

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH TRAO ĐỔI NHIỆT CỦA THIẾT BỊ NGƯNG TỤ KIỂU ỚNG LỒNG ỚNG TRONG HỆ THỐNG LÀM LẠNH

LUU VĂN PHÚC*

Abstract: Tube-in-tube condensers are recently used in a number of cooling systems, but mostly smooth tubes are used, so the efficiency of heat exchange is low, leading to condensation of refrigerant is not high. In this paper, based on thermal exchange theory, we have determined a set of formulas for calculating various parameters such as the coefficient of heat exchange, current density of heat exchange, and condensation efficiency, etc of tube-in-tube condensers with and without straight wings. The set of formulas, cooperating with the published experiment allow to estimate the efficiency of the equipment economically and technically.

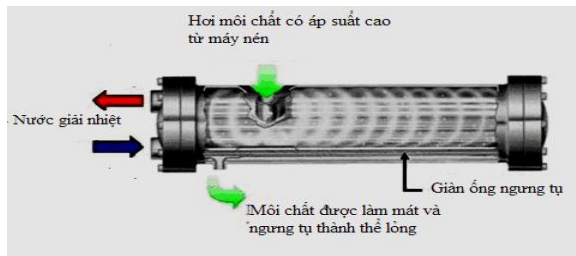
Keywords: Condensers, research process heat exchangers.

Trong hệ thống làm lạnh, thiết bị ngưng tụ (TBNT) có vai trò rất quan trọng. Hiệu quả làm việc của TBNT ảnh hưởng trực tiếp đến các thông số kĩ thuật của toàn bộ hệ thống lạnh, như: năng suất lạnh, nhiệt độ cần làm lạnh, điện năng tiêu thụ,... Khi TBNT hoạt động kém, dẫn đến máy nén làm việc ở chế độ quá tải, máy sẽ nóng lên, làm tăng nguy cơ hỏng hóc và làm giảm tuổi thọ của máy nén. Vì vậy, nghiên cứu khả năng tăng cường trao đổi nhiệt của TBNT là rất cần thiết. Để nâng cao hiệu quả làm việc của TBNT, thiết bị phải có kích thước nhỏ gọn, do công suất truyền nhiệt lớn nên TBNT ống lồng ống loại có cánh đang được các nhà khoa học trong lĩnh vực kĩ thuật nhiệt - lạnh rất quan tâm.

Dưới đây, trên cơ sở lí thuyết trao đổi nhiệt, chúng tôi tính toán một số thông số kĩ thuật của TBNT kiểu ống lồng ống với hai dạng: *ống trơn* và *ống có cánh dọc thân*, qua đó so sánh các đặc tính kĩ thuật của TBNT mới với TBNT truyền thống.

1. Tổng quan về TBNT kiểu ống lồng ống

TBNT kiểu ống lồng ống giải nhiệt bằng nước, được dùng trong các máy làm lạnh và máy điều hòa không khí. Thiết bị gồm nhiều đoạn nối tiếp nhau, mỗi đoạn có hai ống lồng nhau và được cuộn lại cho gọn. Nước chuyển động ở ống bên trong, môi chất lạnh chuyển động ngược lại phần không gian giữa hai ống (xem hình 1).



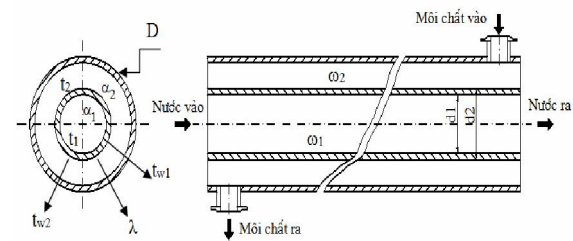
Hình 1. Mô hình TBNT kiểu ống lồng ống

TBNT kiểu ống lồng ống có kết cấu nhỏ gọn, khả năng trao đổi nhiệt lớn và được sử dụng để trao đổi nhiệt giữa các chất lỏng với nhau, hoặc chất lỏng với môi chất đang ngưng tụ. Khi thiết bị ở chế độ hoạt động, môi chất lạnh sẽ chuyển động đối lưu cưỡng bức trong ống với tốc độ cao, quá trình trao đổi nhiệt giữa chúng rất lớn. Vì vậy, thời gian ngưng tụ của môi chất lạnh sẽ giảm và tăng năng suất làm lạnh của máy. Tuy nhiên, việc sản xuất thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống đòi hỏi kĩ thuật cao, công nghệ chế tạo tiên tiến vì các lí do sau: ống khi uốn cong rất dễ bị biến dạng và làm ảnh hưởng đến sự chuyển động của môi chất bên trong ống.

