

LỜI NÓI ĐẦU

Cuốn ***Bài tập tính toán kỹ thuật lạnh*** là tài liệu đi kèm bổ trợ cho cuốn ***Giáo trình kỹ thuật lạnh*** (trọn bộ) của cùng tác giả.

Nội dung cuốn sách bao gồm các bài tập nhằm giúp sinh viên có thể thiết kế hoàn chỉnh được một hệ thống lạnh như một kho lạnh truyền thống, kho lạnh lắp ghép, một bể đá cây, một máy làm đá hoặc một máy kết đông thực phẩm từ các khâu tính toán riêng lẻ như chu trình lạnh một cấp, chu trình lạnh hai cấp, các thiết bị ngưng tụ, thiết bị bay hơi, thiết bị tiết lưu, thiết bị phụ trợ, tháp giải nhiệt... theo điều kiện thời tiết của từng vùng khí hậu Việt Nam.

Do khuôn khổ cuốn sách có hạn, ở đây không giới thiệu các bài tập về máy lạnh hấp thụ, máy lạnh ejector, máy lạnh nén khí cũng như các bài tập về tính sức bền thiết bị áp lực. Các phần này có thể tham khảo tài liệu [18].

Cuốn ***Bài tập tính toán kỹ thuật lạnh*** có thể sử dụng làm tài liệu giảng dạy cho sinh viên ngành Nhiệt lạnh hoặc các ngành có liên quan như thực phẩm, dệt may, công nghiệp nhẹ, chế tạo máy, giao thông vận tải, nông lâm ngư nghiệp,... Cuốn sách cũng có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo trong công tác nghiên cứu, thiết kế, quản lý, vận hành các hệ thống lạnh và điều hòa không khí. Đặc biệt, phần phụ lục phong phú có thể giúp bạn đọc tra cứu những số liệu cần thiết về môi chất lạnh, chất tải lạnh, nước, không khí, về thiết kế kho lạnh, về máy nén, tổ ngưng tụ, thiết bị ngưng tụ, thiết bị bay hơi, van tiết lưu cũng như các chế độ bảo quản lạnh và tính chất các sản phẩm bảo quản lạnh.

Đặc biệt trong lần tái bản này, cuốn sách được bổ sung phần tính toán về tiết kiệm năng lượng (mục 1.5), vì tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải khí nhà kính, bảo vệ môi trường và chống biến đổi khí hậu đang là đề tài nóng bỏng của Việt Nam và thế giới. Ngoài ra cuốn sách còn được bổ sung phụ lục E5 về chế độ bảo quản tối ưu cho các loại rau quả nhiệt đới như nhãn, vải, thanh long từ tài liệu của Mỹ. Các phụ lục E được sắp xếp theo vần ABC. Cuốn sách cũng được bổ sung mục từ để tiện tra cứu.

Mặc dù vậy, cuốn sách chắc chắn không tránh khỏi thiếu sót. Tác giả rất mong nhận được ý kiến đóng góp của bạn đọc để nội dung sách được hoàn thiện hơn. Các ý kiến xin gửi về Nhà xuất bản Bách Khoa Hà Nội hoặc cho tác giả tại Viện Nhiệt Lạnh, Đại học Bách Khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội.

Xin trân trọng cảm ơn.

PGS. TS. NGUYỄN ĐỨC LỢI

Phó Chủ tịch Hội Lạnh và Điều hòa không khí Việt Nam

Mob: 0982288995; Tel.nr. Fax: 04.7165860

Email: loidhbk@yahoo.com

Chương 1

CÁC SỐ LIỆU BAN ĐẦU

1.1. CÁC BÀI TOÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG LẠNH

Hình 1.1 giới thiệu các bài toán yêu cầu khi thiết kế một hệ thống lạnh có máy nén hơi.

Để xác định các thông số, ban đầu chúng ta phải biết được vị trí lắp đặt hệ thống, ví dụ tại Hà Nội, Hải Phòng hoặc An Giang... Từ các số liệu về khí hậu TCVN 4088 – 1985, ta mới có thể xác định được nhiệt độ ngưng tụ, nhiệt độ quá lạnh lỏng trước van tiết lưu.

Để xác định được nhiệt độ bay hơi ta cần biết nhiệt độ gia công hoặc bảo quản theo yêu cầu công nghệ.

