

NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT NHIỆT CỦA ỐNG NHIỆT MAO DẪN

STUDY ON THERMAL PROPERTIES OF WICKED HEAT PIPE

Bùi Mạnh Tú

TÓM TẮT

Ống nhiệt là một thiết bị truyền nhiệt hiệu quả giúp vận chuyển một lượng nhiệt lớn giữa hai vùng có độ chênh lệch nhiệt độ nhỏ. Vấn đề chính của ống nhiệt là môi chất làm việc có đặc tính truyền nhiệt hạn chế. Bài báo này trình bày nghiên cứu tính chất nhiệt (hiệu suất nhiệt η , tổng trở nhiệt R) của ống nhiệt mao dẫn có cánh khi thay đổi góc nghiêng và nhiệt cấp cho phần sôi. Thí nghiệm được tiến hành với nhiệt cấp cho phần sôi ở các giá trị 100W, 150W, 200W, 250W và 300W; góc nghiêng ở các giá trị $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$.

Từ khóa: Ống nhiệt, hiệu suất nhiệt, tổng trở nhiệt, góc nghiêng, nhiệt cấp.

ABSTRACT

Heat pipe is an effective heat transfer device which transports huge amount of heat between the two temperature limits with minimum temperature gradient. The main problem with heat pipe working fluids is poor heat transfer characteristics of working fluids. This paper presents study of thermal properties (thermal efficiency η , thermal resistance R) of the wicked heat pipe with wings when changing inclination angle and heat supplied at evaporator region. The experiments are conducted for various heat inputs 100W, 150W, 200W, 250W, and 300W; various inclination angles $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$, and 90° .

Keywords: Heat pipe, thermal efficiency, thermal resistance, inclination angle, heat supplied.

Trường Đại học Điện Lực

Email: tubm@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/8/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/9/2020

Ngày chấp nhận đăng: 21/10/2020

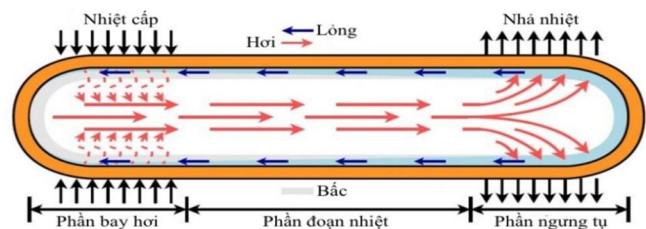
1. GIỚI THIỆU

Ống nhiệt được sáng chế từ rất lâu tuy nhiên việc nghiên cứu ứng dụng nó mới chỉ phát triển mạnh trong vài thập kỷ gần đây. Nguyên tắc của quá trình truyền nhiệt cơ bản giống nhau ở các loại ống nhiệt nhưng công suất nhiệt phụ thuộc vào cấu tạo của ống nhiệt và điều kiện làm việc của nó. Bằng cách thay cấu trúc của ống, lượng và loại môi chất nạp trong ống các nhà khoa học chế tạo ra các loại ống nhiệt khác nhau có khả năng ứng dụng hiệu quả trong công nghiệp và cuộc sống.

1.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

1.1.1. Cấu tạo

Ống nhiệt là một ống thường làm bằng kim loại hàn kín hai đầu trong đó có chứa một lượng môi chất lỏng xác định (hình 1). Tùy theo từng loại ống mà phía trong ống có thể trơn, xẻ rãnh hoặc gắn lưới mao dẫn, phía ngoài cũng có thể trơn hoặc làm cánh tản nhiệt.



Hình 1. Ống nhiệt

Ống nhiệt được chia làm 3 phần: Phần sôi, phần đoạn nhiệt và phần ngưng [1, 2]

Phần sôi: Phần này được đốt nóng bằng các nguồn nhiệt khác nhau, môi chất lỏng trong ống nhận nhiệt sẽ sôi và hơi bão hòa được tạo thành.

Phần đoạn nhiệt: Hơi bão hòa của môi chất từ phần sôi sẽ chuyển động qua phần đoạn nhiệt lên phần ngưng. Sở dĩ gọi là phần đoạn nhiệt vì ở phần này không thực hiện quá trình trao đổi nhiệt (nghĩa là ống được bọc cách nhiệt bên ngoài ở phần đoạn nhiệt), phần đoạn nhiệt có thể có hoặc không có.

