

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CƠ CẤU LÀM LẠNH BAY HƠI VÀ TÁCH ẨM BẰNG CHẤT HÚT ẨM TRONG ĐIỀU KIỆN CỦA VIỆT NAM

Lê Chí Hiệp

Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia TP.HCM

(Bài nhận ngày 06 tháng 2 năm 2002, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 01 tháng 4 năm 2002)

**TÓM TẮT:** Trong xu thế tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường, đã và đang có những thay đổi đáng kể trong kỹ thuật điều hòa không khí. Một trong những thay đổi đó là việc ứng dụng công nghệ làm lạnh bay hơi và tách ẩm bằng chất hút ẩm để điều hòa không khí cho những tòa nhà lớn, tập trung nhiều người như nhà hát, hội trường, siêu thị ... Hệ thống này được dùng để thay thế cho hệ thống điều hòa không khí sử dụng máy lạnh có máy nén hơi vốn hao tốn rất nhiều năng lượng. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu lý thuyết hệ thống làm lạnh bay hơi và tách ẩm bằng chất hút ẩm trong điều kiện của Việt Nam thông qua việc xây dựng mô hình toán học của các quá trình diễn ra trong hệ thống. Trên cơ sở đó, sẽ tiến hành các thí nghiệm trên máy tính nhằm xác định các thông số cơ bản phục vụ cho việc thiết kế hệ thống, đồng thời – kết hợp với các thí nghiệm về năng lượng mặt trời – đưa ra các đề xuất cụ thể về việc sử dụng năng lượng mặt trời để cung cấp nhiệt cho hệ thống.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Nhược điểm cơ bản của hệ thống điều hòa không khí làm việc với máy lạnh có máy nén hơi là hao tốn rất nhiều năng lượng. Lý do, do đặc điểm của hệ thống, cần phải trực tiếp giảm nhiệt độ của không khí xuống thấp hơn nhiệt độ điểm đọng sương trước khi cấp vào không gian cần điều hòa không khí. Bên cạnh nhược điểm hao tốn rất nhiều năng lượng, việc cung cấp đầy đủ không khí tươi theo yêu cầu cho những không gian rộng lớn tập trung nhiều người như nhà hát, hội trường, siêu thị ... cũng là vấn đề cần phải lưu ý. Chính vì những đặc điểm đã nêu, trong những năm gần đây, để điều hòa không khí cho những không gian nói trên, người ta có xu hướng chuyển qua sử dụng công nghệ làm lạnh bay hơi và tách ẩm bằng chất hút ẩm. Do công nghệ này không đòi hỏi phải trực tiếp hạ nhiệt độ không khí xuống thấp hơn nhiệt độ điểm đọng sương, cho nên năng lượng dùng để vận hành hệ thống giảm đi đáng kể. Đặc biệt, do chất làm việc là không khí, công nghệ này tỏ ra rất thích hợp cho những không gian cần cung cấp lượng gió tươi lớn và công nghệ này hoàn toàn không gây hại cho môi trường.

Về cơ bản, hệ thống làm lạnh bay hơi và tách ẩm bằng chất hút ẩm bao gồm 2 phần riêng biệt nhau là phần làm lạnh bay hơi và phần làm giảm độ chứa hơi của không khí. Để thực hiện quá trình làm lạnh bay hơi, có thể sử dụng sơ đồ loại trực tiếp, loại gián tiếp và loại hỗn hợp. Trong sơ đồ loại trực tiếp, không khí sẽ hạ nhiệt hiện và nhận nhiệt ẩn, tương ứng nhiệt độ không khí sẽ hạ xuống còn độ chứa hơi thì tăng lên, do độ chứa hơi gia tăng nên sơ đồ này không thích hợp với điều kiện khí hậu của Việt Nam. Trong sơ đồ loại gián tiếp, không khí làm việc – hay còn gọi là không khí sơ cấp – chỉ hạ nhiệt hiện, nhiệt hiện do không khí sơ cấp hạ ra sẽ được dòng không khí thứ cấp nhận vào ở dạng nhiệt ẩn do quá trình làm lạnh bay hơi diễn ra ở phía dòng không khí thứ cấp, do đó nhiệt độ của dòng không

