

Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hệ thống làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng

Nguyễn Thế Bảo

Tóm tắt— Bài báo trình bày nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hệ thống làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng, trong đó tập trung vào hai thiết bị chính của hệ thống là tháp tách ẩm (thiết bị tách ẩm) và tháp tái sinh (thiết bị hoàn nguyên). Kết quả giữa lý thuyết và thực nghiệm cho thấy lý thuyết phân tích nói chung và chương trình mô phỏng nói riêng cho độ chính xác và tin cậy chấp nhận được. Từ đó, chương trình mô phỏng này có thể được dùng mô phỏng các hệ thống làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm cũng như để phân tích kinh tế - kỹ thuật và đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng trong các hệ thống điều hòa không khí vào Việt Nam.

Từ khóa— điều hòa không khí, làm lạnh bay hơi, chất hút ẩm, chất hút ẩm lỏng.

1 TỔNG QUAN

Việt Nam là quốc gia nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới. Theo các thống kê thì công suất điện tiêu cho hệ thống điều hòa trong các công trình như cao ốc văn phòng, khách sạn chiếm từ 50-75% tổng lượng điện tiêu thụ [1]. Mặc dù hiện nay có rất nhiều hệ thống điều hòa không khí được cải tiến nhằm tiết kiệm năng lượng như hệ thống điều hòa trung tâm có lưu lượng nước, lưu lượng gió thay đổi theo phụ tải,...v.v. trên cơ sở hiệu chỉnh năng suất lạnh sát với phụ tải thực tế, tuy nhiên các hệ thống này đều sử dụng nguồn năng lượng cao cấp là điện. Các hệ thống điều hòa nói

trên đều phải làm lạnh cả nhiệt hiện lẫn nhiệt ẩn, mà lượng nhiệt ẩn thường chiếm từ 20%-60% tổng năng suất lạnh tùy loại công trình văn phòng, nhà hàng, siêu thị, điều kiện thời tiết bên ngoài. Vì vậy hệ thống điều hòa thông thường phải tốn lượng điện để khử đi lượng nhiệt ẩn rất đáng kể. Để khắc phục vấn đề trên, một trong số các giải pháp được đánh giá cao là kết hợp hệ thống điều hòa với chất hút ẩm rắn hoặc lỏng để khử đi phần nhiệt ẩn không cần dùng nguồn năng lượng cao cấp điện mà chỉ sử dụng năng lượng mặt trời hay nguồn nhiệt thải thể năng thấp sẵn có, giúp tiết kiệm được điện năng tiêu thụ đáng kể.

Có rất nhiều nghiên cứu trên thế giới về lý thuyết và thực nghiệm công nghệ làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng hay rắn cho điều hòa không khí [2,3]. Liu và cộng sự [4] đã so sánh hoạt động của hai loại chất hút ẩm thông dụng là LiCl và LiBr và kết luận rằng LiCl tách ẩm tốt hơn LiBr, trong khi LiBr lại thực hiện việc tái tạo tốt hơn. Luo và cộng sự [5] đã nghiên cứu hai loại tháp tách ẩm thông dụng là loại tháp đoạn nhiệt (adiabatic dehumidifier) và loại làm lạnh bên trong (internally cooled dehumidifier). Loại đoạn nhiệt tuy đơn giản hơn nhưng sự gia nhiệt trong quá trình tách ẩm làm giảm hiệu suất thiết bị. Nhược điểm này được khắc phục bằng loại tháp tách ẩm làm lạnh bên trong. Xiong và cộng sự [6] đã đề xuất loại thiết bị tách ẩm hai tầng (two-stage dehumidification unit) kết hợp phân tích exergy. Trong thiết bị này không khí đi qua dung dịch CaCl_2 trước khi qua dung dịch LiCl. Ưu điểm của quá trình tiền tách ẩm sử dụng CaCl_2 là giảm bớt sự không thuận nghịch của quá trình tách ẩm. Mặt khác, trong quá trình tái tạo thì LiCl được tái tạo trước rồi đến CaCl_2 . Hiệu suất nhiệt của thiết bị này được báo cáo đạt 73% trong khi hiệu suất exergy đạt 23%. Trong hướng nghiên cứu khác, Kim và cộng sự [7] đã làm nghiên cứu hệ thống làm lạnh bay hơi kết hợp thiết bị tách ẩm lỏng sử

Bài nhận ngày 07 tháng 11 năm 2016, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 12 tháng 4 năm 2017.

Bài báo này là một phần kết quả của Đề tài Nghiên cứu Khoa học “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ làm lạnh bay hơi nước dùng chất hút ẩm dạng lỏng trong một số hệ thống điều hòa không khí” năm 2010 do Sở Khoa học và Công nghệ TP.HCM cấp kinh phí.

