

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH TRAO ĐỔI NHIỆT, TRAO ĐỔI CHẤT TRONG THIẾT BỊ BAY HƠI CỦA BƠM HOẠT ĐỘNG NHIỆT CÓ BIẾN ĐỔI PHA

A STUDY ON HEAT AND MASS TRANSFER IN THE EVAPORATOR OF A THERMALLY DRIVEN PUMP WITH PHASE CHANGE

Bùi Mạnh Tú^{1,*}, Tiêu Xuân Hoàng²

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2025.130>

TÓM TẮT

Mô tả nguyên lý hoạt động của bơm hoạt động nhiệt, trong đó không sử dụng động cơ để dẫn động. Mô hình toán học của thiết bị bay hơi của bơm được trình bày để đánh giá và phân tích các đặc tính động học của nó. Dựa trên mô hình toán học và các phương pháp thí nghiệm cổ điển, các giá trị thực nghiệm của hệ số trong các phương trình cân bằng nhiệt và khối lượng được xác định cụ thể cho loại thiết bị này. Phương pháp mô tả đặc tính chức năng của bộ bay hơi có thể được sử dụng khi phát triển các loại bơm hoạt động nhiệt tương tự khác.

Từ khóa: Bơm hoạt động nhiệt, truyền nhiệt, truyền chất, trao đổi nhiệt.

ABSTRACT

The working mechanism of a thermally driven pump that operates without a motor is outlined. A mathematical representation of the pump's evaporator is developed to study its dynamic behavior. Using this model in combination with traditional experimental techniques, specific empirical values for the thermal and mass balance coefficients are determined for this type of system. This approach to characterizing the evaporator's functional properties can also be utilized in designing other thermally driven pump systems.

Keywords: Thermally driven pump, heat and mass transfer, heat exchanger.

¹Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

²Trường Đại học Điện lực

*Email: bmtu@uneti.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/4/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, việc sử dụng năng lượng hiệu quả ngày càng được chú trọng. Trong các hệ thống nhiệt - lạnh, bên cạnh

việc sử dụng tiết kiệm thì việc tận dụng các nguồn nhiệt thải (nhiệt khí thải từ các nhà máy công nghiệp), hay các nguồn nhiệt tự nhiên (năng lượng mặt trời, địa nhiệt,...) cũng được tập trung nghiên cứu. Trong phạm vi của bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm thiết bị bay hơi của bơm hoạt động nhiệt.

Bơm hoạt động nhiệt là một loại bơm dùng để tải chất lỏng đi dựa trên các tác động trực tiếp của năng lượng nhiệt, bằng cách sử dụng nguồn nhiệt có nhiệt độ thấp, tác động để thay đổi áp suất hơi của chất lỏng [1, 2]. Bơm hoạt động nhiệt không cần động cơ, không có chi tiết chuyển động, không dùng điện.

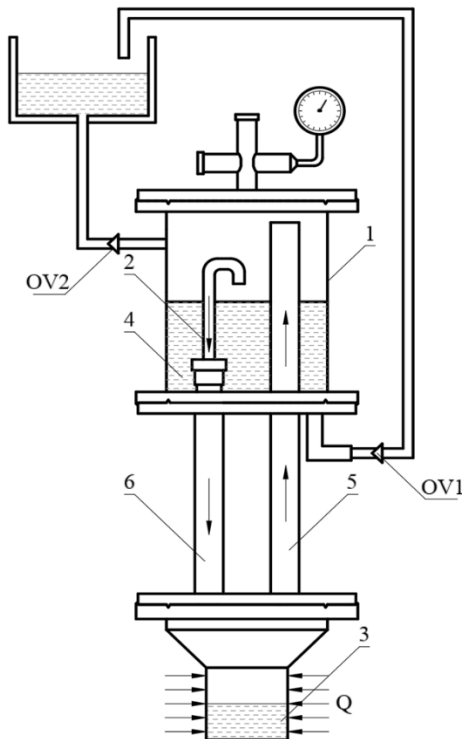
Sơ đồ nguyên lý của bơm hoạt động nhiệt được thể hiện trong hình 1, hình 2 mô tả các quá trình định tính thể hiện sự thay đổi của các tham số chính trong chu trình làm việc của bơm hoạt động nhiệt. Nguyên lý làm việc của thiết bị như sau:

1. Một lượng nước ở thiết bị bay hơi, khi nhận nhiệt Q từ bên ngoài, sẽ sôi và bay hơi ở nhiệt độ T . Hơi từ thiết bị bay hơi di chuyển lên trên qua ống dẫn hơi 5. Quá trình bay hơi xảy ra trong khoang kín trong điều kiện áp suất hơi P_s lớn hơn áp suất bên ngoài của hệ thống (áp suất môi trường) P_e . P_e là áp suất bên ngoài, ít nhất bằng trở lực của van một chiều OV1.