Từ nhiệt độ ngưng tụ và bay hơi, cần phải biết ga lạnh sử dụng để tính tỉ số áp suất và phân tích hệ thống để quyết định xem nên chọn chu trình một cấp hay chu trình hai cấp nén.

Cũng từ yêu cầu cụ thể của chủ đầu tư và tính chất hệ thống cũng như công nghệ lạnh ta mới có thể quyết định được các thiết bị ngoại vi phía nóng và phía lạnh. Phía nóng đơn giản nhất là dàn ngưng giải nhiệt gió. Phức tạp hơn là giải nhiệt nước bằng nước sông, nước biển, nước thành phố và phức tạp nhất là giải nhiệt bằng nước tuần hoàn có tháp giải nhiệt. Phía lạnh đơn giản nhất là dàn bay hơi trực tiếp làm lạnh phòng, phức tạp hơn là dùng chất tải lạnh nước muối, cồn hoặc etylen glycol...

Những bài tập quan trọng nhất phải kể đến là việc chọn và tính toán chu trình lạnh. Tính toán chu trình lạnh phải cần đến bảng hơi ẩm và đồ thị lgp – h của các ga lạnh, do đó rất cần đến tài liệu [4, 14].

Những bài tập về thiết kế thiết bị ngưng tụ và bay hơi theo cách tính hệ số trả nhiệt phía ga lạnh và phía môi trường làm mát (giải nhiệt) hoặc làm lạnh (tải lạnh) là rất khó, chỉ dùng cho đồ án môn học và tốt nghiệp của sinh viên chuyên ngành. Chủ yếu sẽ là các bài tập chọn các thông số làm việc phù hợp như Q_0 , Q_k , Δt_{tb} , k để xác định diện tích trao đổi nhiệt và chọn được thiết bị phù hợp theo bảng hoặc theo catalog.

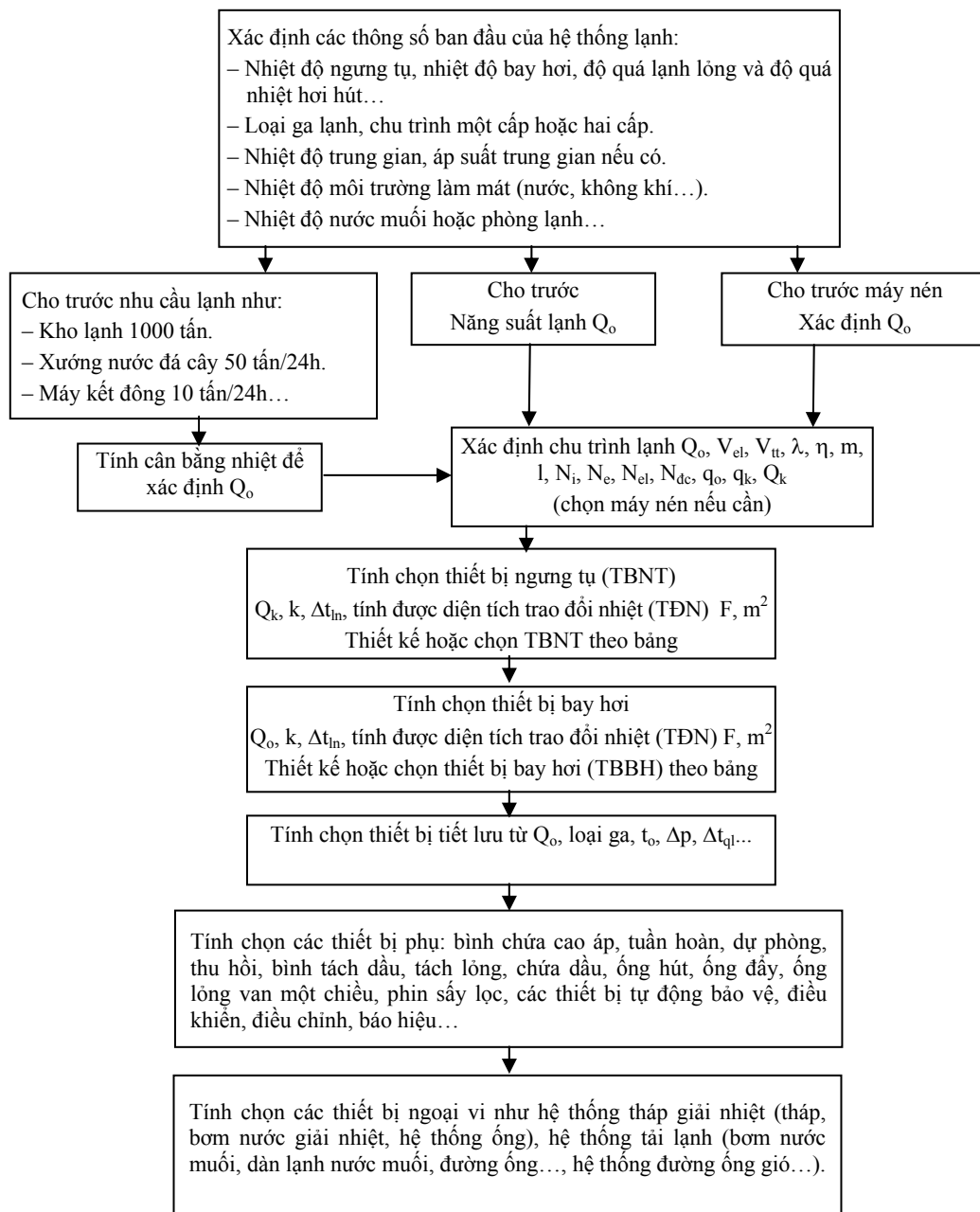
Bài tập về tính chọn tháp giải nhiệt và các thiết bị khác cũng vậy, chủ yếu để lựa chọn các thiết bị phù hợp cho một hệ thống lạnh đã cho theo thực tế, các bảng biểu, catalog, không đi quá sâu về lý thuyết.