Phần ngưng: Hơi bão hòa của môi chất lên tới phần ngưng nhà nhiệt cho chất làm mát ở môi trường bên ngoài ống (không khí, nước...) và ngưng tụ lại, trở về trạng thái lỏng. Môi chất lỏng ngưng sẽ quay về phần sôi nhờ lực trọng trường, lực mao dẫn hay lực ly tâm...

Bề mặt bên trong ống nhiệt có thể nhẵn, được xẻ rãnh hoặc có cấu trúc bấc. Hơi môi chất di chuyển bên trong lòng ống, chất lỏng ngưng di chuyển về phần sôi ở bề mặt trong của ống. Cánh có thể được gắn vào bên ngoài phần sôi và phần ngưng tụ để tăng diện tích bề mặt và tăng cường quá trình truyền nhiệt, tùy thuộc vào từng ứng dụng.

Có thể phân loại ống nhiệt theo nhiều cách: Theo lực tác dụng lên chất lỏng, theo nhiệt độ hơi, theo mục đích sử dụng, theo hình dạng ống... mà người ta có thể phân ra ống nhiệt mao dẫn, ống nhiệt ly tâm, ống nhiệt trọng trường, ống nhiệt một chiều, ống nhiệt nhiệt độ thấp, ống nhiệt hình trụ, ống nhiệt hình hộp,....

1.1.2. Nguyên lý hoạt động

Môi chất lỏng trong ống nhận nhiệt của nguồn nóng (khói lò, năng lượng bức xạ mặt trời,...) trong phần sôi sẽ sôi và biến thành hơi, hơi môi chất chuyển động qua phần đoạn nhiệt tới phần ngưng. Tại đây hơi môi chất tỏa nhiệt cho nguồn làm mát qua vách ống (không khí, nước,...). Môi chất lỏng ngưng tạo thành sẽ chảy về phần sôi nhờ một trong những lực sau đây: lực trọng trường, lực mao dẫn, lực ly tâm, lực điện trường, lực từ trường...

Áp suất và nhiệt độ làm việc bên trong ống nhiệt chính là áp suất và nhiệt độ hơi của chất lỏng nạp bên trong ống nhiệt.

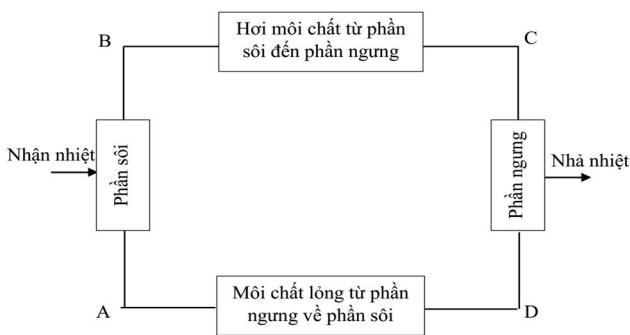
Các quá trình làm việc của ống nhiệt được biểu diễn trên hình 2, trong đó:

AB - quá trình sôi xảy ra trong phần sôi ở áp suất P_1 .

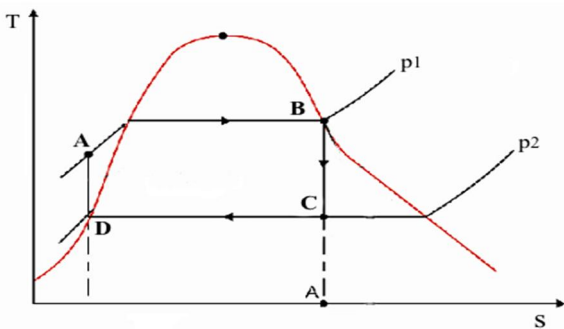
BC - quá trình chuyển động của hơi từ phần sôi tới phần ngưng, ở đây do ma sát, áp suất của hơi giảm từ P_1 đến P_2 (P_2 - áp suất hơi trong phần ngưng). Tuy nhiên thông thường sự giảm áp này là rất nhỏ.