Nguyễn Thế Bảo - Viện Phát triển Năng lượng Bền vững ISED (e-mail: drthebao@gmail.com).

dùng 100% không khí tươi ngoài trời và cho thấy hệ thống này sử dụng 51% tải lạnh ít hơn loại VAV thông thường. Khalil [8] đã kết hợp hệ thống tách ẩm sử dụng LiCl với hệ thống lạnh sử dụng máy nén thông thường và cho kết quả hệ thống này tiết kiệm được 53% hằng năm so với hệ thống lạnh máy nén thông thường.

Các mô hình toán cho thiết bị tách ẩm sử dụng chất hút ẩm dạng lỏng cũng được nhiều tác giả nghiên cứu, từ mô hình truyền chất động học [9], mạng thần kinh nhân tạo (artificial neural network) [10], mô hình dựa trên phương pháp Runge-Kutta [11] đến phương pháp phân tích đơn giản [12]. Đặc điểm chung của các nghiên cứu này là không tách riêng từng thiết bị (tháp tách ẩm, thiết bị tái tạo, tháp làm mát, thiết bị làm mát...) theo từng module để dễ viết chương trình mô phỏng (simulation) cho hệ thống làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm dạng lỏng. Vì vậy bài báo này sẽ tập trung theo hướng module hóa về mặt toán học cho từng thiết bị.

Vấn đề chất hút ẩm bị cuốn theo vào không gian điều hòa do hệ thống hồ cũng đã được nhiều tác giả nghiên cứu và tìm cách khắc phục. Một giải pháp là cho không khí đi qua màng xốp cực nhỏ (micro-porous membrane) để hạn chế việc chất hút ẩm bị cuốn theo [13]. Kumar và cộng sự [14] đề xuất sử dụng hai vòng tuần hoàn chất hút ẩm lỏng riêng lẻ, mỗi vòng tuần hoàn sử dụng nhiều bộ hấp thụ dựa trên thiết kế màng rơi (falling film based absorbers). Đề xuất này không những hạn chế việc chất hút ẩm bị cuốn vào hệ thống đồng thời còn giúp tăng hệ số COP của hệ thống nói chung. Ở Việt Nam có khá ít công trình nghiên cứu về công nghệ này [15, 16]. Vì vậy bài báo này mong muốn góp một phần vào việc nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng cho điều hòa không khí tại Việt Nam.

2 PHÂN TÍCH LỰA CHỌN HỆ THỐNG

Phương pháp tách ẩm bằng chất hút ẩm để làm khô không khí có thể sử dụng chất hút ẩm rắn hay chất hút ẩm lỏng. Theo nghiên cứu [9], chất hút ẩm lỏng có nhiều ưu điểm so với chất hút ẩm rắn, cụ thể như sau:

- Năng suất hút ẩm của chất hút ẩm rắn nói chung nhỏ hơn chất hút ẩm lỏng. Ví dụ, chất hấp phụ molecular sieve có thể giữ 17% khối lượng khô của nó khi không khí có nhiệt độ 21°C và độ ẩm tương đối 20%. Trong khi đó chất hấp thụ LiCl có thể giữ 130% khối lượng khô của nó ở cùng điều kiện nhiệt độ và độ ẩm. Điều này dẫn tới việc dùng CHA lỏng sẽ cho phép ta giảm được kích

thước thiết bị, như vậy sẽ phù hợp hơn cho việc ĐHKK cho các tòa nhà, siêu thị, nhà ga.v.v.

- Một qui trình hút ẩm luôn xảy ra đồng thời hai quá trình, là hút ẩm làm khô không khí và hoàn nguyên chất hút ẩm. Nhược điểm của chất hút ẩm rắn là nhiệt độ hoàn nguyên khá cao, thường khoảng 120 – 220°C, trong khi nhiệt độ hoàn nguyên chất hút ẩm lỏng lại khá thấp khoảng 40 – 150°C. Nhiệt độ hoàn nguyên chất hấp thụ lỏng vì vậy phù hợp khi sử dụng các nguồn năng lượng có thể năng thấp, như năng lượng mặt trời hay các nguồn nhiệt thải.

- Cấu tạo của một máy hút ẩm dùng chất hút ẩm rắn, thành phần chính là một rotor có dạng ma trận tổ ong, gồm nhiều khe xếp đồng nhất và các chất hút ẩm dạng rắn ở dạng hạt bố trí kết dính như lớp nền dạng tấm phủ lên bề mặt rotor nên công suất hút ẩm của máy bị khống chế bởi kích thước cũng như độ khô của chất hút ẩm sau quá trình hoàn nguyên ở rotor, dẫn đến ổn định của máy hút ẩm này không cao. Cụ thể như khi mà các thông số không khí đầu vào bị thay đổi thì các thông số không khí đầu ra sẽ bị thay đổi. Ngược lại ở máy hút ẩm dùng chất hút ẩm lỏng có thể khắc phục được hạn chế này bằng cách thay đổi thay đổi lưu lượng, cũng như thay đổi nồng độ dung dịch đi vào tháp tách ẩm cho phù hợp.

