

XÂY DỰNG MÔ-ĐUN PHẦN MỀM TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ CỦA KHÔNG KHÍ ẨM VÀ CÁC ỨNG DỤNG

BUILDING SOFTWARE MODULE TO DETERMINE PARAMETERS OF MOIST AIR AND ITS APPLICATIONS

Thái Ngọc Sơn

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; thaingocson@gmail.com

Tóm tắt - Không khí ẩm là môi chất rất phổ biến trong ngành Kỹ thuật Nhiệt. Để tính toán các thông số của không khí ẩm, ta có thể sử dụng các công thức giải tích hoặc sử dụng đồ thị I-d. Hiện tại, việc sử dụng máy tính để giải các bài toán rất phổ biến; việc xây dựng mô-đun phần mềm có thể tính toán các thông số vật lý, thông số trạng thái nhiệt động của các môi chất khác nhau là rất cần thiết, đặc biệt trong các bài toán nhiệt rất thường xuyên phải sử dụng phương pháp tính lặp. Bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô-đun phần mềm xác định các thông số của không khí ẩm, ứng dụng để xây dựng đồ thị I-d và giải một số bài toán chuyên ngành, cụ thể liên quan đến bài toán dùng nước ngầm làm mát chuồng trại.

Từ khóa - không khí ẩm; phương pháp lặp; nước ngầm; làm mát chuồng trại; mô-đun phần mềm; đồ thị I-d.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay việc sử dụng máy tính để giải các bài toán kỹ thuật rất phổ biến. Việc tính toán trong ngành Kỹ thuật Nhiệt thường gắn liền với việc tra cứu các tính chất nhiệt vật lý, thông số trạng thái của môi chất. Ngoài ra, trong kỹ thuật tính toán thường hay sử dụng phương pháp lặp, khiến cho công việc thêm nặng nề. Không khí ẩm là môi chất rất phổ biến trong ngành Kỹ thuật Nhiệt. Việc dạy và học, cũng như thực tế sản xuất đòi hỏi phải xây dựng phần mềm để tính toán các thông số của không khí ẩm.

Có khá nhiều phần mềm để tính toán thông số của không khí ẩm của nước ngoài, nhưng phần lớn đều là những phần mềm có bản quyền; việc trích xuất dữ liệu để đưa vào tính toán chu trình theo ý người sử dụng rất khó khăn. Việc xây dựng đồ thị theo ý người dùng lại càng khó khăn hơn nữa.

Giảng viên và sinh viên Khoa Công nghệ Nhiệt – Điện lạnh, Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng đã tiến hành xây dựng hệ thống tính toán các thông số nhiệt vật lý của các môi chất phổ biến phục vụ giảng dạy, học tập và sản xuất, cụ thể đã xây dựng thành công các mô-đun phần mềm như Water_IF97 để xác định các thông số nhiệt động và vật lý của nước và hơi nước [1, 2]; mô-đun phần mềm Gaspro dùng để xác định các tính chất nhiệt vật lý của khối, không khí khô, các khí đơn chất. Việc xây dựng mô-đun phần mềm xác định thông số của không khí ẩm cũng nằm trong hệ thống hoạt động nói trên.

Bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô-đun phần mềm xác định thông số của không khí ẩm; ứng dụng để xây dựng đồ thị I-d và cụ thể giải bài toán khi phun nước ngầm để làm mát chuồng trại.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

2.1. Xây dựng mô-đun phần mềm xác định thông số của không khí ẩm

Abstract - Moist air is a widely used working fluid in thermal engineering. To calculate the parameters of moist air, we can use analytical formulas or I-d graph. Currently, the use of computers to solve technical problems is very common; building a software module that can calculate the physical parameters and thermodynamic state parameters of different refrigerants is very necessary, especially in thermal problems which normally require the use of iterative methods. This article presents the method of building a software module to determine the parameters of moist air, its application to construct the I-d graph, and solves some specific problems related to the problem of using ground water for cooling animal sheds.

Key words - moist air; iterative methods; ground water; cooling animal sheds; software module; I-d graph.

