

TỐI ƯU HỆ THỐNG TRAO ĐỔI NHIỆT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÁCH NGUỒN NHIỆT

OPTIMIZE HEAT EXCHANGE SYSTEM USING HEAT SOURCE SEPARATION METHOD

Lê Quang Tuyền^{1,*}, Nguyễn Đắc Nam¹

DOI: <http://doi.org/10.57001/huic5804.2024.234>

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu thuật toán tối ưu hệ thống trao đổi nhiệt dưới dạng nguồn nhiệt phân tách, các hàm mô tả các đại lượng vào/ ra đối với các phần tử trong hệ thống dựa trên nguyên tắc bảo toàn năng lượng và các phương trình nhiệt, thực hiện tối ưu từ các phần tử cho tới cấu trúc để lựa chọn được hệ thống tốt nhất, cấu trúc hệ thống được tối ưu theo phương pháp phân tách các dòng nhiệt và các tầng nhiệt để đơn giản hóa các hàm đa biến. Kết quả của nghiên cứu này được kiểm chứng qua ví dụ thực nghiệm, đã chứng tỏ được hiệu quả của nghiên cứu này đối với việc giảm tổn thất năng lượng cũng như tiết kiệm kinh phí vận hành của hệ thống.

Từ khóa: Hệ thống trao đổi nhiệt; hệ thống phân tán; quá trình hệ thống; hệ thống tối ưu.

ABSTRACT

This article introduces the optimization algorithm for a heat exchange system in the form of a split heat source, functions describing input/output quantities for elements in the system based on the principle of energy conservation and equations. heat, optimization is performed from elements to structure to select the best system, the system structure is optimized according to the method of separating heat flows and heat layers to simplify multivariable functions. The results of this study are verified through experimental examples, demonstrating the effectiveness of this research in reducing energy loss as well as saving system operating costs.

Keywords: Heat exchanger system; distributed system; process system; optimization system.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Việt Trì

*Email: tuyenlequangpt@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$T_i^{h,in}; T_i^{h,out}$	K	Nhiệt độ trước và sau của nguồn nóng thứ i

$T_j^{c,in}; T_j^{c,out}$	K	Nhiệt độ trước và sau của nguồn lạnh thứ j
$F_i; F_j$	kg/h	Lưu lượng dòng chảy của nguồn nhiệt
$c_{pi}; c_{pj}$	J/kg.K	Nhiệt dung riêng của các nguồn nhiệt
$\Delta Q_{i,q}^h; \Delta Q_{j,q}^c$	kW	Công suất nguồn nhiệt nóng, nguồn lạnh tại tầng thứ q
$A_{ij}^{he}; A_{ij}^{col}; A_{ij}^{reb}$	m ²	Diện tích các thiết bị trao đổi nhiệt

CHỮ VIẾT TẮT

LMTD	Hiệu số nhiệt trung bình
S_j^c	Nguồn nhiệt lạnh thứ j
S_i^h	Nguồn nóng thứ i
M^h	Các dòng nhiệt nóng
M^c	Các dòng nhiệt lạnh
$\alpha_{i,q}; \beta_{j,q}$	Hệ số phân tách nguồn nhiệt nóng và nguồn lạnh
TBTĐN	Thiết bị trao đổi nhiệt
HTTĐT	Hệ thống trao đổi nhiệt

1. GIỚI THIỆU

Trao đổi nhiệt bản chất là quá trình lấy đi năng lượng của nguồn nhiệt nóng để chuyển đến nguồn nhiệt lạnh tại các TBTĐN, với sự hỗ trợ của các chất tải nhiệt gọi cách khác là các môi chất làm lạnh và môi chất làm nóng. Các TBTĐN làm nhiệm vụ là nơi trung chuyển năng lượng giữa các nguồn nhiệt, việc thiết kế và vận hành HTTĐT để tổn thất năng lượng nhỏ nhất luôn là ưu tiên hàng đầu trong xu thế tiết kiệm năng lượng cũng như năng lượng xanh thời đại ngày nay.