khí làm việc giảm xuống còn độ chứa hơi thì được giữ không đổi. Trong sơ đồ loại hỗn hợp, thông thường người ta bố trí cơ cấu làm lạnh bay hơi loại gián tiếp trước, sau đó mới đến cơ cấu làm lạnh bay hơi loại trực tiếp. Cần phải thấy rõ rằng, cơ cấu làm lạnh bay hơi nói chung khá thích hợp cho các vùng có khí hậu nóng và khô. Đối với các vùng có khí hậu nóng và ẩm như Việt Nam, cần phải nghiên cứu tìm ra loại sơ đồ thích hợp. Cùng với cơ cấu làm lạnh bay hơi, yêu cầu làm giảm độ chứa hơi có trong không khí được thực hiện bằng chất hút ẩm. Có hai loại chất hút ẩm : chất hút ẩm rắn và chất hút ẩm lỏng. Hiện nay người ta thường dùng chất hút ẩm lỏng hơn vì – so với chất hút ẩm rắn – chất hút ẩm lỏng có ưu điểm là : chỉ bằng cách thay đổi nhiệt độ và nồng độ của dung dịch, có thể thực hiện quá trình hút ẩm và giải phóng ẩm một cách rất dễ dàng. Chất hút ẩm lỏng thường được dùng là dung dịch  $H_2O/LiBr$  và dung dịch  $H_2O/CaCl_2$ .  $LiBr$  có tính ổn định cao và có khả năng hút ẩm khá đáng kể, tuy nhiên giá cả hơi đắt.  $CaCl_2$  có giá rẻ hơn, tuy nhiên đặc điểm làm việc của dung dịch  $H_2O/CaCl_2$  bị phụ thuộc vào nồng độ dung dịch và trạng thái của không khí ở đầu vào, khả năng hút ẩm của dung dịch  $CaCl_2$  có kém hơn vì áp suất hơi nước trên bề mặt hơi cao hơn so với trường hợp của dung dịch  $H_2O/LiBr$ .

Công nghệ tách ẩm bằng chất hút ẩm có ưu điểm lớn là có thể sử dụng các nguồn nhiệt có nhiệt thế thấp để hoạt động trong quá trình giải phóng ẩm. Chính đặc điểm này tạo ra khả năng sử dụng năng lượng mặt trời trong các hệ thống làm lạnh bay hơi và tách ẩm bằng chất hút ẩm.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC

Phần này trình bày một số phương trình cơ bản đã được sử dụng trong quá trình xây dựng mô hình toán học của các quá trình diễn ra trong hệ thống.

Gọi  $i_D$  là enthalpy của dung dịch so với giá trị gốc tại nhiệt độ  $t_0$ ,  $i_{D0}$  là enthalpy của dung dịch tại nhiệt độ  $t_0$  và  $c_D$  là nhiệt dung riêng của dung dịch, ta có :

$$i_D = c_D(t - t_0) + i_{D0}$$

Khảo sát Control Volume của tháp tách ẩm với diện tích mặt cắt  $1m^2$  và chiều cao  $\Delta H$ , trên cơ sở cân bằng chất ta viết được :

$$\Delta G_D = G_a \cdot \Delta d$$

Với  $G_D$  và  $G_a$  lần lượt là lưu lượng khối lượng ( $kg/m^2 \cdot s$ ) của dung dịch lỏng và của không khí đi qua tháp,  $\Delta d$  là độ biến đổi độ chứa hơi của không khí khi đi qua tháp. Ứng với Control Volume đã nêu, từ phương trình truyền chất ta viết được :

$$G_a \cdot \Delta d = -\mu_w \cdot M_w \cdot a \cdot \Delta H$$

Trong đó,  $\mu_w$  là khối lượng phân tử của hơi nước,  $M_w$  là lưu lượng mol của hơi nước ( $kmol/m^2 \cdot s$ ) và  $a$  là hệ số đặc trưng của Control Volume ( $m^2/m^3$ ).