2. Khi áp suất hơi P_s đạt đến một giá trị đủ lớn, chất lỏng cùng với hơi được đẩy ra khỏi bình ngưng tụ đi vào bình chứa ngoài, tại đây, hơi trao đổi nhiệt ra môi trường bên ngoài, ngưng tụ lại, trở lại trạng thái lỏng. Áp suất trong hệ thống bắt đầu giảm xuống, đến một giá trị nhỏ hơn trở lực của van một chiều OV1, làm van OV1 đóng, đồng thời áp suất của hệ thống giảm dần dần đến giá trị nhỏ hơn trở lực của van một chiều OV2, khi đó van một

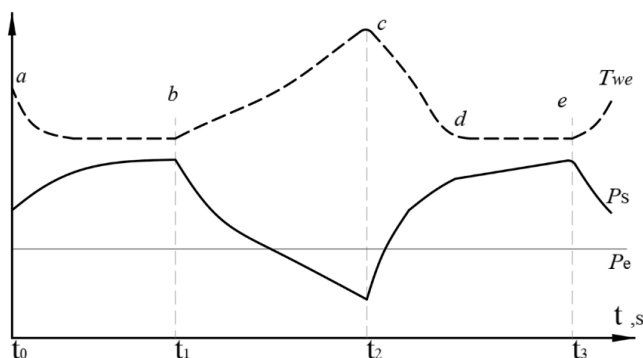
chiều OV2 mở, để chất lỏng mới từ bình chứa trở lại Bình ngưng tụ 1. Thể tích chất lỏng vào bình ngưng tụ phụ thuộc vào khoảng cách từ mép dưới của đầu vào xiphong tới bề mặt chất lỏng bên trong bình ngưng tụ. Khi chất lỏng vượt qua mức cân bằng của xiphong 2, nước sẽ chảy về thiết bị bay hơi 3 qua ống dẫn 6.

3. Chu kỳ này lặp lại, do đó đảm bảo sự lưu thông liên tục của chất lỏng trong hệ thống mà không cần sử dụng bơm cơ học.



Hình 1. Mô hình thực nghiệm của bơm hoạt động nhiệt

1- Bình ngưng tụ - chứa chất lỏng làm việc; OV1, OV2- Van một chiều; 3- Thiết bị bay hơi; 4- Lưu chất (nước); 5- Đường ống dẫn hơi; 6- Đường ống dẫn chất lỏng



Hình 2. Hình ảnh mô tả sự thay đổi định tính các thông số đầu ra trong chu trình của bơm hoạt động nhiệt

Nhiệt độ quá nhiệt giới hạn, được xác định theo [3] theo công thức:

$$T_s = \left[b_1 + (1 - b_1) \frac{p_s}{p_{ks}} \right] T_{ks} \quad (1)$$

Trong đó:

$$b_1 = 0,916 - 0,0154 + 0,00038A^2; A = 100 \frac{p_s}{p_{ks}}$$

p_s - Áp suất bão hòa của hơi ở nhiệt độ chất lỏng;

T_{ks} - Nhiệt độ tới hạn của hơi ($^{\circ}\text{C}$);

p_{ks} - Áp suất tương ứng với nhiệt độ tới hạn của hơi

Tính toán cho thấy rằng với giá trị áp suất trung bình, giá trị T_s lớn hơn 300°C .

Khi chất lỏng từ bình ngưng tụ 1 qua ống dẫn 6 chảy vào thiết bị bay hơi 3, nước được tiếp xúc với bề mặt thiết bị bay hơi được gia nhiệt, khiến chất lỏng sôi nhanh chóng, quá trình này đi kèm với chế độ bay hơi đầu tiên, sự sụt giảm nhiệt độ thành thiết bị bay hơi, sự gia tăng áp suất, sau đó là chế độ bay hơi ổn định cho đến khi chất lỏng bốc hơi hoàn toàn (đoạn c-d-e) trong hình 2. Chu trình trên diễn ra liên tục, lặp đi lặp lại với thông số của các quá trình thay đổi theo thời gian t.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA THIẾT BỊ BAY HƠI

Mô hình toán học để đánh giá và phân tích các đặc tính động học của các thông số đầu ra của bơm (áp suất $p_s = f_1(t)$; nhiệt độ $T_{bhe} = f_2(t), \dots$) liên quan đến bài toán trao đổi nhiệt và khối lượng chất lỏng trong thiết bị bay hơi và bình ngưng, có tính đến trạng thái nhiệt động học của pha hơi và các thông số hình học của các phần tử trong thiết bị thực nghiệm.