Các HTTĐN được ứng dụng khá rộng rãi đối với nhiều lĩnh vực từ công nghiệp đến quốc phòng an ninh, trong một số trường hợp cho thấy HTTĐN còn giúp duy trì các hoạt động thường ngày đối với các điều kiện thời tiết ở mức độ khắc nghiệt, ví dụ: các hệ thống sưởi ấm ở khu vực Bắc cực có nhiệt độ ở mức -70°C. Trong công nghiệp HTTĐN còn giúp duy trì hoạt động của các ngành: công nghiệp sản xuất hóa chất, công nghệ lọc hóa dầu, công nghiệp chế biến thực phẩm, công nghệ sản xuất bia rượu,... Do vậy việc thiết kế cũng như tính chọn các tham số đối với các thiết bị của HTTĐN để hiệu suất quá trình hoạt động được tối ưu nhất luôn là những nhiệm vụ cấp thiết của các ngành công nghiệp và các lĩnh vực khác.

Trước đây HTTĐN (chủ yếu là hệ thống làm mát) thường chỉ quan tâm tới giá trị nhiệt độ mong muốn sau quá trình công nghệ, nhưng trong thực tế để tăng năng suất cũng như chất lượng của các hệ thống lại cần quan tâm tới nhiều thông khác của HTTĐN như: thời gian thực hiện quá trình, kích thước các thiết bị và tổn hao năng lượng của toàn bộ quá trình hoạt động. Tối ưu HTTĐN bằng phương pháp phân tách nguồn nhiệt được nghiên cứu để lựa chọn HTTĐN đạt được giá trị nhiệt độ mong muốn sau quá trình công nghệ và năng lượng nhiệt tiêu hao là nhỏ nhất.

Việc thiết kế và đưa ra phương pháp vận hành HTTĐN nhằm đạt hiệu quả cao nhất sẽ phụ thuộc vào việc xây dựng các hàm số mô tả quan hệ giữa kích thích đầu vào và đáp ứng đầu ra của các thiết bị trong HTTĐN, và hiển nhiên các thiết bị khác nhau sẽ được mô tả bởi mô hình toán học khác nhau, cụ thể: TBTĐN dạng chất khí mô hình toán học không phức tạp, dễ vận hành nhưng hiệu quả thấp, TBTĐN chất lỏng dạng ngược chiều mô hình toán học phức tạp, hiệu số nhiệt trung bình giảm nhưng tổn thất nhiệt ra môi trường xung quanh lại nhỏ. Nhiệt độ của dòng nhiệt nóng và dòng lạnh biến đổi theo các hàm số rất khó dự đoán, tuy nhiên nếu xét một số tham số ở điều kiện lý tưởng thì Hiệu số nhiệt lại không biến đổi, do vậy được gọi là Hiệu số nhiệt độ trung bình (LMTD) [1].

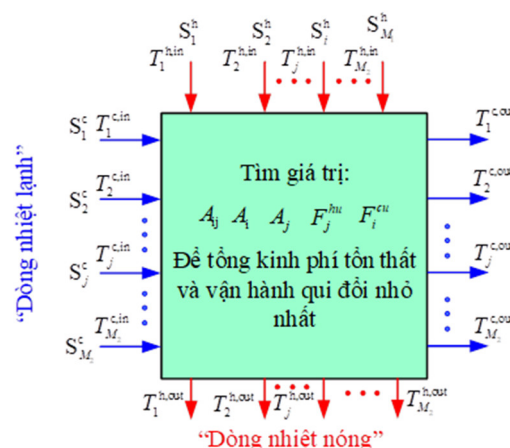
Trước đây sử dụng rất nhiều phương pháp để tối ưu hóa HTTĐN như: tăng kích thước và bề mặt làm việc của các thiết bị, tăng lưu lượng đối với môi chất, giảm ma sát đối với chuyển động của môi chất, chọn môi chất có hệ số tải nhiệt lớn nhất. Tuy nhiên thực hiện theo những cách đó không giảm được kinh phí đầu tư đối với thiết bị cũng như HTTĐN và hơn nữa cũng sẽ tạo ra các phần tử và HTTĐN có kích thước lớn, sẽ làm tăng thêm chi phí lắp đặt, vận hành và bảo trì hệ thống. Bài báo này trình bày thuật toán thiết kế HTTĐN với nguồn nhiệt phân tách để

thiết kế được HTTĐN nhỏ gọn và hiệu quả hơn, kiểm chứng và đánh giá kết quả của phương pháp qua ví dụ thực nghiệm.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Khái quát về hệ thống trao đổi nhiệt tối ưu