Gọi  $d_M$  và  $d_{Mi}$  lần lượt là hàm lượng hơi nước tính theo mol ( $kmol$  hơi nước/ $kmol$  không khí) có trong không khí và có tại bề mặt giao tiếp dung dịch-không khí,  $k_a$  là hệ số truyền chất về phía không khí ( $kmol/m^2 \cdot s$ ), ta viết được :

$$M_w = k_a \cdot \ln[(1-d_{Mi})/(1-d_M)]$$

Ta cũng có :

$$d_M = d/(d+\mu_w/\mu_a) = p_w/p_t$$

Trong đó,  $p_w$  và  $p_t$  lần lượt là phân áp suất của hơi nước và áp suất tổng. Hệ số truyền chất  $k_a$  được xác định như sau :

$$k_a = 1,195 \cdot G_A \{d_s \cdot G_a / [\mu_a (1 - \varepsilon_{LO})]\}^{-0,36} \cdot Sc^{-0,667}$$

Với :  $G_A$  – lưu lượng khối lượng của không khí, kg/s

$d_s$  – đường kính tương đương của những vật lèn trong tháp

$\mu_a$  – độ nhớt động học của không khí

$\varepsilon_{LO}$  – khoảng trống vận hành

$Sc$  – tiêu chuẩn Schmidt

Từ các phương trình đã nêu, ta viết được :

$$-G_a \cdot \Delta d = (\mu_w k_a \Delta H) \ln[(1 - d_{Mi}) / (1 - d_M)]$$

Gọi  $M_D$  là lưu lượng của dung dịch ở bề mặt giao tiếp ( $\text{kmol/m}^2 \cdot \text{s}$ ), ta có :

$$M_D = k_D \ln[(1 - c_L) / (1 - c_{Li})]$$

Trong đó  $k_D$  là hệ số truyền chất về phía pha lỏng,  $c_L$  và  $c_{Li}$  lần lượt là nồng độ mol của nước trong dung dịch và nồng độ mol của nước trong dung dịch tại bề mặt giao tiếp ( $\text{kmol nước/kmol dung dịch}$ ). Ta có :

$$k_D = k(\rho_D / \mu_D) c$$

Với :  $\rho_D, \mu_D$  – khối lượng riêng ( $\text{kg/m}^3$ ) và khối lượng phân tử của dung dịch,  $c$  là nồng độ muối có trong dung dịch ( $\text{kg/kg dung dịch}$ ). Giá trị của  $k$  là :

$$k = 25,1 (D_D / d_s) (d_s \cdot G_D / \mu_d)^{0,45} \cdot Sc_D^{0,5}$$

Trong biểu thức trên,  $D_D$  là hệ số khuếch tán của pha lỏng,  $\mu_d$  là độ nhớt động học của dung dịch và  $Sc_D$  là tiêu chuẩn Schmidt về phía dung dịch. Kết hợp các phương trình đã nêu, ta viết được :

$$d_{Mi} = 1 - (1 - d_M) [(1 - c_L) / (1 - c_{Li})]^{k_D / k_a}$$

Gọi  $q_a$  và  $\alpha_a$  là mật độ dòng nhiệt và hệ số tỏa nhiệt đối lưu về phía không khí,  $t_a$  và  $t_{ai}$  là nhiệt độ không khí và nhiệt độ không khí tại bề mặt giao tiếp, ta có :

$$q_a = \alpha'_a \cdot (t_a - t_{ai})$$

$$\alpha'_a = \mu_w \cdot M_w \cdot c_w / [1 - \exp(-\mu_w \cdot M_w \cdot c_w \cdot a / \alpha_a \cdot a)]$$

$$\text{Với : } \alpha_a = 1,195 \cdot G_a \cdot c_a \{d_s \cdot G_a / [\mu_a (1 - \varepsilon_{LO})]\}^{-0,36} \cdot (\mu_a \cdot c_a / \lambda_a)^{-0,667}$$

