

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ BỘ HÂM NƯỚC TẬN DỤNG NHIỆT KHÓI THẢI Ở LÒ HƠI CÔNG NGHIỆP ỐNG LÒ - ỐNG LỬA

Nguyễn Văn Tuyên⁽¹⁾, Đặng Thành Trung⁽²⁾

(1) Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(2) Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh

(Bài nhận ngày 25 tháng 9 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 12 tháng 12 năm 2005)

TÓM TẮT: Khói thải từ các lò hơi công nghiệp ống lò- ống lửa hiện nay có nhiệt độ còn khá cao. Nếu tận dụng nguồn nhiệt thải này để hâm nước cấp cho bản thân lò hơi thì hiệu suất của nó sẽ được tăng lên, tiêu hao nhiên liệu giảm, đồng thời môi trường xung quanh được cải thiện. Vấn đề là phải nghiên cứu thiết kế được bộ hâm nước phù hợp. Trên cơ sở lý thuyết truyền nhiệt, bài viết trình bày phương pháp lập chương trình tính toán bộ hâm nước kiểu chùm ống có cánh đặt sau lò hơi. Giá nhiên liệu và chi phí đầu tư thiết bị sẽ là những yếu tố quyết định đến khả năng áp dụng phương án thu hồi nhiệt thải này.

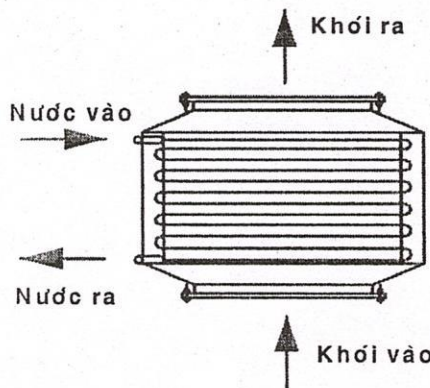
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để góp phần tiết kiệm và sử dụng năng lượng hiệu quả thì việc thu hồi nhiệt thải là hết sức cần thiết. Khói lò hơi công nghiệp kiểu ống lò - ống lửa là một trong những nguồn nhiệt thải hiện đang được quan tâm. Tuy kết cấu lò hơi đã khá hoàn thiện, nhưng do chúng chỉ có các bề mặt sinh hơi nên nhiệt độ khói thải ra còn tương đối cao - trung bình khoảng 250 °C. Lượng nhiệt này có thể dùng để hâm nước cấp hay sấy không khí cho lò. Vì phương án hâm nước cấp mang lại hiệu quả kinh tế cao hơn nhiều so với sấy không khí [2], ta nên ưu tiên tận dụng nhiệt khói thải để hâm nước cấp. Bài viết này tập trung vào nghiên cứu thiết lập chương trình tính toán bộ hâm nước cho lò hơi ống lò - ống lửa đốt dầu hay đốt khí dựa trên cơ sở lý thuyết truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt.

2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

2.1. Chọn kiểu bộ hâm

Qua nghiên cứu đặc tính các bộ hâm nước cấp (ECO) do một số hãng nước ngoài giới thiệu, ta chọn bộ hâm dạng hộp với các ống bố trí so le. Ở thiết bị này nước chuyển động trong ống thép có cánh, khói đi ngoài ống (hình 1). Vì hệ số tỏa nhiệt đối lưu phía khói nhỏ hơn rất nhiều so với phía nước, ta sử dụng loại ống có cánh. Sơ đồ chuyển động tương đối giữa nước cấp và khói có thể chọn là cùng chiều hay ngược chiều.



Hình 1. Sơ đồ bộ hâm nước loại ngược chiều

2.2. Các thông số ban đầu và cơ sở tính toán

Các thông số nhập vào: Sản lượng hơi, trở lực cho phép của bộ hâm, nhiệt độ nước cấp, nhiệt độ khói thải, đường kính trong và đường kính ngoài của ống.

Các thông số chọn: Áp suất làm việc và hiệu suất của lò hơi, nhiên liệu và thành phần của nhiên liệu, hệ số không khí thừa, thông số hình học của ống có cánh,...

Nội dung tính toán bao gồm các phần :

- Tính toán trao đổi nhiệt;
- Xác định các kích thước chính của bộ hâm;
- Tính toán trở lực;
- Tính kinh tế.