Ngày nay, TBNT rất đa dạng và có nhiều cách phân loại: *TBNT kiểu chùm ống*, *kiểu ống lồng ống* và *kiểu tấm* (hay bản). Trong TBNT kiểu ống lồng ống được chia thành hai loại: *ống lồng ống trơn* và *ống lồng ống có cánh*.

2. Xây dựng mô hình tính toán TBNT ống lồng ống

2.1. Tính toán TBNT kiểu ống lồng ống trơn (không có cánh tản nhiệt). Mô hình bài toán được miêu tả như hình 2, nước giải nhiệt chuyển động bên trong ống, môi chất lạnh chuyển động ngược chiều và ngưng tụ bên mặt ngoài của ống.



Hình 2. TBNT kiểu ống lồng ống trơn

* Trường Đại học Vinh

Trước hết, cần tính toán các thông số trao đổi nhiệt đối với TBNT kiểu ống lồng ống khi môi chất đi ngoài ống và nước lạnh giải nhiệt đi trong ống. Chọn TBNT làm bằng đồng, hệ số dẫn nhiệt là $\lambda, (W/mK)$, đường kính ống ngoài là D , chiều dài của ống là $1m$, tỉ lệ đường kính ngoài và đường kính trong của ống là d_2/d_1 . Bài toán yêu cầu xác định công suất trao đổi nhiệt, nhiệt độ của nước và môi chất, mật độ dòng nhiệt, hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, hệ số truyền nhiệt của thiết bị này.

2.1.1. Xác định công suất trao đổi nhiệt Q , nhiệt độ của nước và môi chất. Theo phương trình cân bằng nhiệt, nếu bỏ qua tổn thất nhiệt do thiết bị nhả ra cho môi trường xung quanh thì công suất trao đổi nhiệt giữa nước với môi chất là: $Q = G_2 C_{p2} (t_2' - t_2'') = G_1 C_{p1} (t_1' - t_1'')$. Trong đó: Q là công suất trao đổi nhiệt (W); G_1, G_2 là lưu lượng của nước và môi chất (kg/s); C_{p1}, C_{p2} là nhiệt dung riêng của nước và môi chất (kJ/kg.°C); t_1', t_2' là nhiệt độ đầu vào của nước và môi chất (°C); t_1'', t_2'' là nhiệt độ đầu ra của nước và môi chất (°C).

Từ đó, suy ra nhiệt độ đầu ra của nước và môi chất là: $t_1'' = t_1' - \frac{Q}{G_1 C_{p1}}$; $t_2'' = t_2' - \frac{Q}{G_2 C_{p2}}$.

2.1.2. Xác định độ chênh nhiệt độ trung bình $\bar{\Delta t}$. Trong TBNT, nhiệt độ nước và môi chất đều thay đổi dọc theo bề mặt trao đổi nhiệt, do vậy độ chênh nhiệt độ giữa nước và môi chất cũng biến đổi theo. Độ chênh nhiệt độ trung bình $\bar{\Delta t}$ cho cả trường hợp lưu động thuận chiều và ngược chiều được xác định bởi công thức: $\bar{\Delta t} = \frac{\Delta t - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}}$; Trong đó: $\Delta t = t_1' - t_2''$ là độ chênh

nhiệt độ của nhiệt nước tại đầu vào và đầu ra (°C); $\Delta t' = t_2' - t_1''$ là độ chênh nhiệt độ của môi chất tại đầu ra và đầu vào (°C).

2.1.3. Xác định nhiệt độ trung bình của nước, môi chất và tốc độ của môi chất: - Nhiệt độ trung bình của nước (vào - ra) và của môi chất là:

$$t_{f1} = \frac{1}{2}(t_1' + t_1''); \quad t_{f2} = \frac{1}{2}(t_2' + t_2'');$$

- Tốc độ của nước chuyển động bên trong ống là:

$\omega_1 = \frac{4G_1}{\pi \rho_1 d_1^2}$, với ρ_1 là khối lượng riêng của nước (kg/m³); - Tốc độ hơi của môi chất (chuyển động bên

ngoài ống) là: $\omega_2 = \frac{G_2}{f_2 \cdot \rho_2} = \frac{4G_2}{\pi(D^2 - d_2^2)\rho_2}$; với ρ_2 : là khối lượng riêng của môi chất (kg/m³), f_2 là tiết diện của hình xuyên nằm giữa hai ống (m²).