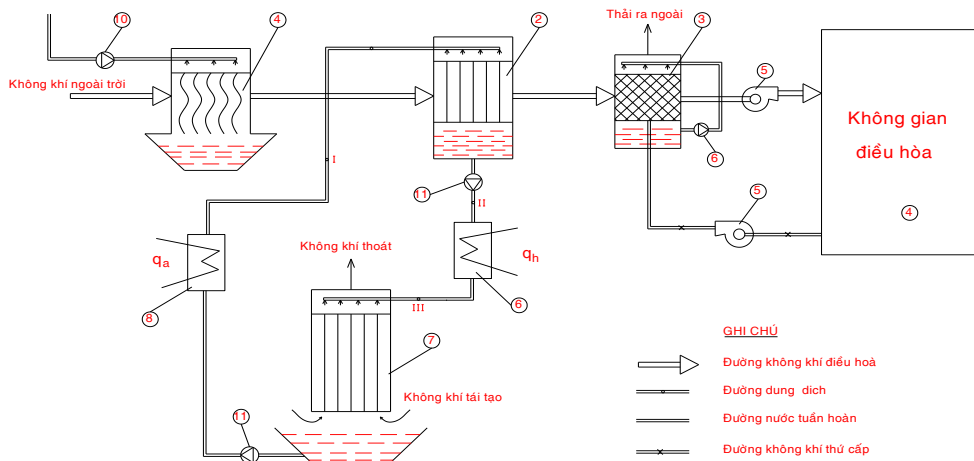
Qua các phân tích ở trên, hệ thống hút ẩm dùng chất hút ẩm lỏng được lựa chọn làm đối tượng trong nghiên cứu này. Hệ thống ĐHKK được thiết kế cho không gian lớn tập trung đông người có tải nhiệt ẩn cao và cần lượng gió tươi lớn nên phương án lựa chọn đưa ra ở đây là:

- Sử dụng chất hút ẩm lỏng để đảm nhận tải nhiệt ẩn bằng cách thực hiện việc tách ẩm trong tháp tách ẩm. Quá trình tái tạo dung dịch được thực hiện trong tháp tái tạo.

- Dùng kết hợp bộ làm lạnh bay hơi (LLBH) trực tiếp và gián tiếp để đảm nhận khử tải nhiệt hiện nhằm giảm nhiệt độ không khí đến giá trị cần thiết.

- Nước nóng được dùng làm chất tải nhiệt để cung cấp nhiệt cho quá trình tái tạo dung dịch. Nhiệt cấp cho nước nóng tuần hoàn có thể là năng lượng mặt trời, nhiệt thải hay nhiệt do đốt cháy nhiên liệu hữu cơ như khí đốt, dầu, than.v.v.

Sơ đồ ĐHKK lựa chọn xây dựng được mô tả như hình dưới đây:



Hình 1. Hệ thống điều hòa không khí làm lạnh bay hơi và tách ẩm bằng chất hút ẩm lỏng

Trong sơ đồ này có 2 dòng lưu chất chính bao gồm: dòng không khí quá trình cung cấp cho không gian điều hòa để thực hiện tải nhiệt hiện và nhiệt ẩn sau đó đi qua bộ LLBH gián tiếp, dòng tuần hoàn của dung dịch chất hút ẩm qua tháp tách ẩm và tháp tái tạo. Ngoài ra còn có các dòng nước dùng cho xối tưới ở các bộ LLBH và nước làm mát, nước gia nhiệt dung dịch.

3 CƠ SỞ LÝ THUYẾT.

3.1 Tháp tách ẩm (Dehumidifier)

Dựa trên phương trình cân bằng năng lượng và giả thiết dòng dung dịch đều đặn qua tháp tách ẩm ta có:

- Phương trình cân bằng khối lượng:

Cho không khí là:

$$G_a \frac{d\omega_a}{dZ} = -h_m P_w (\omega_a - \omega_e) \quad (1)$$

Cho dung dịch là:

$$G_s \frac{dC_s}{dZ} = h_m P_w (\omega_a - \omega_e) \quad (2)$$

- Phương trình cân bằng năng lượng:

Cho không khí là:

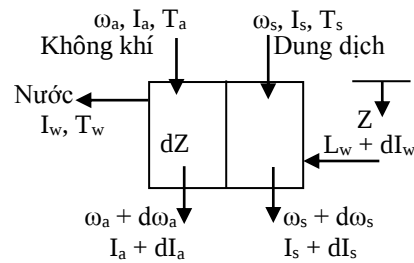
$$G_a C_{pm} \frac{dT_a}{dZ} = U_a P_a (T_s - T_a) \quad (3)$$

Cho dung dịch là:

$$G_s \frac{dI_s}{dZ} = -G_s C_{pm} \frac{dT_a}{dZ} - G_w C_{pw} \frac{dT_w}{dZ} - G_a \frac{d\omega_a}{dZ} I_{fg} \quad (4)$$