Đối với thiết bị bay hơi trong đoạn a-b-c-d (với điều kiện khối lượng chất lỏng $M_f > 0$), cân bằng nhiệt có thể được viết dưới dạng:

$$Q - Q_{los} = c_{pm} \rho_m V_m \frac{dT_{we}}{dt} + \alpha_e F(\tau) [T_{we} - T(p_s)] \quad (2)$$

Trong đó:

$c_{pm} V_m$ - Nhiệt dung riêng đẳng áp khối lượng, thể tích của vật liệu cấu tạo thiết bị bay hơi;

α_e - Hệ số trao đổi nhiệt giữa chất lỏng và bề mặt bên trong thiết bị bay hơi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

$F(t)$ - Diện tích bề mặt tiếp xúc với nhiệt (m^2);

$T_w(t)$ - Nhiệt độ bề mặt vách thiết bị tại thời điểm t ($^{\circ}\text{C}$);

Q_{los} - Nhiệt tổn thất nhiệt ra môi trường (W).

Số liệu về sự phụ thuộc $\alpha_e = f(\Delta T, p_s)$ khi kết hợp với phương trình cân bằng nhiệt như (2) không được biết chính xác. Tuy nhiên, có thể nói rằng hành vi của chất lỏng, nhiệt lượng được dùng để gia nhiệt chất lỏng đến nhiệt độ sôi và sau đó bay hơi, tức là:

$$\alpha_e F(\tau) [T_{we} - T(p_s)] = c_{pf} M_f \frac{dT_f}{dt} + G_s(\tau) r \quad (3)$$

Trong đó:

$C_{pf}, M_f(t)$ - Nhiệt dung riêng đẳng áp và khối lượng chất lỏng được gia nhiệt;

T_f - Nhiệt độ của chất lỏng;

r - Nhiệt ẩn hóa hơi ở nhiệt độ bão hòa tương ứng với áp suất P_H ;

G_s - Lưu lượng khối lượng hơi nước bốc hơi.

Đối với thiết bị bay hơi tại đoạn b-c (với điều kiện $M_f \leq 0$), cân bằng nhiệt có thể được viết như sau:

$$Q = C_{pm} \rho_m V_m \frac{dT_{we}}{d\tau} + Q_{los} \quad (4)$$

Tổn thất nhiệt ra môi trường xung quanh được xác định bằng phương trình truyền nhiệt qua thành ngoài của thiết bị bay hơi:

$$Q_{los} = K_e (T_{we}) F_{out}^{iso} [T_{we} - T_{sur}] \quad (5)$$

Trong đó:

K_e - Hệ số truyền nhiệt từ trong bình bay hơi ra môi trường ($W/m^2.K$);

F_{out}^{iso} - Diện tích bề mặt ngoài của lớp cách nhiệt (m^2);

T_e - Nhiệt độ môi trường (K).

$$\frac{1}{K_e(T_{we})} = \frac{1}{\alpha_{sur}} + \frac{d_{iso}}{2\lambda_{iso}} \ln \frac{d_{iso}}{d_e} \quad (6)$$

Trong đó:

α_e - Hệ số truyền nhiệt đối lưu ngoài ($W/m^2.K$)

λ_{iso} - Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu cách nhiệt ($W/m.K$)

d_{iso}, d_e - Đường kính trong và ngoài (m)

Giả sử rằng hệ phương trình truyền nhiệt cho toàn bộ hệ thống có thể được giải bằng phương pháp Euler, theo đó mỗi thông số đầu ra $y_i + 1$ có thể được xác định bằng:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{(dy)_i}{d\tau} \Delta\tau \quad (7)$$

Đối với thiết bị bay hơi, cần xác định trước hết mối quan hệ:

$$T_{we} = f_1(T_{we0}, Q, \tau) \quad (8)$$

và

$$\frac{dT_{we}}{d\tau} = f_2(T_{we0}, Q, \tau) \quad (9)$$

với T_{we0} - Nhiệt độ ban đầu của thành thiết bị bay hơi tại thời điểm bắt đầu xả chất lỏng từ bình ngưng, tương ứng với điều kiện $M_f = (M_f)_{max}$.