CD - quá trình ngưng tụ hơi tạo thành chất lỏng ngưng ở áp suất P_2 .

DA - quá trình chuyển động của chất lỏng ngưng theo bề mặt trong của ống nhiệt, từ phần ngưng qua phần đoạn nhiệt về phần sôi nhờ lực trọng trường, lực mao dẫn,... và quá trình được lặp lại (trong quá trình này áp suất của chất lỏng tăng lên do lực trọng trường... để thắng sức cản ma sát giữa chất lỏng và bề mặt trong của ống). Như vậy môi chất trong ống nhiệt đã thực hiện một chu trình hay một vòng tuần hoàn kín mà không cần tới ngoại lực do bơm hay do quạt tạo ra như ở các phần tử trao đổi nhiệt khác.



a) Các thành phần của chu trình



b) Biểu đồ T-s

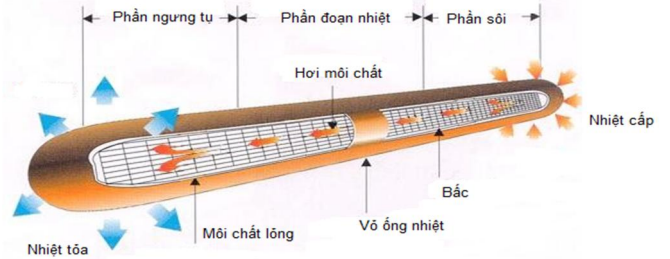
Hình 2. Quá trình hoạt động của ống nhiệt trên biểu đồ T-s

P_1 - áp suất hơi ở phần sôi

P_2 - áp suất hơi ở phần ngưng

1.2. Ống nhiệt mao dẫn

Ống nhiệt trọng trường có hạn chế về vị trí đặt ống, để tạo ra lực trọng trường thì yêu cầu bắt buộc là phần ngưng của ống nhiệt phải có vị trí cao hơn phần sôi. Để khắc phục điều này, ống nhiệt mao dẫn (hình 3) được ra đời, nghiên cứu và ứng dụng. Chất lỏng ngưng di chuyển về phần sôi nhờ lực mao dẫn.



Hình 3. Ống nhiệt mao dẫn

Ống nhiệt mao dẫn có đặt một lớp bấc sát bề mặt trong của ống hoặc làm rãnh nhỏ chạy theo chu vi và dọc theo chiều dài của ống. Lớp bấc mao dẫn phải đảm bảo có tính dẫn nhiệt tốt, tính mao dẫn cao, tính thấm thấu chất lỏng cao. Môi chất sử dụng cho ống nhiệt mao dẫn là chất lỏng.

Bên ngoài của ống nhiệt có thể nhẵn hoặc có cánh để tăng cường khả năng trao đổi nhiệt. Trong nghiên cứu này, tác giả sẽ tiến hành chế tạo, nghiên cứu tính chất nhiệt của ống nhiệt mao dẫn với bấc là các lớp lưới kim loại cuộn tròn áp quanh mặt trong của ống, bên ngoài ống nhiệt có cánh, sử dụng môi chất là nước.

2. CHẾ TẠO ỐNG NHIỆT MAO DẪN CÓ CÁNH

Tính toán thiết kế, chế tạo ống nhiệt mao dẫn đã được trình bày rất chi tiết trong các tài liệu tham khảo như [1-8]. Trong nội dung bài báo này, tác giả không đi sâu vào phần tích toán, thiết kế ống nhiệt. Ống nhiệt sử dụng trong nghiên cứu này được chế tạo có cánh ở phần ngưng của ống nhiệt, ống nhiệt được gia nhiệt ở phần sôi bằng thiết bị đốt nóng dạng điện trở có thể điều chỉnh được công suất nhiệt. Thông số, vật liệu chế tạo của ống nhiệt như sau:

- Vật liệu làm ống : Đồng
- Chiều dài ống : $L = 1\text{m}$
- Đường kính ngoài của ống : $d_e = 0,032\text{m}$
- Đường kính trong của ống : $d_i = 0,030\text{m}$
- Chiều dài phần sôi : $L_s = 0,4\text{m}$
- Chiều dài phần ngưng : $L_n = 0,4\text{m}$
- Vật liệu làm cánh : Đồng
- Đường kính cánh : $d_c = 85\text{mm}$
- Lớp lưới kim loại : Lưới đồng, 100 mesh/inch
- Môi chất nạp : Nước