2.1.4. Xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu tại bề mặt trong ống và mật độ dòng nhiệt:

- Xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu tại bề mặt trong ống α_1 : theo lý thuyết truyền nhiệt, để xác định được α_1 , trước hết cần xác định giá trị Re (tiêu chuẩn Reynold), Nu (tiêu chuẩn Nusselt) và Pr (tiêu chuẩn Prandilt) theo các công thức thực nghiệm:

$Re_1 = \frac{\omega_1 d_1}{\gamma_1}$ (1); với: Re_1 là trị số, Re được xác định tại bề mặt trong của ống, d_1 là đường kính trong của ống nhỏ (m), γ_1 là độ nhớt động học của nước ở ống bên trong (m²/s).

Ta có: $Nu_1 = 0,21 Re_1^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{\frac{1}{4}} \varepsilon_1$ (2); với: Pr_f

là tiêu chuẩn Pr được chọn theo nhiệt độ của chất lỏng nằm trên bề mặt ống, Pr_w là tiêu chuẩn Pr được chọn theo nhiệt độ của bề mặt ống, ε_1 là hệ số hiệu chỉnh theo chiều dài ống. Từ (1) và (2), xác định được hệ số

trao đổi nhiệt đối lưu theo công thức: $\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{d_1} Nu_1$, với

là hệ số dẫn nhiệt của nước trong ống nhỏ (W/mK).

- Mật độ dòng nhiệt tỏa ra trên 1m chiều dài của ống dẫn nước được tính theo công thức: $q_{\alpha 1} = \alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1 (t_{f1} - t_{w1})$ (W/m); với: t_{f1} là nhiệt độ trung bình của nước ở bên trong ống (°C), t_{w1} là nhiệt độ bề mặt trong của ống dẫn nước (°C).

2.1.5. Xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu tại bề mặt ngoài ống (α_2). Để xác định giá trị α_2 , cần xác định đường kính tương đương của hình xuyên nằm giữa ống trong, ống ngoài và trị số Re_2, Nu_2 với môi chất ở chế độ chảy rối.

- Đường kính tương đương của hình xuyên được

xác định bởi công thức: $d_{td} = \frac{4f}{\pi(D+d_2)} = (D-d_2)$ (m).

- Trị số Re_2 của môi chất trong không gian hình

xuyên được xác định theo công thức: $Re_2 = \frac{\omega_2 d_{td}}{\gamma_2}$, với

là độ nhớt động học của môi chất (m²/s); - Trị số

Nu_2 của môi chất trong không gian hình xuyên được xác định theo công thức:

$$Nu_2 = 0,017 Re_2^{0,8} Pr_f^{0,4} \left(\frac{D}{d_2}\right)^{0,18} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{\frac{1}{4}}$$

Tương tự như trên, hệ số trao đổi nhiệt đối lưu được tính theo công thức: $\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{d_2} Nu_2$, với λ_2 là hệ số dẫn nhiệt của môi chất (W/m.K).

2.1.6. Xác định công suất trao đổi nhiệt và hệ số truyền nhiệt: - Theo [1; tr 86], công suất trao đổi nhiệt giữa môi chất lạnh và nước được tính theo công thức sau:

$$Q = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}} \cdot L$$

với: λ là hệ số dẫn nhiệt của vật liệu chế tạo ống (W/m.K), L là chiều dài của ống (m); - Hệ số truyền nhiệt giữa môi chất lạnh và nước qua mặt trong của vách trụ được xác định bởi công thức:

$$q_{f1} = \frac{Q}{F_1} = \frac{Q}{\pi d_1 L} = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{1}{\alpha_2}} = k_{f1} (t_{f1} - t_{f2}) = k_{f1} \Delta t,$$

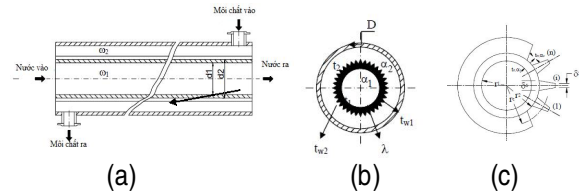
với F_1 là diện tích bề mặt trao đổi nhiệt của ống.

Suy ra: $k_{f1} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{1}{\alpha_2}}$ (W/m².K).