Tính toán trao đổi nhiệt

Nhiệm vụ của bài toán thiết kế là phải xác định diện tích trao đổi nhiệt F dựa theo phương trình truyền nhiệt mà mấu chốt là phải tính hệ số truyền nhiệt k . Đối với ống (vách trụ) thì hệ số truyền nhiệt trên 1 mét chiều dài ống được tính theo công thức:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot \varepsilon_c \cdot d_{ng}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda \ln\left(\frac{d_{ng}}{d_{tr}}\right)} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{tr}}}, \frac{W}{mK} \quad (1)$$

Trong đó λ là hệ số dẫn nhiệt của kim loại ống.

Hệ số toả nhiệt đối lưu phía nước được xác định theo phương trình tiêu chuẩn áp dụng cho dòng chảy rối trong ống.:

$$Nu_2 = 0,021 \times Re_{f2}^{0,8} \times Pr_{f2}^{0,43} (Pr_{f2} / Pr_{w2})^{0,25} \quad (2)$$

Còn hệ số toả nhiệt đối lưu trung bình khi khói chuyển động cắt ngang chùm ống có cánh được tính theo công thức:

$$\alpha_1 = 0,251 \frac{\lambda_1}{s_c^{0,35}} Pr_1^{0,35} \left(\frac{d_{ng}}{s_c}\right)^{-0,54} \left(\frac{h}{s_c}\right)^{-0,14} \left(\frac{\omega_1}{\nu}\right)^{0,65}, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3)$$

Các thông số nhiệt động của khói và nước lấy theo nhiệt độ trung bình của lưu chất tương ứng.

Xác định kết cấu bộ hâm

Kết cấu bộ hâm được thể hiện thông qua các số liệu và kích thước hình học sau:

$$\text{Chiều dài toàn bộ ống trao đổi nhiệt: } l = \frac{Q}{\pi \cdot k \cdot \Delta t}, \text{ m} \quad (4)$$

$$\text{Số ống ở mặt cắt ngang: } n_1 = \sqrt{\frac{V_k}{\omega_1 (s_1^2 - d_{ng} \cdot s_1)}}, \text{ ống} \quad (5)$$

$$\text{Chiều dài ống góp hay chiều rộng bộ hâm: } W = n_1 \cdot s_1, \text{ m} \quad (6)$$

$$\text{Chiều dài của bộ hâm, chọn: } L = W, \text{ m} \quad (7)$$

$$\text{Chiều cao bộ hâm nước: } H = \frac{l}{L \cdot n_1}, \text{ m} \quad (8)$$

$$\text{Số chặng của mỗi ống: } z = \frac{H}{s_2}, \quad (9)$$

Để đường nước vào và ra khỏi bộ ECO cùng phía, chọn z là số chẵn.

Trở lực của bộ hâm nước

Tính trở lực phía nước: Ta sử dụng các công thức quen thuộc trong Cơ học lưu chất.

Trở lực ma sát: $\Delta h_m = \lambda \cdot \frac{l}{d_{tr}} \cdot \frac{\omega_2^2}{2} \cdot \rho_2$, Pa (10)

Trở lực cục bộ: $\Delta h_{cb} = \xi \cdot \frac{\omega_2^2}{2} \cdot \rho_2$, Pa (11)

Trở lực tổng cộng: $\Delta h = \sum \Delta h_m + \sum \Delta h_{cb}$, Pa (12)

Tính trở lực phía khí: Nguyên tắc tính trở lực của dòng khí chuyển động ngang qua dòng ống có cánh không có gì đặc biệt, nhưng các tài liệu khác nhau trích dẫn những công thức không hoàn toàn như nhau. Tác giả đã tính kiểm nghiệm một số công thức thường gặp, so sánh, đối chiếu kết quả và chọn công thức ([1]/119):

$$\xi = 0,72 \cdot Re_1^{-0,245} \left(\frac{s_1 - d_{ng}}{s_c} + 2 \right)^{0,9} \left(\frac{s_1 - d_{ng}}{d_{ng}} \right)^{0,9} \left(\frac{d_{td}}{d_{ng}} \right)^{0,9} \left(\frac{s_1 - d_{ng}}{s_2 - d_{ng}} \right)^{-0,1} \quad (13)$$