Từ việc giải đồng thời các phương trình (2) và (3), có thể xác định lưu lượng khối lượng hơi nước G_s tại đoạn c-d với mỗi khoảng thời gian $\Delta\tau$:

$$G_s = f_{31}(\Delta T_{we}, Q, \Delta\tau, (M_f)_{max}, \Delta T_f) \quad (10)$$

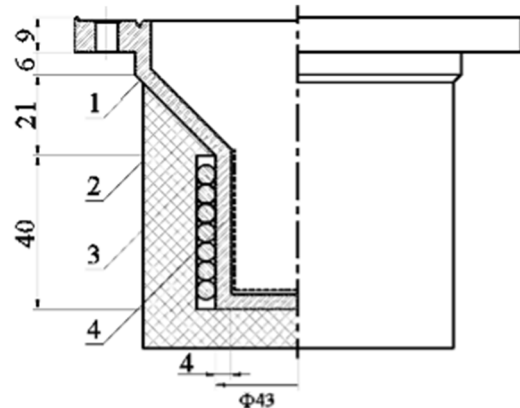
3. MÔ TẢ HỆ THỐNG THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM, PHƯƠNG PHÁP THỬ NGHIỆM, PHÂN TÍCH VÀ XỬ LÝ KẾT QUẢ

Để xác định mối quan hệ giữa các thông số đầu ra (T_{we} , $\frac{dT_{we}}{d\tau}$, G_s) và các thông số đầu vào (Q , T_{we0} , $(M_f)_{max}$), các nghiên cứu thực nghiệm đã được tiến hành trên một thiết bị bay hơi, cấu tạo được trình bày trong hình 3.

Thiết bị bay hơi được làm bằng thép không gỉ X18H9T. Để ổn định và tăng cường quá trình sôi trên bề mặt trong của phần hình trụ và đáy hình nón, ba lớp lưới kim loại hàn được cố định với các kích thước lưới 0,1; 0,14 và 0,2mm, tính từ bề mặt trong.

Ở bề mặt ngoài hình trụ của thiết bị bay hơi được lắp đặt một bộ cấp nhiệt bằng điện trở được cấu tạo thành dải hình trụ, cố định trong một vỏ kim loại cách nhiệt có thể bao kín bề mặt xung quanh của thiết bị bay hơi. Công suất của bộ điện trở có thể điều chỉnh thông qua biến áp từ 0 đến 250W.

04 đầu đo nhiệt độ loại cặp nhiệt điện Crom-Copel được lắp đặt giữa bề mặt trong của bộ cấp nhiệt và vách ngoài của thiết bị bay hơi. Dữ liệu thu được từ cảm biến nhiệt độ này được ghi lại bằng hệ thống đo điện tử kết hợp với camera, chu kỳ đo là 01 giây, dữ liệu này được truyền về máy tính để xử lý, kiểm soát chính xác và trực quan hóa dữ liệu cũng như xử lý tiếp theo.



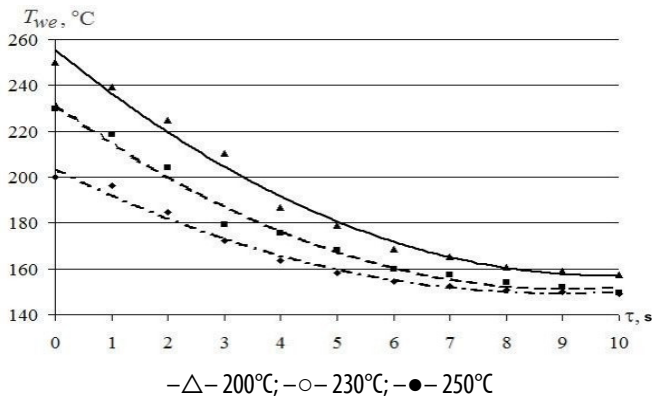
Hình 3. Cấu tạo thiết bị bay hơi thử nghiệm

1- Thiết bị bay hơi; 2- Lớp cách nhiệt; 3- Bộ gia nhiệt; 4- Lưới kim loại

Để có được dữ liệu đáng tin cậy, các thử nghiệm với thiết bị bay hơi và xử lý dữ liệu được thực hiện theo phương pháp thí nghiệm nhân tố đầy đủ tuần tự [5], với việc thay đổi các yếu tố ảnh hưởng ở ít nhất ba mức để xây dựng phương trình hồi quy ít nhất là bậc hai.

Tập dữ liệu chính bao gồm các phụ thuộc thực nghiệm của nhiệt độ bề mặt thiết bị bay hơi T_{we} theo thời gian với ba mức công suất của bộ gia nhiệt Q (100, 150, 200W), và ba mức nhiệt độ ban đầu của thành thiết bị bay

hơi T_{we0} (200, 230, 250°C) tính từ thời điểm bắt đầu đổ đầy chất lỏng vào thiết bị bay hơi cho đến khi chất lỏng bay hơi hoàn toàn.