2.1.1. Cơ sở lý thuyết tính toán thông số của không khí ẩm

Tính toán thông số của không khí ẩm liên quan đến áp suất bão hòa của hơi nước tại nhiệt độ của không khí ẩm. Giá trị này có thể xác định theo công thức Antoine [3]:

$$P_b = \exp \left(12 - \frac{4026,42}{235,5 + t} \right) \quad (1)$$

Công thức Antoine có sai số cực đại nhỏ hơn 1% so với bảng thông số nhiệt động của nước và hơi nước [2]; trong tính toán kỹ thuật, giảng dạy và học tập có thể chấp nhận được.

Các thông số cơ bản của không khí ẩm bao gồm nhiệt độ t , độ ẩm tương đối ϕ , độ chứa hơi (ẩm dung) d , enthalpy I . Trạng thái của không khí ẩm được xác định khi biết 2 trong 4 thông số nói trên. Mối quan hệ giữa chúng được thể hiện qua các công thức dưới đây:

Độ chứa hơi d [kg hơi/kg KKK] xác định theo công thức:

$$d = 0,622 \frac{\phi p_b}{B - \phi p_b} \quad (2)$$

trong đó:

P_b : Áp suất bão hòa của hơi nước tại nhiệt độ của không khí ẩm. P_a , xác định theo (1).

B : Áp suất khí quyển, P_a . Giá trị áp suất khí quyển khác nhau đối với các vùng trên thế giới, trong mô-đun lấy $B=10^5$ Pa.

Enthalpy của không khí ẩm I [kJ/kg KKK] được xác định theo công thức:

$$I = t + d(2500 + 1,83t) \quad (3)$$

Đối với nhiều bài toán kỹ thuật, thông thường cho trước nhiệt độ t và độ ẩm tương đối ϕ của không khí ẩm. Từ (1) nhận thấy áp suất bão hòa của hơi nước p_b là hàm số theo nhiệt độ t , nên độ chứa hơi d theo (2) là hàm số

$d = f_1(t, \varphi)$; Enthalpy của không khí ẩm theo (3) $I = f_2(t, d) = f_2[t, f_1(t, \varphi)]$ nên cũng xác định khi biết t, φ .

Khi cho trước các cặp thông số khác, có những trường hợp ta có thể biến đổi từ các phương trình (1) - (3) đã cho trên đây như sau:

$$d = f_3(t, I) = \frac{I - t}{2500 + 1,83t} \tag{4}$$

$$t = f_4(I, d) = \frac{I - 2500d}{1 + 1,83d} \tag{5}$$

$$\varphi = f_5(t, d) = \frac{dB}{p_b(0,622 + d)} \tag{6}$$

$$t = f_6(d, \varphi) = \frac{4026,42}{12 - \ln \left[\frac{dB}{\varphi(0,622 + d)} \right]} - 235,5 \tag{7}$$

Vậy khi cho trước 1 cặp thông số bất kỳ của không khí ẩm, ta có thể tính các thông số còn lại như trong Bảng 1

Bảng 1. Hàm số xác định các thông số của không khí ẩm

Thông số cần tìm	Cặp thông số cho trước	
	t, φ	t, d
t	-	-
φ	-	$f_5(t, d)$
d	$f_1(t, \varphi)$	-
I	$f_2(t, d) = f_2[t, f_1(t, \varphi)]$	$f_2(t, d)$
Thông số cần tìm	Cặp thông số cho trước	
	t, I	I, d
t	-	$f_4(I, d)$
φ	$f_5(t, d) = f_5[t, f_3(t, I)]$	$f_5(t, d) = f_5[f_4(I, d), d]$
d	$f_3(t, I)$	-
I	-	-
Thông số cần tìm	Cặp thông số cho trước	
	d, φ	I, φ
t	$f_6(d, \varphi)$	$f_6(d, \varphi) = f_6[f_3(t, I), \varphi]$
φ	-	-
d	-	$f_3(t, I)$
I	$f_2(t, d) = f_2[f_6(d, \varphi), d]$	-

