Tạp chí Khoa học và Công nghệ ***55*** *(1) (2017) 132-139*

DOI: 10.15625/0866-708X/55/1/8317

MÔ PHỎNG LƯU ĐỘNG CỦA NƯỚC TRONG BỘ THU NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI KIỂU ỐNG THỦY TINH CHÂN KHÔNG

Tạ Văn Chương[1, *], Nguyễn Nguyên An[1], Nguyễn Quốc Uy[2]

[1]Viện Khoa học và Công nghệ Nhiệt lạnh, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Hà Nội

[2]Khoa Công nghệ năng lượng, Trường Đại học Điện lực, Số 235, Hoàng Quốc Việt, Hà Nội

[*]Email: *chuong.tavan@hust.edu.vn*

Đến Tòa soạn: 10/5/2016; Chấp nhận đăng: 14/8/2016

TÓM TẮT

Quá trình lưu động của nước trong bộ thu năng lượng mặt trời kiểu ống thủy tinh chân không có ảnh hưởng lớn tới quá trình nhận và truyền năng lượng mặt trời trong bộ thu, do đó nó ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất bộ thu. Trong bài báo, một mô phỏng về quá trình lưu động của nước trong bộ thu đã được xây dựng. Mô phỏng được thực hiện cho nhiều chế độ khác nhau, phụ thuộc vào cường độ bức xạ mà ống thủy tinh chân không hấp thụ được, nhiệt độ nước trong bình cũng như góc chắn tia trực xạ. Kết quả mô phỏng cho thấy lưu lượng nước tuần hoàn qua ống tăng mạnh khi cường độ bức xạ mà ống nhận được tăng. Ngoài ra, nhiệt độ nước trong bình và góc chắn của tia trực xạ cũng ảnh hưởng đến lưu lượng của nước. Các kết quả này có thể được sử dụng để nghiên cứu sự phân tầng nhiệt độ trong bình chứa cũng như xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu của nước trong ống, một thông số hoạt động quan trọng của bộ thu.

Từ khóa: lưu lượng, vận tốc, tuần hoàn tự nhiên, ống chân không.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sử dụng năng lượng mặt trời để sản xuất nước nóng rất được quan tâm, nghiên cứu bởi đây là một trong những giải pháp tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường [1, 2]. Lĩnh vực ứng dụng năng lượng mặt trời để sản xuất nước nóng phát triển ngày càng mạnh nhờ áp dụng công nghệ mới. Thị trường thế giới thực sự được mở rộng do sự ra đời và phát triển của thiết bị thu năng lượng mặt trời kiểu ống thủy tinh chân không [3]. Với chi phí thấp và hiệu suất cao, ống thủy tinh chân không thể hiện ưu điểm rõ rệt khi so sánh với các bộ thu kiểu tấm phẳng, đặc biệt trong dải ứng dụng nhiệt độ cao. Có nhiều phương pháp nhằm nâng cao hiệu suất của bộ thu kiểu ống thuỷ tinh chân không như sử dụng ống nhiệt hay sử dụng ống chữ U [4, 5]... Tuy nhiên, xét tổng thể, hiệu quả nhất vẫn là dùng bộ thu với ống thủy tinh chân không kiểu "đơn giản", trong đó nước nhận nhiệt trực tiếp từ bề mặt hấp thụ của ống và tuần hoàn tự nhiên sang bình chứa.

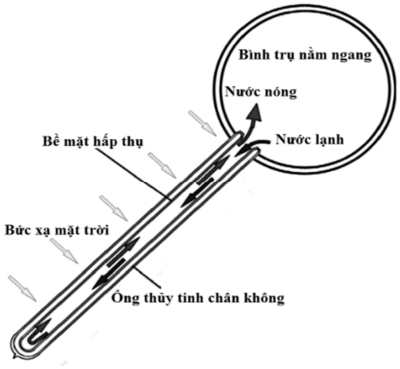
Quá trình lưu động của nước ảnh hưởng đến quá trình trao đổi nhiệt trong bộ thu và sự phân tầng nhiệt độ trong bình chứa nước nóng, do đó nó ảnh hưởng đến hiệu suất của bộ thu. Có nhiều nghiên cứu về quá trình lưu động này, tiêu biểu có thể kể đến: nghiên cứu lí thuyết và thực nghiệm về tuần hoàn tự nhiên của nước trong bộ thu năng lượng mặt trời kiểu thủy tinh chân không [6], nghiên cứu mô phỏng quá trình lưu động của nước nhằm xác định tổn thất nhiệt [7], nghiên cứu mô phỏng bộ thu năng lượng mặt trời kiểu ống thủy tinh chân không trong phạm vi nhiệt độ thấp nhằm xác định được nhiệt độ cũng như vận tốc của nước tại miệng ống [8].

