PGS.PTS. Bùi Hải - PTS. Hoàng Ngọc Đồng

Bài tập
Kỹ thuật nhiệt

Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật
Hà nội -1999

Lời nói đầu

Cuốn "Bài tập kỹ thuật nhiệt" này được biên soạn theo nội dung cuốn giáo trình "Kỹ thuật nhiệt" của tác giả Bùi Hải và Trần Thế Sơn, do nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật phát hành đang được sử dụng cho việc đào tạo các hệ kỹ sư ở các trường đại học Kỹ thuật.

Cuốn "Bài tập kỹ thuật nhiệt" này được biên soạn theo kinh nghiệm giảng dạy lâu năm của các tác giả nhằm đáp ứng nhu cầu học tập của sinh viên các trường đại học Kỹ thuật. Cuốn sách trình bày tóm lược nội dung lý thuyết từng phần, sau đó chủ yếu là bài tập đã được giải sẵn, ở đây các tác giả chú ý đến các dạng bài tập ngắn, nhằm phục vụ cho cách thi trắc nghiệm là cách thi mới của môn học đang được sử dụng ở một số trường đại học kỹ thuật.

Sách gồm 2 phần 4 chương và phần phụ lục được phân công biên soạn như sau: PGS. PTS. Bùi Hải, trường đại học Bách khoa Hà Nội là chủ biên và soạn chương 1, chương 2 của phần I; PTS. Hoàng Ngọc Đồng biên soạn, trường đại học Kỹ thuật Đà Nẵng soạn chương 3, chương 4 của phần II và phần phụ lục. Trong quá trình biên soạn chắc chắn không tránh khỏi sai sót, mong nhận được sự góp ý của bạn đọc.

Các tác giả

Phần I

nhiệt động kỹ thuật

Chương 1.
phương trình trạng thái
Và các quá trình nhiệt động của chất khí

1.1. Thông số trạng thái

1.1.1. Nhiệt và công

Nhiệt ký hiệu là Q, đơn vị là J hoặc $q = \frac{Q}{G}$, đơn vị là j/kg, với G là khối lượng của môi chất tính theo kg. Công ký hiệu là L, đơn vị là J hoặc $l = \frac{L}{G}$, đơn vị là J/kg. Nhiệt lượng và công không phải là thông số trạng thái mà là hàm của quá trình. đơn vị đo của năng lượng nói chung là J (Jun), ngoàI ra còn có thể sử dụng các đơn vị chuyển đổi sau:

1kJ = 10^3J; 1MJ = 10^{3k}J = 10^6J;

1cal = 4,18J ; 1kcal = 4,18 kJ; 1BTU ≈ 0,3 J.

Qui ước đấu của nhiệt và công như sau: môi chất nhận nhiệt Q > 0, môi chất nhả nhiệt Q < 0; môi chất sinh công L > 0, môi chất nhận công L< 0.

1.1.2. Thông số trạng thái

a) Thể tích riêng

Thể tích riêng được xác định theo công thức sau:

$$v = \frac{V}{G} [m^3/kg], \qquad (1\text{-}1)$$

trong đó:

- V- Thể tích riêng, m^3,
- G — Khối lượng, *kg,*

Khối lượng riêng (hay mạt độ) ρ là đại lượng nghịch đảo của thể tích riêng:

$$\rho = \frac{G}{V} [kg/m^3], \qquad (1\text{-}2)$$

b) áp suất

áp suất được ký hiệu là p, đơn vị là N/m^2 = 1Pa (Pascal). Ngoài ra còn có thể dùng các đơn vị đo khác nhưvsau:

1Kpa = 10^3Pa; 1Mpa = 10^3Kpa = 10^6Pa.

1bar = 10^5 N/m^2 = 10^5Pa = 750 mmHg

1at = 0,98 bar = 735,5 mmHg = 10 m H_2O

1Psi = 6895 pa ≈ 0,07 at

mmHg còn được coi là tor.