Trở lực phía khí của bộ hâm phụ thuộc vào kết cấu và cách bố trí dàn ống, giá trị của nó không thể lấy tùy ý. Nếu trở lực này quá lớn sẽ gây ảnh hưởng xấu tới hoạt động của toàn bộ hệ thống lò hơi do đặc tính làm việc của quạt thay đổi. Tham khảo đặc điểm kỹ thuật của các loại bét đốt dầu hiện đang được sử dụng ở Việt Nam, chúng tôi thấy có thể tăng trở lực của hệ thống thêm 5 % mà chế độ làm việc của bét đốt không bị ảnh hưởng đáng kể. Vì vậy trong chương trình tính toán chúng tôi chọn giá trị 5 % này như là ngưỡng cho phép mức gia tăng trở lực của hệ thống khi lắp đặt thêm bộ hâm nước.

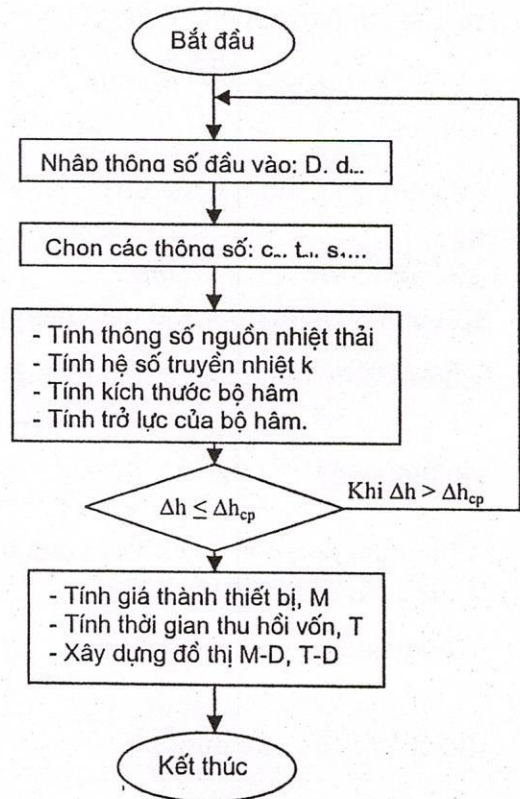
Tính toán kinh tế:

Giá thành thiết bị bao gồm:

- Chi phí vật tư : Ống thép có cánh, co, ống góp, thép tấm, van, vật liệu bọc cách nhiệt, bích nối ...

- Chi phí chế tạo, lắp đặt, bảo trì.

Các chi phí này được tính theo khối lượng và đơn giá hiện thời. Việc xác định giá thành thiết bị theo phương pháp nêu trên rất phức tạp vì bộ hâm nước có nhiều chi tiết, bộ phận khác nhau. Để đơn giản bài toán, trên cơ sở tính giá thành một số cỡ bộ hâm nước, tác giả đã qui giá thành bộ hâm như là hàm số của tổng số mét ống có cánh (là chi phí chủ yếu khi chế tạo): $M_1 = f(l)$.



Hình 2. Sơ đồ thuật toán

Xác định thời gian thu hồi vốn:

Tiền tiết kiệm hàng năm nhờ giảm tiêu hao nhiên liệu:

$$M_2 = B \cdot \Delta\eta \cdot H_{vh} \cdot D_{vh} \cdot G_{FO} \cdot 10^{-3} \quad , \text{ tr đồng/năm}$$

Với:

- B : tiêu hao nhiên liệu, kg/h
- H_{vh} : số giờ vận hành trong ngày;
- D_{vh} : số ngày vận hành trong năm;
- G_{FO} : đơn giá nhiên liệu, đồng/kg;
- $\Delta\eta$ là mức tăng hiệu suất khi lắp bộ hâm nước.

Coi chi phí điện năng cho bơm nước cấp lò hơi trước và sau khi lắp đặt bộ ECO không thay đổi đáng kể, số tiền tiết kiệm hàng năm nhờ lắp đặt bộ hâm nước là:

$$MA = M_2 - M_1 \quad , \text{ tr đồng}$$

Thời gian thu hồi vốn:

$$T = \frac{\ln \frac{MA}{MA - i * M_1}}{\ln(1 + i)} * 12 \quad , \text{ tháng.}$$

