với hiệu suất của thiết bị trao đổi nhiệt truyền thống):

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (t_{fo} - t_{fi})}{A_C \cdot [S - U_L \cdot (t_{fi} - t_a)]} \quad (2)$$

Thay $S = G_T \cdot (\tau\alpha)$ và xác định công suất bộ thu theo hệ số nhận nhiệt và nhiệt độ nước vào:

$$Q_u = A_C \cdot F_R \cdot [G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (t_{fi} - t_a)] \quad (3)$$

Trong đó G_T là cường độ bức xạ toàn phần tính trên mặt phẳng nghiêng lắp đặt bộ thu, $(\tau\alpha)$ là tích số truyền - hấp thụ của tia bức xạ, \dot{m} là lưu lượng khối lượng của nước qua bộ thu, C_p là nhiệt dung riêng của nước, t_{fi} và t_{fo} tương ứng là nhiệt độ nước đi vào và đi ra khỏi bộ thu.

Hiệu suất bộ thu NLMT cũng giống như các khái niệm hiệu suất nói chung, được xác định bằng tỉ số giữa phần năng lượng hữu ích thu được so với tổng năng lượng đưa đến bộ thu:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_C \cdot G_T} \quad (4)$$

Thay (3) vào (4), hiệu suất bộ thu sẽ được biểu diễn ở dạng khác:

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \cdot \frac{t_{fi} - t_a}{G_T} \quad (5)$$

Như vậy hiệu suất bộ thu là hàm số của biến độc lập $T^* = \left(\frac{t_{fi} - t_a}{G_T} \right)$ (còn được gọi là chênh lệch nhiệt độ đơn vị). Ở chế độ ổn định, nếu xem các thành phần F_R , $(\tau\alpha)$, U_L là các hằng số thì hiệu suất là hàm bậc nhất và điểm cắt trục tung chính là tích số $F_R(\tau\alpha)$, đạt được khi bộ thu không có tổn thất nhiệt (nhiệt độ chất lỏng đi vào bộ thu bằng nhiệt độ môi trường), còn thành phần $F_R U_L$ là độ dốc của đường hiệu suất. Các đại lượng này còn được gọi là thông số đặc trưng hay đặc tính của bộ thu. Thực chất các đại lượng này không phải hằng số nên các điểm thực nghiệm (giá trị hiệu suất tức thời) sẽ không nằm trên 1 đường thẳng mà phân bố rải rác. Khi coi hệ số tổn thất nhiệt toàn phần U_L phụ thuộc nhiệt độ theo quan hệ bậc nhất thì ta sẽ biểu diễn hiệu suất theo hàm bậc hai của T^* :

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T^* - a_2 \cdot G_T \cdot (T^*)^2 \quad (6)$$

Để tính toán hiệu suất theo công thức (6) thì cần xác định các hệ số η_0 , a_1 , a_2 . Điều này sẽ được thực hiện bằng cách hồi quy các điểm đo thực nghiệm hiệu suất tức thời trên đồ thị. Các giá trị thực nghiệm hiệu suất tức thời được tính theo công thức (7):

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (t_{fo} - t_{fi})}{A_C \cdot G_T} \quad (7)$$

Trên cơ sở công thức (7), thông qua thực nghiệm đo lưu lượng nước, nhiệt độ nước vào và ra khỏi bộ thu, tổng xạ trên mặt phẳng bộ thu thì sẽ xác định được công suất và hiệu suất tức thời của bộ thu.

Lưu ý rằng tổng xạ G_T trên mặt phẳng bộ thu có thể đo trực tiếp được, nhưng để sử dụng cho tính toán ở các góc nghiêng khác nhau, ở đây chúng tôi đo trên mặt phẳng ngang G_g , sau đó dùng công thức chuyển đổi [6], [7]:

$$G_T = 0.7 \times G_g \times R_b + 0.3 \times G_g \times R_d + G_g \times R_r \quad (8)$$