Giả sử có M^h "dòng nhiệt nóng" S_i^h , ($i = 1, \dots, M^h$) và M^c "dòng nhiệt lạnh" S_j^c , ($j = 1, \dots, M^c$), với F_i^h, F_j^c là lưu lượng của dòng nóng và dòng lạnh, nhiệt độ ban đầu "dòng nhiệt nóng" là $T_i^{h,in}$, ($i = 1, \dots, M^h$), nhiệt độ ban đầu "dòng nhiệt lạnh" là $T_j^{c,in}$, ($j = 1, \dots, M^c$), nhiệt dung riêng đẳng áp của "dòng nhiệt nóng và lạnh" c_i^h, c_j^c . Thông thường HTTĐN như trên hình 1. Chúng ta sẽ đi tìm cấu trúc HTTĐN của các "dòng nhiệt nóng" và "dòng nhiệt lạnh", mà ở đó có chứa TBTĐN, trong trường hợp "dòng nhiệt lạnh" chạy qua thiết bị làm nóng và "dòng nhiệt nóng" chạy qua thiết bị làm mát [1-3].



Hình 1. Cấu trúc HTTĐN

Trong đó: A_{ij} - Diện tích làm việc của TBTĐN (m^2).

A_j - Diện tích làm việc của thiết bị làm nóng (m^2).

A_i - Diện tích làm việc của thiết bị làm mát (m^2).

F_j^{hu}, F_i^{cu} - Lưu lượng của chất tải nhiệt (Kg/h).

Để tổng chi phí tổn thất và vận hành qui đổi của HTTĐN đã được lựa chọn là nhỏ nhất.

$$f_{ij}^{opt} = \min_{A_{ij}, A_i, A_j, F_i^{cu}, F_j^{hu}} \Phi_1$$

Bài báo này thực hiện tối ưu HTTĐN bằng phương pháp phân tách các nguồn nhiệt, bởi khi tăng diện tích TBTĐN sẽ dẫn tới tăng giá thành, cũng như độ công kênh của hệ thống. Nhiệm vụ thiết kế HTTĐN bằng phương pháp phân tách nguồn nhiệt sẽ rất phức tạp, bởi các tham

số đầu vào ở các tầng trung gian đều là những biến số, hay là các vector trong hệ tọa độ đa chiều. Phương pháp dự báo tham số sẽ thực hiện việc này dưới dạng mô hình phân tán theo các biến nhị phân, thuật toán lập trình để tính toán các tham số sẽ được xây dựng dựa các hàm mô tả quan hệ các đại lượng vào/ ra của TBTĐN.

2.2. Mô hình toán học hệ thống trao đổi nhiệt

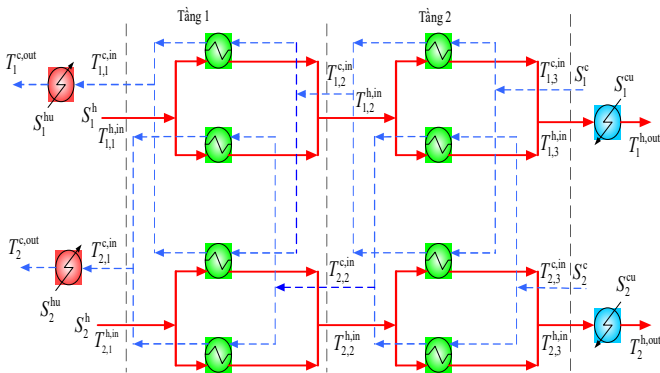
2.2.1. Cấu trúc HTTĐN với nguồn nhiệt phân tách

Để tăng hiệu suất của HTTĐN thì “dòng nhiệt lạnh” và “dòng nhiệt nóng” sẽ được tách trước TBTĐN, sau đó lại ghép lại khi ra khỏi thiết bị [4-6]. Trong đó:

- Mỗi “dòng nhiệt nóng” chỉ đi qua một thiết bị làm lạnh duy nhất ở đầu ra tại tầng cuối của HTTĐN.
- Mỗi “dòng nhiệt lạnh” chỉ đi qua một thiết bị làm nóng duy nhất ở đầu ra tại tầng cuối của HTTĐN.
- Giả thiết giá trị nhiệt độ và nhiệt dung riêng tại “dòng nhiệt nóng” và “dòng nhiệt lạnh” sau khi tách không thay đổi.
- Giả thiết giá trị nhiệt độ và nhiệt dung riêng tại “dòng nhiệt nóng” và “dòng nhiệt lạnh” sau khi trộn lại không thay đổi.