Trong 5 trường hợp đầu tiên, khi cho trước các cặp thông số (t, φ) , (t, d) , (t, I) , (I, d) , (d, φ) , chỉ cần thay vào hàm số đơn là sẽ tính ra được thông số thứ 3. Sau đó, thay thông số mới tính được vào hàm hợp còn lại trong cột, ta sẽ có được thông số thứ 4. Trường hợp cuối cùng, khi cho trước cặp thông số (I, φ) , cần giải hệ phương trình liên quan đến cả 2 ẩn số t, d . Vấn đề này được giải quyết bằng cách lập trình theo phương pháp lặp với sai số tương đối là 10^{-5} . Phần mềm được xây dựng trong phạm vi nhiệt độ $-10 \leq t \leq 400^\circ\text{C}$; độ ẩm tương đối $0 \leq \varphi \leq 1$, tất cả các thông số đầu vào đều được kiểm tra tính tương thích với phạm vi tính toán của phần mềm.

2.1.2. Xây dựng mô-đun phần mềm

Excel là công cụ tin học mạnh và rất phổ biến không chỉ trong các lĩnh vực văn phòng, mà trong kỹ thuật cũng

rất thường được sử dụng để giải các bài toán. Nó thuận tiện trong việc tính toán, kể cả tính toán theo vòng lặp và chọn lựa các điều kiện; có thể dễ dàng trình bày các công thức, bảng biểu. Ngoài ra có thể dùng Visual basic for application (VBA) để xử lý nhiều vấn đề phức tạp về mặt kỹ thuật lập trình. Do vậy, mô-đun phần mềm được tác giả viết bằng ngôn ngữ VBA; file thu được lưu giữ dưới dạng 1 add-in của Excel và dưới dạng file.bas của Visual Basic, do vậy có thể tích hợp vào Excel và các phần mềm người dùng khác.

Mô-đun gồm các hàm xác định thông số của không khí ẩm, được xây dựng theo các công thức đã nêu trong Mục 2.1.1.

Để thống nhất cách sử dụng với các mô-đun xác định thông số của các môi chất phổ biến của các giảng viên Khoa Công nghệ Nhiệt – Điện lạnh như đã nêu trong phần đặt vấn đề, tác giả quy ước đặt tên các hàm trong mô-đun với cú pháp là KKA_ThôngSốCầnTìm_TimTheoĐốiSố (ĐốiSố1, ĐốiSố2)

Bảng 2. Danh mục các hàm cơ bản trong mô-đun KKA

Cú pháp / Nhiệm vụ của hàm	Đối số X	Đối số Y
KKA_d_XY(X,Y), [kg hơi/kg KKK] <i>Xác định độ chứa hơi d theo X, Y</i>	t, [°C]	φ , [-]
	φ , [-]	t, [°C]
	t, [°C]	I, [kJ/kg KKK]
	I, [kJ/kg KKK]	t, [°C]
	I, [kJ/kg KKK]	φ , [-]
	φ , [-]	I, [kJ/kg KKK]
KKA_I_XY(X,Y), [kJ/kg KKK] <i>Xác định enthalpy I theo X, Y</i>	t, [°C]	φ , [-]
	φ , [-]	t, [°C]
	t, [°C]	d, [kg hơi/kg KKK]
	d, [kg hơi/kg KKK]	t, [°C]
	d, [kg hơi/kg KKK]	φ , [-]
	φ , [-]	d, [kg hơi/kg KKK]
KKA_t_XY(X,Y), [°C] <i>Xác định nhiệt độ t theo X, Y</i>	I, [kJ/kg KKK]	d, [kg hơi/kg KKK]
	d, [kg hơi/kg KKK]	I, [kJ/kg KKK]
	d, [kg hơi/kg KKK]	φ , [-]
	φ , [-]	d, [kg hơi/kg KKK]
	I, [kJ/kg KKK]	φ , [-]
	φ , [-]	I, [kJ/kg KKK]
KKA_Fi_XY(X,Y), [-] <i>Xác định độ ẩm tương đối φ theo X, Y</i>	t, [°C]	d, [kg hơi/kg KKK]
	d, [kg hơi/kg KKK]	t, [°C]
	t, [°C]	I, [kJ/kg KKK]
	I, [kJ/kg KKK]	t, [°C]
	I, [kJ/kg KKK]	d, [kg hơi/kg KKK]
	d, [kg hơi/kg KKK]	I, [kJ/kg KKK]