Các nghiên cứu kể trên thường được thực hiện trong một chế độ cố định, do đó chưa đánh giá được ảnh hưởng của các thông số hoạt động quan trọng đến sự lưu động của nước trong bộ thu năng lượng mặt trời kiểu ống thủy tinh chân không bao gồm: nhiệt độ nước, nhiệt độ môi trường, cường độ bức xạ và góc chắn tia trực xạ. Để giải quyết vấn đề, nhóm tác giả đã tiến hành mô phỏng sự lưu động của nước trong bộ thu ở nhiều chế độ hoạt động với sự thay đổi của các thông số hoạt động nêu trên, từ đó phân tích và đánh giá ảnh hưởng chúng. Các kết quả mô phỏng, ngoài việc giải quyết vấn đề đã nêu, còn có thể được sử dụng cho việc xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu của nước trong ống thủy tinh chân không, một đại lượng quan trọng trong việc tính toán truyền nhiệt của bộ thu.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng được mô phỏng ở đây là một bộ thu NLMT (năng lượng mặt trời) kiểu ống thủy tinh chân không "đơn giản", trong đó nhiệt từ bề mặt hấp thụ truyền trực tiếp cho nước. Sơ đồ nguyên lí của một bộ thu kiểu này được trình bày trên Hình 1. Bộ thu bao gồm một dãy ống thủy tinh chân không đóng vai trò là bộ phận hấp thụ NLMT, được gắn trực tiếp vào bình chứa hình trụ nằm ngang. Khi có bức xạ mặt trời đập tớp ống, bề mặt hấp thụ trong ống thủy tinh sẽ nhận nhiệt bức xạ làm nước trong ống thủy tinh nóng lên. Do sự chênh lệch mật độ, nước nóng sẽ chuyển động đi lên qua nửa trên của ống chảy sang bình chứa, nước lạnh từ bình chứa sẽ đi vào ống qua nửa ống phía dưới.

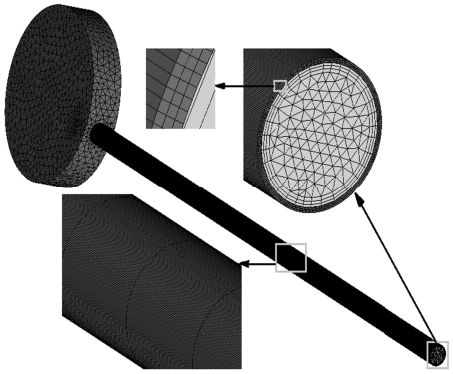


Hình 1. Sơ đồ nguyên lí của bộ thu NLMT kiểu ống thủy tinh chân không.

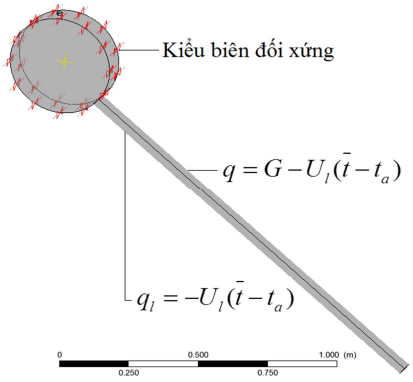
Việc mô phỏng bộ thu có nhiều ống như thực tế gặp nhiều khó khăn do giới hạn về tốc độ tính toán của máy tính. Vì thế, một mô hình mô phỏng với vùng tính toán nhỏ hơn đã được xây dựng. Mô hình gồm một ống thủy tinh chân không dùng để thu NLMT, với kích thước được xây dựng tương tự như ống thật, gắn trực tiếp với một phần bình chứa nước nóng hình trụ nằm ngang. Ống thủy tinh chân không gồm 2 lớp kính với lớp bên trong có đường kính ngoài 47 mm,

dày 1,6 mm và chiều dài 1794 mm. Phần bình chứa hình trụ nằm ngang được mô phỏng có đường kính 360 mm và dài 80 mm.