Trong thực tế mối quan hệ giữa nhiệt dung riêng của dòng nóng, dòng lạnh và môi chất cũng sẽ thay đổi theo áp suất, tức là không phải là đại lượng cố định vì áp suất biến đổi, tuy nhiên việc thực hiện các bài toán điều khiển để ổn định các tham số, chẳng hạn như điều khiển để ổn định áp suất đối với một quá trình thì là một điều rất dễ dàng, do vậy một số giả thiết đặt ra đối với nghiên cứu này như “Giả thiết giá trị nhiệt độ và nhiệt dung riêng tại dòng nhiệt nóng và dòng nhiệt lạnh sau khi tách không thay đổi” và “Giả thiết giá trị nhiệt độ và nhiệt dung riêng tại dòng nhiệt nóng và dòng nhiệt lạnh sau khi trộn lại không thay đổi” là hoàn toàn hợp lý.

Cấu trúc HTTĐN với nguồn nhiệt phân tách hai tầng theo kiểu phân tách được thể hiện như trên hình 2.



Hình 2. Cấu trúc hệ thống trao đổi nhiệt có dòng chảy phân tách

2.2.2. Mô hình toán học của hệ thống trao đổi nhiệt với nguồn nhiệt phân tách

Sự liên hệ của hàm đáp ứng đầu ra và các tín hiệu đầu vào đối với các thiết bị và HTTĐN được xây dựng dựa vào nguyên tắc bảo toàn năng lượng và phương trình cân bằng về nhiệt, hay còn gọi là mô tả toán học của thiết bị và hệ thống, cụ thể mô tả toán học của TBTĐN, thiết bị làm mát, thiết bị làm nóng được mô tả như công thức (6), (7), (8) [7].

$$f_{ij}^{opt} = \min_{A_{ij}, A_i, A_j, F_i^{cu}, F_j^{hu}} \Phi_1 \tag{1}$$

Trong đó: $\Phi_1 = f_{ij}^{he} + f_{ij}^{col} + f_{ij}^{reb}$ (2)

$$f_{ij}^{he} = m_1^{he} + m_2^{he} (A_{ij}^{he})^{\gamma^{he}} \tag{3}$$

$$f_{ij}^{col} = m_1^{col} + m_2^{col} (A_{ij}^{col})^{\gamma^{col}} + m^{cu} F_{ij}^{cu} \tag{4}$$

$$f_{ij}^{reb} = m_1^{reb} + m_2^{reb} (A_{ij}^{reb})^{\gamma^{reb}} + m^{hu} F_{ij}^{hu} \tag{5}$$

$$\varphi^{he} (T_i^{h'}, T_j^{c'}, T_{iq}^{h, in}, T_{jq}^{c, in}, A_{ij, q}, F_i^h, F_j^c, U_{ijq}) = 0 \tag{6}$$

$$\varphi^{col} (T_{iq}^{h'}, T_{iq}^{h, out}, T_q^{cu, in}, T_q^{cu, out}, A_{iq}, F_i^h, F_{iq}^{cu}, U_{iq}) = 0 \tag{7}$$

$$\varphi^{reb} (T_{jq}^{c'}, T_{jq}^{c, out}, T_q^{hu, in}, T_q^{hu, out}, A_{jq}, F_j^c, F_{jq}^{hu}, U_{jq}) = 0 \tag{8}$$

Trong đó: - $f_{ij}^{he}, f_{ij}^{col}, f_{ij}^{reb}$ là kinh phí liên quan tới việc vận hành và tổn hao năng lượng nhiệt tại TBTĐN, thiết bị làm nóng, thiết bị làm mát.

- $\gamma^{he}, \gamma^{col}, \gamma^{reb}$ là các hệ số tương đối khi tính qui đổi chi phí vận hành các thiết bị.
- U_{iq}, U_{jq}, U_{ij} là các hệ số truyền nhiệt.
- Φ_1 là hàm mục tiêu của phần tử trong ma trận của cấu trúc HTTĐN.
- Phương trình cân bằng nhiệt đối với “dòng nhiệt nóng” và “dòng nhiệt lạnh”.

$$(T_i^{h, in} - T_i^{h, out}) F_i C_{pi} = \sum_{q \in N_i \in M^h} \sum \Delta Q_{i, j, q} + \Delta Q_i^{cu} \quad j \in M^c \tag{9}$$

$$(T_j^{c, out} - T_j^{c, in}) F_j C_{pj} = \sum_{q \in N_j \in M^c} \sum \Delta Q_{i, j, q} + \Delta Q_j^{hu} \quad i \in M^h$$