Các qui đổi trên theo *mmHg* ở 0^0C, nếu cột mmHg đo ở nhiệt độ khác 0^0C , muốn tính chính xác phải qui đổi cột mmHg về 0^0C rồi mới dùng quan hệ qui đổi trên như sau:

$$h_0 = h_t(1 — 0{,}000172t) \quad (1\text{-}3)$$

trong đó:

h_0 là chiều cao cột thuỷ ngân qui đổi về 0^0C;

h_t là chiều cao cột thuỷ ngân đo ở nhiệt độ t;

t là nhiệt độ, ^{0}C.

áp suất tuyệt đối là p là áp suất thực của môi chất.

Giữa áp suất tuyệt đối p, áp suất thực p_0 của khí quyển, áp suất dư p_d và độ chân không p_{ck}, $p_{ck} = p - p_k$, có quan hệ như sau:

$$p = p_0 + p_d \quad (1\text{-}4)$$

$$p = p_0 — p_{ck} \quad (1\text{-}5)$$

c) Nhiệt độ

Thang nhiệt độ theo nhiệt độ bách phân có kí hiệu t, đơn vị ^{0}C; theo nhiệt độ tuyệt đối có kí hiệu T, đơn vị ^{0}K; thang nhiệt độ Farenhet, có ký hiệu t_f đơn vị ^{0}F. Giữa chúng có mối quan hệ như sau:

$$T\ (^0K) = 273{,}15 + t\ (^0C) \quad (1\text{-}6)$$

$$dT = dt;\ \Delta T = \Delta t$$

$$t\ ^0C = \frac{5}{9}(t\ ^0F - 32) \quad (1\text{-}7)$$

d) Nội năng

Nội năng ký hiệu là U, đơn vị là J hoặc u, đơn vị là J/kg. Nội năng ở đay là năng lượng chuyển động của các phân tử (nội nhiệt năng). Biến đổi nội năng của khí lý tưởng trong mọi quá trình theo các quan hệ sau đây:

$$du = C_v dT \quad (1\text{-}8)$$

$$\Delta U = G.\Delta u = G.\ C_v(T_2 - T_1) \quad (1\text{-}9)$$

ở đây C_v là nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích.

Khí lý tưởng là khí thực bỏ qua lực tác dụng tương hỗ giữa các phân tử và thể tích bản thân các phân tử. Ví dụ khí O_2, N_2, CO_2, không khí . . . . ở đIều kiện nhiệt độ và áp suất thường đều được coi là khí lý tưởng.

e) Năng lượng đẩy

Năng lượng đẩy là Năng lượng chỉ có trong hệ hở để giúp môi chất chuyển động ra hoặc vào hệ

f) Entanpi:

Entanpi có ký hiệu I, đơn vi J hoặc i, đơn vị J/kg, cũng có thể ký hiệu bằng H, đơn vị J hoặc h, đơn vị J/kg. Ta có quan hệ:

$$i = u + pv;\ j/kg \quad (1\text{-}10)$$

Biến đổi Entanpi của khí lý tưởng trong mọi quá trình theo các quan hệ sau đây:

$$di = C_p dT \quad (1\text{-}11)$$

$$\Delta I = G.\ \Delta i = G.\ C_p(T_2 - T_1) \qquad (1\text{-}12)$$

g) Entropi:

Entropi có ký hiệu bằng S, đơn vị J/K hoặc s, đơn vị J/kg.K. Biến đổi Entrôpi theo các quan hệ sau đây:

$$ds = \frac{dq}{T}, \qquad (1\text{-}13)$$

T- Nhiệt độ tuyệt đối của môi chất.

h) Execgi và anergi

Execgi có kí hiệu là E, đơn vị J hoặc e đơn vị J/kg. Execgi là phần năng lượng có thể biến đổi hoàn toàn thành công trong các quá trình thuận nghịch. Anergi có kí hiệu là A, đơn vị J hoặc a đơn vị J/kg. Anergi là phần năng lượng nhiệt không thể biến đổi hoàn toàn thành công trong quá trình thuận nghịch.