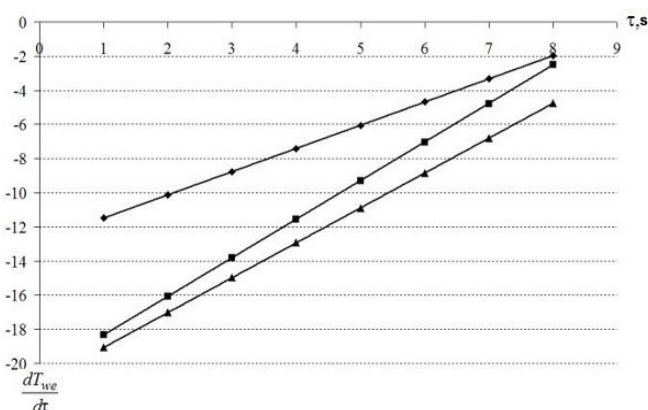
Hình 4. Phụ thuộc nhiệt độ thành thiết bị bay hơi theo thời gian khi $Q = 150W$ và ba giá trị ban đầu khác nhau của T_{we0}

Ví dụ trên hình 4 trình bày mối quan hệ $T_{we} = f(t)$ khi $Q = 150W$ và các mức khác nhau của T_{we0} . Đường xu hướng được xây dựng bằng phương pháp bình phương tối thiểu trong phần mềm Excel cho kết quả hàm bậc hai mô tả nhiệt độ của thành thiết bị như sau:

$$T_{we} = a\tau^2 + b\tau + c \quad (11)$$

Lấy đạo hàm phương trình này cho phép xác định đạo hàm nhiệt độ $\frac{dT_{we}}{d\tau} = 2a\tau + b$. Tuy nhiên, để đạt được độ chính xác cao hơn của mô hình hồi quy, người ta thay thế mảng T_{we} thực nghiệm bằng ΔT_{we} - Chênh lệch nhiệt độ tính từ giá trị ban đầu T_{we0} .

Trong trường hợp đó, các dữ liệu thử nghiệm được biểu diễn bằng phương trình tuyến tính: $\frac{dT_{we}}{d\tau} = 2a_1\tau + b_1$ với độ lệch bình phương trung bình nhỏ hơn nhiều, được minh họa trên hình 5 cho trường hợp $Q = 150W$.



$$\Delta - T_{we0} = 200^\circ\text{C}; \circ - T_{we0} = 230^\circ\text{C}; \bullet - T_{we0} = 250^\circ\text{C}$$

Hình 5. Kết quả xử lý tập dữ liệu ban đầu ở dạng đạo hàm tại $Q = 150W$

Tương tự, dữ liệu được xử lý cho các mức tải nhiệt khác. Kết quả cho phép xây dựng sơ đồ kế hoạch thực

th nghiệm đầy đủ, với kết quả được biểu diễn bằng các phương trình tuyến tính của $\frac{dT_{we}}{d\tau}$ theo thời gian, được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng thí nghiệm ba mức công suất với kết quả xử lý dữ liệu

Q, W	Dạng phương trình tuyến tính xác định $\frac{dT_{we}}{d\tau}$ tại các giá trị ban đầu khác nhau của nhiệt độ bề mặt trong của thiết bị bay hơi		
	$T_{we1}, ^\circ\text{C}$	$T_{we2}, ^\circ\text{C}$	$T_{we3}, ^\circ\text{C}$
Q_1	$a_{11}\tau - b_{11}$	$a_{12}\tau - b_{12}$	$a_{13}\tau - b_{13}$
Q_2	$a_{21}\tau - b_{21}$	$a_{22}\tau - b_{22}$	$a_{23}\tau - b_{23}$
Q_3	$a_{31}\tau - b_{31}$	$a_{32}\tau - b_{32}$	$a_{33}\tau - b_{33}$

Dựa trên kết quả trình bày trong bảng 1, có thể tổng quát hóa các hệ số a và b theo hàng ngang và từ đó thu được các phương trình dạng:

$$\frac{dT_{we}}{d\tau} = f_1(T_{we0})\tau + f_2(T_{we0}) \quad (12a)$$

Nếu các hàm f_1 và f_2 là tuyến tính, thì việc tổng quát hóa tiếp theo các hệ số này theo phương thẳng đứng sẽ dẫn đến phương trình cuối cùng:

$$\frac{dT_{we}}{d\tau} = [f_3(Q)T_{we0} + f_4(Q)]\tau + [f_5(Q)T_{we0} + f_6(Q)] \quad (12b)$$

Đặc biệt, việc tổng quát hóa dữ liệu thực nghiệm từ thiết bị bay hơi được thể hiện dưới dạng số trong bảng 2 (phân tích số của bảng 1). Theo chuỗi hành động được mô tả ở trên, ta có:

$$\frac{dT_{we}}{d\tau} = \left[(5 \cdot 10^{-6}Q + 0,0201)T_{we0} \right] \tau + \left[(-0,0067Q - 1,7264) \right] \tau + \left[(-0,0002Q - 0,1848)T_{we0} \right] + \left[(0,1103Q + 13,988) \right] \quad (13)$$