- Nhiệt lượng hấp thụ tại các thiết bị làm lạnh và nhiệt lượng giải phóng tại các thiết bị làm nóng.

$$(T_{i, N+1}^{h, in} - T_{i, 1}^{h, out}) F_i C_{pi} = \Delta Q_i^{cu} \quad i \in M^h \tag{10}$$

$$(T_j^{c, out} - T_{j, 1}^{c, in}) F_j C_{pj} = \Delta Q_j^{hu} \quad j \in M^c$$

- Nhiệt lượng cần giải phóng đối với nguồn nóng và nhiệt lượng cần thu về đối với nguồn lạnh:

$$\begin{aligned} (T_{i,1}^{h,in} - T_{i,N+1}^{h,in})F_i c_{pi} &= \sum_i \Delta Q_{i,q} & i \in M^h, q \in N \\ (T_{j,1}^{c,in} - T_{j,N+1}^{c,in})F_j c_{pj} &= \sum_j \Delta Q_{j,q} & j \in M^c, q \in N \end{aligned} \quad (11)$$

- Nhiệt độ đầu vào “dòng nhiệt nóng” và “dòng nhiệt lạnh” ở tầng thứ nhất:

$$T_{i,1}^{h,in} = T_i^{h,in}, T_{j,N+1}^{c,in} = T_j^{c,in} \quad (12)$$

- Công suất của “dòng nóng” và “dòng lạnh” tại các tầng:

$$\Delta Q_{i,q}^h = \alpha_{i,q} \Delta Q_i^h, \Delta Q_{j,q}^c = \beta_{j,q} \Delta Q_j^c \quad (13)$$

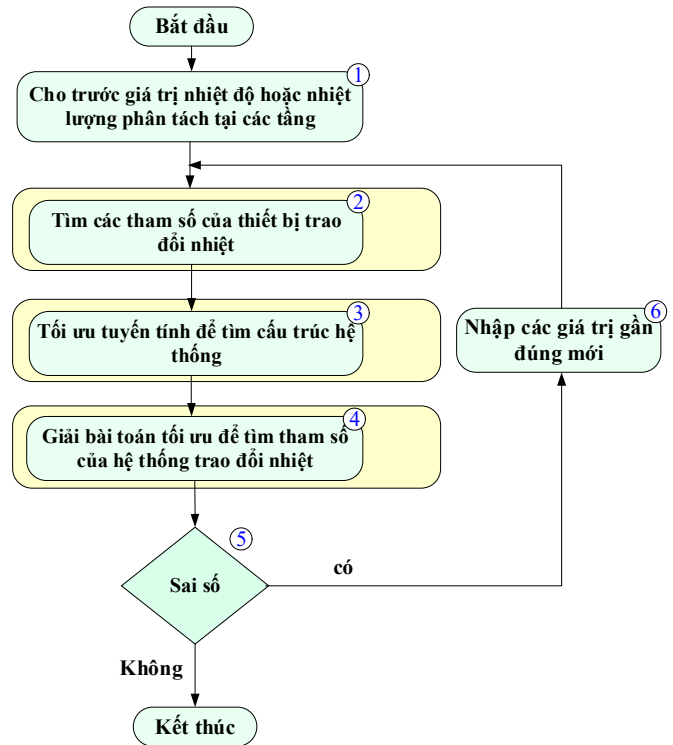
Trong đó: $\alpha_{i,q}, \beta_{j,q}$ là hệ số phân tách của dòng nhiệt nóng và lạnh giữa các tầng trao đổi nhiệt, về thực tế thì việc phân tách các nguồn nhiệt cũng rất đa dạng tùy theo yêu cầu công nghệ cụ thể có thể phân tách nguồn nhiệt nóng và nguồn nhiệt lạnh thành nhiều nguồn nhiệt nhỏ khác nhau.

2.3. Thuật toán tối ưu hệ thống trao đổi nhiệt với nguồn nhiệt phân tách

Bài báo giới thiệu thuật toán tối ưu HTTĐN nhiều tầng với nguồn nhiệt phân tách, có vai trò quan trọng cho việc thiết kế HTTĐN với những tiêu chí như: Tiết kiệm năng lượng nhiệt được đánh giá qua việc tổn hao năng lượng ít, kích thước của hệ thống nhỏ gọn được thể hiện bởi việc vận hành đơn giản và giảm kinh phí vận hành.