Cho nước là:

$$G_w C_{pw} \frac{dT_w}{dZ} = -U_w P_a (T_s - T_w) \quad (5)$$



Hình 2. Cân bằng nhiệt và chất qua tháp tách ẩm

Trong đó ω_e là lượng ẩm bão hòa (cân bằng) của dung dịch:

$$\omega_e = 0,62197 \frac{P_e}{P_{atm} - P_e} \quad (6)$$

Hệ số truyền chất là:

$$h_m = \frac{J_D \rho_a V_a}{(Sc)^{2/3}} \quad (7)$$

$$\text{Trong đó: } Sc = \frac{\mu_a}{\rho_a D_{AB}} \quad (8)$$

Hệ số Colburn được đưa ra bởi R.E. Treybal [17]:

$$J_D = 0,023 \text{Re}_a^{-0,17} \quad (9)$$

$$\text{Với: } \text{Re}_a = \frac{V_a D_i \rho_a}{\mu_a}$$

$$4000 < \text{Re}_a < 60.000; \quad 0,3 < \text{Sc} < 3.000$$

Hệ số tỏa nhiệt trên bề mặt không khí được tính bằng tương quan Reynolds theo [18]:

$$k_{ca} = C_{pm} h_m (Le)^{2/3} \quad (10)$$

Trong đó hệ số Lewis $Le = \text{Sc}/\text{Pr}_a$

Sc – là hệ số Schmidt, xác định bằng: $\text{Sc} = \nu / D$, với ν là độ nhớt động học và D là hệ số khuếch tán khối lượng được tính theo công thức:

$$D = \frac{435,7 T^{3/2}}{p(V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{\mu_A} + \frac{1}{\mu_B}}$$

Trong đó T , p , V và μ lần lượt là nhiệt độ, áp suất, thể tích và độ nhớt của không khí,

Hệ số tỏa nhiệt bề mặt dung dịch cho dòng chảy tầng của lớp mỏng được xác định là:

$$\text{Nu}_s = 0,67 \text{Re}_s^{0,11} \left(\frac{\text{Pr} \text{Sr}}{\text{La}} \right)^{0,33} \quad (11)$$

với $\text{Re}_s < 2300$

$$\text{Trong đó: } \text{Re}_s = \frac{4\Gamma}{\mu_a}; \quad \Gamma = \frac{G_s}{N_T \pi D_i} \quad (12)$$

Giảm chiều dày lớp CHA cho pha đơn xác định theo công thức:

$$\text{với } S_0 = \left(\frac{3\Gamma \mu_s}{\rho_s^2 \times 9,81} \right)^{1/3} \quad \text{Res} < 1600 \quad (13)$$

Cho dòng song song hai pha đi xuống khi pha hơi tách riêng ra nó trở thành :

$$S = [1 - 0,022(Va - 4)]S_0 \quad (14)$$

$$S_T = \frac{S}{0,9085 \text{Re}_s^{1/3}} \quad (15)$$

Hệ số tỏa nhiệt liên kết là:

$$h_s = \frac{\text{Nu}_s K_s}{S_r} \quad (16)$$

Hệ số tỏa nhiệt phía nước được xác định theo [17]

$$\text{Nu}_w = 0,36 \times \text{Re}_w^{0,55} \times \text{Pr}_w^{1/3}, \quad 2000 < \text{Re}_w < 1.000.000 \quad (17)$$

$$h_w = \frac{\text{Nu}_w K_w}{D_{eq}} \quad (18)$$

Trong đó:

$$D_{eq} = \frac{8(P_t^2 \times 0,423 - \pi D_o^2 / 8)}{\pi D_o} \quad (19)$$

$$\text{Tiết diện dòng } a_s = \frac{D_s (P_t - D_o) B_s}{P_t} \quad (20)$$

Hệ số truyền nhiệt tổng từ dung dịch đến nước là:

$$\frac{1}{U_w} = \frac{1}{h_w} + \ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right) \frac{D_o}{2K_w} + \frac{D_o}{D_i} \frac{1}{h_s} + 0,0002 \quad (21)$$

Trong đó, số hạng cuối cùng là giá trị đặc trưng cho hệ số sai số của phép đo.

3.2 Bình tái tạo (regenerator)

Dựa trên phương trình cân bằng năng lượng và cân bằng chất của dòng chảy đều đặn ta có:

Phương trình cân bằng chất :

Cho không khí:

$$G_a \frac{d\omega_a}{dZ} = -h_m P_w (\omega_e - \omega_a) \quad (22)$$

Cho dung dịch:

$$G_s \frac{dC_s}{dZ} = -h_m P_w (\omega_e - \omega_a) \quad (23)$$

Phương trình cân bằng năng lượng:

Cho không khí:

$$G_a C_{pm} \frac{dT_a}{dZ} = -U_a P_a (T_s - T_a) \quad (24)$$

Cho dung dịch :