Mô hình mô phỏng bình chứa được xây dựng và chia lưới bằng phần mềm chuyên dụng ICEM. Chi tiết việc chia lưới trong mô hình được thể hiện trên Hình 2. Theo đó, lưới được chia kiểu lục diện ở bên trong lõi bình và kiểu tứ diện ở lớp biên để có thể tính toán chính xác cho các dòng rối gần vỏ bình. Lớp thủy tinh được chia lưới bề mặt rồi phát triển cho toàn bộ thể tích. Mô hình sau khi chia lưới có 124060 nút với 466625 phần tử.



Hình 2. Chia lưới mô hình mô phỏng.



Hình 3. Các điều kiện biên của mô hình mô phỏng.

2.2. Hệ phương trình mô tả

Trong quá trình tính toán, các thông số vật lí của nước như nhiệt dung riêng c [kJ/kgK], khối lượng riêng ρ [kg/m^3], hệ số dẫn nhiệt k [W/mK], độ nhớt động lực học μ [Pa.s] thay đổi và được xác định theo nhiệt độ của từng phần tử. Các phương trình liên tục, phương trình bảo toàn năng lượng và động lượng trong hệ tọa độ không gian ba chiều Oxyz được sử dụng để tính toán quá trình thủy động và truyền nhiệt giữa các phần tử trong mô hình nhằm xác định phân bố vận tốc u [m/s] và nhiệt độ T [K]. Theo [8], các phương trình nói trên có thể được viết như sau:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z}=0 \tag{1}$$

Phương trình năng lượng:

$$\begin{aligned} &u_x\frac{\partial(\rho cT)}{\partial x}+u_y\frac{\partial(\rho cT)}{\partial y}+u_z\frac{\partial(\rho cT)}{\partial z} \\ &=\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right) \end{aligned} \tag{2}$$

Phương trình động lượng:

Theo phương x:

$$\begin{aligned} &u_x\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x}+u_y\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial y}+u_z\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial z} \\ &=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left\{\mu\left[2\frac{\partial u_x}{\partial x}-\frac{2}{3}\left(\frac{\partial u_x}{\partial x}+\frac{\partial u_y}{\partial y}\right)\right]\right\} \\ &+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial u_x}{\partial y}+\frac{\partial u_y}{\partial x}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial u_x}{\partial z}+\frac{\partial u_z}{\partial x}\right)\right] \end{aligned} \tag{3}$$

Theo phương y:

$$\begin{aligned} & u_x \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + u_y \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial y} + u_z \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial z} \\ & = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y}\right)\right] \\ & + \frac{\partial}{\partial y}\left\{\mu\left[2\frac{\partial u_y}{\partial y} - \frac{2}{3}\left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y}\right)\right]\right\} \\ & + \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y}\right)\right] \end{aligned} \quad (4)$$

Theo phương z:

$$\begin{aligned} & u_x \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + u_y \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial y} + u_z \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial z} \\ & = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z}\right)\right] \\ & + \frac{\partial}{\partial z}\left\{\mu\left[2\frac{\partial u_z}{\partial z} - \frac{2}{3}\left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y}\right)\right]\right\} \end{aligned} \quad (5)$$

2.3. Điều kiện biên

Chi tiết các điều kiện biên của mô hình mô phỏng sau khi thiết lập trên phần mềm CFX được thể hiện ở Hình 3. Để đơn giản bài toán, ta bỏ qua tổn thất nhiệt qua vỏ của bình chứa nước nóng, bề mặt bình được coi là đoạn nhiệt. Bức xạ chiếu tới ống chân không được một nửa diện tích của bề mặt ống tiếp nhận tùy theo góc chắn tia trực xạ (là góc tạo bởi hình chiếu của tia trực xạ trên mặt cắt ngang ống và đường thẳng vuông góc với tâm ống nằm trên mặt phẳng bộ thu) ξ [^{o}]. Cường độ bức xạ mà ống nhận được trên phần diện tích nhận bức xạ là G [W/m^2]. Tuy nhiên trên toàn bộ ống có tổn thất nhiệt ra môi trường q_l [W/m^2] phụ thuộc vào hệ số tổn thất nhiệt U_l W/m^{2}K], nhiệt độ trung bình của bề mặt ống $\bar{t}$ [^{o}C] và nhiệt độ môi trường t_a [^{o}C]. Do đó, trên diện tích nhận bức xạ của bề mặt ống, điều kiện biên là mật độ dòng nhiệt q [W/m^2] được xác định bằng cường độ bức xạ mà ống nhận được trừ đi mật độ dòng nhiệt tổn thất. Phần diện tích còn lại của ống, điều kiện biên là mật độ dòng nhiệt tổn thất q_l [9].