2.2. Tính toán TBNT kiểu ống lồng ống có cánh thẳng dọc thân với biên dạng hình thang. Đối với TBNT kiểu ống lồng ống có cánh thẳng dọc thân, ta có thể phân loại tùy theo biên dạng của cánh, như: biên dạng hình chữ nhật, biên dạng hình thang. Trong bài viết, chúng tôi chọn ống có cánh thẳng dọc thân với biên dạng là hình thang, bởi xét về mặt cơ học cánh hình thang có độ cứng vững tốt hơn. Mô hình bài toán được miêu tả ở hình 3. Nước chuyển động bên trong ống, môi chất chuyển động ngược chiều và ngưng tụ bên mặt ngoài của ống.

Cần tính toán quá trình trao đổi nhiệt giữa nước chảy bên trong ống và môi chất lạnh chuyển động ngoài ống (trong không gian giữa hai ống). Giả thiết ống được làm bằng đồng có hệ số dẫn nhiệt λ , đường kính ống ngoài D, chiều dài ống là L, hệ số tỏa nhiệt phức hợp của hai chất lỏng là α_1, α_2 . Tỷ lệ đường kính ngoài và đường kính trong của ống dẫn nước lạnh là

d_2/d_1 , mặt ngoài của ống trong có n cánh với biên dạng là hình thang, bán kính cánh r_c , chân cánh và đầu cánh có chiều dày lần lượt: δ_1, δ_2 , (xem hình 3c). Ta cần xác định nhiệt lượng trao đổi, mật độ dòng nhiệt, hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, hệ số truyền nhiệt của thiết bị này.



Hình 3. Mặt cắt dọc (a) và cắt ngang (b) của TBNT kiểu ống lồng ống có cánh thẳng dọc thân với biên dạng hình thang (c)

2.2.1. Tính tốc độ chuyển động của môi chất: Tốc độ của môi chất lỏng chuyển động trong không gian hình xuyên giữa hai ống được xác định theo công thức sau:

$$\omega_2 = \frac{G_2}{f_2 \cdot \rho_2} = \frac{4G_2}{[\pi(D^2 - d_2^2) + 4(\delta_1 + \delta_2)] \cdot \rho_2}$$

2.2.2. Tính hệ số trao đổi nhiệt đối lưu: Để xác định được giá trị α_1 , cần phải xác định được đường kính tương đương của hình xuyên nằm giữa ống trong, ống ngoài và trị số Re, Nu ứng với nước ở chế độ chảy rối. Ở đây coi nhiệt lượng truyền qua vách chính là nhiệt lượng qua ống trụ có bán kính ngoài tương đương

$r_c = \sqrt{r_2^2 + \frac{nL(\delta_1 + \delta_2)}{2\pi}}$, coi nhiệt độ t_{w2} phân bố đều trên bề mặt ngoài của ống. Từ phương trình cân bằng nhiệt cho vách: $q_1 = q_{1\alpha_1} = q_{1\lambda} = q_{1\alpha_2}$, lập được hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} q_1 = \alpha_1 (t_{f1} - t_{w1}) \cdot 2\pi r_1 \\ q_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{2\pi \lambda} \ln \frac{r_c}{r_1}} \\ q_1 = \alpha_2 (t_{w2} - t_{f1}) \cdot F_{2l}, \end{cases} \quad (3), \text{ với } F_{2l} \text{ là diện tích bề mặt}$$

tương đương của ống.

$$F_{2l} = 2\pi r_2 - n(\delta_1 - \delta_2) + n\sqrt{4l^2 + (\delta_1 - \delta_2)^2} \quad (m^2)$$

Giải hệ phương trình (3), thu được q_1, t_{w1}, t_{w2} . Từ đó tính được đường kính tương đương của hình xuyên

$$D/d_2 \text{ là: } d_{td} = 2r_c = 2\sqrt{r_2^2 + \frac{nL(\delta_1 + \delta_2)}{2\pi}} \quad (4).$$

Trị số Reynold và Nusselt trong trường hợp này được xác định theo công thức thực nghiệm

$$\text{là: } Re_f = \frac{\omega_2 d}{\gamma_2} \quad Nu_f = 0,017 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,4} \left(\frac{D}{d_{td}}\right)^{0,18} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

Từ các công thức (4) và (5), hệ số được xác định: $\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{d_{td}} Nu_f$.

