

1. MỤC ĐÍCH

Sinh viên tìm hiểu bằng thực tế một số vấn đề cơ bản về lý thuyết đã học trong môn học Nhiệt động lực học kỹ thuật. Từ đó giúp sinh viên có một khái niệm chung về môn học, hiểu được vai trò và sự áp dụng của nó trong công nghiệp và đời sống.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1 Khái niệm không khí ẩm :

Không khí ẩm là một hỗn hợp của không khí khô và hơi nước. Không khí thông thường dù ít hoặc nhiều đều có chứa một lượng hơi nước và một phần rất nhỏ các khí khác, trong kỹ thuật, không khí ẩm là một chất môi giới được sử dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Cụ thể là kỹ thuật điều khiển bằng khí nén, kỹ thuật thông gió vệ sinh công nghiệp, kỹ thuật điều hòa nhiệt độ...

2.2 Các thông số đặc trưng của không khí ẩm :

Để xác định các trạng thái của không khí ẩm thì ngoài hai thông số áp suất và nhiệt độ, còn có một số thông số khác như :

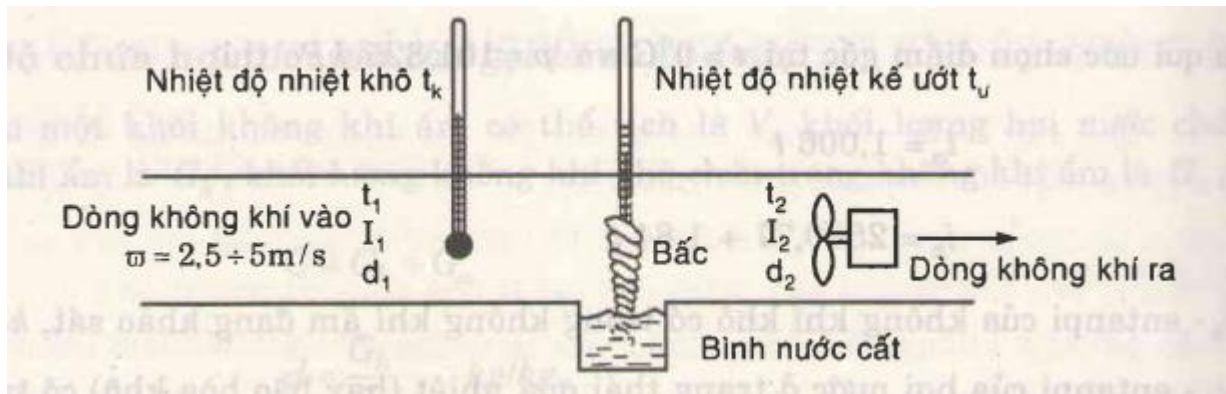
- ✓ Độ ẩm tuyệt đối
- ✓ Độ ẩm tương đối
- ✓ Độ chứa hơi
- ✓ entanpi

2.3 Các phương pháp đo độ ẩm tương đối của không khí ẩm :

Độ ẩm tương đối và độ chứa hơi của không khí ẩm không thể đo trực tiếp được, để xác định thành phần của không khí ẩm thì người ta phải dùng một số phương pháp đo gián tiếp, một trong số đó là phương pháp nhiệt kế ướt.

Trên thực tế, biết độ ẩm tương đối của không khí là rất cần thiết đối với kỹ thuật điều hoà không khí, kỹ thuật sấy, điều tiết không khí... Một phương pháp cơ bản thường được ứng dụng là xác định độ ẩm tương đối theo nhiệt độ nhiệt kế khô và nhiệt độ nhiệt kế ướt.

Khi dòng không khí chưa bão hòa thổi qua bắc được thấm nước, nước trên bắc quanh bầu ướt sẽ bốc hơi, nhiệt lượng được sử dụng để bốc hơi được nhận từ môi trường xung quanh bầu ướt nên nhiệt độ bầu ướt sẽ thấp hơn nhiệt độ môi trường không khí cần đo là nhiệt độ bầu khô. Sự thấp hơn nhiều hay ít phụ thuộc vào khả năng bốc hơi của bắc quanh bầu ướt, tức phụ thuộc vào độ ẩm tương đối của không khí.