Các hệ số chuyển đổi bức xạ được xác định:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta} \quad (9a)$$

$$R_d = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (9b)$$

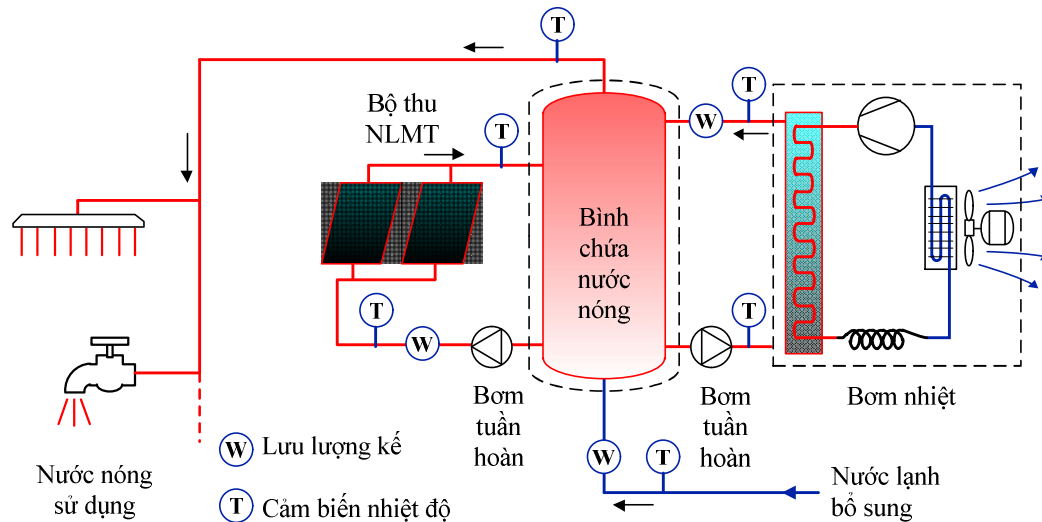
$$R_r = 0.2 \times \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (9c)$$

Góc lệch được xác định bằng:

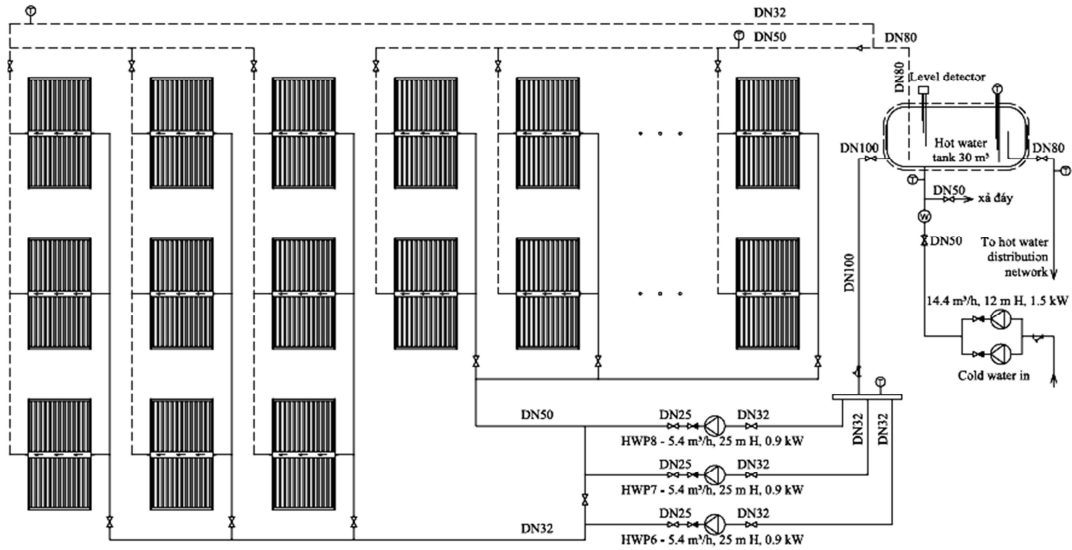
$$\delta = 23.45 \times \sin\left[(284 + n) \times \frac{360}{365}\right] \quad (9d)$$