Nếu thiết kế một hệ thống lạnh thì việc xác định năng suất lạnh Q_0 là quan trọng nhất. Sau khi đã xác định được năng suất lạnh Q_0 thì tất cả thiết bị của hệ thống lạnh đều lấy căn cứ từ năng suất lạnh Q_0 này làm chuẩn để xác định.

Tất nhiên trong quá trình tính toán lựa chọn các thiết bị sẽ có những sai lệch, nhưng chúng ta phải chủ động lựa chọn sao cho sai lệch đó là thấp nhất để khi vận hành thực tế hệ thống có khả năng tự động cân bằng. Khi hệ thống tự cân bằng thì năng suất lạnh của tất cả các thiết bị phải bằng nhau. Nghĩa là năng suất lạnh của máy nén bằng năng suất lạnh của dàn bay hơi, dàn ngưng tụ, van tiết lưu. Hệ thống nước giải nhiệt (tháp giải nhiệt) và hệ thống chất tải lạnh cũng sẽ phải phù hợp tương ứng với năng suất lạnh này.

Hệ thống lạnh sẽ tự động cân bằng nếu đặc tính các thiết bị biến thiên tỉ lệ đồng thuận. Ví dụ, nếu nhiệt độ bay hơi giữ nguyên (theo yêu cầu công nghệ) mà nhiệt độ ngoài trời tăng (t_k tăng) thì năng suất lạnh của máy nén, dàn ngưng, dàn bay hơi, van tiết lưu cùng phải giảm. Nhưng ngược lại đặc tính của các thiết bị lại biến thiên không giống nhau, đôi khi trái ngược nhau hoàn toàn. Ví dụ, khi nhiệt độ bay hơi giữ nguyên, nhiệt độ môi trường tăng (t_k tăng) thì Q_0 của máy nén giảm, Q_0 của dàn ngưng giảm do khả năng thải nhiệt giảm, nhưng ngược lại Q_0 của van tiết lưu lại tăng (do hiệu áp qua van tăng), biến đổi trái ngược với năng suất của máy nén và dàn ngưng.

Chính vì vậy, để hệ thống lạnh có thể tự cân bằng quanh chế độ thiết kế, nhất thiết phải tính chọn được các thiết bị phù hợp nhất để hệ thống lạnh không bị rơi vào chế độ làm việc không ổn định.