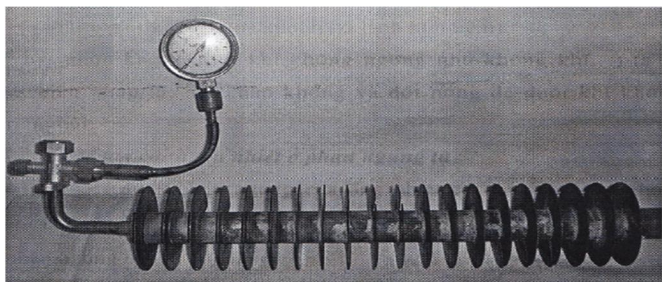
Nạp môi chất vào ống nhiệt

Để nạp môi chất vào trong ống nhiệt, trước tiên ống nhiệt sau khi làm sạch, phải được hút chân không bằng bơm hút chân không với áp suất 760mmHg. Sau đó môi chất nạp được đưa vào ống nhiệt qua xi lanh, lượng môi chất nạp vào ống nhiệt bằng 40% thể tích phần sôi.

Để hút chân không (để khử khí không ngưng như không khí...) ta sử dụng hai biện pháp là hút chân không và đốt nóng để đuổi khí không ngưng ra ngoài.

Chế tạo cánh tản nhiệt ở phần ngưng tụ (hình 4)

Để lấy nhiệt đi từ phần ngưng của ống nhiệt, có thể dùng nước hoặc không khí làm mát, trong nghiên cứu này lựa chọn không khí để làm mát.



Hình 4. Cấu tạo phần ngưng tụ của ống nhiệt trong trường

Cánh tản nhiệt được làm bằng đồng, với chiều dày cánh $d_c = 1\text{mm}$ (tương đối dày) để đảm bảo việc chế tạo, khi hàn cánh, cánh không bị cong vênh hay gây ra thủng ống đồng, cánh kín khít với thân ống trên toàn bộ chu vi ống.

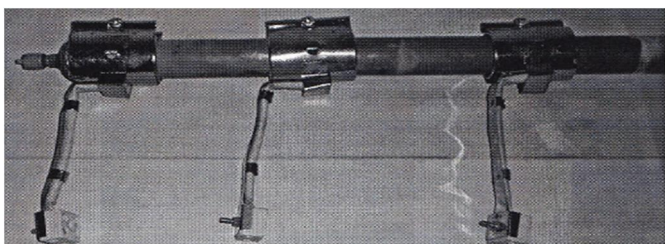
Cánh được chế tạo có đường kính $d_c = 85\text{mm}$, số lượng cánh $n = 20$ được gắn trên toàn bộ chiều dài phần ngưng của ống nhiệt ($L_n = 400\text{mm}$). Dùng quạt để thổi không khí qua phần ngưng của ống, lưu lượng không khí được thay đổi bằng cách điều chỉnh tốc độ quạt gió vào trao đổi nhiệt với bình ngưng.

Lựa chọn, lắp ghép bộ phận đốt nóng (hình 5)

Bộ đốt nóng dùng để cấp nhiệt cho phần sôi của ống nhiệt, làm cho môi chất nạp trong ống nhiệt sôi, bốc hơi và chuyển động lên trên phần ngưng. Có nhiều cách khác nhau để cấp nhiệt cho phần sôi của ống nhiệt, điều này phụ thuộc vào công suất nhiệt cần cấp. Hiện nay có hai phương pháp cấp nhiệt được dùng phổ biến:

- Cấp nhiệt bằng dây điện trở (trao đổi nhiệt bằng hình thức đối lưu)
- Cấp nhiệt bằng phương pháp cảm ứng (trao đổi nhiệt bằng hình thức bức xạ)

Xét về sự tiện lợi và mục đích nghiên cứu, tác giả lựa chọn phương pháp cấp nhiệt bằng dây điện trở.