Các chế độ hoạt động của bộ thu NLMT được khảo sát phụ thuộc vào nhiệt độ nước trong bình t_f [^{o}C], nhiệt độ môi trường t_a, cường độ bức xạ mà ống nhận được G và góc chắn tia trực xạ ξ. Nhiệt độ nước khi bắt đầu chạy mô phỏng $t_{f,0}$ được chọn là 30 ^{o}C. Theo thời gian, do nhận năng lượng từ bức xạ mặt trời, nhiệt độ nước này sẽ tăng dần lên. Các chế độ mô phỏng được dừng khi nhiệt độ nước đạt 60 ^{o}C. Nhiệt độ môi trường được giả thiết là 30 ^{o}C, các thông số khác trong từng chế độ mô phỏng có thể tham khảo ở Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị các thông số hoạt động trong mô phỏng.

Chế độ	$t_{f,o}$, ^{o}C	G, W/m^2	ξ, ^{o}	t_a, ^{o}C
1	30	450	90	30
2	30	600	90	30
3	30	750	90	30
4	30	600	45	30

2.4. Thiết lập và chạy bộ giải

Chế độ mô phỏng được thiết lập là chế độ không ổn định, các đại lượng vật lí và thông số vật lí của nước thay đổi theo thời gian phụ thuộc vào nhiệt độ. Bước thời gian được đặt là 5 giây và số vòng lặp trong một bước là 5 để đảm bảo độ chính xác của kết quả mô phỏng. Một máy tính với chip vi xử lí Core i7 – 2 × 2,3 GHz - tám luồng, bộ nhớ trong 8 GB đã được sử dụng để chạy bộ giải. Với cấu hình máy tính như vậy, thời gian cần thiết để hoàn tất một chế độ mô phỏng (ví dụ, nhiệt độ nước từ 30 ^oC đến 60 ^oC, cường độ bức xạ mà ống nhận được 450 W/m^2, góc chắn tia trực xạ 90 ^{o}) vào khoảng 86 giờ. Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ nước ban đầu đến kết quả, các chế độ mô phỏng ứng với nhiệt độ nước ban đầu thay đổi từ 40 ^oC và 50 ^oC cũng đã được thực hiện. Sai số giữa các thông số tính toán thu được trong các trường hợp với nhiệt độ nước ban đầu khác nhau này là nhỏ và có thể bỏ qua. Điều đó chứng tỏ kết quả mô phỏng có thể áp dụng với nhiệt độ nước ban đầu bất kì.

3. XÁC ĐỊNH LƯU LƯỢNG KHỐI LƯỢNG NƯỚC TUẦN HOÀN QUA ỐNG THỦY TINH CHÂN KHÔNG

Lưu lượng khối lượng nước tuần hoàn qua ống thủy tinh chân không là một thông số quan trọng trong nghiên cứu, tính toán bộ thu năng lượng mặt trời. Theo [10], lưu lượng này có thể xác định bởi công thức:

$$m = \frac{Q_u}{C_p(t_o - t_i)} \tag{6}$$

trong đó, Q_u [W] là công suất nhiệt hữu ích mà ống nhận được; C_p [J/(kg·K)] là nhiệt dung riêng đẳng áp của nước; t_o [^oC] và t_i [^oC] lần lượt là nhiệt độ nước vào và ra khỏi miệng ống.

Công suất nhiệt hữu ích mà ống nhận được có thể tính thông qua cường độ bức xạ ống hấp thụ được G [W/m^2]; diện tích bề mặt hấp thụ năng lượng A [m^2] và nhiệt tổn thất từ ống thủy tinh ra môi trường Q_l [W] theo công thức [10]:

$$Q_u = A.G - Q_l \tag{7}$$

Nhiệt tổn thất Q_l bao gồm cả tổn thất về dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ qua bề mặt ống. Theo [10], nhiệt này có thể xác định thông qua hệ số tổn thất nhiệt toàn phần U_l [$W/(m^2·K)$] theo công thức sau:

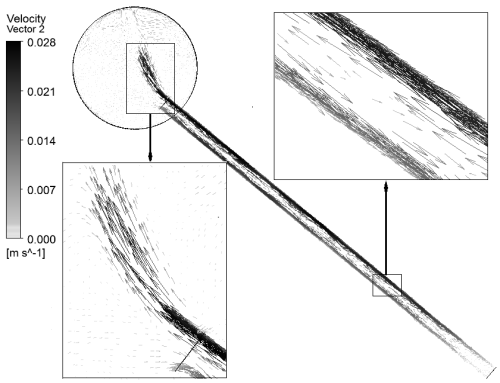
$$Q_l = U_l A_l (\bar{t} - t_a) \tag{8}$$

trong công thức (8), A_l [m^2] là diện tích bề mặt có tổn thất nhiệt, $\bar{t}$ [^oC] là nhiệt độ trung bình trên bề mặt ống còn t_a [^oC] là nhiệt độ môi trường.

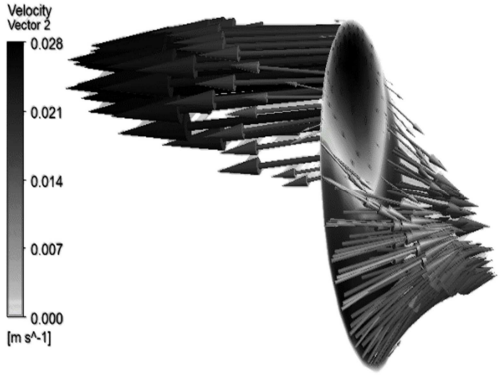
Từ các điều kiện ban đầu và hệ số tổn thất nhiệt toàn phần U_l lấy theo [7], các công thức (7) và (8) giúp ta tính được công suất nhiệt hữu ích mà ống thủy tinh chân không nhận được. Sử dụng kết quả mô phỏng, ta xác định được nhiệt độ nước vào và ra khỏi ống. Cuối cùng, áp dụng công thức (6) ta tính được lưu lượng khối lượng nước tuần hoàn qua ống thủy tinh chân không.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ NHẬN XÉT

Phân bố vận tốc của nước trên mặt cắt dọc theo tâm ống và vuông góc với trục của bình được thể hiện trên Hình 4. Theo đó, sự phân chia dòng vào và ra của nước bên trong ống là khá rõ ràng. Phía trên ống là các dòng đi lên, quay trở lại bình còn phía dưới là các dòng từ bình đi xuống ống. Điều này có thể được giải thích là do sự chênh lệch khối lượng riêng của nước khi nhiệt độ thay đổi.

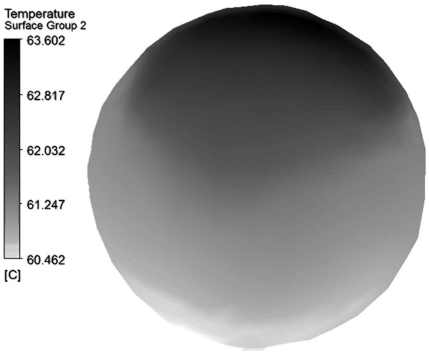


Hình 4. Phân bố vận tốc của nước tại mặt cắt dọc theo tâm ống.



Hình 5. Véc tơ vận tốc của nước tại miệng ống.

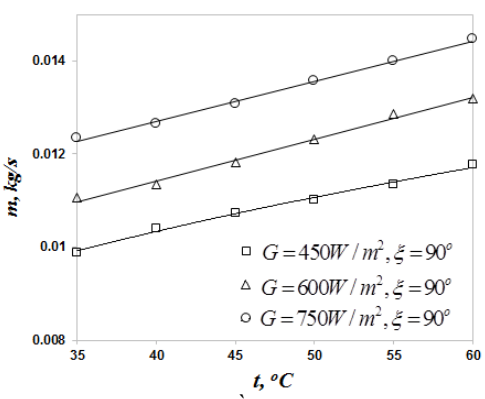
Để nghiên cứu kĩ hơn vấn đề trên, ta xét các véc tơ vận tốc tại miệng ống như trên hình 5. Trên hình, ta có thể thấy rõ các véc tơ ra và vào ống cũng như diện tích tương ứng mà nó đi qua. Vận tốc cực đại trong trường hợp mô phỏng này là 0,028 m/s. Cũng theo Hình 5, dòng nước ra khỏi ống có tốc độ lớn hơn dòng vào và phân bố ở phía trên của ống. Dòng vào phân bố phía dưới, tốc độ của nó nhỏ dòng ra hơn nhưng diện tích mà nó đi qua lại lớn hơn để đảm bảo việc cân bằng lưu lượng. Dựa vào kết quả mô phỏng ta có thể xác định chính xác tiết diện của dòng vào và dòng ra.