Phương trình cân bằng nhiệt về phía không khí :

$$G_a \cdot i_a - G_a (i_a + \Delta i_a) + G_a \cdot \Delta d [c_w (t_a - t_0) + r_0] = \alpha'_a \cdot a (t_a - t_{ai}) \cdot \Delta H$$

Khi bỏ qua nhiệt phản ứng, gradient nhiệt độ của dung dịch khi đi qua tháp được xác định như sau :

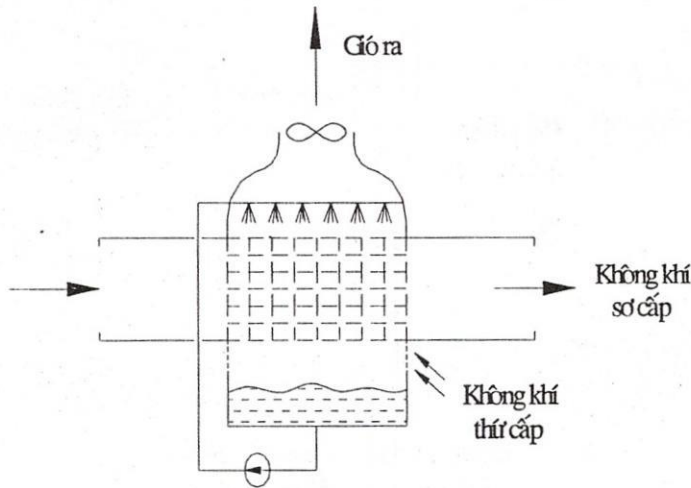
$$\Delta t_D / \Delta H = (G_a / G_D \cdot c_D) \{ (c_a + c_w \cdot d) (\Delta t_a / \Delta H) + [c_w (t_a - t_0) + r_0] (\Delta d / \Delta H) - [c_D (t_D - t_0) + i_s] (\Delta d / \Delta H) \}$$

### 3. SƠ ĐỒ LỰA CHỌN VÀ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Đặc điểm của khí hậu Việt Nam là khá nóng và ẩm. Để có cơ sở lựa chọn sơ đồ, chúng tôi xem trạng thái tiêu chuẩn của không khí ngoài trời là  $t = 32^\circ\text{C}$  và  $\varphi = 85\%$ , không khí trong không gian cần điều hòa là  $t = 25^\circ\text{C}$  và  $\varphi = 60\%$ . Do độ chứa hơi của không khí khá cao cho nên không thể dùng cơ cấu làm lạnh bay hơi loại trực tiếp, mà chỉ có thể dùng cơ cấu làm lạnh bay hơi loại gián tiếp (hình 1). Để tận dụng không khí thải ra từ không gian cần điều hòa, ta nên sử dụng một phần lượng không khí này để làm không khí thứ cấp cho cơ cấu làm lạnh bay hơi loại gián tiếp, phần còn lại được dùng để hòa trộn với không khí tươi và cấp lại vào hệ thống.