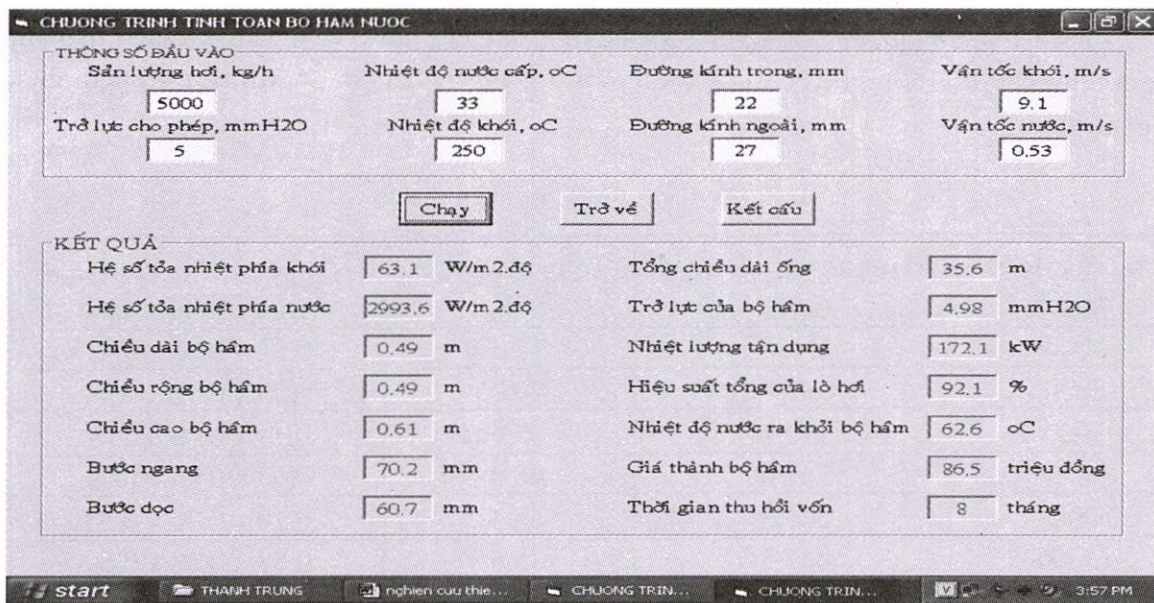
Với i là lãi suất kép trong một năm.

Sơ đồ thuật toán được trình bày ở hình 2.

3. KẾT QUẢ

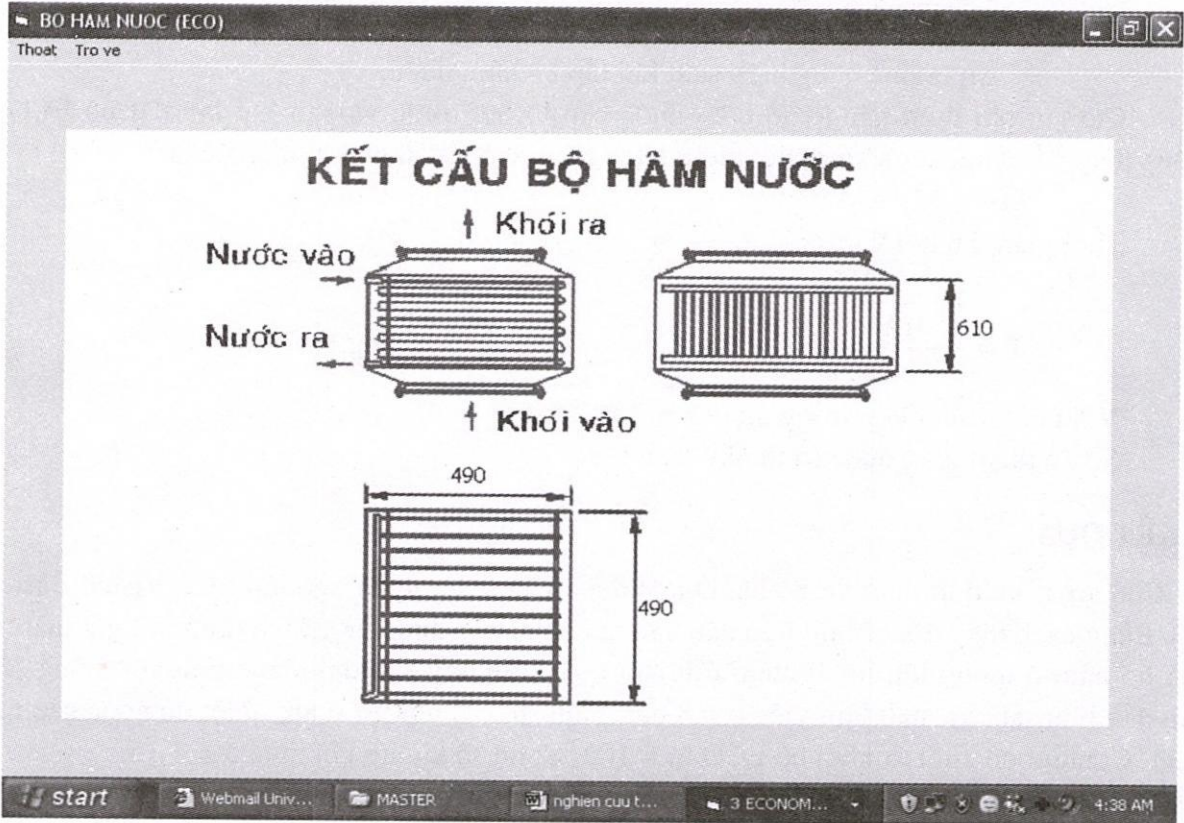
Chương trình tính thiết kế bộ hâm nước được viết bằng ngôn ngữ lập trình Visual Basic 6.0. Bằng cách thay đổi các dữ liệu đầu vào ta có thể xác định được kích thước và giá thành của bộ hâm ở điều kiện tương ứng. Các kết quả trình bày sau đây được tính với thông số ban đầu như sau: áp suất làm việc $p = 8 \text{ bar}$; hiệu suất lò hơi $\eta = 0,88$; nhiệt độ nước cấp $t_{n1} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$; nhiệt độ khói ra khỏi bộ ECO $t_{1r} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$; hệ số không khí thừa $\alpha = 1,15$.