Ví dụ, để xác định enthalpy I (*Thông Số Cần Tìm*) theo nhiệt độ t (*Đối Số 1*) và độ ẩm tương đối φ (*Đối Số 2*), có thể dùng hàm **KKA_I_tFi(t, Fi)**. Ngoài ra, để tiện việc sử dụng, tác giả cũng bổ sung thêm hàm theo thứ tự nhập đối

số ngược lại, ví dụ để xác định enthalpy I theo nhiệt độ t và độ ẩm tương đối φ có thể dùng hàm **KKA_I_Fit(Fi, t)**. Danh mục các hàm tác giả viết được liệt kê trong Bảng 2.

Mô-đun được đưa vào trong môi trường Excel để kiểm tra tính chính xác. Số liệu để so sánh là các bài toán về không khí ẩm trong các sách giáo trình, bài tập [4, 5, 6, 9, 10], trong đó, thông số trạng thái phần lớn được xác định theo đồ thị. Kết quả cho thấy sai số lớn nhất giữa mô-đun và tài liệu nhỏ hơn 5%.

Tác giả cũng so sánh kết quả sử dụng mô-đun với phần mềm hoạt động trực tuyến [7] của Công ty Remak chuyên về hệ thống điều hòa không khí của Cộng hòa Czech. Kết quả kiểm tra cho thấy rằng sai số trung bình là 1,3%; sai số lớn nhất là 2,86%. Các sai số trên là do các hằng số trong các công thức (1) - (7) có sai lệch nhất định. Tuy nhiên, sai số đó hoàn toàn chấp nhận được trong các bài toán kỹ thuật nhiệt.

2.2. Ứng dụng mô-đun phần mềm để giải các bài toán chuyên ngành

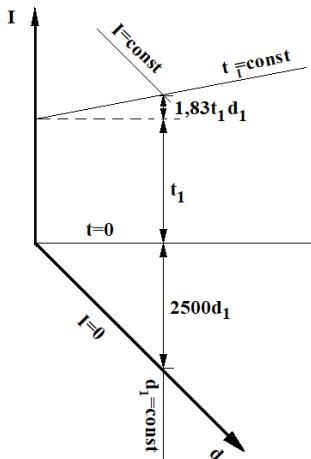
2.2.1. Xây dựng đồ thị I-d của không khí ẩm

Đồ thị I-d trong các tài liệu tham khảo, giáo trình là công cụ đặc lực cho sinh viên, kỹ sư khi tính toán về không khí ẩm. Tuy nhiên, đồ thị này thường được in với kích cỡ nhỏ, do vậy khi tra cứu gặp phải nhiều khó khăn, sai số lớn. Mô-đun không khí ẩm đã viết có thể được cài đặt vào Excel, do vậy có thể xuất số liệu ra các trang tính. Tuy nhiên, các trục tọa độ của đồ thị I-d không phải là hệ tọa độ vuông góc, nghĩa là tung độ để vẽ đồ thị trong công cụ Excel không phải là giá trị I đã tính toán mà cần biến đổi thành các tung độ phù hợp. Ta có thể chuyển đổi giá trị enthalpy I đã tính toán thành tung độ để vẽ đồ thị như sau: Từ (3), ta có enthalpy của điểm 1 nằm trên đường đẳng nhiệt t_1 xác định theo công thức:

$$I_1 = 2500d_1 + t_1 + 1,83t_1d_1 \quad (8)$$

Giá trị enthalpy đó được chia làm 3 phần (Hình 1). Vậy nếu xem đường $t=0$ trùng với trục hoành thì tọa độ dùng để vẽ đồ thị của điểm 1 là