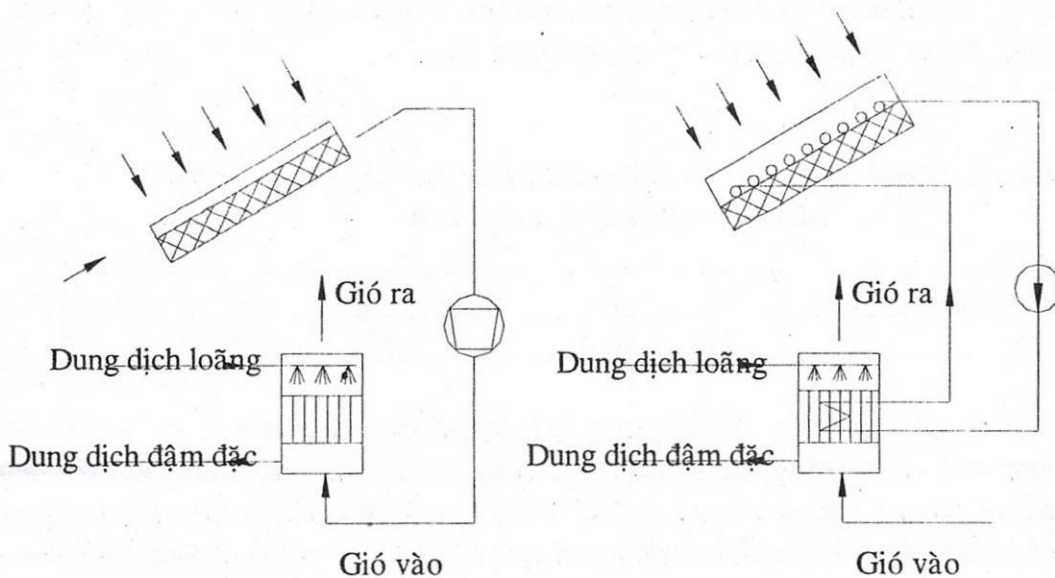
Các tính toán cho thấy – trong điều kiện của Việt Nam – lượng ẩm cần phải tách ra khỏi không khí là khá lớn, vào khoảng trên 14 g hơi nước / kg không khí khô, chính vì vậy ta nên

chọn dung dịch  $H_2O/LiBr$  để làm nhiệm vụ tách ẩm. Sau khi tách ẩm, hàm lượng nước có trong dung dịch sẽ tăng lên. Để làm cho dung dịch có khả năng hút ẩm như lúc ban đầu, cần phải thực hiện quá trình giải phóng ẩm ra khỏi dung dịch. Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm [1] khẳng định, trong điều kiện của Việt Nam nói chung và của t/p Hồ Chí Minh nói riêng,



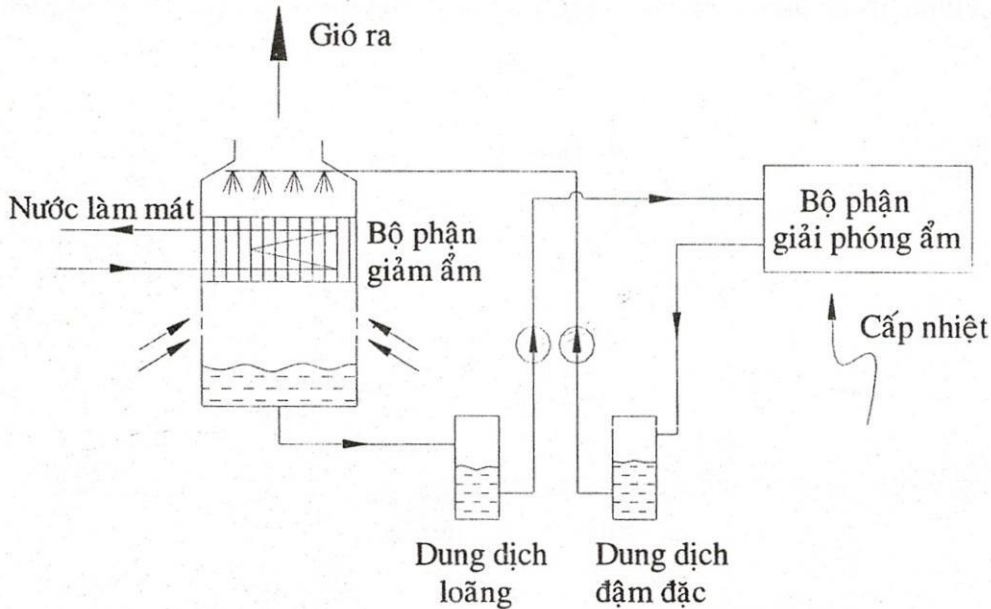
Hình 1. Cơ cấu làm lạnh bay hơi loại gián tiếp

có thể dùng năng lượng mặt trời để cấp nhiệt cho quá trình giải phóng ẩm. Hình 2.a và 2.b trình bày các phương án sử dụng năng lượng mặt trời để giải phóng ẩm ra khỏi dung dịch, trong đó sơ đồ ở hình 2.b được xem là thích hợp hơn.