Hình 1.1. Các bài toán yêu cầu khi thiết kế một hệ thống lạnh

Qua hình 1.1, ta thấy khi thiết kế một hệ thống lạnh cần tính toán thiết kế theo 9 bước sau:

1. Xác định các thông số ban đầu gồm:

- Nhiệt độ, độ ẩm ngoài trời của địa phương lắp đặt máy lạnh để có thể xác định được nhiệt độ ngưng tụ và nhiệt độ quá lạnh trước van tiết lưu.
- Nhiệt độ, độ ẩm buồng lạnh theo yêu cầu công nghệ để qua đó xác định được nhiệt độ bay hơi và nhiệt độ quá nhiệt.

- Loại ga lạnh sử dụng:
- Chu trình một cấp hoặc hai cấp.
- 2. Xác định năng suất và máy nén, ở đây có thể xảy ra ba trường hợp:
 - a. Cho trước Q_0 , ví dụ cho biết $Q_0 = 100 \text{ kW}$.
 - b. Cho trước máy nén khi đó qua chu trình ta xác định được Q_0 .
 - c. Cho biết yêu cầu công nghệ ví dụ thiết kế hệ thống lạnh cho một kho lạnh 1000 tấn, thiết kế máy đá cây 50 tấn/24 h hoặc thiết kế máy kem 10.000 que/ca (8h)... Từ đây qua tính toán cân bằng nhiệt ta mới tính được Q_0 .
- 3. Xác định chu trình lạnh trong đó có $Q_0, q_0, m, V_{lt}, V_{tt}, v, q_k, Q_k, \lambda, \eta, N_i, N_s, N_e, N_{el}, N_{dc} \dots$
- 4. Tính toán thiết kế hoặc tính chọn thiết bị ngưng tụ.
- 5. Tính toán thiết kế hoặc tính chọn thiết bị bay hơi.
- 6. Tính chọn van tiết lưu.
- 7. Tính toán thiết kế hoặc tính chọn thiết bị phụ.
- 8. Tính toán thiết kế đường ống ga.
- 9. Tính toán thiết kế hoặc tính chọn thiết bị ngoại vi như hệ thống nước giải nhiệt và hệ thống chất tải lạnh.

Trong phần bài tập thiết kế hệ thống lạnh, nhiều phần không được đề cập đến (ví dụ thiết kế hệ thống điện tự động, tính toán thiết kế sức bền của các hình và thiết bị áp lực...), bạn đọc có thể tham khảo thêm ở các tài liệu [3, 11] cũng như các tài liệu chuyên ngành khác.

1.2. NHIỆT ĐỘ VÀ ĐỘ ẨM NGOÀI TRỜI DÙNG ĐỂ TÍNH TOÁN CHO HỆ THỐNG LẠNH

Muốn tính toán thiết kế được hệ thống lạnh, trước hết chúng ta phải biết những thông số về khí tượng. Các thông số khí tượng bao gồm nhiệt độ, độ ẩm không khí, bức xạ mặt trời, gió, mưa... nhưng nhiệt độ và độ ẩm là hai thông số quan trọng nhất. Các thông số này là các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến tổn thất nhiệt (hoặc tải lạnh) của hệ thống lạnh.

Ví dụ, khi thiết kế một kho lạnh thì nhiệt độ bên ngoài dùng để xác định tổn thất nhiệt qua kết cấu bao che, độ ẩm không khí và nhiệt độ dùng để xác định chế độ làm việc của hệ thống lạnh. Độ ẩm còn dùng để tính toán độ dày cách ẩm. Gió, hướng gió và tốc độ gió ảnh hưởng đến dòng nhiệt tổn thất do trao đổi nhiệt đối lưu giữa không khí và vách tầng. Gió và mưa là cơ sở để thiết kế bao che, thoát nước tránh cho cơ cấu cách nhiệt không bị thấm ẩm, ngập nước, làm mất khả năng cách nhiệt, giảm tuổi thọ và hiệu quả cách nhiệt. Bức xạ mặt trời với hướng gió chủ yếu dùng để chọn hướng xây dựng phù hợp, giảm tổn thất nhiệt qua kết cấu bao che.