Hình 5. Lắp đặt bộ cấp nhiệt cho phần sôi của ống nhiệt

Bộ phận đốt nóng bao gồm 03 điện trở với các thông số sau: Vật liệu chế tạo: Dây Crom - Niken

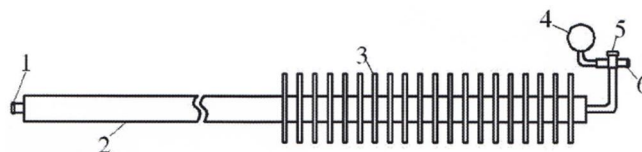
Công suất tối đa $P_{max} = 450\text{W}$

Kích thước $\Phi 35$, chiều dài 60mm

Các điện trở này được bố trí đều trên toàn bộ phần sôi của ống nhiệt ($L_s = 400\text{mm}$). Việc bố trí các cụm điện trở trải dài trên toàn bộ phần sôi (bay hơi) của ống nhiệt giúp cho việc cấp nhiệt được đồng đều, môi chất trong ống nhận nhiệt đều hơn.

Để thay đổi công suất của các điện trở cấp nhiệt cho phần sôi, ta điều chỉnh bằng cách thay đổi điện áp cấp cho

các điện trở đốt. Việc điều chỉnh này được thực hiện bằng một máy biến áp vô cấp, điện áp đầu vào 220V , điện áp đầu ra $0 - 300\text{V}$.



Hình 6. Kết cấu của mô hình ống nhiệt có cánh

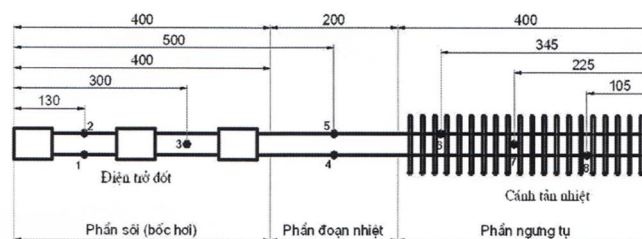
- 1- Van xả (môi chất, khí...)
- 2- Ống đồng trơn
- 3- Cánh tản nhiệt
- 4- Áp kế
- 5- Khoá đóng mở van nạp
- 6- Van nạp

Để giảm tổn thất nhiệt ra môi trường, đảm bảo độ chính xác cần thiết cho thí nghiệm, phía ngoài bộ đốt nóng được bọc cách nhiệt: lớp trong là bông khoáng chịu nhiệt độ cao dày 30mm , sau đó được quấn một lớp amiang chịu nhiệt, ngoài cùng bọc lớp giấy bạc mỏng chống bức xạ nhiệt.

3. MÔ HÌNH VÀ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Mô hình thí nghiệm

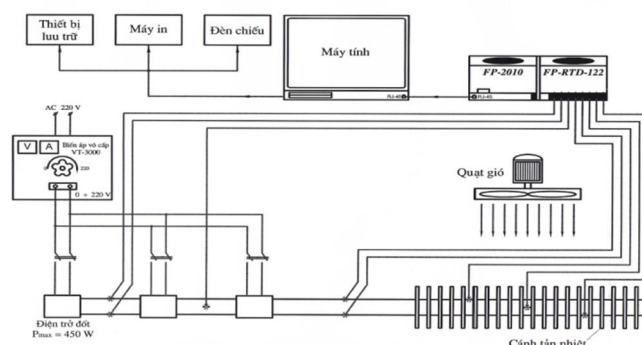
Để đo các nhiệt độ sử dụng các đầu đo PT100 - là loại nhiệt điện trở, đặc tính nhiệt - điện trở của nó được xác định trong các tiêu chuẩn quốc tế như IEC-751, DIN 43760, BS 1904 hay ASTM E1137.



Hình 7. Bố trí các đầu đo nhiệt độ trên mô hình ống nhiệt

Vì vách ống bằng đồng (có hệ số dẫn nhiệt lớn), chiều dày mỏng (1mm) nên nhiệt trở dẫn nhiệt của vách ống rất nhỏ, và độ chênh nhiệt độ giữa vách trong và vách ngoài ống cũng rất nhỏ (khoảng $0,01^\circ\text{C}$), cho nên chúng ta có thể coi giá trị các nhiệt độ đo được ở bề mặt ngoài ống chính bằng nhiệt độ mặt trong ống, nhiệt độ phần sôi, ngưng tương ứng của ống nhiệt.