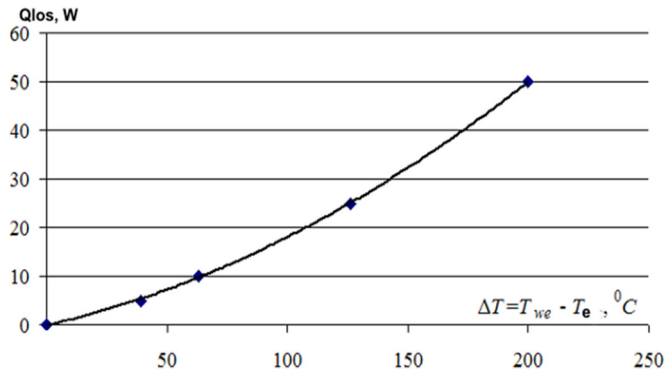
Phương trình này cho phép xác định tốc độ thay đổi nhiệt độ thành thiết bị bay hơi với bất kỳ tổ hợp giá trị nào của Q , T_{we0} và τ trong phạm vi được nghiên cứu.

Từ phương trình (2) và (13), lưu lượng khối lượng của chất lỏng bay hơi $G_s(\tau)$ có thể được xác định bằng công thức:

$$G_s(\tau) = \frac{1}{r} \left[Q - Q_{los} - C_{pm}\rho_m V_m \frac{dT_{we}}{d\tau} - C_{pf}M_f(\tau) \frac{dT_f}{d\tau} \right] \quad (14)$$

Bảng 2. Ma trận dữ liệu đầu vào $\frac{dT_{we}}{d\tau}$ cho việc tổng quát hóa dữ liệu

Q, W	$T_{we0}, ^\circ\text{C}$		
	200	230	250
100	1,1607t - 2,221	2,3339t - 3,5957	2,4501t - 5,1667
150	1,2016t - 2,2422	2,4174t - 3,6508	2,5243t - 5,2032
200	1,1017t - 2,9149	2,4062t - 1,8909	2,0532t - 2,0538



Hình 6. Phụ thuộc tổn thất nhiệt vào môi trường bên ngoài trong thiết bị bay hơi theo chênh lệch nhiệt độ $\Delta T = T_{we} - T_e$

Giá trị Q_{los} được xác định thực nghiệm theo chế độ gia nhiệt của kết cấu thiết bị bay hơi. Trong trường hợp này, khi cung cấp một lượng nhiệt nhất định Q , nhiệt độ thành thiết bị thay đổi theo thời gian cho đến khi đạt trạng thái ổn định (nhiệt độ không đổi), trong đó áp dụng công thức:

$$Q_{los} = f(T_{we} - T_{sur}) \quad (15)$$

Dữ liệu thực nghiệm với $Q = 5, 10, 25$ và $50W$ thể hiện trong hình 6 cho ta phương trình:

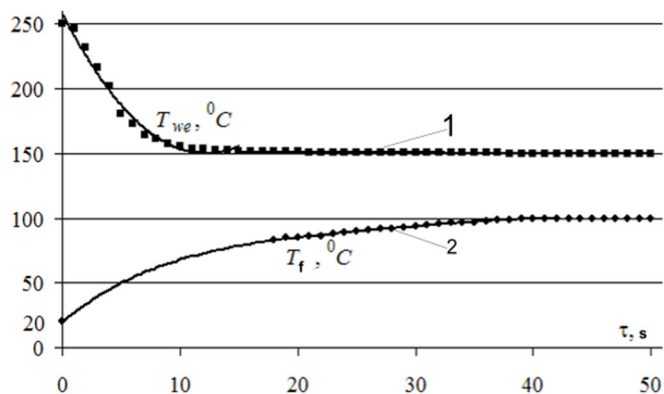
$$Q_{los} = (T_{we} - T_{sur}) \left[\frac{0,0007(T_{we} - T_{sur})}{+0,1123} \right] \quad (16)$$

Từ hình 6 cũng thấy rằng, nhiệt độ thành thiết bị trong chế độ ổn định với $Q = 50W$ đạt $220^\circ C$. Phương trình (14), kết hợp với phương trình (13), tính đến nhiệt lượng dùng để làm nóng chất lỏng đến nhiệt độ bão hòa $C_{pf} M_f(\tau) \frac{dT_f}{d\tau}$, phụ thuộc vào nhiệt độ chất lỏng chảy vào, được xác định thực nghiệm.