Các số liệu để tính toán kinh tế được chọn là: thời gian vận hành lò hơi 10 giờ/ngày, số ngày vận hành trong năm 312 ngày, giá dầu là 4100 đồng/kg.



Hình 3. Kết quả tính toán bộ ECO cho lò hơi 5000 kg/h

Ví dụ: Đối với lò hơi 5 tấn hơi/h (hình 3) khi hạ nhiệt độ khói thải từ 250 °C đến 160 °C thì nhiệt lượng tận dụng được là 172 kW, hiệu suất lò tăng thêm 4,15 %, độ gia nhiệt nước cấp là 30 °C. Lượng dầu tiết kiệm được là 16,1 kg/h, còn thể tích khói thải ra môi trường giảm 202 m³/h. Giá thành bộ ECO này khoảng 86,5 triệu đồng và thời gian thu hồi vốn là 8 tháng. Có thể lắp đặt bộ ECO có diện tích trao đổi nhiệt ít hơn tính toán để giảm vốn đầu tư, nhưng lúc đó thời gian thu hồi vốn sẽ chậm hơn. Kết cấu bộ hâm nước cũng được đưa ra từ phần mềm tính toán (Hình 4).

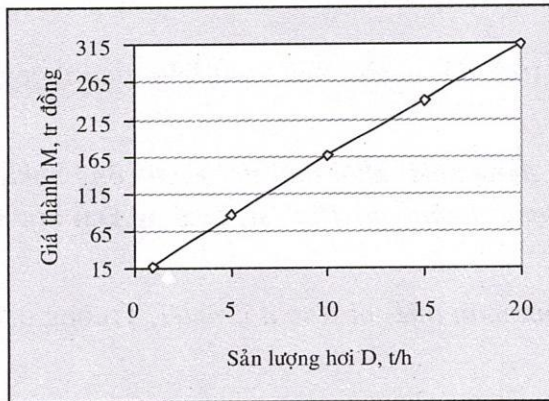


Hình 4. Kết cấu bộ hâm công suất 5000 kg/h

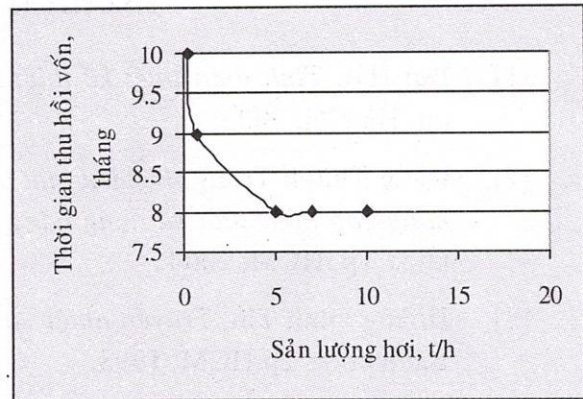
Kích thước cơ bản của bộ hâm nước lắp cho các nồi hơi có công suất khác nhau vận hành ở cùng chế độ đã nêu trên được trình bày ở Bảng 1, còn sơ đồ kết cấu bộ hâm được thể hiện trên hình 4.

Bảng 1. Kích thước bộ hâm nước

Công suất lò hơi (kg/h)	Nhiệt lượng tận dụng (kW)	Tổng chiều dài (m)	Kích thước bộ hâm (m) (Dài x rộng x cao)
1000	34,4	12,3	0,27 x 0,27 x 0,42
2000	68,9	20,0	0,38 x 0,38 x 0,38
5000	172,1	35,6	0,49 x 0,49 x 0,61
7000	241,0	46,4	0,63 x 0,63 x 0,49
10000	344,3	66,3	0,70 x 0,70 x 0,55
13000	447,5	75,5	0,88 x 0,88 x 0,69
15000	516,4	87,2	0,88 x 0,88 x 0,76



Hình 5. Quan hệ giữa sản lượng hơi và giá thành



Hình 6. Quan hệ giữa sản lượng hơi và thời gian thu hồi vốn

Kết quả tính toán cho thấy rằng: khi sản lượng hơi tăng thì giá thành bộ hâm cũng tăng theo (hình 5); lò hơi có công suất càng lớn thì hiệu quả kinh tế của việc hâm nước cấp sẽ càng cao (hình 6).