3. MÔ TẢ HỆ THỐNG THIẾT BỊ THỰC NGHIỆM

Hệ thống đun nước nóng bằng NLMT nghiên cứu ở đây được cấu thành từ 27 bộ thu kiểu ống thủy tinh chân không loại công nghiệp, được chia làm 2 nhánh với số lượng bộ thu trong mỗi nhánh tương ứng là 18 và 9. Nước nóng từ hai nhánh này được đưa về bình chứa có thể tích 30 m³. Khi không có bức xạ mặt trời hoặc khi bức xạ mặt trời không đủ thì sẽ dùng kết hợp với bơm nhiệt để đun nước nóng. Sơ đồ nguyên lý hệ thống và bố trí thiết bị được thể hiện trên hình 1 và hình 2.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống thiết bị thực nghiệm



Hình 2. Sơ đồ bố trí bộ thu của hệ thống

Các đặc tính kỹ thuật cơ bản của hệ thống bộ thu NLMT được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số cơ bản của hệ thống bộ thu NLMT

TT	Thông số kỹ thuật	Giá trị
1	Số lượng bộ thu	27
2	Kiểu bộ thu: kiểu xương cá	
3	Số lượng ống thủy tinh chân không trong 1 bộ thu	50
4	Kích thước ống thủy tinh (đường kính trong/ngoài/chiều dài)	47/58/1800 mm
5	Góc nghiêng của bộ thu	$\beta=20^\circ$
6	Góc vĩ độ lắp đặt bộ thu	$\varphi=12^\circ$

Các đặc tính kỹ thuật của thiết bị đo được mô tả trong bảng 2.

Bảng 2. Đặc tính kỹ thuật của thiết bị đo

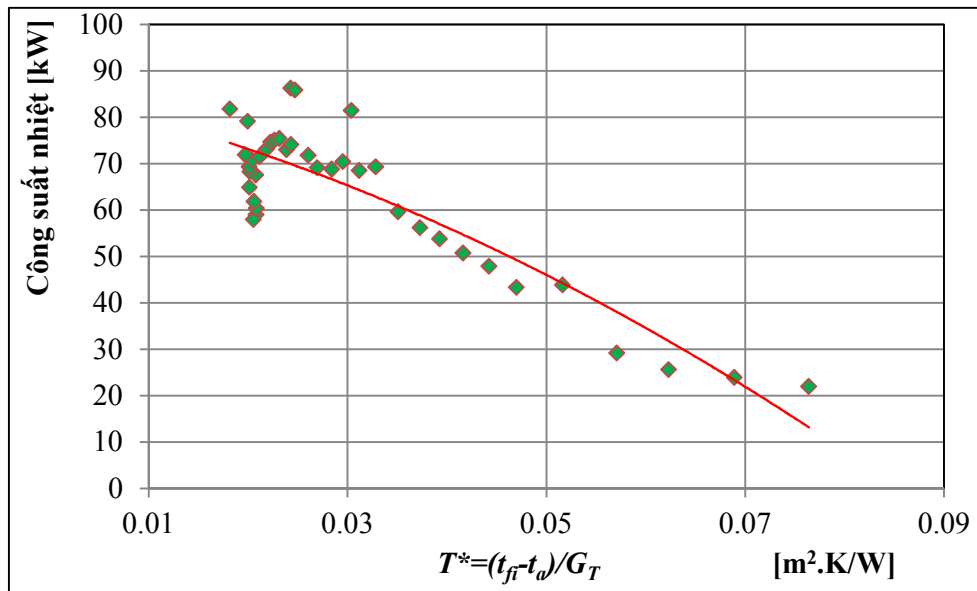
TT	Loại thiết bị	Ký hiệu	Phạm vi đo	Sai số	Chức năng
1	Đo nhiệt độ Pt100	t_a	0÷100°C	±0,5	Đo nhiệt độ môi trường
2	Đo nhiệt độ Pt100	$t_f(1\div11)$	0÷100°C	±0,5	Đo nhiệt độ nước
3	Đo BXMT	G_g	0÷1800W/m ²	±5%	Đo cường độ BXMT
4	Đo lưu lượng nước	-	0÷999.99999 m ³ /h	CCX1,0	Đo lưu lượng nước sử dụng