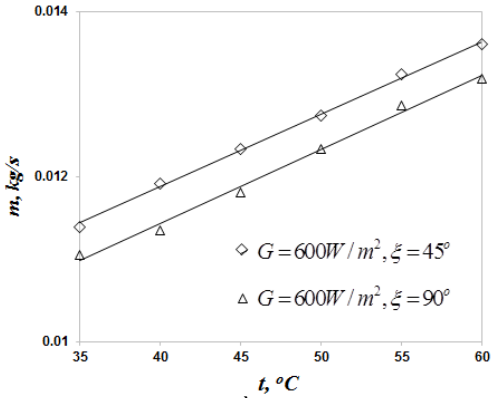
Hình 6. Phân bố nhiệt độ của nước tại miệng ống.

Phân bố nhiệt độ nước tại miệng ống được thể hiện trên Hình 6. Phần phía trên, nhiệt độ của nước cao nhất đạt 63,60 ^{o}C còn phía dưới nhiệt độ thấp hơn, chỗ nhỏ nhất là 60,46 ^{o} C. Dựa vào phân bố nhiệt độ này ta có thể tính nhiệt độ trung bình của nước ứng với từng phần diện tích mà nước vào và ra khỏi ống đã được xác định ở trên. Sử dụng kết quả mô phỏng CFD ta cũng xác định được nhiệt độ trung bình trên bề mặt ống $\bar{t}$. Với các giá trị nhiệt độ vừa tính được, các công thức (6), (7) và (8) giúp ta tính được lưu lượng nước tuần hoàn qua ống.

Kết quả tính toán lưu lượng nước tuần hoàn qua ống phụ thuộc nhiệt độ ban đầu của nước và cường độ bức xạ mà ống nhận được thể hiện trên Hnh 7. Từ các kết quả, ta thấy lưu lượng khối lượng của nước tuần hoàn qua ống tăng mạnh khi cường độ bức xạ mà ống nhận được tăng. Nhiệt độ nước tăng cũng làm lưu lượng nước tuần hoàn cũng tăng lên. Trong phạm vi nghiên cứu, lưu lượng nước tuần hoàn qua ống nhỏ nhất là 0.00959 kg/s tại chế độ ($t_{f,0}$ = 35 ^{o}C, G = 450 W/m^2, ξ = 90 ^{o}) và lớn nhất là 0,01454 kg/s tại chế độ ($t_{f,0}$ = 60 ^{o}C, G = 750 W/m^2, ξ = 90 ^{o}).



Hình 7. Lưu lượng tuần hoàn phụ thuộc nhiệt độ nước và cường độ bức xạ mà ống nhận được.



Hình 8. Lưu lượng tuần hoàn phụ thuộc nhiệt độ nước và góc chắn tia trực xạ.