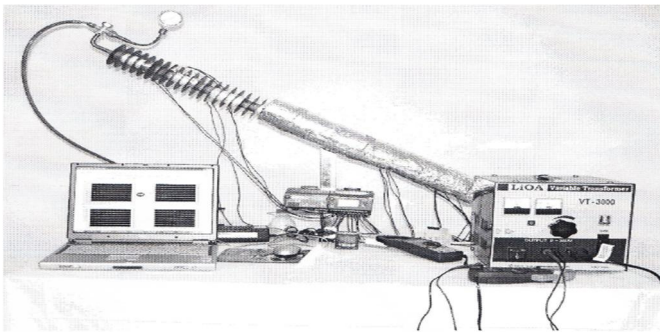
Sơ đồ bố trí thiết bị thí nghiệm như hình 8.



Hình 8. Sơ đồ hệ thống thiết bị thí nghiệm nghiên cứu tính chất nhiệt của ống nhiệt

3.2. Kết quả thí nghiệm

Hệ thống thí nghiệm nghiên cứu tính chất nhiệt của ống nhiệt mao dẫn có cánh bên ngoài được bố trí như hình 9. Ống nhiệt được gá đặt trên giá có thể điều chỉnh được góc nghiêng của ống nhiệt từ 0° - 90°.



Hình 9. Hệ thống thiết bị thí nghiệm nghiên cứu tính chất nhiệt của ống nhiệt

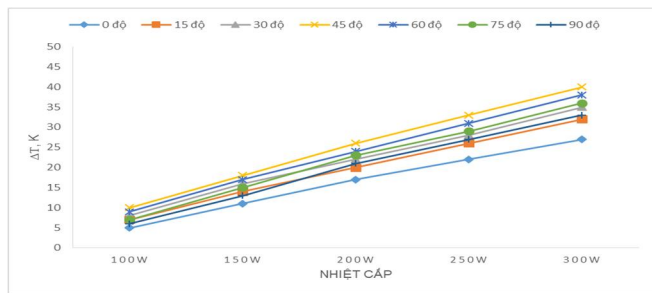
Tác giả sẽ tiến hành thay đổi góc nghiêng ở các góc 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° và 90°; nhiệt cấp cho phần sôi của ống nhiệt thay đổi ở các mức 100W, 150W, 200W, 250W và 300W để nghiên cứu, tính toán tính chất nhiệt (hiệu suất nhiệt η và tổng nhiệt trở R) của ống nhiệt.

Hiệu suất nhiệt η là tỷ số giữa nhiệt tỏa ra ở phần ngưng và nhiệt cấp cho phần sôi của ống nhiệt.

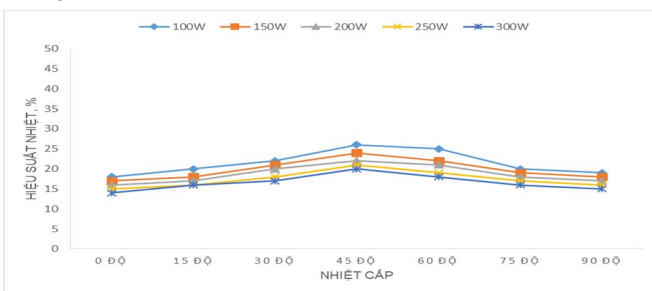
Tổng nhiệt trở R là tỷ số giữa độ chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ trung bình phần sôi và phần ngưng với nhiệt cấp cho phần sôi của ống nhiệt.

Độ chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ trung bình phần sôi và phần ngưng của ống nhiệt được thể hiện trên hình 10.