Hình 2. Các phương án sử dụng năng lượng mặt trời để giải phóng ẩm  
a- Không khí nóng      b- Nước nóng

Hình 3 trình bày toàn bộ cơ cấu tách ẩm bao gồm bộ phận giảm ẩm và bộ phận giải phóng ẩm.



Hình 3. Cơ cấu tách ẩm bằng chất hút ẩm lỏng

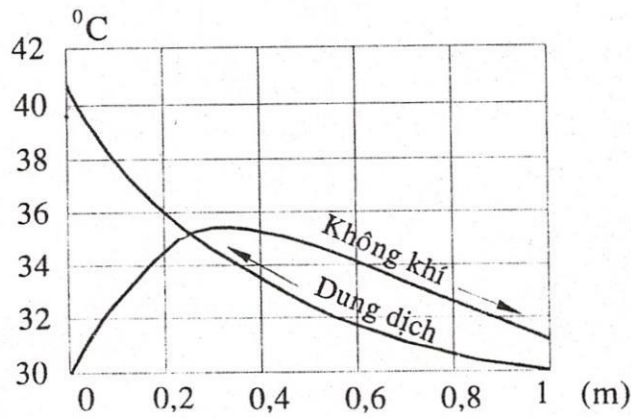
Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm [2] cho thấy, dung dịch  $H_2O/LiBr$  hoàn toàn có thể đáp ứng các yêu cầu về tách ẩm trong điều kiện của Việt Nam. Trên cơ sở mô hình toán học đã nêu ở mục 2, một số thí nghiệm tính toán đã được thực hiện trên máy tính. Bảng 1 dưới đây trình bày các số liệu về độ sụt giảm độ chứa hơi  $\Delta d$  (g hơi nước / kg không khí khô) của không khí khi đi qua bộ phận giảm ẩm mô tả ở hình 3.

**Bảng 1**

*Độ sụt giảm độ chứa hơi của không khí khi đi qua bộ phận giảm ẩm làm việc với dung dịch  $H_2O/LiBr$*

Nhiệt độ dung dịch, °C	25	30	35	40	45	50	55
$\Delta d$ , g / kg	18	17,2	16,8	15,2	13,8	12	9,7

Các kết quả tính toán cho thấy, đối với dung dịch  $H_2O/LiBr$ , khi đi qua bộ phận giảm ẩm thì nhiệt độ dung dịch có thể tăng thêm đến  $10^\circ C$ , trong khi đó nhiệt độ không khí gia tăng không đáng kể, nói chung không nhiều hơn  $2^\circ C$ . Hình 4 trình bày đồ thị biểu diễn sự biến đổi nhiệt độ của dung dịch và của không khí khi đi qua bộ phận giảm ẩm ở dạng tháp, trong trường hợp này chiều cao của tháp là 1 m. Để đảm bảo nhiệt độ dung dịch được giữ ổn định khi đi vào tháp và để đảm bảo hiệu quả của quá trình làm giảm ẩm, cần phải tiến hành các biện pháp giải nhiệt cho dung dịch. Do ảnh hưởng của quá trình giải phóng ẩm trước đó, nhiệt độ dung dịch đi vào bộ phận



Hình 4. Sự biến đổi nhiệt độ của dung dịch và của không khí khi đi qua bộ phận giảm ẩm dạng tháp.

giảm ẩm hơi cao hơn so với giá trị cân bằng với môi trường. Trong điều kiện của thành phố Hồ Chí Minh, giá trị đó vào khoảng gần  $35^{\circ}\text{C}$ .