Sự phụ thuộc của lưu lượng nước tuần hoàn vào góc chắn tia trực xạ được thể hiện trên Hình 8. Theo kết quả này, nếu cùng giá trị nhiệt độ nước và cường độ bức xạ hấp thụ thì lưu lượng nước tuần hoàn khi tia bức xạ chiếu thẳng đứng ($\xi = 90^o$) sẽ nhỏ hơn khi tia bức xạ chiếu xiên. Tại nhiệt độ 60 ^{o}C và cường độ bức xạ mà bề mặt hấp thụ là 600 W/m^2 thì lưu lượng khối lượng nước tuần hoàn qua ống khi góc chắn tia trực xạ là 90 ^{o} và 45 ^{o} lần lượt là 0,01325 kg/s và 0,01360 kg/s. Sự tăng lưu lượng tuần hoàn khi góc chắn của tia trực xạ khác 90 ^{o} được giải thích là do diện tích nhận bức xạ dịch chuyển sang mặt bên làm nước trong ống được đốt nóng ở phần diện tích này có xu hướng đi lên phía trên dễ dàng hơn, làm tăng quá trình lưu động của nước.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã tiến hành nghiên cứu quá trình lưu động của nước trong bộ thu năng lượng mặt trời kiểu ống thủy tinh chân không với nhiều chế độ phụ thuộc vào cường độ bức xạ mà ống hấp thụ được, nhiệt độ nước trong bình và góc chắn tia trực xạ. Kết quả mô phỏng cho thấy tốc độ và lưu lượng nước tuần hoàn qua ống tăng mạnh khi cường độ bức xạ mà ống nhận được tăng. Ngoài ra, nhiệt độ nước trong bình và góc chắn của tia trực xạ cũng ảnh hưởng đến quá trình lưu động của nước. Các kết quả này cũng có thể được sử dụng để nghiên cứu sự phân tầng nhiệt độ trong bình chứa và tính toán xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu của nước trong ống, là một thông số hoạt động quan trọng của bộ thu. Một mô hình thí nghiệm để kiểm chứng các kết quả mô phỏng cũng như việc sử dụng các kết quả mô phỏng để tính hệ số trao đổi nhiệt đối lưu của nước trong ống thủy tinh chân không sẽ được chúng tôi sẽ trình bày ở bài báo sau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Shoufeng Qiu, Matthias Ruth, Sanchari Ghosh - Evacuated tube collectors: A notable driver behind the solar water heater industry in China, Renewable and Sustainable Energy Reviews **47** (2015) 580–588.
2. Sabiha M.A., Saidur R., Saad Mekhilef, Omid Mahian. - Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews **51** (2015) 1038–1054.
3. Indra Budihardjo, Graham L. Morrison, Masud Behnia - Natural circulation flow through water-in-glass evacuated tube solar collectors, Solar energy **81** (2007) 1460-1472.

4. Hoàng An Quốc, Lê Chí Hiệp, Hoàng Dương Hùng - Chế tạo và thử nghiệm ống nhiệt mặt trời loại chân không trong điều kiện Việt Nam, Khoa học và Công nghệ nhiệt **74** 3/2007 (8-11).
5. Ruobing Liang, Liangdong Ma, Jili Zhang, Dan Zhao - Experimental study on thermal performance of filled-type evacuated tube with U-tube, Heat Mass Transfer **48** (2012) 989–997.
6. Morrison G. L., Budihardjo I., Behnia M. - Measurement and simulation of flow rate in a water-in-glass evacuated tube solar water heater, Solar energy **78** (2005) 257-267.
7. Abdul Waheed Badar, Reiner Buchholz, Felix Ziegler - Experimental and theoretical evaluation of the overall heat loss coefficient of vacuum tubes of a solar collector, Solar Energy **85** (2011) 1447–1456.
8. Arturo Alfaro-Ayala J., Guillermo Martínez-Rodríguez, Martín Picón-Núñez, Agustín R. Uribe-Ramírez, Armando Gallegos-Muñoz - Numerical study of a low temperature water-in-glass evacuated tube solar collector, Energy Conversion and Management **94** (2015) 472–481.
9. Johane Bracamonte, José Parada, Jesús Dimas, Miguel Baritto - Effect of the collector tilt angle on thermal efficiency and stratification of passive water in glass evacuated tube solar water heater, Applied Energy **155** (2015) 648–659.
10. Park S. R., Pandey A. K., Tyagi V. V., Tyagi S. K. - Energy and exergy analysis of typical renewable energy systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews **30** (2014) 105–123.

ABSTRACT

SIMULATION OF WATER FLOWS IN EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS

Ta Van Chuong[1, *], Nguyen Nguyen An[1], Nguyen Quoc Uy[2]

[1]*School of Heat Engineering and Refrigeration , Hanoi University of Science and Technology, 1 Dai Co Viet Road, Ha Noi*

[2]*Faculty of Energy Technology, Electric Power University, 235 Hoang Quoc Viet Road, Ha Noi*

[*]Email: *chuong.tavan@hust.edu.vn*

The circulation of water in evacuated tube solar collectors has a major influence on the process of receiving and transmitting solar energy, so that it directly influences the performance of collectors. Thus, a simulation of water flows in the collector was developed in the paper. The process was studied in various modes depending on the total absorbed radiation that evacuated tubes absorb, the average water temperature and the transverse incidence radiation angles. The simulation results show that the mass flow rate of water through the tube increases considerably when the total absorbed radiation increases. In addition, the average water temperature in system and transverse incidence radiation angles also affect the flow of water. These results can be used to study the temperature stratification in the tank as well as calculate the convective heat transfer coefficient of water in the tube, which is an important performance parameter of the collectors.

Keywords: mass flow rate; velocity; natural circulation; evacuated tube.