Với nhiệt q ta có quan hệ sau:

$$q = e + a \qquad (1\text{-}14)$$

trong đó:

e là execgi, J/kg;

a là anecgi. J/kg;

Execgi của nhiệt lượng q ở nhiệt độ T khác nhiệt độ môi trường T_0 được xác địnhtheo quan hệ sau:

$$e = q\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \qquad (1\text{-}15)$$

Execgi của dòng môI chất chuyển động được xác địnhtheo quan hệ sau:

$$e = i - i_0 — T_0(s — s_0) \qquad (1\text{-}16)$$

trong đó:

i, s — entanpi và entropi của môi chất ở nhiệt độ T, áp suất p khác với nhiệt độ môi trường T_0 , áp suất môi trường p_0;

i_0, s_0 — entanpi và entropi của môi chất ở nhiệt độ T_0 , p_0;

1.2 phương trình trạng thái của chất khí

Phương trình viết cho 1kg

$$pv = RT \qquad (1\text{-}17a)$$

Phương trình viết cho 1kg

$$pV = GRT \qquad (1\text{-}17b)$$

trong đó:

p — tính theo N/m^2, T tính theo ^0K;

R — Hằng số chất khí, được xác định bằng biểu thức:

$$R = \frac{8314}{\mu}, \text{ J/kg}^0\text{K} \qquad (1\text{-}18)$$

μ - kilomol của khí lý tưởng, kg/kmol (có trị số bằng phân tủ lượng);

G- Khối lượng khí, kg.

Phương trình viết cho 1kilomol khí lý tưởng:

$$pV_\mu = R_\mu T = 8314T \quad (1\text{-}19)$$

trong đó:

V_μ - thể tích của 1kmol khí;

$V_\mu = v.\mu$, m^3/kmol,

R_μ - Hằng số của khí lý tưởng, R_μ = 8314 J/kmol.K

Phương trình viết cho M kilomol khí lý tưởng:

$$PV = M.R_\mu T = 8314.M.T \quad (1\text{-}20)$$

M — số kilomol khí;

1.3. Nhiệt dung riêng của chất khí

1.3.1. Các loại nhiệt dung riêng

- Nhiệt dung riêng khối lượng:đơn vị đo lượng môi chất là kg, ta có nhiệt dung riêng khối lượng, ký hiệu C, đơn vị J/kg. ^{0}K.

- Nhiệt dung riêng thể tích, ký hiệu C', đơn vị J/$m^3_{t/c}$. ^{0}K.

- Nhiệt dung riêng mol ký hiệu C_μ , đơn vị J/kmol. ^{0}K.

Quan hệ giữa các loại nhiệt dung riêng:

$$C = v_{t/c}.C' = \frac{1}{\mu}C_\mu \quad (1\text{-}20)$$

V_{tc} — thể tích riêng ở điều kiện tiêu chuẩn vật lý ($t_0 = 0^0$C, p_0 = 760 mmHg).

- Nhiệt dung riêng đẳng áp C_p, C_p, C'_p, - nhiệt dung riêng khi quá trình xẩy ra ở áp suất không đổi p = const.

- Nhiệt dung riêng đẳng tích C_v:

thể tích không đổi, ta có nhiệt dung riêng đẳng tich C_v, C'_v, $C_{\mu v}$, - nhiệt dung riêng khi quá trình xẩy ra ở thể tích không đổi V = const.

Quan hệ giữa nhiệt dung riêng đẳng áp và nhiệt dung riêng đẳng tích của khí lý tưởng:

$$C_p - C_v = R. \quad (1\text{-}22)$$

$$C_p = k.C_v. \quad (1\text{-}23)$$

K — số mũ đoạn nhiệt.

1.3.2. Nhiệt dung riêng là hằng số và nhiệt dung riêng trung bình

Với khí lý tưởng, nhiệt dung riêng không phụ thuộc vào nhiệt độ và là hằng số được xác đinh theo bảng 1.1.