Hình 1. Nguyên lý đo nhiệt độ nhiệt kế ướt

Lưu ý rằng, độ lớn hay nhỏ của tốc độ không khí thổi qua bầu ướt có ảnh hưởng nhất định đến tính chính xác khi đọc số đo nhiệt độ nhiệt kế khô. Quá trình nghiên cứu đã chứng minh, khi tốc độ gió trên 2,5 m/s thì số đo nhiệt độ nhiệt kế ổn định và chính xác hơn.

2.4 Các loại không khí ẩm :

Tùy theo trạng thái của hơi nước trong không khí ẩm mà ta có các loại không khí ẩm sau đây :

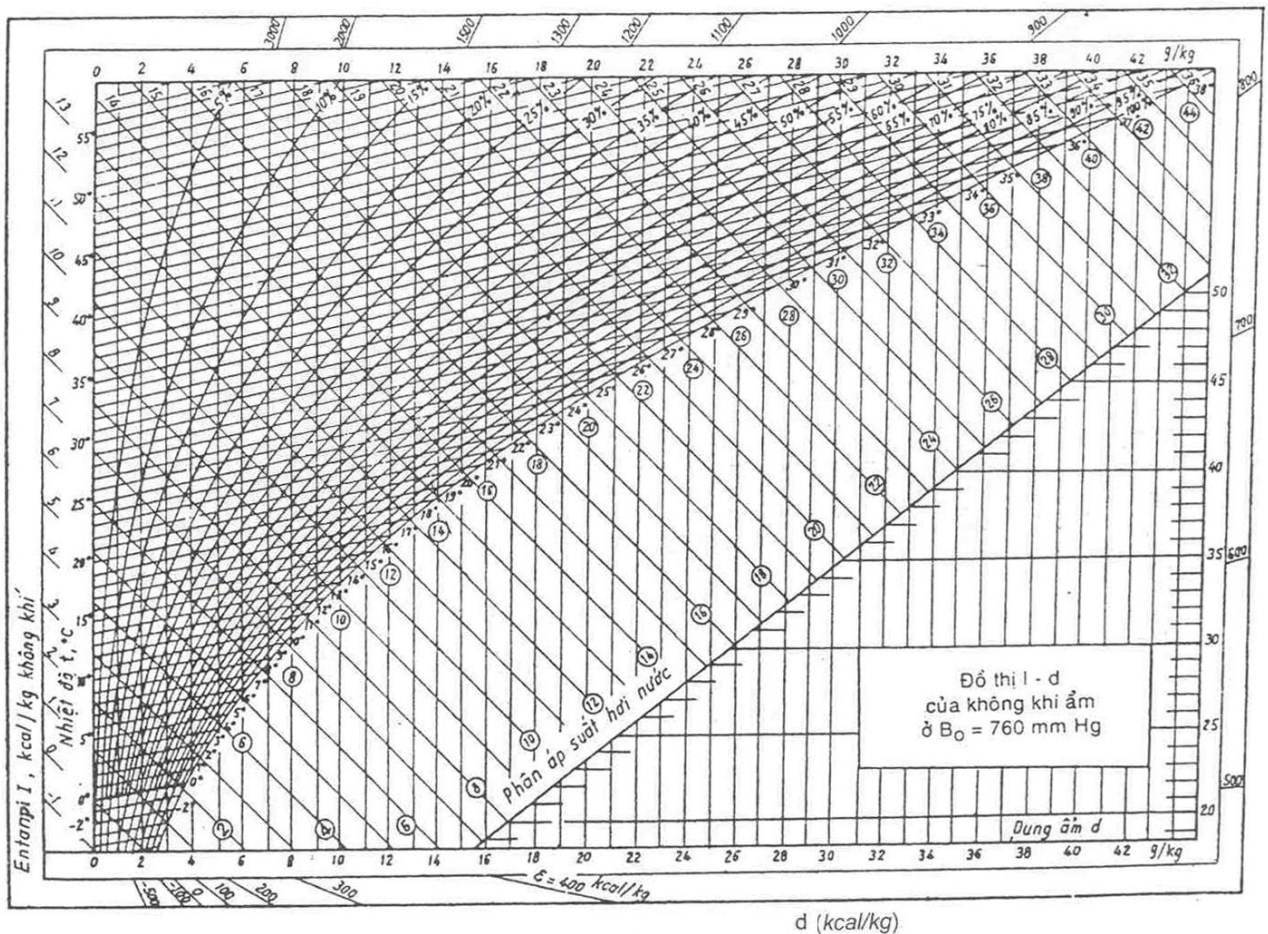
- ✓ Không khí ẩm chưa bão hòa
- ✓ Không khí ẩm bão hòa
- ✓ Không khí ẩm quá bão hòa