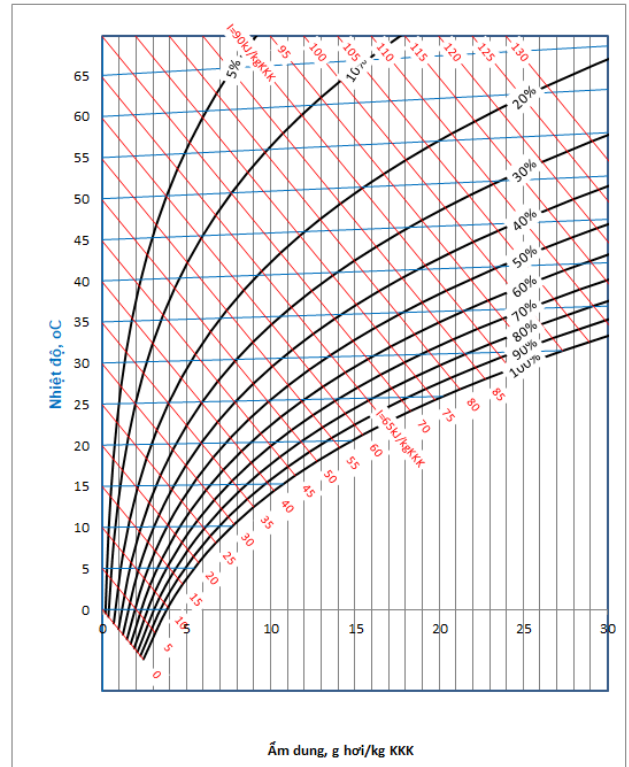
$$\begin{cases} x_1 = d_1 \\ y_1 = I_1 - 2500d_1 = t_1 + 1,83t_1d_1 \end{cases} \quad (9)$$



Hình 1. Phân tích các thành phần enthalpy của không khí ẩm

Dùng mô-đun đã xây dựng, lần lượt tính các điểm trên

đường $\varphi=\text{const}$, $t=\text{const}$, $I=\text{const}$; biến đổi qua tọa độ để vẽ đồ thị theo (9); dùng công cụ Charts trong Excel, ta có thể xây dựng được đồ thị như Hình 2.



Hình 2. Đồ thị I-d

Tùy theo nhu cầu người sử dụng, có thể đặt các kích thước hiển thị đồ thị, độ lớn 2 trục, vị trí nhãn các đường đẳng trị.... Ngoài ra, người sử dụng có thể cho tọa độ các điểm liên tiếp của một quá trình của không khí ẩm, mô-đun sẽ hiển thị quá trình đó trên đồ thị. Giao diện sử dụng thể hiện trong Hình 3.

2.2.2. Ứng dụng mô-đun để giải bài toán chuyên ngành

ĐIỀU CHỈNH ĐỒ THỊ		
Chiều cao đồ thị, pix		500
Chiều rộng đồ thị, pix		400
Trục hoành: d, g hơi/kg KKK	Min	0
	Max	30
	Bước lớn	5
	Bước nhỏ	1
Trục tung: Hiển thị nhiệt độ, °C	Min	-10
	Max	70
Bước đường đẳng nhiệt	°C	5
Bước đường đẳng enthalpy	kJ/kgKKK	5
Điều chỉnh vị trí label		
đường đẳng enthalpy		-2
đường $\varphi=\text{const}$	Label 1	-5
	Label 2	-4

Hình 3. Giao diện mô-đun

a. Bài toán: Cho không khí và nước trao đổi nhiệt – khối trong thiết bị trao đổi nhiệt hỗn hợp ngược chiều. Biết không

khí có lưu lượng vào thiết bị là 35,1 kgKKK/s; nhiệt độ là 34,5°C, $\varphi = 55\%$. Nước ngầm vào thiết bị có nhiệt độ 24°C. Xác định: lưu lượng nước để không khí ẩm ra khỏi thiết bị có độ ẩm 85%; nhiệt độ của không khí ẩm ra khỏi thiết bị.

b. Giải: Đây là bài toán cần giải khi nghiên cứu triển khai sử dụng nước ngầm để làm mát chuồng trại. Độ ẩm của không khí ra khỏi thiết bị bị khống chế theo điều kiện chăn nuôi. Lưu lượng không khí vào thiết bị chính là lưu lượng không khí tươi cần thiết để cung cấp cho chuồng trại. Nhiệt độ đầu vào của nước ngầm là nhiệt độ khảo sát tại địa phương.