Bảng 1.1. nhiệt dung riêng cua khí lý tưởng

Loại khí	Trị số K	Kcal/kmol. ^{0}K		KJ/kmol. ^{0}K	
		$C_{\mu v}$	$C_{\mu p}$	$C_{\mu v}$	$C_{\mu p}$
Một nguyên tử	1,6	3	5	12,6	20,9
Hai nguyên tử (N_2, O_2 . . .)	1,4	5	7	20,9	29,3
Ba hoặc nhiều nguyên tử (CO_2, HO_2, □..)	1,3	7	9	29,3	37,7

Với khí thực, nhiệt dung riêng phụ thuộc vào nhiệt độ nên ta có khái niệm nhiệt dung riêng trung bình. Nhiệt dung riêng trung bình từ 0^0C đến t^0C được ký hiệu $\overline{C}\Big|_0^t$ và cho trong các bảng ở phần phụ lục. Nhiệt dung riêng trung bình từ t_1 đến t_2 ký hiệu $\overline{C}\Big|_{t_1}^{t_2}$ hay C_{tb}, được xác định bằng công thức:

$$\overline{C}\Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1}\left[t_2.\overline{C}\Big|_0^{t_2} - t_1.\overline{C}\Big|_0^{t_1} \right] \qquad (1\text{-}24)$$

1.4.3. Tính nhiệt theo nhiệt dung riêng

thông thường nhiệt lượng được tính theo nhiệt dung riêng khối lượng:

- với quá trình đẳng áp:

$$Q = G.C_p.(t_2 — t_1) \qquad (1\text{-}25)$$

- với quá trình đẳng tích:

$$Q = G.C_v.(t_2 — t_1) \qquad (1\text{-}26)$$

- với quá trình đa biến:

$$Q = G.C_n.(t_2 — t_1) \qquad (1\text{-}27)$$

Trong các công thức trên:

Q — nhiệt lượng, kJ;

C_p - nhiệt dung riêng khối đẳng áp, kJ/kg.^{0}K .

C_v - Nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích, kJ/kg.^{0}K.

C_n - Nhiệt dung riêng khối lượng đa biến, kJ/kg.^{0}K.

1.4. Bảng và đồ thị của môI chất

Với các khí O_2, N_2, không khí . . . ở điều kiện bình thường có thể coi là khí lý tưởng và các thông số được xác định bằng phương trình trạng thái khí lý tưởng đã nêu ở phần trên. Với nước, môi chất lạnh, ... không khí có thể coi là khí lý tưởng nên các thông số được xác định theo các bảng số hoặc đồ thị của chúng.

1.4.1. Các bảng số của nước hoặc môi chất lạnh (NH_3, R_{12}, R^{22} . . .)

Để xác định các thông số của chất lỏng sôi hoặc hơi bão hoà khô, ta sử dụng bảng hơi bão hoà theo nhiệt độ hoặc theo áp suất cho trong phần phụ lục. ở đay cần lưu ý các thông số của chất lỏng sôi được ký hiệu với một dấu phảy, ví dụ: v', p', i', . . . còn các thông số của hơi bão hoà khô được ký hiệu với hai dấu phảy, ví dụ: v", p", i", ... Trong các bảng và đồ thị không cho ta giá trị nội năng, muốn tính nội năng phải dùng công thức:

$$u = i — pv \qquad (1\text{-}28)$$

trong đó:

u tính theo kJ;

i tính theo kJ;

p tính theo N/m^2;

v tính theo m^3/kg;

Để xác định các thông số của chất lỏng chưa sôi và hơi quá nhiệt ta sử dụng bảng hơi quá nhiệt tra theo nhiệt độ và áp suất.

Hơi bão hoà ẩm là hỗn hợp giữa chất lỏng sôi và hơi bão hoà khô. Các thông số của hơi bão hoà ẩm được v_x', p_x', i_x' được xác định bằng các công thức sau:

$$v_x = v' + x(v'' — v') \quad (1\text{-}29a)$$

$$i_x = i' + x(i'' — i') \quad (1\text{-}29b)$$

$$s_x = s' + x(s'' — s') \quad (1\text{-}29c)$$

trong đó x là độ khô (lượng hơi bão hoà khô có trong 1 kg hơi bão hoà ẩm). Nếu trong công thức (1-29) khi biết các giá trị v_x, p_x, i_x ta có thể tính được độ khô.
Ví dụ:

$$x = \frac{i_x - i''}{i''-i'} \quad (1\text{-}30)$$

1.4.2. Các đồ thị của môi chất

Để tính toán với nước, thuận tiện hơn cả là dùng đồ thị i-s. đồ thị i-s của nước được cho trong phần phụ lục.