Để tính toán thiết kế hệ thống lạnh, lẽ ra phải sử dụng nhiệt độ cao nhất đã quan sát được ở địa phương lắp đặt. Như vậy độ an toàn là tuyệt đối nhưng công suất máy lớn, vốn đầu tư ban đầu cao. Để giảm vốn đầu tư và cũng đạt được độ an toàn đủ cao, người ta chọn nhiệt độ và độ ẩm để thiết kế hệ thống lạnh như sau:

$$t_1 = \frac{t_{tb \max} + t_{\max}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.1)$$

$$\varphi_1 = \varphi_1 = \varphi_{tb}, \% \quad (1.2)$$

Trong đó: t_1 – nhiệt độ tính toán ngoài trời;

t_{tbmax} – nhiệt độ trung bình tháng nóng nhất đã ghi nhận được theo TCVN;

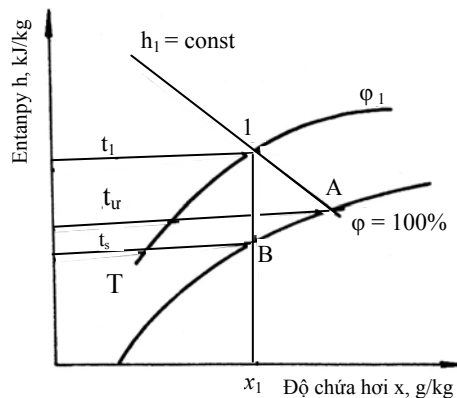
t_{max} – nhiệt độ tối cao tuyệt đối đã ghi nhận được theo TCVN;

φ_1 – độ ẩm tương đối tính toán ngoài trời;

φ_{tb} – độ ẩm trung bình mùa hè (xem phụ lục E1).

Ngoài t_1 , φ_1 , ta còn phải xác định nhiệt độ ướt t_u và nhiệt độ đọng sương để tính kiểm tra đọng sương của kết cấu cách nhiệt. Hình 1.1 giới thiệu đồ thị $h-x$ của không khí ẩm. Quan hệ giữa nhiệt độ không khí, nhiệt độ đọng sương biểu diễn trên hình 1.2.

Đầu tiên phải xác định điểm 1 là trạng thái không khí ẩm. Điểm 1 là giao điểm của đường nhiệt kế khô t_1 và đường độ ẩm φ_1 . Qua điểm 1 ta dựng đường thẳng entanpy $h_1 = \text{const}$ cắt $\varphi = 100\%$ tại A. Nhiệt độ điểm A chính là nhiệt độ nhiệt kế bầu ướt t_u . Qua điểm 1 dựng đường thẳng dung ẩm $x_1 = \text{const}$, cắt đường $\varphi = 100\%$ tại B. Nhiệt độ điểm B chính là nhiệt độ đọng sương t_s của trạng thái không khí 1.



Hình 1.2. Phương pháp xác định các giá trị trên đồ thị $h-x$ của không khí ẩm

1 – trạng thái không khí mùa hè

t_1 – nhiệt độ không khí (nhiệt độ bầu khô) = t_{nk}

φ_1 – độ ẩm không khí = φ_{tb}

t_u – nhiệt độ nhiệt kế ướt

t_s – nhiệt độ đọng sương

Các số liệu thời tiết về mùa đông dùng để thiết kế hệ thống sưởi cho các kho lạnh rau quả do mùa đông ở các xứ lạnh, nhiệt độ ngoài trời có thể xuống thấp hơn 0°C trong khi nhiệt độ bảo quản là trên 0°C . Thời tiết cả miền Bắc và miền Nam nước ta đều không rơi vào trường hợp trên nên không cần phải tính toán.

Bài 1.1. Xác định nhiệt độ và độ ẩm tính toán cho hệ thống lạnh lắp đặt tại Hà Nội.

Giải: Tra tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4088 – 1985 về khí hậu Việt Nam ta được: $t_{tbmax} = 32,8^\circ\text{C}$ và $t_{max} = 41,6^\circ\text{C}$, $\varphi_{tb} = 83\%$.

Vậy nhiệt độ và độ ẩm tính toán cho hệ thống lạnh lắp đặt tại Hà Nội là:

$$t_1 = (32,8 + 41,6)/2 = 37,2^\circ\text{C}$$

$\varphi = 83\%$. Các số liệu này đã được tính và cho sẵn trong phụ lục E1.

Bài 1.2. Xác định nhiệt độ và độ ẩm tính toán cho hệ thống lạnh lắp đặt tại Thành phố Hồ Chí Minh (TP. HCM).