2.2.3. Tính mật độ dòng nhiệt và hệ số truyền nhiệt của thiết bị. Từ hệ phương trình trên, xác định mật độ dòng nhiệt truyền qua vách trụ dọc thân là:

$$q_l = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{2\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_{2l}}} \quad (W/m); \quad Re_f = \frac{\omega_2 d_{td}}{\gamma_2};$$

Hệ số truyền nhiệt k được xác định thông qua phương trình cân bằng nhiệt như sau:

$$q_l = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{2\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_{2l}}} = k (t_{f1} - t_{f2}) = k \Delta t$$

$$\text{Suy ra: } k = \frac{1}{\frac{1}{2\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_{2l}}}$$

Qua việc nghiên cứu quá trình trao đổi nhiệt của TBNT kiểu ống lồng ống, thu được một số kết luận sau: - Xác lập mối quan hệ giữa các thông số của TBNT kiểu ống lồng ống, đặc biệt là xác định được

mật độ dòng nhiệt, hệ số truyền nhiệt k đối với ống lồng ống loại trơn và loại có cánh thẳng dọc thân; - Rút ra được một số giải pháp để tăng cường khả năng trao đổi nhiệt của TBNT, như: tăng bán kính bên trong của ống có cánh, chọn vật liệu làm ống có hệ số dẫn nhiệt cao, giảm bán kính bên ngoài của ống, tăng số lượng cánh, giảm bề dày của cánh và tăng chiều dài của ống. □

Tài liệu tham khảo

- [1] Hồ Trần Anh Ngọc. *Nghiên cứu thiết bị ngưng tụ kiểu ống lồng ống có cánh sử dụng trong kỹ thuật lạnh*. Luận văn tiến sĩ kỹ thuật, Mã số: 62.52.80.05, Đà Nẵng 3/2014.
- [2] Nguyễn Bốn (2005). *Tính toán thiết bị trao đổi nhiệt*. NXB Đà Nẵng.
- [3] Bùi Hải - Dương Đức Hồng - Hà Mạnh Thư (2009). *Thiết bị trao đổi nhiệt*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [4] Lê Quý Kỳ - Hoàng Đình Tín (2006). *Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [5] Nguyễn Đức Lợi - Phạm Văn Tuyền (2009). *Kỹ thuật lạnh ứng dụng*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [6] Hồ Trần Anh Ngọc - Võ Chí Chính - Nguyễn Duy Linh. *Nghiên cứu thực nghiệm và triển khai ứng dụng thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống lồng ống có cánh sử dụng trong hệ thống lạnh*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Mã số: B2007-ĐN06-03, 2007-2008.
- [7] Đặng Quốc Phú - Trần Thế Sơn - Trần Văn Phú (2008). *Truyền nhiệt*. NXB Giáo dục.
- [8] Đinh Văn Thuận - Võ Chí Chính. *Hệ thống máy và thiết bị lạnh*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.

TỔ CHỨC HOẠT ĐỘNG DẠY HỌC...

(Tiếp theo trang 110)

* Hoạt động 4: Tổng kết.

Hoạt động của GV	Hoạt động của HS
- Tổ chức làm việc nhóm: Tóm tắt kiến thức quan trọng đã tìm được dưới dạng sơ đồ tư duy. - Yêu cầu các nhóm thảo luận và bổ sung ý kiến khác để hoàn thiện phiếu tổng kết kiến thức. - GV nhận xét, đánh giá kết quả làm việc của các nhóm. - Tổng kết giờ học, yêu cầu HS nộp lại phiếu học tập để GV chấm điểm. - Giao bài tập về nhà cho HS.	- Tổng kết, ghi lại các kiến thức quan trọng đã trình bày. - Thảo luận nhóm, phát biểu. - Tiếp nhận thông tin.

học dựa trên VĐ sẽ phát triển năng lực học tập cho HS, nâng cao chất lượng dạy học ở trường trung học phổ thông. □

Tài liệu tham khảo

- [1] Lương Duyên Bình (tổng chủ biên) (2007). *Vật lý 12*. NXB Giáo dục.
- [2] Đỗ Hương Trà (2015). *Các kiểu tổ chức dạy học hiện đại trong dạy học Vật lý ở trường phổ thông*. NXB Đại học Sư phạm.
- [3] Bound, D. (Ed) (1985). *Problem-based learning in education for the professions*. Herdsa, Sydney.
- [4] Henk G.Schmidt (1983). *Problem-based learning: Rationale and description*. Medical Education.