Các thiết bị đo được kết nối với hệ thống tự ghi số liệu cho phép ghi nhận sự thay đổi của các thông số làm việc với tần suất 10s/lần. Các số liệu này sau đó được ghi vào file Excel. Trên cơ sở xem xét, phân tích các ưu nhược điểm của các kiểu hệ thống đo tự ghi số liệu, chúng tôi đã đi đến quyết định sử dụng hệ thống dùng công nghệ AD converter và Digital logger tích hợp trong PLC. Các bộ AD converter được lựa chọn là 3 module mở rộng (Extension Module) có ký hiệu DVP-04AD dễ dàng tích hợp với module vi xử lý (Micro Processing Module) có ký hiệu DVP-14SS2, tất cả do hãng Delta sản xuất. Việc kết nối giữa các module được thực hiện hoàn toàn tự động thông qua các BUS kết nối tiêu chuẩn do hãng Delta thiết lập. Trên cơ sở các kết nối này, module vi xử lý DVP-14SS2 có thể

vừa điều khiển toàn bộ hệ thống vừa giám sát sự thay đổi của tất cả các kênh dữ liệu Analog do các module mở rộng DVP-04AD cung cấp. Ngoài việc trang bị các module để đo và xử lý số liệu như đã nêu, trong hệ thống còn sử dụng màn hình cảm ứng HMI (model AS57-BSTD) có tích hợp chức năng tự động ghi tất cả các số liệu đo được ra các phương tiện kỹ thuật số thông dụng như thẻ nhớ SD hay USB.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

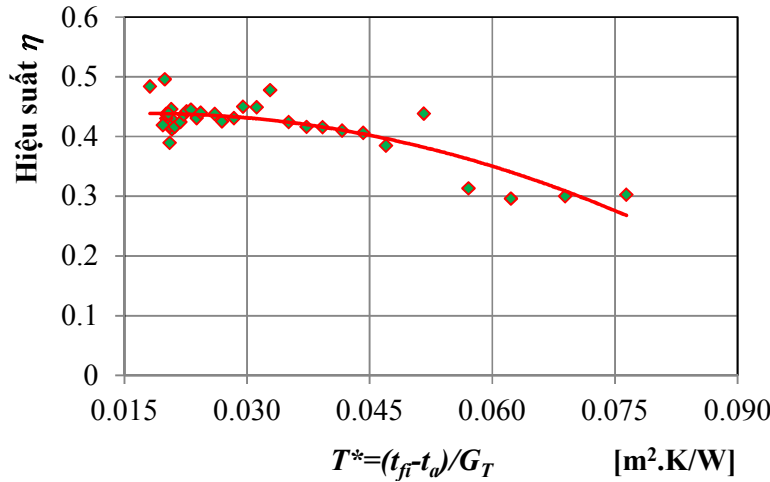
Thông qua thực nghiệm, chúng tôi đã xác định được công suất nhiệt của hệ thống bộ thu ứng với nhiều giá trị chênh lệch nhiệt độ đơn vị ở nhiều thời điểm đo khác nhau trong tháng 3/2014. Các kết quả này được trình bày tóm tắt trên đồ thị hình 3.



Hình 3. Công suất nhiệt của hệ thống bộ thu

Từ các giá trị đo thực nghiệm và trên cơ sở các công thức đã trình bày ở trên, giá trị hiệu suất tức thời ở nhiều thời điểm đo

khác nhau đã được xác định. Các kết quả này được trình bày tóm tắt trên đồ thị hình 4.



Hình 4. Đường cong hiệu suất của bộ thu xác định bằng thực nghiệm

Bằng việc hồi quy các giá trị đo thực nghiệm, ta có công thức tính hiệu suất của bộ thu:

$$\eta = 0.422 + 1.822 \times \frac{t_{fi} - t_a}{G_T} - 50.263 \times \left(\frac{t_{fi} - t_a}{G_T} \right)^2 \quad (10)$$

Theo quy luật thông thường, khi độ chênh nhiệt độ giữa nước vào và môi trường tăng lên hoặc cường độ bức xạ giảm xuống, tức là chênh lệch nhiệt độ đơn vị