2.5 Xác định trạng thái của hỗn hợp không khí ẩm :

Giản đồ không khí ẩm được sử dụng rất phổ biến trong quá trình xác định trạng thái của không khí ẩm để tính toán về điều tiết không khí, điều hòa nhiệt độ, quá trình sấy... Phương pháp đồ thị có ưu điểm là sử dụng dễ dàng, trực quan nhận thấy những đặc tính của không khí ẩm trong quá trình thực hiện. Có hai loại đồ thị thường được sử dụng là t-d và I-d.

Giản đồ I-d : còn được gọi là giản đồ Mollier. Khi biết hai trong năm thông số (biểu thị trên giản đồ là : nhiệt độ, độ ẩm tương đối, áp suất riêng phần của hơi nước, độ chứa hơi, entanpi)

ta có thể xác định được trạng thái không khí ẩm trên đồ thị và đọc được các giá trị thông số còn lại, ngoài ra từ đồ thị cũng xác định được nhiệt độ bầu ướt và nhiệt độ điểm sương.



Hình 2. Giản đồ không khí ẩm I-d

2.6 Các quá trình nhiệt động cơ bản :

Do ảnh hưởng của các tác nhân bên ngoài, trạng thái không khí ẩm sẽ bị thay đổi một phần hoặc toàn bộ các thông số. Sự thay đổi trạng thái không khí ẩm thường gặp qua các quá trình đun nóng, làm lạnh, làm ẩm, trộn hai hỗn hợp có trạng thái khác nhau. Các quá trình biến đổi không khí ẩm này thường được ứng dụng trong kỹ thuật sấy đối lưu, điều tiết không khí, điều hòa nhiệt độ, máy sấy dạn...

Trong bài thí nghiệm này, chúng ta sẽ khảo sát sự thay đổi trạng thái của không khí từ môi trường qua dàn lạnh → gia nhiệt và phun hơi bão hòa/hơi quá nhiệt. Từ đó thể hiện sự thay đổi trạng thái của không khí ẩm qua các số liệu thí nghiệm thực tế lên giản đồ I-d, nhận xét sự sai lệch kết quả từ thí nghiệm với lý thuyết.

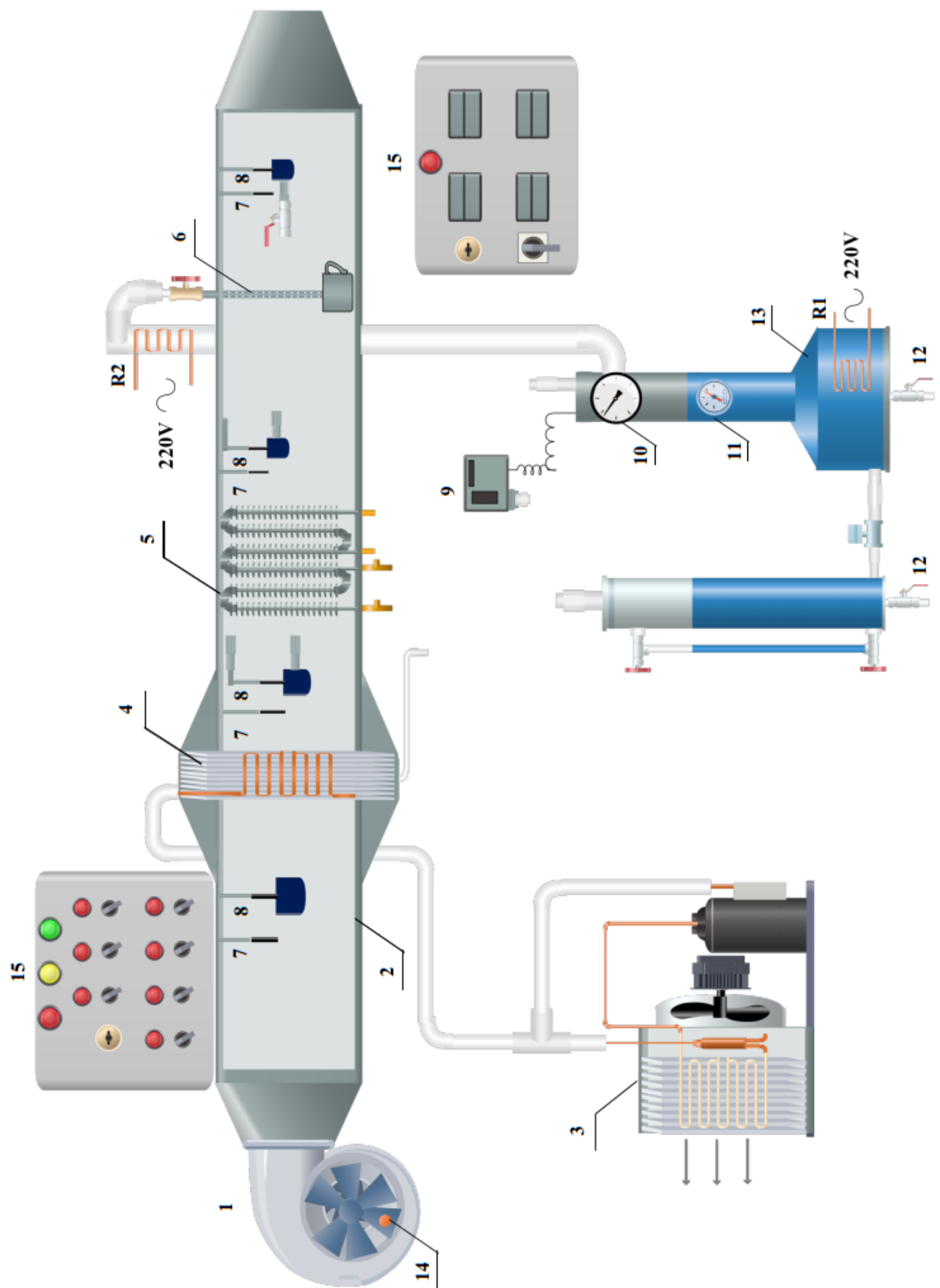
3. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