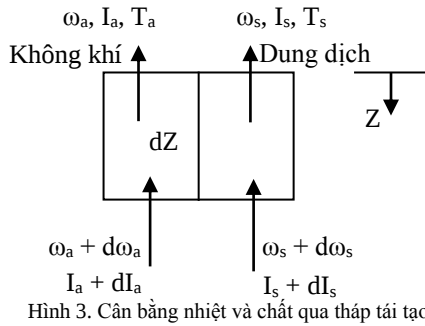
$$G_s \frac{dT_s}{dZ} = -U_a P_a (T_s - T_a) + G_a \frac{d\omega_a}{dZ} I_{fg} \quad (25)$$

Hệ số truyền nhiệt và truyền chất trong các công thức trên được xác định là:

Cho dòng giới hạn của khí, số Nusselt được cho bởi [19]:

$$\text{Nu} = \frac{f \times \text{Pr}[(\text{Re}_a - 1000)/2]}{1 + 12,7 \sqrt{\frac{f}{2}} (\text{Pr}^{2/3} - 1)} \quad (26)$$

Khoảng cho phép là: $0,5 < \text{Pr} < 200$
 $2300 < \text{Re}_a < 5 \times 10^6$



$$\text{Ở đây: } \frac{1}{\sqrt{f}} = (1,58 \ln Re_a - 3,28) \quad (27)$$

$$\text{Hệ số truyền nhiệt: } h_c = \frac{Nu \times K_a}{D_h} \quad (28)$$

Trong đó D_h là đường kính trong nước. Dùng phép ngoại suy của Reynold

$$\frac{h_c}{h_m \times C_{pm}} = (Le)^{2/3} \quad (29)$$

Hệ số truyền chất h_m được xác định từ:

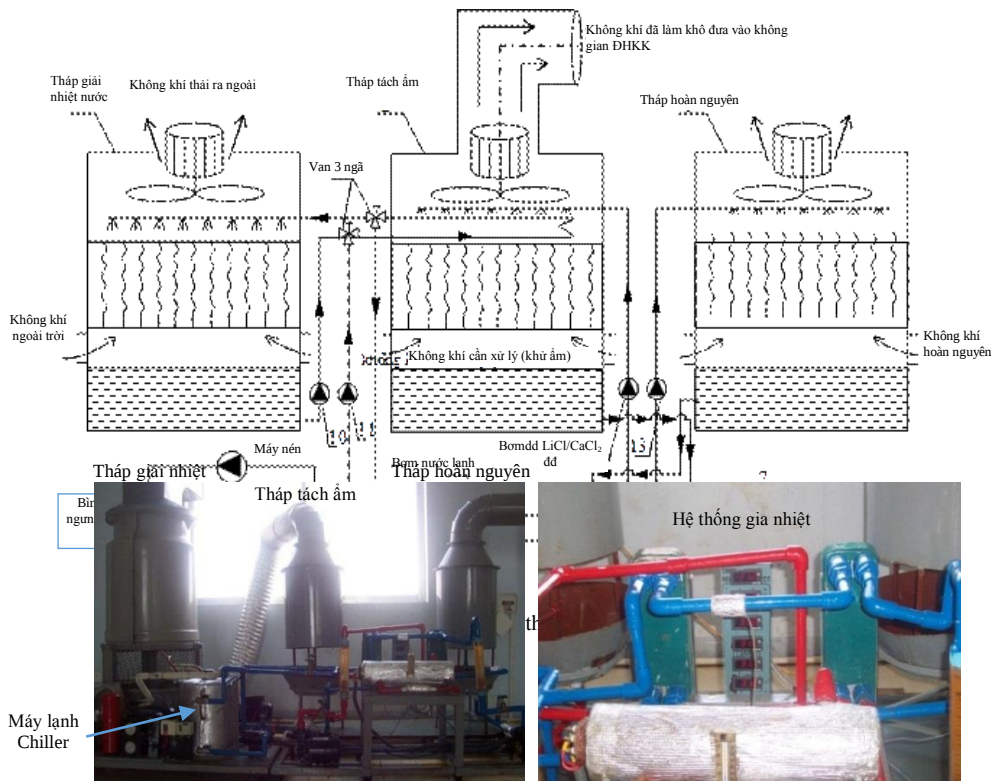
$$h_m = \frac{h_c}{C_{pm}(Le)^{2/3}} \quad (30)$$

Chương trình mô phỏng hệ thống dựa trên các phương trình truyền nhiệt và truyền chất, các thông số nhiệt động của các chất tham gia vào quá trình như không khí, nước và dung dịch hấp thụ dựa trên các công thức hay số liệu thực nghiệm được sử dụng rộng rãi để tính toán hệ thống điều hòa truyền thống, riêng dung dịch chất hút ẩm lỏng được tính theo tài liệu [20].

4 MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM.

Mô hình thực nghiệm nghiên cứu quá trình hút ẩm bằng chất hút ẩm lỏng để ứng dụng trong hệ thống điều hòa không khí. Sơ đồ nguyên lý hệ thống được trình bày trên Hình 4 và mô hình thực nghiệm được thể hiện Hình 5.