So với yêu cầu sụt giảm độ chứa hơi đã nêu ở trên, từ các số liệu ở bảng 1, ta thấy nếu nhiệt độ dung dịch  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$  đi vào tháp khoảng  $35^{\circ}\text{C}$  thì hoàn toàn có thể thỏa mãn yêu cầu. Trong trường hợp này, nồng độ dung dịch  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$  được chọn là 60 %.

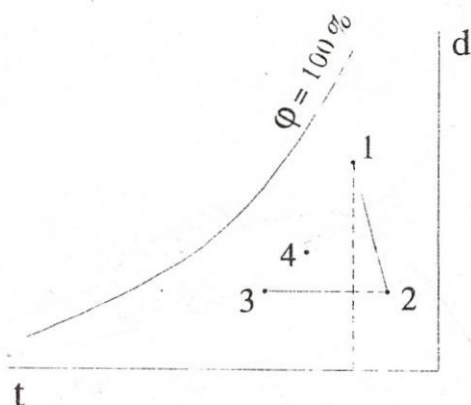
Các nghiên cứu về khả năng cấp nước nóng bằng năng lượng mặt trời [1] cho thấy, trong điều kiện của t/p Hồ Chí Minh, công suất bình quân của  $1\text{m}^2$  collector vào khoảng 0,375 kW. Điều này khẳng định có thể sử dụng năng lượng mặt trời để cấp nhiệt cho quá trình giải phóng ẩm. Để đảm bảo hiệu quả của quá trình diễn ra ở bộ phận giảm ẩm, cần lưu ý tỉ số L/G, có nghĩa là tỉ số giữa lưu lượng dung dịch lỏng và lưu lượng không khí đi qua bộ phận giảm ẩm. Bảng 2 trình bày một vài số liệu thí nghiệm tính toán về ảnh hưởng của tỉ số L/G đến độ sụt giảm độ chứa hơi  $\Delta d$  của không khí khi đi qua tháp (nồng độ và nhiệt độ của dung dịch  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$  lần lượt là 60 % và  $30^{\circ}\text{C}$ ).

**Bảng 2**

Tỉ số L/G	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75
$\Delta d, \text{g / kg}$	12	13,8	15,4	16,2	16,8	17	17,1	17,2	17,2	17,2

Từ kết quả của bảng 2, ta thấy không nên tăng tỉ số L/G vượt quá 2,25 vì điều đó không giúp ích gì cho việc gia tăng độ sụt giảm độ chứa hơi của dòng không khí làm việc.

Như đã nói ở trên, đối với cơ cấu làm lạnh bay hơi loại gián tiếp, nhiệt lượng mà dòng không khí làm việc – hay dòng không khí sơ cấp – nhả ra chỉ bao gồm nhiệt hiện. Hình 5 trình bày đồ thị t-d của quá trình biến đổi trạng thái của không khí khi đi qua bộ phận giảm ẩm (quá trình 1-2), và quá trình biến đổi trạng thái của không khí khi đi qua cơ cấu làm lạnh bay hơi loại gián tiếp (quá trình 2-3). Để lấy đi phụ tải nhiệt ẩn và nhiệt hiện của không gian cần điều hòa, nhiệt độ và độ chứa hơi của điểm 3 phải nhỏ hơn nhiệt độ và độ chứa hơi của điểm 4, trong đó điểm 4 biểu diễn trạng thái của không khí trong không gian cần điều hòa.



Hình 5. Biến đổi trạng thái của không khí ẩm

Các nghiên cứu chỉ ra rằng, giá trị  $t_3$  không thể nào nhỏ hơn nhiệt độ nhiệt kế ướt ứng với không khí ở trạng thái 4, có nghĩa là không thể nhỏ hơn  $19^\circ\text{C}$ . Trong khi đó, từ các số liệu ở bảng 1, giá trị nhỏ nhất của  $d_3$  là  $8,7 \text{ g/kg}$  không khí khô.