Với môi chất lạnh NH_3, R_{12}, R^{22} . . . , thuận tiện hơn cả là dùng đồ thị lgp-h. đồ thị lgp-h của một số môi chất lạnh được cho trong phần phụ lục.

1.5. các quá trình nhiệt động cơ bản Của khí lý tưởng

1.5.1. Biến đổi nội năng và entanpi của khí lý tưởng

Biến đổi nội năng:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = G.C_v.(t_2 - t_1) \quad (1\text{-}31)$$

Biến đổi entanpi:

$$\Delta I = I_2 - I_1 = G.C_p.(t_2 - t_1) \quad (1\text{-}32)$$

trong đó:

U tính theo kJ;
I tính theo kJ;
C_v và C_p tính theo kJ/kgK;
t tính theo ^{0}C;
G tính theo kg;

1.5.2. Quá trình đẳng tích

Quá trình đẳng tích là quá trình nhiệt động xẩy ra trong thể tích không đổi V = const và số mũ đa biến n = ∞, nhiệt dung riêng của quá trình C_v. Trong quá trình này ta có các quan hệ sau:

- Quan hệ giữa nhiệt độ và áp suất:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1\text{-}33)$$

- Công thay đổi thể tích:

$$L = \int_1^2 pdv = 0$$

- Công kỹ thuật:

$$l_{kt12} = -v(p_2 - p_1) \quad (1\text{-}34)$$

- Nhiệt của quá trình:

$$Q = G.C_v (t_2 - t_1) \quad (1\text{-}35)$$

- Biến thiên entropi:

$$\Delta s = G.C_v.\ln\frac{T_2}{T_1} \quad (1\text{-}36)$$

1.5.3. Quá trình đẳng áp

Quá trình đẳng áp là quá trình nhiệt động xảy ra khi áp suất không đổi p = const và số mũ đa biến n = 0, nhiệt dung riêng của quá trình C_p. Trong quá trình này ta có các quan hệ sau:

- Quan hệ giữa nhiệt độ và thể tích:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1\text{-}37)$$

- Công thay đổi thể tích:

$$l_{12} = p(v_2 - v_1) \quad (1\text{-}38)$$

- Công kỹ thuật:

$$l_{kt} = 0$$

- Nhiệt của quá trình:

$$Q = G.C_p.(t_2 - t_1) \quad (1\text{-}39)$$

- Biến thiên entropi:

$$\Delta s = G.C_p.\ln\frac{T_2}{T_1} \quad (1\text{-}40)$$

1.5.4. Quá trình đẳng nhiệt

Quá trình đẳng nhiệt là quá trình nhiệt động xảy ra trong nhiệt độ không đổi T = const và số mũ đa biến n = 1, nhiệt dung riêng của quá trình $C_T = \infty$. Trong quá trình này ta có các quan hệ sau:

- Quan hệ giữa áp suất và thể tích:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1\text{-}41)$$

- Công thay đổi thể tích và công kỹ thuật:

$$l_{kt} = l_{12} = RT\ln\frac{p_1}{p_2} = RT\ln\frac{v_2}{v_1}, \quad (1\text{-}42)$$

- Nhiệt của quá trình:

$$Q = L_{12} = Gl_{12} = G.R.T.\ln\frac{p_1}{p_2} \quad (1\text{-}43)$$

- Biến thiên entropi:

$$\Delta s = G.R.\ln\frac{p_1}{p_2} \quad (1\text{-}44)$$

1.5.5. Quá trình đoạn nhiệt

Quá trình đoạn nhiệt là quá trình nhiệt động xẩy ra khi không trao đổi nhiệt với môi trường q = 0 và dq = 0, số mũ đa biến n = k, entropi của quá trình không đổi s = const và nhiệt dung riêng của quá trình C = 0. Trong quá trình này ta có các quan hệ sau:

- Quan hệ giữa nhiệt độ, áp suất và thể tích:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^k \quad (1\text{-}45)$$

. $$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1\text{-}46)$$

- Công thay đổi thể tích:

$$l_{12} = \frac{p_1 v_1}{k-1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \quad (1\text{-}47)$$

- Công kỹ thuật:

$$l_{kt12} = k l_{12} = \frac{kRT_1}{k-1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \quad (1\text{-}48)$$

1.5.6. Quá trình đa biến

Quá trình đa biến là quá trình xẩy ra khi nhiệt dung riêng của quá trình không đổi C = 0 và được xác định bằng biểu thức sau:

$$C_n = C_v\frac{n-k}{n-1} \quad (1\text{-}49)$$

Trong quá trình này ta có các quan hệ sau:.