Do trong thực nghiệm nhiệt độ dung dịch đậm đặc trước khi vào tháp tách ẩm ta yêu cầu khoảng $(20 \div 35)^\circ\text{C}$, do đó nước làm mát dung dịch có thể là nước sinh hoạt hoặc nước lạnh từ máy làm lạnh nước (máy lạnh water chiller). Nên mô hình gồm có một máy lạnh water chiller để làm lạnh dung dịch khi qui trình yêu cầu nhiệt độ thấp và một tháp giải nhiệt nước làm mát dung dịch khi nhiệt độ dung dịch yêu cầu không quá thấp.



5 SO SÁNH KẾT QUẢ LÝ THUYẾT VÀ THỰC NGHIỆM.

Từ lý thuyết trình bày trong phần trên, một chương trình mô phỏng đã được viết [15,16]. Kết quả thực nghiệm với không khí vào tháp với các thông số $t = 34^{\circ}\text{C}$, $\phi = 70\%$. Dung dịch đậm đặc vào tháp tách ẩm với lưu lượng 4lít/phút (lưu lượng dung dịch vào hai tháp như nhau), nồng độ = 40%, nhiệt độ dung dịch = 27°C và nhiệt độ dung dịch hoàn nguyên dung dịch = 75°C . Thay đổi tốc độ không khí vào (tốc độ không khí vào hai tháp là như nhau) và đo các thông số đầu ra ứng với từng tốc độ tương ứng.

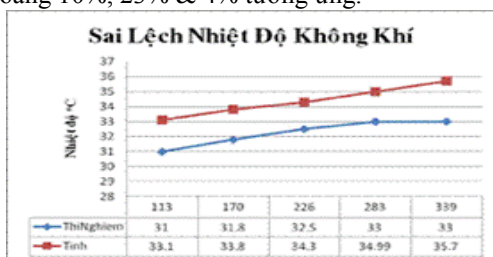
Chạy chương trình mô phỏng với các thông số như trên, so sánh kết quả của chương trình với các số liệu thực nghiệm và được thể hiện dưới dạng đồ thị như dưới đây:

• Tháp Tách Ẩm

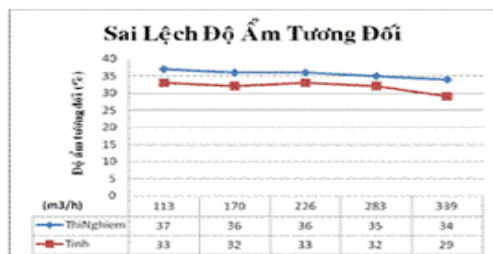
Sai lệch nhiệt độ, độ ẩm tương đối và nhiệt độ dung dịch trong tháp tách ẩm giữa thực nghiệm và lý thuyết thể hiện lần lượt trên các Hình 6, 7 & 8. Biên dạng của hai đồ thị tương đối giống nhau, độ sai lệch lần lượt khoảng 7%, 11% & 10% tương ứng.

• Tháp Tái Sinh

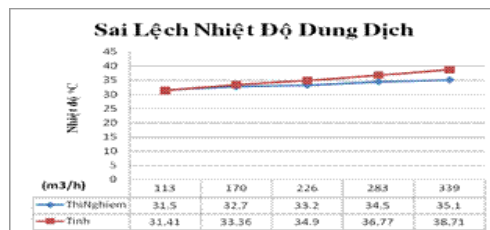
Tương tự, sai lệch nhiệt độ, độ ẩm tương đối và nhiệt độ dung dịch trong tháp tái sinh giữa thí nghiệm và chương trình mô phỏng thể hiện lần lượt trên các Hình 9, 10 & 11. Biên dạng của hai đồ thị tương đối giống nhau, độ sai lệch lần lượt khoảng 10%, 23% & 4% tương ứng.



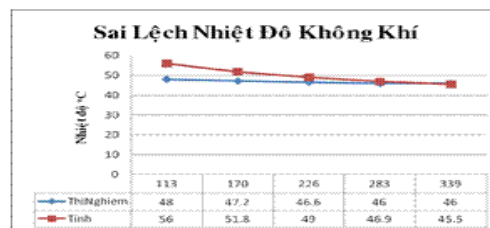
Hình 6. Sự sai lệch nhiệt độ trong tháp tách ẩm giữa lý thuyết và thực nghiệm



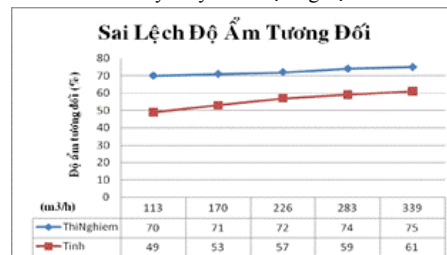
Hình 7. Sự sai lệch độ ẩm tương đối trong tháp tách ẩm giữa lý thuyết và thực nghiệm