Giải: Tra TCVN 4088 – 1985 có $t_{tb\max} = 34,6^{\circ}\text{C}$ và $t_{\max} = 40,0^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{tb} = 74\%$, vậy:

$$t_1 = (34,6 + 40,0)/2 = 37,3^{\circ}\text{C}$$

$$\varphi_1 = \varphi_{tb} = 74\%$$

Các số liệu trên cũng đã được tính toán và cho sẵn trong bảng E1.

Bài 1.3. Xác định nhiệt độ ướt và nhiệt độ đọng sương theo nhiệt độ và độ ẩm tính toán tại Hà Nội $t_1 = 37,2^{\circ}\text{C}$, $\varphi_1 = 83\%$.

Giải: Thực hiện theo chỉ dẫn ở hình 1.2.

– Xác định điểm 1 (giao điểm giữa $\varphi_1 = 83\%$ và $t_1 = 37,2^{\circ}\text{C}$) trên phụ lục C₁.

– Kẻ đường $h_1 = \text{const}$, cắt $\varphi = 100\%$ ở A, xác định được $t_{tr} = 34,5^{\circ}\text{C}$.

– Kẻ đường $x_1 = \text{const}$, cắt $\varphi = 100\%$ ở B, xác định được $t_s = 33,5^{\circ}\text{C}$.

Bài 1.4. Xác định nhiệt độ ướt và nhiệt độ đọng sương theo nhiệt độ và độ ẩm tính toán cho TP. HCM từ $t_1 = 37,3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_1 = 74\%$.

Giải: Thực hiện giống như bài 1.3 có: $t_{tr} = 33,5^{\circ}\text{C}$, $t_s = 32,5^{\circ}\text{C}$.

1.3. XÁC ĐỊNH NHIỆT ĐỘ NGƯNG TỤ

Nhiệt độ ngưng tụ phụ thuộc vào dạng thiết bị ngưng tụ (TBNT) cũng như thông số của môi trường làm mát như nước, không khí (điều kiện khí hậu) địa phương lắp đặt hệ thống lạnh. Như ta đã biết, nhiệt độ ngưng tụ giảm được một độ thì năng suất lạnh tăng khoảng 1,5%, điện tiêu thụ cũng giảm khoảng 1%. Do đó việc chọn đúng TBNT giúp tối ưu hệ thống lạnh, tiết kiệm năng lượng, tăng độ tin cậy và tuổi thọ hệ thống.

1.3.1. Bình ngưng giải nhiệt nước

Khi sử dụng bình ngưng giải nhiệt nước, phải phân biệt ba nguồn nước khác nhau là nước tuần hoàn, nước giếng và nước thành phố.

a. Nước tuần hoàn qua tháp giải nhiệt

Khi sử dụng nước tuần hoàn (hệ thống lạnh có tháp giải nhiệt) thì nhiệt độ ngưng tụ có thể tính toán như sau (hình 1.3):

$$t_k = t_{w2} + \Delta t_{\min} \quad (1.3)$$

$$t_{w2} = t_{w1} + \Delta t_w \quad (1.4)$$

$$t_{w1} = t_{tr} + \Delta t_{\min} \quad (1.5)$$

Trong đó:

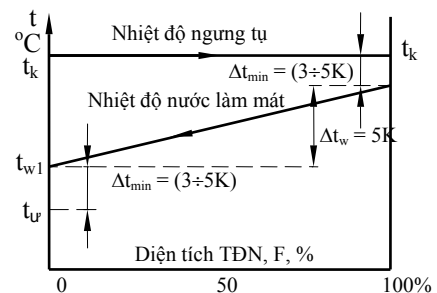
t_k – nhiệt độ ngưng tụ, $^{\circ}\text{C}$;

t_{w1} – nhiệt độ nước vào bình ngưng (hoặc ra khỏi tháp);

t_{w2} – nhiệt độ nước ra khỏi bình ngưng (hoặc vào tháp);

$\Delta t_{\min}$ – hiệu nhiệt độ tối thiểu, thường lấy $\Delta t_{\min} = (3 \div 5) \text{ K}$, lấy trung bình 4 K.

Δt_w – hiệu nhiệt độ nước vào và ra khỏi hình bay hơi thường lấy bằng 5 K.