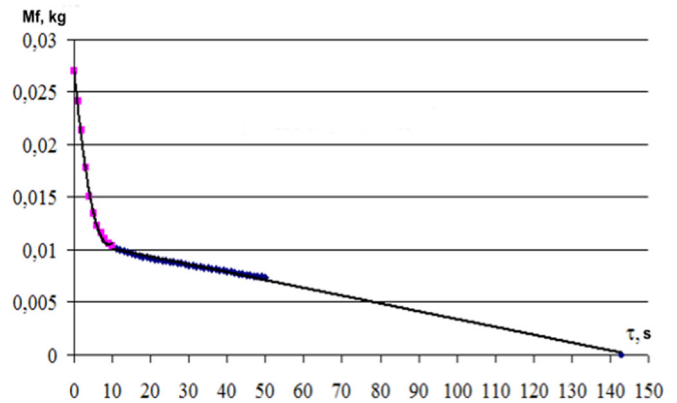
Cuối cùng, từ hình 7, dữ liệu nhiệt độ thành thiết bị và nhiệt độ chất lỏng được mô tả bằng công thức phù hợp:

$$T_f = T_{we} - (T_{we0} - T_{f0})e^{-c\tau} \quad (17)$$

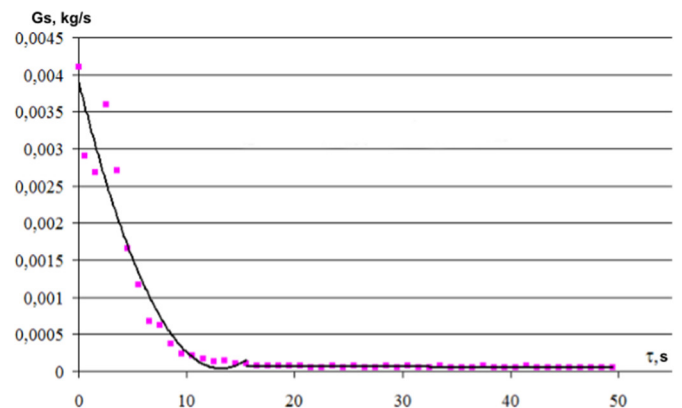
Trong đó c - Hệ số được xác định từ phương pháp thí nghiệm nhân tố đầy đủ.



Hình 7. Sự thay đổi động học của nhiệt độ thành thiết bị bay hơi (đường 1) và chất lỏng được gia nhiệt (đường 2)



Hình 8. Sự phụ thuộc khối lượng chất lỏng trong thiết bị bay hơi vào thời gian trong quá trình tạo hơi nước (điều kiện: $Q = 150W$, $T_{we0} = 250^\circ C$, $V = 27ml$)



Hình 9. Sự phụ thuộc lưu lượng khối lượng hơi nước theo thời gian (điều kiện: $Q = 150W$, $T_{we0} = 250^\circ C$, $V = 27ml$)

Từ thí nghiệm với ba mức thay đổi của các yếu tố, ta có:

$$c = (-2 \cdot 10^{-6} Q + 0,0006) T_{we0} + (0,0005 Q - 0,1118) \quad (18)$$

Trực tiếp từ hình 7, có thể xác định được thời điểm khi quá trình đun sôi chất lỏng kết thúc, sau đó toàn bộ năng lượng từ bộ gia nhiệt và thành thiết bị chỉ được dùng cho quá trình tạo hơi.

Cần lưu ý rằng, phương trình (14) nên được giải một cách từng bước để quan sát sự thay đổi khối lượng chất lỏng trong thiết bị bay hơi từ giá trị ban đầu M_{f0} về 0, khi quá trình bay hơi hoàn toàn:

$$M_f(i+1) = M_f(i) - G_s(\tau) \Delta \tau \quad (19)$$

Do đó, với chế độ hoạt động như trong hình 7, các dữ liệu thực nghiệm về khối lượng chất lỏng trong thiết bị bay hơi (hình 8) phù hợp tốt với mô hình vật lý của quá trình bay hơi, thể hiện đặc tính suy giảm hàm $M_f(t)$ từ thời điểm bắt đầu đến khi đạt được trạng thái ổn định, trong đó khối lượng chất lỏng giảm tuyến tính đến giá trị bằng không. Khi $M_f = 0$, bắt đầu giai đoạn b-c của chu trình ở hình 2.

Với chế độ làm việc của thiết bị bay hơi, các đặc tính được mô tả trên hình 7, giá trị tính toán của lưu lượng khối lượng hơi nước G_s được thể hiện trong hình 9.

Khi xác định được các giá trị ban đầu của nhiệt độ T_{we0} tại thời điểm $t = 0$ (xem hình 2), công suất nhiệt Q và khối lượng ban đầu G_{s0} . M_{f0} có thể không cần xét đến đoạn đầu của chu trình d-e.