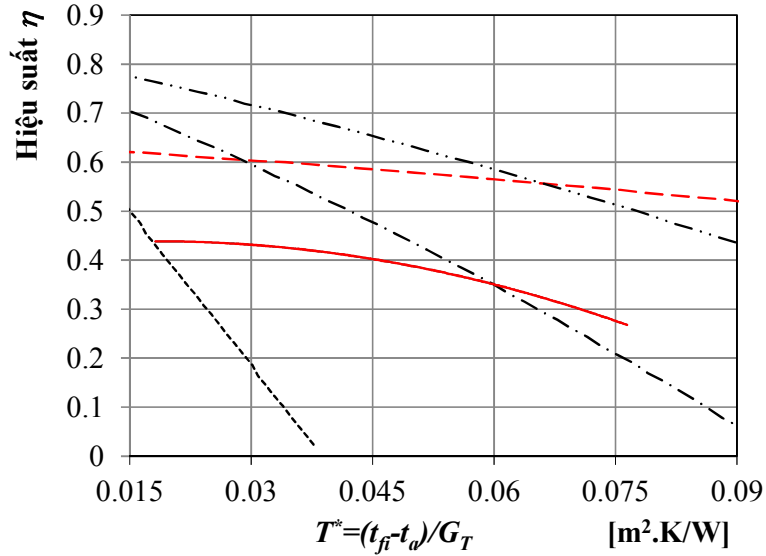
$$T^* = \left(\frac{t_{fi} - t_a}{G_T} \right) \text{ tăng thì hiệu suất bộ thu}$$

phải giảm. Tuy nhiên công thức (10) lại có hệ số của phần bậc nhất không mang dấu âm như thường lệ nên có một số trường hợp hiệu suất tăng khi T^* tăng. Giải thích sự bất thường này là do hệ thống đun nước nóng ở đây có sử dụng

bơm nhiệt để duy trì nhiệt độ nước nóng trong bình chứa nên có thể vào các thời điểm đó $(t_{fi} - t_a)$ tăng nhưng G_T lại cũng tăng làm cho tổn thất nhiệt toàn phần U_L của bộ thu giảm đi.

So sánh đường hiệu suất xác định được bằng thực nghiệm với các đường hiệu suất chuẩn đã được công bố [6] thể hiện trên hình 5.

Đường hiệu suất bộ thu được xác định bằng thực nghiệm có độ dốc khá giống với đường hiệu suất chuẩn công bố của bộ thu kiểu ống thủy tinh chân không, tuy nhiên nó nằm phía dưới, tức là giá trị hiệu suất thực nghiệm nhỏ hơn. So sánh cụ thể sai lệch tuyệt đối giữa hiệu suất đo thực nghiệm và hiệu suất chuẩn công bố của bộ thu ống thủy tinh chân không ở một số vị trí được trình bày trong bảng 3.



Hình 5. So sánh đường hiệu suất thực nghiệm với các đường hiệu suất đã được công bố

- Bộ thu không có vỏ bọc
- Bộ thu tấm phẳng không có lớp hấp thụ chọn lọc
- · - · - Bộ thu tấm phẳng
- - - - Bộ thu ống thủy tinh chân không
- Đường thực nghiệm

Bảng 3. So sánh sai lệch

TT	$T^* = \frac{t_{fi} - t_a}{G_T}$	Hiệu suất đo	Hiệu suất chuẩn	Sai lệch tuyệt đối
1	0.01815	0.4385	0.6171	0.1786
2	0.02010	0.4383	0.6151	0.1768
3	0.02224	0.4377	0.6127	0.1750
4	0.02605	0.4354	0.6085	0.1731
5	0.03282	0.4277	0.6007	0.1730
6	0.03926	0.4161	0.5930	0.1769
7	0.04700	0.3966	0.5832	0.1866
8	0.05708	0.3622	0.5697	0.2075
9	0.06891	0.3089	0.5529	0.2440
10	0.07640	0.2678	0.5416	0.2738

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã xác định được công suất nhiệt của hệ thống và xây dựng được đường hiệu suất bộ thu NLMT kiểu ống thủy tinh chân không tuần hoàn cưỡng bức có kích thước ống 47/58/1800 mm trên cơ sở số liệu thực nghiệm với hệ thống thiết bị đặt tại thành phố Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa. Các số liệu thu thập được từ hệ thống thiết bị thực nghiệm đảm bảo độ chính xác yêu cầu trong thực tế kỹ thuật, là cơ sở tham khảo định hướng cho việc tính toán thiết kế hoặc tính toán kiểm tra các hệ thống đun nước nóng bằng NLMT kiểu tương tự. Trong tương lai, để cung

cấp nguồn dữ liệu tham khảo phong phú hơn, chúng tôi sẽ tiến hành làm thực nghiệm và xác định đặc tính làm việc của các bộ thu sử dụng ống thủy tinh chân không có kích thước khác hiện có trên thị trường và lắp đặt ở một số địa phương khác nữa.