3.1. Mô hình thí nghiệm :

Sơ đồ nguyên lý của mô hình thí nghiệm được biểu diễn trên **Hình 3**. Mô hình gồm một ống khí động, trong đó không khí được quạt thổi qua từ đầu này đến đầu kia của ống và lần lượt được làm lạnh bằng dàn bay hơi của hệ thống lạnh, sấy nóng bằng điện trở và làm ẩm bằng cách phun hơi nước từ nồi hơi.

3.2. Mô tả sơ đồ :

Không khí nhờ quạt thổi (1) có cửa điều chỉnh lưu lượng thổi qua ống khí động (2), lần lượt được làm lạnh ở dàn bay hơi (4), sau đó được sấy nóng bằng điện trở (5), sau đó được làm ẩm bởi vòi phun hơi (6) và sau đó được đẩy ra ngoài môi trường. Ở các vị trí trước và sau mỗi thiết bị nằm trong ống khí động đều có đặt các nhiệt kế bầu khô (7) và các nhiệt kế bầu ướt (8) . Tại đầu ra của ống khí động có đặt đồng hồ đo vận tốc không khí để xác định lưu lượng gió thổi qua ống. Phía dưới dàn lạnh (4) có vòi thoát nước ngưng và đặt ống đong để đo thể tích nhằm xác định lưu lượng nước ngưng tụ từ không khí bị làm lạnh.



Hình 3. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm nhiệt động lực học

Chú thích:

- 1) Quạt thổi không khí
- 2) Ống khí động
- 3) Hệ thống lạnh
- 4) Dàn bay hơi
- 5) Thiết bị sấy nóng không khí bằng điện trở
- 6) Vòi phun hơi bão hòa/hơi quá nhiệt
- 7) Nhiệt kế bầu khô
- 8) Nhiệt kế bầu ướt
- 9) Van an toàn
- 10) Đồng hồ đo áp suất
- 11) Đồng hồ đo nhiệt độ
- 12) Van xả đáy
- 13) Nồi hơi
- 14) Núm điều chỉnh độ mở cửa hút của quạt gió
- 15) Tủ điều khiển
- R1) Điện trở đun nước trong nồi hơi
- R2) Điện trở hơi quá nhiệt

4. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

4.1. Nội dung thí nghiệm:

- 1) Xác định trạng thái không khí bao gồm nhiệt độ, độ ẩm của không khí tại các vị trí trước dàn lạnh (4) cũng là trạng thái của không khí ở môi trường xung quanh; trước thiết bị sấy nóng không khí (5) (sau dàn lạnh (4)), trước vòi phun hơi (6) và sau vòi phun hơi (6) (thải ra ngoài môi trường). Từ các số liệu đo được, sinh viên xác định các quá trình thay đổi trạng thái của không khí trên giản đồ I-d và trên cơ sở đó xác định enthalpy và độ chứa hơi của không khí tại các vị trí nói trên.
- 2) Tính toán cân bằng nhiệt của ống khí động bao gồm xác định lưu lượng không khí thổi qua ống, xác định năng suất lạnh của dàn lạnh và phụ tải nhiệt của thiết bị sấy.

4.2. Quy trình vận hành :

Chuẩn bị:

- 1) Châm nước đầy các cốc của nhiệt kế bầu ướt
- 2) Bật công tắc tổng, kiểm tra đèn báo đủ ba pha trên tủ điện
- 3) Kiểm tra van xả hơi ở vị trí mở hoàn toàn, kim áp kế trên nồi hơi chỉ tại 0 kg/cm²
- 4) Mở công tắc cấp nước, cấp nước cho nồi hơi đến vạch quy định trên ống thủy
- 5) Tắt công tắc cấp nước, khóa van xả hơi, mở công tắc hơi bão hòa để điện trở đun nước trong nồi hơi hoạt động
- 6) Bật quạt thổi không khí, điều chỉnh vận tốc không khí bằng cách điều chỉnh khe hở của cửa gió
- 7) Bật công tắc hệ thống lạnh, nhiệt độ cài đặt 18-22 °C
- 8) Bật công tắc điện trở gia nhiệt cho không khí (có thể sử dụng điện trở R₁ hay R₂, hoặc cả hai điện trở).
- 9) Theo dõi nhiệt độ và áp suất tại nồi hơi. Khi áp suất trong nồi hơi đạt 1,5 kg/cm² thì mở van phun hơi để đẩy nước ngưng trong ống phun hơi ra ngoài. Sau đó khóa van phun hơi lại.
- 10) Khi áp suất nồi hơi đạt 1,5 kg/cm² thì bắt đầu làm thí nghiệm bằng cách xả nhẹ van phun hơi. Lúc này nhiệt độ bầu khô và bầu ướt tại vị trí sau van phun hơi bắt đầu thay đổi liên tục; chờ cho nhiệt độ bầu khô và bầu ướt ổn định thì ghi nhận lại các nhiệt độ đo được ở 4 vị trí khác nhau trên ống khí động. Trong quá trình đó, tiến hành đo lưu lượng nước ngưng tụ phía sau dàn lạnh bằng ống đong (lưu lượng ml/phút).
- 11) Khi tiến hành thí nghiệm ở chế độ hơi quá nhiệt : khi trong nồi hơi đã có hơi bão hòa thì bật công tắc điện trở để tạo hơi quá nhiệt. Để hệ thống tiếp tục ổn định, áp suất nồi hơi đạt 1,5 kg/cm² thì tiến hành phép đo cho hơi quá nhiệt tương tự như với hơi bão hòa.
- 12) Thay đổi chế độ hoạt động khác bằng cách thay đổi vị trí cửa gió, tăng hoặc giảm điện trở, tăng hoặc giảm lượng hơi phun vào.

Chú ý:

Mức nước trong bình hơi được kiểm tra sau 6 thí nghiệm bằng cách tắt điện trở hơi bão hòa, xả hoàn toàn van phun hơi, chờ áp suất nồi hơi trở về 0 kg/cm². Sau đó mở van cấp nước thông giữa nồi hơi và bình chứa nước để cấp thêm nước cho nồi hơi. Mức nước cấp ngang với áp kế đo hơi bão hòa.

5. PHÚC TRÌNH

5.1. Kết quả :

Sau khi thiết bị thí nghiệm đã hoạt động ổn định, sinh viên bắt đầu ghi các số liệu đo vào Bảng 1 và Bảng 2 cho các lần phun hơi nước bão hòa và hơi nước quá nhiệt.