Việc tối ưu hệ thống được thực hiện từ các thiết bị dựa vào hàm số mô tả quan hệ vào ra của các đại lượng đối thiết bị và HTTĐN được phân tích ở mục 2.2.2, cùng với điều

kiện biên là các giả thiết đã đặt ra đối với hệ thống, sau đó thực hiện tối ưu tuyến tính để tìm cấu trúc HTTĐN, các tham số của hệ thống được xác định theo phương pháp tối ưu phi tuyến với hàm mục tiêu là tổng chi phí tổn thất và vận hành qui đổi của hệ thống theo các điều kiện đầu của HTTĐN, kết quả tối ưu các tham số và hệ thống sẽ nhận được khi vòng lặp kết thúc với thuật toán như hình 3.



Hình 3. Thuật toán tối ưu hệ thống trao đổi nhiệt với các nguồn nhiệt phân tách

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN THỰC NGHIỆM

Kết quả của phương pháp được đánh giá qua việc thiết kế HTTĐN gồm bốn nguồn nóng và bốn nguồn lạnh, với các tham số vào/ ra của hệ thống như qui luật GROSS

Bảng 1. Tham số ban đầu của các nguồn nhiệt

Nguồn nóng	$T_i^{h,in}, K$	$T_i^{h,out}, K$	FCPh, kW/K	CFI kW/m ² K	Nguồn lạnh	$T_i^{c,in}, K$	$T_i^{c,out}, K$	FCPc kW/K	CFJ kW/m ² K
H1	440	400	200	1.5	C1	320	380	20	2.0
H2	480	420	100	1.5	C2	340	400	80	1.5
H3	520	460	100	2.0	C3	360	440	150	1.5
H4	560	500	50	2.0	C4	420	480	500	2.0
Môi chất làm nóng	$T_i^{hu,in}, K$	$T_i^{hu,out}, K$		CFU ^h kW/m ² K	Môi chất làm lạnh	$T_i^{cu,in}, K$	$T_i^{cu,out}, K$		CFU ^c kW/m ² K
	650	650		2		300	320		1

MAN, thông số các nguồn nhiệt thể hiện ở bảng 1, 2.

Bảng 2. Các tham số về chi phí và hiệu số nhiệt độ trung bình

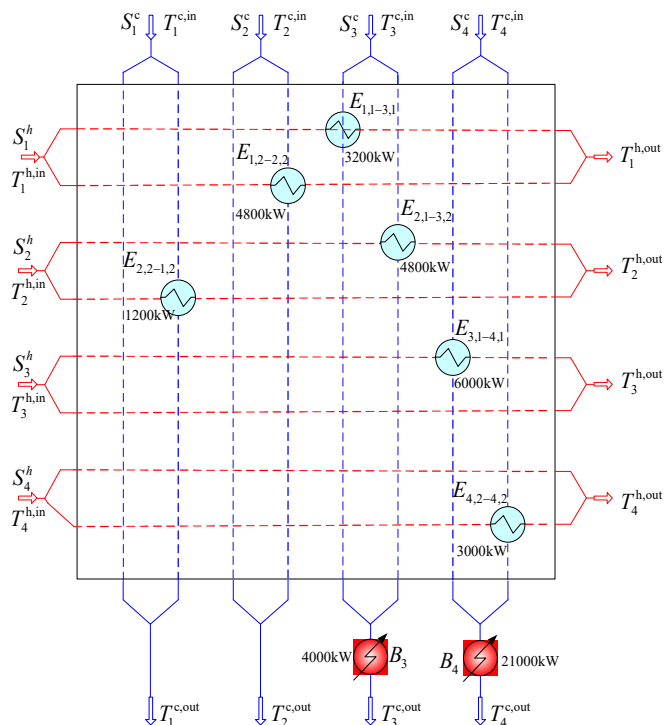
Chi phí đối với môi chất làm nóng	85 (\$/kW-yr)
Chi phí đối với môi chất làm lạnh	15 (\$/kW-yr)
Chi phí vận hành cơ bản	380 \$/m ²
Hệ số tương đối	0,85
Hiệu số nhiệt độ trung bình	5

Áp dụng thuật toán tối HTTĐN bằng phương pháp phân tách nguồn nhiệt đối với ví dụ trên, ta được kết quả HTTĐN như bảng 3. Trong đó một dòng “nóng” hoặc “lạnh” có thể trao đổi với nhiều nguồn khác trong một tầng.