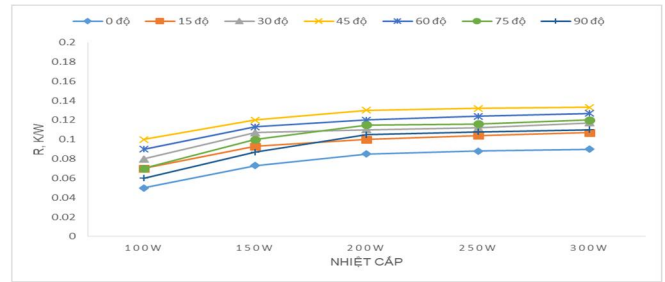
Hiệu suất nhiệt η và tổng nhiệt trở R của ống nhiệt khi thay đổi góc nghiêng của ống nhiệt và nhiệt cấp cho phần sôi được thể hiện trên hình 11, 12.



Hình 10. Độ chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ trung bình phần sôi và phần ngưng khi thay đổi góc nghiêng của ống nhiệt và nhiệt cấp cho phần sôi của ống nhiệt



Hình 11. Hiệu suất nhiệt η của ống nhiệt khi thay đổi góc nghiêng của ống nhiệt và nhiệt cấp cho phần sôi của ống nhiệt



Hình 12. Tổng nhiệt trở R của ống nhiệt khi thay đổi góc nghiêng của ống nhiệt và nhiệt cấp cho phần sôi của ống nhiệt

Kết quả hình 11 cho thấy, khi tăng góc nghiêng của ống nhiệt thì hiệu suất nhiệt tăng và đạt giá trị lớn nhất ở góc nghiêng 45°. Sau đó, nếu tiếp tục tăng góc nghiêng của ống nhiệt, hiệu suất nhiệt giảm xuống. Nguyên nhân là do ảnh hưởng của lực trọng trường và quá trình hình thành lớp chất lỏng tiếp giáp với thành trong của ống nhiệt khi môi chất ngưng tụ, di chuyển từ phần ngưng về phần sôi.

Hình 12, cho thấy, khi lượng nhiệt cấp cho phần sôi của ống nhiệt tăng thì tổng nhiệt trở của ống nhiệt cũng tăng. Nguyên nhân là do sự hình thành các lớp bong bóng hơi ở bề mặt phân cách lỏng môi chất và thành trong ống nhiệt. Khi tăng nhiệt quá trình hóa hơi của môi chất trong phần sôi diễn ra nhanh hơn và lượng bong bóng hơi được hình thành nhiều hơn, qua đó tạo thành một lớp ngăn cản quá trình truyền nhiệt giữa môi chất và thành ống nhiệt.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tác giả đã tiến hành tính toán, chế tạo ống nhiệt mao dẫn có cánh ở phần ngưng tụ. Đồng thời, tác giả đã bố trí hệ thống thí nghiệm để nghiên cứu ảnh hưởng của góc nghiêng và nhiệt cấp cho phần sôi đến tính chất nhiệt của ống nhiệt. Qua số liệu thu được, tác giả đã tính toán, xác định được hiệu suất nhiệt η và tổng nhiệt trở R của ống nhiệt. Kết quả cho thấy, hiệu suất nhiệt η đạt giá trị lớn nhất khi ống nhiệt nghiêng một góc 45° so với phương ngang; và tổng nhiệt trở R tăng khi tăng nhiệt cấp cho phần sôi của ống nhiệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Hải, Trần Văn Vang, 2008. *Ống nhiệt và ứng dụng của ống nhiệt*. NXB Bách khoa.
- [2]. Faghri, A., 1995. *Heat pipe science and technology*. Taylor & Francis, Washington.
- [3]. Bùi Hải, 1984. *Nghiên cứu tính chất nhiệt chưa tới hạn và tới hạn của ống nhiệt trọng trường*. Luận án Tiến sĩ, Praha.
- [4]. Bùi Hải, Dương Đức Hồng, Hà Mạnh Thư, 2001. *Thiết bị trao đổi nhiệt*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [5]. Bùi Hải, 2002. *Tính toán thiết kế thiết bị trao đổi nhiệt*. NXB GTVT.
- [6]. P. D. Dunn, D. A. Reay, 1994. *Heat pipes*. Pergamon.
- [7]. G. P. Peterson, 1994. *An introduction to heat pipes*. John Willey-sons, Inc.
- [8]. Andrews, A. Akabarzadeh, 1997. *Heat pipes Technology*. Pergamon.

AUTHOR INFORMATION

Bui Manh Tu
Electric Power University