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này nhằm góp phần vào việc triển khai ứng dụng thiết bị tận dụng nhiệt khói thải lò hơi công nghiệp ống lò – ống lửa ở Việt Nam. Chương trình tính toán giúp ta nhanh chóng xác định được kích thước của bộ hâm nước cho một lò hơi có công suất cụ thể. Kết quả tính cho thấy giá thành bộ ECO tăng gần như tuyến tính theo sản lượng hơi. Tuy nhiên đây mới chỉ là những tính toán lý thuyết, rất cần có thực nghiệm để kiểm chứng, hiệu chỉnh lại. Ngoài ra để có thể lắp đặt bộ ECO, chúng ta còn phải giải quyết một số vấn đề khác liên quan đến toàn bộ hệ thống lò hơi như: phương pháp cấp nước cho lò, ổn định chế độ cháy, nghiên cứu đặc điểm vận hành ở chế độ thay đổi,...

RESEARCH ON DESIGNING ECONOMIZER WITH WASTE HEAT RECOVERY FOR INDUSTRIAL FIRETUBE BOILERS

Nguyen Van Tuyen⁽¹⁾, Dang Thanh Trung⁽²⁾

(1) University of Technology, Viet Nam National University Ho Chi Minh City

(2) University of Technical education Ho Chi Minh City

ABSTRACT: Temperature of flue gas exhausted from industrial fire-tube boilers is still rather high, in fact. Recovery of this waste heat for heating the boiler feed water leads to increase boiler efficiency, thus reduces fuel consumption and improves the environment. Based on heat transfer theory this research worked out the program for calculation of the fintube economizer which could be installed at the end of the boiler. The research also carried out economical evaluations for the application of economizers.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Hải, *Tính toán thiết kế thiết bị trao đổi nhiệt*, Nhà xuất bản giao thông vận tải, Hà Nội, 2002.
- [2]. Đặng Thành Trung, *Nghiên cứu tận dụng nhiệt khói thải từ lò hơi công nghiệp để nâng cao hiệu suất sử dụng năng lượng*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM, 2004.
- [3]. Hoàng Đình Tín, *Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt*, Trường đại học Bách khoa Tp.HCM, 1998.
- [4]. J.P. Holman, *Heat transfer*, International textbook company, NewYork, 2000.
- [5]. Trần Thanh Kỳ, *Thiết kế Lò hơi*, Trường đại học Bách khoa Tp.HCM, 1990.
- [6]. Wayne C.Turner, *Energy Management Handbook*, Interscience Publication, 1982.