Hình 1.3. Xác định nhiệt độ ngưng tụ khi sử dụng nước tuần hoàn với tháp giải nhiệt.
F. Diện tích trao đổi nhiệt tương đối, %

Bài 1.5. Hãy xác định nhiệt độ ngưng tụ khi sử dụng tháp giải nhiệt theo điều kiện tính toán cho Hà Nội.

Giải: Thay số vào phương trình (1.3) ÷ (1.5) ta có:

$$\text{Nhiệt độ nước ra khỏi tháp: } t_{w1} = 34,5 + 3,5 = 38^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Nhiệt độ nước vào tháp: } t_{w2} = 38 + 5 = 43^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Nhiệt độ ngưng tụ của môi chất: } t_k = 43 + 4 = 47^{\circ}\text{C}$$

(Thông thường khi chọn nhiệt độ nước ra khỏi tháp cao hơn nhiệt độ uớt 3,5 K ($\Delta t_u = 3,5$) K thì kích thước của tháp giải nhiệt phải lớn hơn khoảng 1,5 lần so với khi chọn $\Delta t_u = 5$ K (xem chương 7)).

Bài 1.6. Hãy xác định nhiệt độ ngưng tụ theo điều kiện tính toán cho TP. HCM.

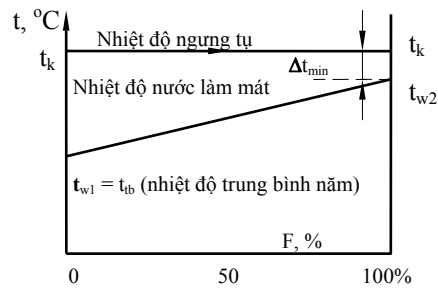
Giải: Thay số vào phương trình (1.3) ÷ (1.5) ta có:

$$t_{w1} = 33,5 + 3,5 = 47^{\circ}\text{C}; t_{w2} = 37 + 5 = 42^{\circ}\text{C}; t_k = 42 + 4 = 46^{\circ}\text{C}$$

Nhận xét: Nhiệt độ ngưng tụ tại TP. HCM thấp hơn ở Hà Nội 1 K do độ ẩm ở TP. HCM thấp hơn ở Hà Nội. Độ ẩm không khí càng thấp càng thuận lợi cho việc giải nhiệt nước bằng tháp giải nhiệt.

b. Sử dụng nước giếng khoan

Nước giếng khoan lấy từ độ sâu ≥ 6 m có nhiệt độ bằng nhiệt độ trung bình năm (cột 3 bảng E1). Nước giếng khoan được bơm cấp cho bình ngưng một lần hồi xả vào lòng đất hoặc đưa đi sử dụng vào việc khác, như vậy $t_{w1} = t_{tb}$ (hình 1.4).



Hình 1.4. Xác định nhiệt độ ngưng tụ khi sử dụng nước giếng khoan

Bài 1.7. Hãy xác định nhiệt độ ngưng tụ cho hệ thống lạnh có bình ngưng làm mát bằng nước giếng khoan tại Hà Nội.

Giải: Tra bảng 1.1 ta có:

$$t_{w1} = t_{tb} = 23,4^{\circ}\text{C} \approx 24^{\circ}\text{C} \text{ (nước nóng lên chút ít do bơm và môi trường...)}$$

$$t_{w2} = 24^{\circ}\text{C} + 5 \text{ K} = 29^{\circ}\text{C}$$

$$t_k = 29^{\circ}\text{C} + 4 \text{ K} = 33^{\circ}\text{C}$$

Nhận xét: Tại Hà Nội, nếu sử dụng nước giếng khoan, nhiệt độ có thể giảm tới 14 K, so với sử dụng tháp giải nhiệt.

Bài 1.8. Hãy xác định nhiệt độ ngưng tụ cho hệ thống lạnh có bình ngưng làm mát bằng nước giếng khoan tại TP. HCM.

Giải: Tra bảng 1.1. ta có:

$$t_{w1} = 27^{\circ}\text{C}$$

$$t_{w2} = 27^{\circ}\text{C} + 5 \text{ K} = 32^{\circ}\text{C}$$

$$t_k = 32^{\circ}\text{C} + 4 \text{ K} = 36^{\circ}\text{C}$$

Nhận xét: Tại TP. HCM, nếu dùng nước giếng khoan, nhiệt độ ngưng tụ cũng có thể giảm được 10 K, so với sử dụng tháp giải nhiệt.