Bảng 1. Số liệu thí nghiệm với trường hợp sử dụng hơi bão hòa

	Lần đo	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{1'}$ ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{2'}$ ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{3'}$ ($^{\circ}\text{C}$)	T_4 ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{4'}$ ($^{\circ}\text{C}$)	V (ml/phút)
v_1 = m/s										
v_2 = m/s										
v_3 = m/s										

Trong đó v (m/s) là vận tốc gió tại đầu ra của ống khí động; T_i ($^{\circ}\text{C}$) là nhiệt độ bầu khô và $T_{i'}$ ($^{\circ}\text{C}$) là nhiệt độ bầu ướt tại 4 vị trí khác nhau xác định trên ống khí động; V (ml/phút) là lượng nước ngưng tụ trong một phút tại dàn lạnh.

Bảng 2. Số liệu thí nghiệm với trường hợp sử dụng hơi quá nhiệt

	Lần đo	T_1 (°C)	$T_{1'}$ (°C)	T_2 (°C)	$T_{2'}$ (°C)	T_3 (°C)	$T_{3'}$ (°C)	T_4 (°C)	$T_{4'}$ (°C)	V (ml/phút)
v_1 = m/s										
v_2 = m/s										
v_3 = m/s										

Trong đó v (m/s) là vận tốc gió tại đầu ra của ống khí động; T_i (°C) là nhiệt độ bầu khô và $T_{i'}$ (°C) là nhiệt độ bầu ướt tại 4 vị trí khác nhau xác định trên ống khí động; V (ml/phút) là lượng nước ngưng tụ trong một phút tại dàn lạnh.

5.2. Tính toán :

5.2.1. Xác định các thông số của không khí :

Theo giản đồ I-d (Hình1), sử dụng nhiệt độ bầu khô và nhiệt độ bầu ướt đo được trong thí nghiệm, xác định độ ẩm tương đối ϕ (%), enthalpy I (kJ/kg) và độ chứa hơi d (kg/kg) của không khí tại bốn vị trí và viết vào bảng 3. Sau đó vẽ quá trình biến đổi của trạng thái không khí theo thí nghiệm trên giản đồ I-d.

5.2.2. Xác định lưu lượng không khí chuyển động trong ống khí động :

Lưu lượng khối lượng G_{kk} (kg/s) của không khí chuyển động trong ống khí động được xác định bằng công thức sau đây:

$$G_{kk} = v.F.\rho \quad (1)$$

Trong đó:

v là vận tốc gió đo tại đầu ra của ống khí động, m/s

F là diện tích miệng ra của ống khí động ($F = 0,0144 \text{ m}^2$)

ρ là khối lượng riêng của không khí (xác định theo bảng 4), kg/m^3

Trong trường hợp này, ρ được xác định theo nhiệt độ bầu khô (T_i) tại đầu vào của ống khí động.

Bảng 3. Các thông số của không khí ẩm

Thông số	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4
	Trước dàn lạnh (môi trường)	Trước thiết bị sấy (sau dàn lạnh)	Trước vòi phun hơi (sau thiết bị sấy)	Sau vòi phun hơi (thải ra ngoài)
Nhiệt độ t ($^{\circ}\text{C}$)				
Độ ẩm tương đối ϕ (%)				
Enthalpy i (kJ/kg)				
Độ chứa hơi d (kg/kg)				

Bảng 4. Khối lượng riêng ρ (kg/m^3) phụ thuộc vào nhiệt độ T ($^{\circ}\text{C}$) của không khí

T	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ρ	1,165	1,161	1,157	1,154	1,150	1,146	1,142	1,139	1,135	1,131
T	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
ρ	1,128	1,124	1,121	1,117	1,114	1,110	1,107	1,103	1,100	1,096
T	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
ρ	1,093	1,089	1,086	1,083	1,079	1,076	1,073	1,070	1,066	1,063
T	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
ρ	1,060	1,057	1,054	1,051	1,047	1,044	1,041	1,039	1,035	1,032
T	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
ρ	1,029	1,026	1,023	1,020	1,017	1,014	1,011	1,009	1,006	1,003

5.2.3. Tính toán dàn lạnh :

a) Năng suất lạnh của dàn lạnh Q_o

$$Q_o \text{ (kJ/s)} = G_{kk} (i_1 - i_2) \quad (2)$$

Trong đó:

G_{kk} là lưu lượng của không khí chuyển động trong ống khí động, kg/s

i_1 và i_2 là enthalpy của không khí vào và ra khỏi dàn lạnh (bảng 3), kJ/kg

b) Lượng nước tách ra từ dàn lạnh theo tính toán lý thuyết $G_{nước}$

$$G_{nước} \text{ (kg/giờ)} = 3600 \times G_{kk} \times (d_2 - d_1) \quad (3)$$

Trong đó:

d_1 và d_2 : độ chứa hơi của không khí vào và ra khỏi dàn lạnh (bảng 3), kg/kg

c) Lượng nước thực tế tách ra từ dàn lạnh $G'_{nước}$

$$G'_{nước} \text{ (kg/giờ)} = \frac{0,06.V_1}{\tau_1} \quad (4)$$

Trong đó:

V_1 là lượng nước tách ra từ dàn lạnh, ml

τ_1 là thời gian lấy mẫu đo lượng nước nói trên, phút

5.2.4. Tính toán thiết bị sấy không khí :

a) Phụ tải nhiệt của thiết bị sấy không khí Q

$$Q \text{ (KW)} = G'_{kk} \times (i_3 - i_2) \quad (5)$$

Trong đó :

i_2, i_3 : enthalpy của không khí vào và ra khỏi thiết bị sấy không khí, kJ/kg.

b) Lượng nhiệt do dòng điện cung cấp qua điện trở

$Q' = 1\text{kW}$ (một điện trở)

$Q' = 2\text{kW}$ (hai điện trở)

6. BÀN LUẬN

- 1) Giải thích sự thay đổi trạng thái của không khí khi đi qua ống khí động dựa trên sự thay đổi độ ẩm của không khí
- 2) Giải thích tại sao có thể xác định được độ ẩm của không khí thông qua nhiệt độ bầu khô và nhiệt độ bầu ướt
- 3) So sánh giữa các quá trình làm lạnh, sấy nóng và phun hơi nước vào không khí ẩm trên đồ thị I-d của lý thuyết và thực tế. Giải thích sự sai biệt đó

7. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hoàng Đình Tín, Lê Chí Hiệp, “Nhiệt động lực học kỹ thuật”, ĐHBK Tp. HCM, 1996.
- [2] Võ Văn Bang, Vũ Bá Minh, “Quá trình và Thiết bị – Tập 3 – Truyền khối”, ĐHBK Tp. HCM, 1997.

8. CÂU HỎI CHUẨN BỊ

- 1) Hãy nêu và định nghĩa các loại không khí ẩm?
- 2) Nêu phương pháp chuyển đổi giữa các loại không khí ẩm.
- 3) Hãy mô tả đồ thị không khí ẩm I-d.
- 4) Hãy nêu các ứng dụng của lĩnh vực không khí ẩm trong công nghiệp và trong đời sống hằng ngày
- 5) Thế nào là nhiệt độ bầu khô và nhiệt độ bầu ướt.
- 6) Nêu nguyên lý hoạt động của nhiệt kế bầu ướt.
- 7) Nêu cách xác định độ ẩm tương đối của không khí khi xác định được nhiệt kế bầu khô và nhiệt kế bầu ướt.
- 8) Để nhiệt kế bầu ướt hoạt động chính xác cần phải có điều kiện gì?
- 9) Biểu diễn trên đồ thị I-d các quá trình : làm lạnh không khí, sấy nóng không khí, và phun hơi ẩm vào không khí.
- 10) Lưu lượng khối lượng và lưu lượng thể tích của không khí ẩm thay đổi như thế nào khi đi qua dàn lạnh, dàn sấy nóng và qua vòi phun hơi nước trong ống khí động?
- 11) Hơi nước bão hòa và hơi nước quá nhiệt là gì? Cho ví dụ.
- 12) Trình bày nguyên lý hoạt động của nồi hơi. Cách kiểm soát nhiệt độ và áp suất để đảm bảo an toàn.
- 13) Cách nhận biết khi nào trong hệ thống đã có hơi bão hòa

- 14) Trong công nghiệp, khi sử dụng hơi nước từ lò hơi thì người ta sử dụng hơi nước bão hòa hay hơi quá nhiệt, tại sao?
- 15) Công thức (2), (5) sử dụng trong bài thí nghiệm dựa vào nguyên tắc nào ? Hãy giải thích.
- 16) Nêu cách nạp nước vào nồi hơi trong bài thí nghiệm khi hệ thống chưa vận hành và khi hệ thống đang hoạt động.
- 17) Trình bày nguyên lý hoạt động của hệ thống lạnh đơn giản dùng trong gia đình : tủ lạnh, máy điều hòa nhiệt độ...