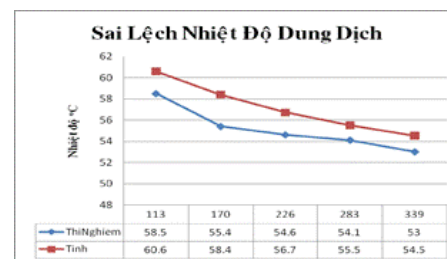
Hình 8. Sự sai lệch nhiệt độ dung dịch trong tháp tách ẩm giữa lý thuyết và thực nghiệm



Hình 9. Sự sai lệch nhiệt độ trong tháp tái sinh giữa lý thuyết và thực nghiệm



Hình 10. Sự sai lệch độ ẩm tương đối trong tháp tái sinh giữa lý thuyết và thực nghiệm



Hình 11. Sự sai lệch nhiệt độ dung dịch trong tháp tái sinh giữa lý thuyết và thực nghiệm

Qua kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm, sai số trung bình đối với nhiệt độ không khí là 11%, độ ẩm tương đối là 23%, nhiệt độ dung dịch là 11%. Các sai số này bao gồm sai số các thiết bị đo, sai số do bố trí các thiết bị đo chưa thích hợp, sai số do hệ thống chưa thật hoàn chỉnh, v.v.

Kết quả so sánh giữa tính toán lý thuyết từ chương trình mô phỏng và mô hình thực nghiệm cho thấy lý thuyết phân tích ở trên cũng như chương trình mô phỏng cho ra các kết quả tương đối xác thực tế và có thể ứng dụng để mô phỏng các thiết bị hút ẩm và tái sinh hay cả hệ thống làm

điều hòa không khí có sử dụng chất hút ẩm. Chương trình mô phỏng này đã được dùng để phân tích kinh tế - kỹ thuật giữa hệ thống làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng trong các hệ thống điều hòa không khí (ĐHKK), hệ thống ĐHKK sử dụng máy nén giải nhiệt nước, hệ thống ĐHKK sử dụng máy nén giải nhiệt gió cho tải lạnh từ 20 tấn lạnh (RT) đến 60 RT [15, 16]. Kết quả cho thấy mặc dù chi phí đầu tư cho hệ thống làm lạnh bay hơi cao hơn, nhưng bù lại chi phí vận hành thấp hơn. Trong dải công suất nói trên (20 – 60 RT), thời gian hoàn vốn của hệ thống làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng là 0,68 đến 0,40 năm so với hệ thống ĐHKK sử dụng máy nén giải nhiệt nước và 1,05 đến 0,61 năm đối với hệ thống ĐHKK sử dụng máy nén giải nhiệt gió (tải lạnh càng lớn hoàn vốn càng nhanh).