Việc chọn giá trị của M_{f0} và Q như các tham số độc lập phụ thuộc vào thiết kế và kích thước của thiết bị bay hơi và bộ ngưng tụ. Nếu lượng chất lỏng quá lớn với giá trị Q nhỏ, có thể dẫn đến hiện tượng chất lỏng chảy vào sau khi thiết bị bay hơi đã chuyển sang chế độ làm việc ổn định, làm sai lệch kết quả.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày chi tiết nguyên lý hoạt động, mô hình toán học và kết quả thực nghiệm trên mô hình thí nghiệm thiết bị bay hơi của bơm hoạt động nhiệt. Thông qua việc xây dựng mô hình cân bằng nhiệt và khối lượng, kết hợp với phương pháp thực nghiệm nhân tố đầy đủ, các tham số quan trọng như hệ số truyền nhiệt, lưu lượng hơi và tổn thất nhiệt đã được xác định một cách chính xác. Việc mô phỏng quá trình trao đổi nhiệt có biết đổi pha (sôi, bay hơi, và ngưng tụ) trong điều kiện thực tế giúp hiểu rõ hơn về các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất làm việc của thiết bị bay hơi. Bên cạnh đó, các phương trình thực nghiệm được xây dựng đã góp phần cung cấp công cụ hữu ích cho việc đánh giá, tối ưu hóa hoạt động của bơm hoạt động nhiệt trong các điều kiện vận hành khác nhau.

Các kết quả thu được từ thí nghiệm cho thấy sự phù hợp với các phương trình lý thuyết, minh chứng cho tính khả thi và độ tin cậy của mô hình đề xuất. Đặc biệt, phương pháp đánh giá các đặc tính, chức năng của thiết bị bay hơi của bơm hoạt động nhiệt được trình bày trong bài báo này cũng có thể được sử dụng cho các thiết bị tương tự với thông số đầu vào khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Borodkin A.A., Kotlyrov E.Yu., Serov G.P., "Evaporating condensing pump for providing of working fluid circulation in two-phase heat transferring system," in *Proceedings of International Conference on Environmental Systems (ICES)*, Rome, Italy, 2005.
- [2]. Bui Manh Tu, Sasin V.Ya, "Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in the system of a thermally driven pump (TDP)," in *Abstracts of the 14th International Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates*, Publishing House of MEI, Moscow, 2008.

- [3]. Labuntsov D.A., Yagov V.V., *Mechanics of two-phase systems*. Moscow: MEI Publishing House, 2000.
- [4]. Smirnov G.F., Tsoy A.D., *Heat transfer during vaporization in capillaries and capillary-porous structures*. Moscow: MEI Publishing House, 1999.
- [5]. A.G. Illarionov, V.Ya. Sasin, V.N. Fedorov, N.F. Shtop, *Application of probability theory and mathematical statistics in the planning and analysis of experimental results: A textbook for the course "Theory and Methods of Experiment Planning"*. Moscow: MEI Publishing House, 1993.
- [6]. Bùi Hải, *Bài tập kỹ thuật nhiệt*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 184p, 2008.
- [7]. Bùi Hải, *Tính toán thiết kế thiết bị trao đổi nhiệt*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 580p, 2007.
- [8]. Faghri Amir, *Heat Pipe Science And Technology*, first edition. Publisher: Taylor & Francis, 908p, 1995.
- [9]. Hoàng Đình Tín, Lê Chí Hiệp, *Nhiệt động lực học kỹ thuật*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 252p, 1997.
- [10]. Hoàng Đình Tín, *Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 582p, 2007.
- [11]. Sasin V.Ya, Shelginskii A. Ya, "Heat - transfer rate in the condenser section of a heatpipe," *Translated from Inzhernerno - Fizicheskii zhurnal*, 15, 3, 436-439, 1973.
- [12]. Okeyasu Kenji, *Heat transport apparatus*. United States Patent № 4625790, 1986.
- [13]. Reay D. A., Kew P. A., *Heat Pipes, Fifth Edition: Theory, Design And Applications*. Publisher: Butterworth-heinemann, 377p, 2006.
- [14]. Sasin V.Ya, Shelginskii A. Ya, "Heat - transfer rate in the condenser section of a heatpipe," *Translated from Inzhernerno- Fizicheskii zhurnal*, 15, 3, 436-439, 1973.
- [15]. Trần Văn Phú, *Truyền nhiệt*. Nhà xuất bản giáo dục, 232p, 1998.
- [16]. Tamburini P., "T - System" proposal of a new concept heat transport system," in *International Heat Pipe Conference 3rd*, Palo Alto, Calif., 1978.

AUTHORS INFORMATON

Bui Manh Tu¹, Tieu Xuan Hoang²

¹University of Economics - Technology for Industries, Vietnam

²Electric Power University, Vietnam