Dựa trên nội dung bài báo, có thể xây dựng phương pháp đánh giá hệ thống tương tự áp dụng cho bất kỳ sản phẩm đun nước nóng bằng NLMT nào tại Việt Nam phù hợp với tình hình thực tế thị trường, trang thiết bị kỹ thuật, khả năng tài chính,... của chúng ta.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Quân, 1998. Phương pháp thực nghiệm xác định các đặc tính bộ thu năng lượng mặt trời. Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt, số 6/98, trang 9-11.
- [2] Hà Đăng Trung, 2002. Nghiên cứu hiệu quả của bộ thu năng lượng mặt trời kiểu hộp phẳng mỏng có cánh bên trong. Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt, số 11/2002, trang 16-19.
- [3] Hoàng An Quốc, Lê Chí Hiệp, Hoàng Dương Hùng, 2007. Chế tạo và thử nghiệm ống nhiệt mặt trời loại chân không trong điều kiện Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt, số 74*3/2007, trang 8-11.
- [4] Lê Chí Hiệp, Hoàng An Quốc, Hoàng Dương Hùng, 2009. Đánh giá khả năng cấp nhiệt của các Collector mặt trời kiểu ống nhiệt. Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt, số 87*05/2009, trang 5-7.
- [5] Hoàng An Quốc, Lê Chí Hiệp, Hoàng Dương Hùng, 2010. Xây dựng phần mềm tính toán các thông số đặc trưng của bộ thu năng lượng mặt trời kiểu ống nhiệt. Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt, số 91*01/2010, trang 19-22.
- [6] Nguyễn Nguyên An, 2013. Xây dựng hệ thống cung cấp nước nóng gia dụng kết hợp bộ thu năng lượng mặt trời và bơm nhiệt. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 1+2 (tháng 1+2/2013), trang 52-58.
- [7] John A. Duffie and William A. Beckman, 2006. Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition. John Wiley & Sons.

- [8] C.H. Bae, C.H. Kang, K.T. Chung, J.S. Suh. Prediction of Thermal Performance of Hot Water System with a Concentric Evacuated Tube Solar Collector using Axially Grooved Heat Pipe. Proceedings of the 2006 WSEAS/IASME International Conference on Heat and Mass Transfer, Miami, Florida, USA, January 18-20, 2006 (pp50-55).
- [9] I. Budihardjo, G.L. Morrison, 2009. Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters. Solar Energy 83 (2009) 49–56.
- [10] E. Zambolin, D. Del Col, 2010. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions. Solar Energy 84 (2010) 1382–1396.
- [11] Runsheng Tang, Yuqin Yang, Wenfeng Gao, 2011. Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles. Solar Energy 85 (2011) 1381–1389.
- [12] Tin-Tai Chow, Zhaoting Dong, Lok-Shun Chan, Kwong-Fai Fong, Yu Bai, 2011. Performance evaluation of evacuated tube solar domestic hot water systems in Hong Kong. Energy and Buildings 43 (2011) 3467–3474.
- [13] Xinyu Zhang, Shijun You, Wei Xu, Min Wang, Tao He, Xuejing Zheng, 2013. Experimental investigation of the higher coefficient of thermal performance for water-in-glass evacuated tube solar water heaters in China. Energy Conversion and Management 78 (2014) 386–392.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Quốc Uy tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội chuyên ngành Nhiệt năm 1997. Hiện tại, tác giả là giảng viên Khoa Công nghệ năng lượng - Trường Đại học Điện lực. Các hướng nghiên cứu: quá trình cháy, truyền nhiệt công nghiệp, cung cấp nhiệt - lạnh, năng lượng tái tạo.