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n \quad (1\text{-}50)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{n-1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (1\text{-}51)$$

- Công thay đổi thể tích:

$$l_{12} = \frac{p_1 v_1}{k-1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right] \quad (1\text{-}52)$$

- Công kỹ thuật:

$$l_{kt12} = nl_{12} = \frac{nRT_1}{n-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right] \quad (1\text{-}53)$$

- Nhiệt của quá trình:

$$Q = GC_n(t_2 - t_1) \quad (1\text{-}54)$$

- Biến thiên entropi:

$$\Delta s = G.C_n.\ln\frac{T_2}{T_1} \quad (1\text{-}55)$$

1.6. các quá trình nhiệt động cơ bản Của khí thực

1.6.1. Biến đổi entanpi, nội năng và entanpi

Biến đổi entanpi:

$$\Delta I = G.\Delta i = G.(i_2 - i_1) \quad (1\text{-}56)$$

Biến đổi nội năng:

$$\Delta U = G.\Delta u = G(u_2 — u_1) = G.C_v.(t_2 - t_1) \quad (1\text{-}57)$$

Biến đổi entropi:

$$\Delta S = G.\Delta s = G.(s_2 - s_1) \quad (1\text{-}58)$$

1.6.2. Quá trình đẳng tích

- Công thay đổi thể tích:

$$l_{12} = 0 \quad (1\text{-}59)$$

- Công kỹ thuật:

$$l_{kt12} = -v(p_2 - p_1)$$

- Nhiệt của quá trình:

$$\Delta U = G.\Delta u = G(u_2 — u_1) \quad (1\text{-}60)$$

1.6.3. Quá trình đẳng áp

- Công thay đổi thể tích:

$$l_{12} = p(v_2 - v_1) \quad (1\text{-}61)$$

- Công kỹ thuật:

$$l_{kt} = 0$$

- Nhiệt của quá trình:

$$Q = \Delta I = G.(i_2 - i_1) \quad (1\text{-}62)$$

1.6.4. Quá trình đẳng nhiệt

- Nhiệt của quá trình:

$$Q = G.T(s_2 - s_1);\ \ q = T(s_2 - s_1) \quad (1\text{-}63)$$

- Công thay đổi thể tích:

$$l_{12} = q — (u_2 - u_1) \quad (1\text{-}64)$$

- Công kỹ thuật:

$$l_{kt12} = q — (i_2 - i_1) \quad (1\text{-}65)$$

1.6.5. Quá trình đoạn nhiệt

- Entropi của quá trình

$$s_1 = s_2 = const$$

- Nhiệt của quá trình: Q= 0
- Công thay đổi thể tích:

$$l_{12} = -\Delta u = -(u_2 - u_1) \quad (1\text{-}66)$$

- Công kỹ thuật:

$$l_{kt12} = -\Delta i = -(i_2 - i_1) \quad (1\text{-}67)$$

1.7. quá trình hỗn hợp của khí hoặc hơI

1.7.1. Hỗn hợp khí lý tưởng

a) Cácthành phần của hỗn hợp

- Thành phần khối lượng g_i.

$$\sum g_i = \sum \frac{G_i}{G} = 1 \quad (1\text{-}68)$$

trong đó: G_i, G là khối lượng của khí thành phần và của hỗn hợp.
- Thành phần thể tích

$$\sum v_i = \sum \frac{V_i}{V} = 1 \quad (1\text{-}69)$$

trong đó: V_i, V là thể tích của khí thành phần và của hỗn hợp.
- Thành phần mol của chất khí

$$\sum r_i = \sum \frac{M_i}{M} = 1 \quad (1\text{-}70)$$

trong đó: M_i, M là số kilomol của khí thành phần và của hỗn hợp.
Chứng minh được rằng thành phần thể tích bằng thành phần mol.

b) Xác định các đại lượng của hỗn hợp khí
- Kilômol của hỗn hợp khí μ:

$$\mu = \sum_{i=1}^{n} r_i \mu_i \quad (1\text{-}71)$$

$$\mu = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\mu_i}} \quad (1\text{-}72)$$

trong đó:

r_i, g_i- thành phần thể tích và thành phần khối lượng của khí thành phần,

μ_i — kilomol của khí thành phần.