6 KẾT LUẬN

Bài báo đã tiến hành nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hệ thống làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng, trong đó tập trung vào hai thiết bị chính của hệ thống là tháp tách ẩm (thiết bị tách ẩm) và tháp tái sinh (thiết bị hoàn nguyên). Kết quả giữa lý thuyết và thực nghiệm cho thấy lý thuyết phân tích nói chung và chương trình mô phỏng nói riêng cho độ chính xác và tin cậy chấp nhận được. Từ đó, chương trình mô phỏng này có thể được dùng mô phỏng các hệ thống làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm cũng như để phân tích kinh tế - kỹ thuật và đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ làm lạnh bay hơi sử dụng chất hút ẩm lỏng trong các hệ thống điều hòa không khí vào Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thế Bảo, *Bảo toàn và quản lý năng lượng trong công nghiệp và trong các tòa nhà*. Nhà Xuất Bản Khoa Học và Kỹ Thuật, 2015.
- [2]. Daou K., Wang R.Z. and Xia Z.Z., “Desiccant cooling air conditioning: a review”, *Renewable and Sustainable Reviews*, vol. 10, no. 2, pp. 55-77, 2006.
- [3]. Sahlot M. & Riffat S.B., “Desiccant cooling systems: a review”, *International Journal of Low-Carbon Technologies* (11) 489-505, 2016.
- [4]. Liu XH, Yi XQ, Jiang Y, “Mass transfer performance comparison of two commonly used liquid desiccants: LiBr and LiCl”, *Energy Conservation Management*, vol. 52, no. 1, pp. 180-190, 2011.
- [5]. Luo YM, Yang HX, Lu L, “A review of mathematical models for predicting the heat and mass transfer process in the liquid desiccant dehumidifier”, *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 31, pp. 587-599, 2014.
- [6]. Xiong ZQ, Dai YJ, Wang RZ, “Development of a novel two-stage liquid desiccant dehumidification system assisted by CaCl₂ solution using exergy analysis method”, *Applied Energy*, vol. 87, no. 5, pp. 1495-1504, 2010.
- [7]. Kim MH, Park JS, Jeong JW, “Energy saving potential of liquid desiccant in evaporative-cooling assisted 100% outdoor air system”, *Energy*, vol. 59, pp. 726-736, 2013.
- [8]. Khalil A, “An experimental study on multi-purpose desiccant integrated vapor-compression air-conditioning system”, *International Journal Energy Resources*, vol. 36, no. 4, pp. 535-544, 2012.
- [9]. Li XW, Zhang XS, Wang F, “A kinetic mass transfer model of liquid dehumidification for liquid desiccant cooling system”, *Energy Buildings*, vol. 61, pp. 93-99, 2013.
- [10]. Gandhidasan P & Mohandes MA, “Artificial neural network analysis of liquid desiccant dehumidification system”, *Energy*, vol. 36, no. 2, pp. 1180-1186, 2011.
- [11]. Koronaki IP, Christodoulaki RI, Papaefthimiou VD, “Thermodynamic analysis of a counter flow adiabatic dehumidifier with different liquid desiccant materials”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 50, no. 1, pp. 361-373, 2013.
- [12]. Bassuoni MM, “A simple analytical method to estimate all exit parameters of a cross-flow air dehumidifier using liquid desiccant”, *Journal of Advanced Resources*, vol. 5, no. 2, pp. 175-182, 2014.
- [13]. Jain S, Tripathi S, Das RS, “Experimental performance of a liquid desiccant demumidification system under tropical climates”, *Energy Conservation Management* vol. 52, no. 6, pp. 2461-2466, 2011.
- [14]. Kumar R, Dhar PL, Jain S, “Multi absorber stand alone liquid desiccant air-conditioning systems for higher performance”, *Solar Energy*, vol. 83, no. 5, pp. 761 -772, 2009.
- [15]. Nguyễn Thế Bảo, *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ làm lạnh bay hơi nước dùng chất hút ẩm dạng lỏng trong một số hệ thống điều hòa không khí*, Đề tài Nghiên cứu Khoa học Sở KH & CN TP. HCM, 2010.
- [16]. Nguyễn Thế Bảo & Lâm Thanh Hùng, “Sơ đồ mô phỏng hệ thống làm lạnh bay hơi có sử dụng chất hút ẩm Lithium Chloride trong điều hòa không khí nhằm tiết kiệm năng lượng”, *Tạp chí Năng lượng Nhiệt*, số 92 (3) 1-5, 2010.
- [17]. J. Holman et al., *Heat Transfer*. McGraw-Hill Education Boston, 10th ed ed., 2010.
- [18]. Yunus A. Cengel, (2006) *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach* (Third Edition). McGraw-Hill, Inc.
- [19]. Shan K. Wang (2000). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration* (Second Edition). McGraw-Hill,

Inc.

- [20]. Conde, M (2004). Aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: - Property formulation for use in air conditioning equipment design. M. Conde Engineering, Zurich.

Nguyễn Thế Bảo sinh năm 1966 tại Sài Gòn, Việt Nam. Ông Bảo tốt nghiệp Kỹ sư tại trường ĐHBK TP HCM năm 1989, tốt nghiệp Thạc sỹ Đại học Murdoch (Perth, Úc) năm 1994 và hoàn thành Tiến sỹ Đại học Murdoch (Perth, Úc) năm 1998.

Từ năm 1990 đến 2008, ông Bảo là Giảng viên trường ĐHBK – Đại học Quốc gia TP HCM. Hiện nay Ông là Viện Trưởng Viện Phát triển Năng lượng Bền vững ISED đồng thời là Giảng viên thỉnh giảng tại trường ĐHBK – Đại học Quốc

gia TP HCM và trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM. Ông đã xuất bản 4 cuốn sách chuyên ngành và có 34 bài báo đăng trên các tạp chí khoa học trong và ngoài nước trong các lĩnh vực: Lạnh & ĐHKK, Tiết kiệm & sử dụng hiệu quả năng lượng; Năng lượng tái tạo (Năng lượng mặt trời & Năng lượng gió).



TS. Bảo được Bằng khen của UBND TP. HCM năm 2003 “Vì những đóng góp trong sự nghiệp CNH, HĐH Thành phố” và Bằng khen của Bộ trưởng Bộ LĐ, TB & XH năm 2010 vì “Có thành tích xuất sắc trong công tác đào tạo nghề »

A numerable and experimental study of evaporative cooling systems using liquid desiccants

Nguyen The Bao

Institute of Sustainable Energy

Abstract— The paper presents a numerable and experimental study of evaporative cooling systems using liquid desiccants, especially focusing on two mains equipment of the systems including the dehumidifier and regenerator. A simulation program for evaporative cooling systems using liquid desiccants has been written based on the numerable study of this research. The results of the numerable and experimental study are very comparative, proving that the simulation program can be used to simulate the evaporative cooling systems using liquid desiccants in order to analyze the feasibility of these systems in Vietnam for energy conservation purposes.

Index Terms— air conditioning, evaporative cooling, desiccants, liquid desiccants.