Giả thiết nhiệt độ nước ra khỏi thiết bị là t''_n . Nhiệt độ t''_n bị giới hạn bởi nhiệt độ nhiệt kế ướt, phụ thuộc vào các thông số của không khí ẩm. Giả sử ta chia buồng phun thành n cấp, biến thiên enthalpy của không khí ẩm trong các cấp đều bằng nhau (Hình 4).

Phương trình cân bằng nhiệt cho toàn bộ thiết bị:

$$G_k I' + G_n C_n t'_n = G_k I'' + (G_n + \Delta W) C_n t''_n \tag{10}$$

$$I' - I'' = \frac{(G_n + \Delta W) C_n t''_n - G_n C_n t'_n}{G_k} \tag{11}$$

trong đó, C_n : nhiệt dung riêng của nước, kJ/kgK;

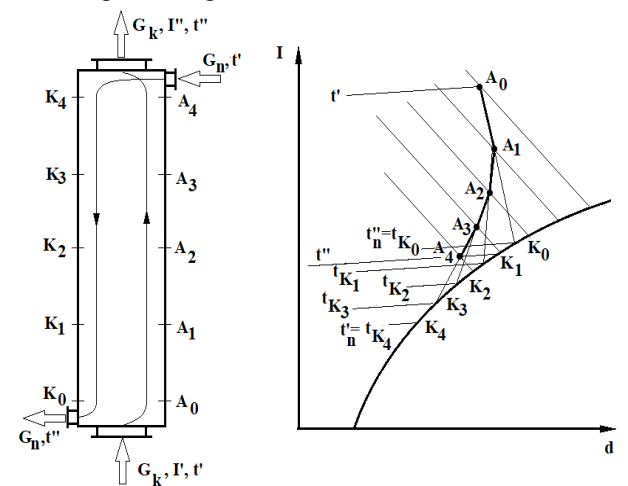
ΔW : lượng nước bay hơi vào không khí hoặc ngưng tụ từ không khí, kg/s. Trong các bài toán thực tế thường xem $\Delta W=0$ [10].

I' , I'' : enthalpy của không khí ẩm khi vào và ra khỏi thiết bị, kJ/kg KKK.

Biến thiên enthalpy trong mỗi cấp:

$$\Delta I = \frac{I' - I''}{n} \tag{12}$$

trong đó, n là số cấp tự chọn để tính toán; n càng lớn thì kết quả càng chính xác. Tuy nhiên, với mức độ yêu cầu chính xác của bài toán kỹ thuật nhiệt, ta chỉ cần chọn số cấp khoảng từ 5 đến 20 khi độ chênh nhiệt độ giữa đầu vào và ra của không khí trong thiết bị từ 5 đến 100°C.



Hình 4. Tính biến thiên nhiệt độ trong sơ đồ ngược chiều
Enthalpy của không khí ẩm tại các tiết diện 0, 1, ..., n :

$$\begin{aligned} I' &= I_{A0} \\ I_{A1} &= I_{A0} - \Delta I \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \tag{13}$$

$$I_{An} = I_{An-1} - \Delta I = I''$$

Nhiệt độ của nước tại tiết diện 0:

$$t_{K0} = t''_n \tag{14}$$

Nhiệt độ của nước t_{K1} tại tiết diện 1 được xác định dựa trên phương trình cân bằng nhiệt cho đoạn 0-1 của thiết bị trao đổi nhiệt như sau:

$$G_k I_{A0} + G_n C_n t_{K1} = G_k I_{A1} + G_n C_n t_{K0} \tag{15}$$

từ đó

$$t_{K1} = t_{K0} - \frac{G_k}{G_n C_n} (I_{A0} - I_{A1}) = t_{K0} - \frac{G_k}{G_n C_n} \Delta I \tag{16}$$