Bảng 3. Kết quả tối ưu HTTĐN bằng phương pháp dự báo tham số

Số tầng của HTTĐN	N = 1	N = 2	N = 3	Grossman
Nhiệt lượng tại TBTĐN, kW	24000	24000	24000	24000
Nhiệt lượng giải phóng ở thiết bị làm nóng	25000	25000	25000	25000
Nhiệt lượng nhận về ở thiết bị làm lạnh	0	0	0	0
số thiết bị trao đổi nhiệt	6	6	6	5
số thiết bị làm nóng	2	2	2	2
số thiết bị làm lạnh	0	0	0	0
Tổng chi phí	2244990	2244990	2244990	2248146

HTTĐN có cấu trúc một tầng, các dòng nhiệt được phân tách thành hai dòng nhỏ như hình 4.



Hình 4. Kết quả tối ưu HTTĐN bằng phương pháp phân tách nguồn nhiệt

Từ số liệu ở bảng 3 cho thấy, thông số các HTTĐN không thay đổi cho dù có thực hiện nhiều tầng, tức là HTTĐN một tầng đã tối ưu, mặc dù năng lượng nhiệt của dòng nóng và lạnh trao đổi tại TBTĐN cùng giá trị với HTTĐN của nhà khoa học GROSSMAN, nhưng tổng chi phí qui đổi đối với HTTĐN có nguồn nhiệt phân tách lại nhỏ hơn, chứng tỏ rằng hệ thống thiết kế sẽ nhỏ gọn hơn và vận hành lắp đặt, bảo trì cũng sẽ kinh tế hơn.

4. KẾT LUẬN

HTTĐN có nguồn nhiệt phân tách được tính toán và thiết kế với thuật toán đã được sử dụng trong nghiên cứu, dựa trên hàm toán học các TBTĐN cùng với phương pháp tối ưu tuyến tính và phi tuyến, tổng chi phí tổn thất và chi phí vận hành qui đổi giảm đáng kể so với hệ thống của nhà khoa học GROSSMAN. Do vậy phương pháp tối ưu HTTĐN với nguồn nhiệt phân tách sẽ có vai trò then chốt đối với việc thiết kế và lựa chọn HTTĐN trong các công nghệ sản xuất công nghiệp và dân dụng, cũng như các giải pháp giảm tổn hao năng lượng đặc biệt là nhiệt năng trong các công nghệ sản xuất công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Klemesš JJ, Kravanja Z, “Forty years of heat integration: pinch analysis (PA) and mathematical programming (MP),” *Current Opinion in Chemical Engineering*, 2(4):461-474, 2013.
- [2]. Nathan S. Lal, Timothy G. Walmsley, “A novel Heat Exchanger Network Bridge Retrofit method using the Modified Energy Transfer Diagram,” *Energy*, 190-204, 2018.
- [3]. Seham A. EL-Temtamy, Eman M. Gabr, “Design of optimum flexible heat exchanger networks for multiperiod process,” *Egyptian Journal of Petroleum*, 109-117, 2012.
- [4]. Natalia Quirante, Ignacio E, “Grossmann. Disjunctive model for the simultaneous optimization and heat integration with unclassified streams and area estimation,” *Computers and Chemical Engineering*, 217-231, 2018.
- [5]. Ke Feng Huang, I. A. Karimi, “Efficient algorithm for simultaneous synthesis of heat exchanger networks,” *Chemical Engineering Science*, 53-68, 2014.
- [6]. Leandro V. Pavao, Camila B. Miranda, “Efficient multiperiod heat exchanger network synthesis using a meta-heuristic approach,” *Energy*, 356-372, 2018.
- [7]. Oludare J. Odejobi, Adedamola E. Adejokun, “Heat exchanger network synthesis incorporating enhanced heat transfer techniques,” *Applied Thermal Engineering*, 684-692, 2015.
- [8]. Aleksandar Anastasovski, “Enthalpy Table Algorithm for design of Heat Exchanger Network as optimal solution in Pinch technology,” *Applied Thermal Engineering*, 1113-1128, 2014.

AUTHORS INFORMATION

Le Quang Tuyen, Nguyen Duc Nam

Faculty of Electrical Engineering, Viet Tri University of Industry, Vietnam