Trên cơ sở các số liệu đã nêu, ta có thể xác định được vùng biến đổi trạng thái của điểm 3, tức là trạng thái không khí cần được xử lý trước khi cấp vào không gian cần điều hòa. Như vậy, nhiệt độ của điểm 3 biến đổi trong khoảng từ  $19^\circ\text{C}$  đến  $25^\circ\text{C}$ , còn độ chứa hơi của điểm 3 biến đổi trong khoảng từ  $8,7 \text{ g/kg}$  đến  $12 \text{ g/kg}$ . Ứng với trạng thái tối hạn  $19^\circ\text{C}$  và  $8,7 \text{ g/kg}$ , năng suất đơn vị để giải phóng phụ tải nhiệt trong không gian cần điều hòa là  $13,5 \text{ kJ/kg}$  không khí khô và hệ số RSHF tương ứng là 0,45.

#### 4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở những kết quả đã nêu ở trên, có thể kết luận rằng việc ứng dụng cơ cấu làm lạnh bay hơi và tách ẩm bằng chất hút ẩm trong điều kiện của Việt Nam là hoàn toàn có tính khả thi. Việc áp dụng hệ thống này để điều hòa không khí cho những không gian có phụ tải lớn, có nhiều người, có yêu cầu cao về lượng gió tươi và có hệ số RSHF nhỏ sẽ mang lại những lợi ích về mặt môi trường và tiết kiệm điện năng. Khi thiết kế hệ thống cần lưu ý những số liệu đã được xác định và trình bày trong mục 3. Cơ cấu làm lạnh bay hơi và tách ẩm bằng chất hút ẩm ứng dụng trong điều kiện Việt Nam nên có các đặc điểm sau :

- Chất hút ẩm lỏng được dùng là dung dịch  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$  với tỉ số L/G nên trong khoảng từ 1,75 đến 2.
- Giải phóng ẩm bằng nước nóng mặt trời với nhiệt độ trung bình khoảng  $60^\circ\text{C}$ , công suất cấp nhiệt trung bình của collector vào khoảng  $0,375 \text{ kW/m}^2\text{collector}$ .
- Cơ cấu làm lạnh bay hơi thuộc loại gián tiếp, trong đó không khí hồi được sử dụng một phần làm không khí thứ cấp, một phần làm không khí hòa trộn với không khí tươi.

## STUDY ON THE APPLICATION OF EVAPORATIVE COOLING AND DESICCANT SYSTEMS IN CONDITIONS OF VIETNAM

Le Chi Hiep

University of Technology – Vietnam National University HoChiMinh City

(Received 06 February 2002, Revised 01 April 2002)

**ABSTRACT:** Due to the current trend of energy saving and environmental protection, there have been changes in air conditioning engineering design. Among them, evaporative cooling and desiccant systems applied in large and crowded spaces such as theatres, conference rooms and supermarkets, building,... are considered as the main solution used to replace the vapour compression systems which require higher energy consumption. The article presents the simulation of processes taking place in evaporative cooling and desiccant systems, based on the simulation of some main properties that have been determined in the conditions of Vietnam.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Chí Hiệp – *Một số kết quả thử nghiệm hệ thống cấp nước nóng bằng năng lượng mặt trời theo kiểu không truyền thống* – Tạp chí Phát triển Khoa học Công nghệ, ĐHQG HCM, Vol.2, 1999, Số 4 & 5, trang 63 – 69.
- [2] Lazzarin R.H., Gasparella A., Longo G.A. – *Chemical Dehumidification By Liquid Desiccants : Theory and Experiment* – International Journal of Refrigeration, 22 (1999), pp. 334 – 347.
- [3] Adnan A. Kinsara, Omar M. Al-Rabghi, Moustafa M. Elsayed – *Parametric Study of An Energy Efficient Air Conditioning System Using Liquid Desiccant* – Applied Thermal Engineering, Vol. 18, N.5, pp. 327 – 335, 1997.
- [4] Bucklin R.A., Henley R.W., McConnell D.B. – *Fan and Pad Greenhouse Evaporative Cooling Systems* – University of Florida, December 1993.