Đặt

$$\Delta t_n \triangleq \frac{G_k}{G_n C_n} \Delta I \tag{17}$$

$$\Rightarrow t_{K1} = t_{K0} - \Delta t_n \tag{18}$$

Tương tự

$$t_{K2} = t_{K1} - \Delta t_n \tag{19}$$

$$t_{Kn} = t_{Kn-1} - \Delta t_n = t'_n \tag{20}$$

Không khí ẩm vào đoạn 0-1 (Điểm A_0) sẽ hòa trộn với không khí ẩm ở trạng thái bão hòa tại bề mặt sát mặt nước ở nhiệt độ t_{K0} (Điểm K_0). Điểm A_1 là giao của đường $A_0 K_0$ và đường I_{A1} . Đây chính là điểm xác định trạng thái của không khí ẩm ra khỏi đoạn 0-1 và vào đoạn 1-2.

Tương tự ta xác định được tất cả các điểm còn lại.

Bảng 5. Tính toán biến thiên thông số của không khí ẩm trong sơ đồ ngược chiều

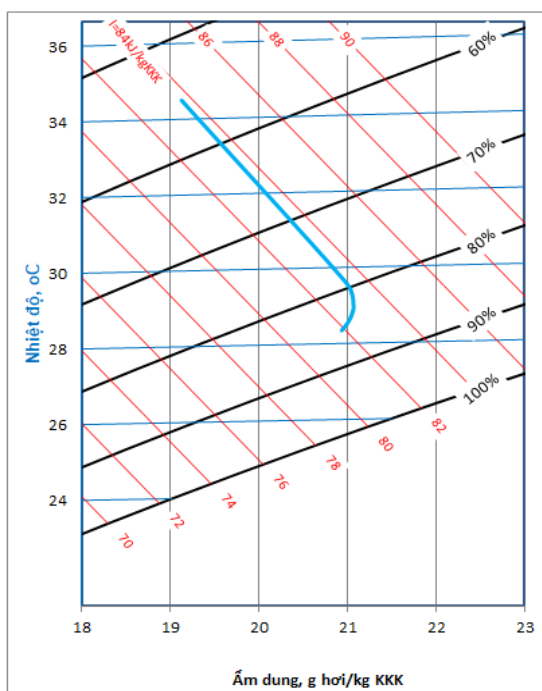
Diễn giải	Tiết diện					
Tiết diện	0	1	2	3	4	5
Điểm	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Nhiệt độ KKA t_k'	34,5	29,6	29	28,7	28,5	28,3
Enthalpy KKA I_k'	83,7	83,3	83,0	82,6	82,2	81,9
Ẩm dung KKA I_k'	19,1	21,0	21,1	21,1	21,0	20,9
Độ ẩm tương đối KKA φ_k'	0,55	0,79	0,82	0,83	0,84	0,85
Điểm	K0	K1	K2	K3	K4	K5
Nhiệt độ nước t_n''	26,5	26	25,5	25	24,5	24,0
Enthalpy KKA bão hòa I_n''	83,1	80,9	78,7	76,6	74,5	
Ẩm dung KKA bão hòa d_n''	22,2	21,5	20,9	20,2	19,6	
Tính: Điểm	A1	A2	A3	A4	A5	
Ẩm dung điểm hòa trộn d_k''	21,0	21,1	21,1	21,0	20,9	
Enthalpy KKA I_k''	83,3	83,0	82,6	82,2	81,9	
Nhiệt độ KKA I_k''	29,6	29	28,7	28,5	28,3	
Độ ẩm tương đối KKA φ_k''	0,79	0,82	0,83	0,84	0,85	

Việc tính toán các thông số của không khí ẩm tại các điểm nút được thực hiện theo phương pháp lặp: Chọn lưu

lượng của nước, tính toán thông số của nước và không khí ẩm tại các tiết diện dựa trên các quan hệ (13) - (20) và mô-đun phần mềm; Kiểm tra độ ẩm của không khí ẩm tại đầu ra của thiết bị cho đến khi đạt được 85%. Khi đó lưu lượng của nước là $G_n=6\text{kg/s}$. Không khí ẩm ra khỏi thiết bị với thông số tại điểm A5. Khi đó nhiệt độ của không khí ẩm là $28,3^\circ\text{C}$.

Số liệu tính toán biến thiên thông số của không khí ẩm trong thiết bị trao đổi nhiệt hỗn hợp với sơ đồ ngược chiều biểu thị trong Bảng 5, trong đó đơn vị của nhiệt độ t [$^\circ\text{C}$]; enthalpy I [kJ/kgKKK]; ẩm dung d [g hơi/kgKKK];

Quá trình biến đổi trạng thái của không khí ẩm được thể hiện trên đồ thị I-d như Hình 5.



Hình 5. Biểu diễn quá trình làm mát không khí bằng nước ngầm trong sơ đồ ngược chiều trên đồ thị I-d

Đường quá trình trong đồ thị được xây dựng bằng cách nối các điểm với nhau; điều chỉnh hệ tọa độ hiển thị cho phù hợp với yêu cầu của từng bài toán. Đây chính là điểm mạnh của mô-đun phần mềm này. Nó giúp cho người dùng dễ dàng xây dựng được các quá trình cần thiết trên đồ thị I-

d với tỷ lệ xích mong muốn, làm cho việc phân tích quá trình từ đồ thị trở nên dễ dàng hơn.

3. Kết luận

Tác giả đã xây dựng được mô-đun phần mềm xác định thông số của không khí ẩm với độ chính xác cao, dễ sử dụng, có thể tích hợp vào các chương trình người dùng khác và vào Excel, là công cụ hữu ích phục vụ giảng viên, sinh viên trong giảng dạy và học tập cũng như các kỹ sư khi cần thiết giải các bài toán liên quan đến không khí ẩm.

Tác giả đã xây dựng được đồ thị I-d dựa trên mô-đun phần mềm xác định thông số của không khí ẩm. Người dùng có thể thay đổi linh hoạt tỷ lệ xích của đồ thị, hiển thị các quá trình tính toán, tăng tính chính xác, giảm công sức lao động.

Tác giả đã áp dụng và giải bài toán khá phức tạp, liên quan đến việc sử dụng nước ngầm để làm mát không khí. Đây là cơ sở để tính toán thiết kế xây dựng hệ thống làm mát chuồng trại bằng nguồn nước ngầm trong các ngày hè nóng nực tại miền Trung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thái Ngọc Sơn, *Xây dựng chương trình tính toán các thông số kỹ thuật của nước và hơi nước*, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở, Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, 2010.
- [2] Hoàng Ngọc Đồng, Thái Ngọc Sơn, Nguyễn Quốc Huy, “Xây dựng module xác định thông số nhiệt động của nước và hơi nước”, *Năng lượng nhiệt*, Số 103-1/2012, Hà Nội, 2012, trang 14-16.
- [3] Trần Văn Phú, *Kỹ thuật sấy*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2009.
- [4] Bùi Hải, Dương Đức Hồng, Hà Mạnh Thư, *Thiết bị trao đổi nhiệt*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1999.
- [5] Богословский В.Н. и др, *Кондиционирование воздуха и холодооснабжение*, Москва, Стройиздат, 1985.
- [6] Hoàng Ngọc Đồng, Thái Ngọc Sơn, *Kỹ thuật nhiệt*, NXB Xây dựng, 2015.
- [7] Remak, *Calculation of moist air properties*, <http://www.remak.eu/en/calculation-moist-air-properties> [Truy cập 17/01/2018].
- [8] Phan Tự Hưởng, *Lập trình VBA (Visual Basic For Application) trong Excel*, NXB Thống kê, Hà Nội, 2010.
- [9] Ерофеев В.Л., Семенов П.Д., Пряхин А.С., *Теплотехника*, Москва, Академкнига, 2008.
- [10] Лебедев П. Д., *Теплообменные, сушильные и холодильные установки*, Москва, Энергия, 1972.

(BBT nhận bài: 24/01/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 22/02/2018)