- Hằng số chất khí của hỗn hợp:

$$R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{\sum r_i \mu_i} \quad (1\text{-}73)$$

$$R = \sum_{i=1}^{n} g_i R_i \quad (1\text{-}74)$$

Trong đó:

R_i, - hằng số chất khí của khí thành phần,

μ — kilomol của hỗn hợp khí được tính theo (171) hoặc (1-72).

- Nhiệt dung riêng hỗn hợp C;

$$C = \sum g_i C_i \quad (1\text{-}75)$$

trong đó: C_i, C là nhiệt dung riêng của khí thành phần và của hỗn hợp.

C) Xác địnháp suất của khí thành phần p_i

$$p_i = r_i p \quad (1\text{-}76)$$

p - áp suất của hỗn hợp khí được xác định theo định luật Danton:

$$p = \sum_{i=1}^{n} p_i$$

d) Quan hệ giữa các thành phần g_i và r_i

$$g_i = \frac{\mu_i r_i}{\sum \mu_i r_i}; \qquad r_i = \frac{\frac{g_i}{\mu_i}}{\sum \frac{g_i}{\mu_i}} \quad (1\text{-}77)$$

1.7.2. Quá trình hỗn hợp của chất khí

a) Hỗn hợp khí trong thể tích V

$$U = \sum U_i \quad (1\text{-}78)$$

trong đó: U_i, U là nội năng của khí thành phần và của hỗn hợp.

Đối với hỗn hợp khí lý tưởng, nhiệt độ của hỗn hợp được xác đinh theo công thức:

$$T = \frac{\sum g_i C_{vi} T_i}{\sum g_i C_{vi}} \quad (1\text{-}79a)$$

trong đó: C_{vi} là nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích của khí thành phần.

Nếu khí thành phần là cùng một chất, ta có:

$$t = \sum g_i t_i \quad (1\text{-}79b)$$

b) Hỗn hợp theo dòng

Hỗn hợp được tạo thành khi ta nối ống dẫn các dòng khí vào một ống chung. ở đây áp suất của hỗn hợp p thường cho trước. Entanpi của hỗn hợp được xác định theo công thức:

$$I = \sum I_i \quad (1\text{-}80)$$

trong đó: I_i, I là entanpi của khí thành phần và của hỗn hợp.

Nhiệt độ của hỗn hợp khí lý tưởng được xác đinh theo công thức:

$$T = \frac{\sum g_i C_{pi} T_i}{\sum g_i C_{pi}} \quad (1\text{-}81a)$$

C_{pi} là nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp của khí thành phần.
Nếu các dòng khí là cùng một chất, ta có:

$$t = \sum g_i t_i \quad (1\text{-}81b)$$

c) Hỗn hợp khí nạp vào thể tích cố định
Nhiệt độ của hỗn hợp khí lý tưởng được xác đinh theo công thức:

$$T = \frac{g_i C_{vi} T_i + \sum_{i=2}^{n+1} g_i C_{pi} T_i}{\sum_{i=1}^{n} g_i C_{vi}} \quad (1\text{-}82a)$$

Nếu hỗn hợp là cùng một chất, ta có:

$$t = g_1 t_1 + g_2 k t_2 + g_3 k t_3 + \ldots \quad (1\text{-}82b)$$

áp suất của hỗn hợp được xác định theo phương trình trạng thái:

$$pV = RT$$

1.8. QUÁ TRÌNH LƯU ĐỘNG VÀ TIẾT LƯU CỦA KHÍ VÀ HƠI

1.8.1 Quá trình lưu động của khí và hơi

a) Khái niệm cơ bản:

- phương trình liên tục:

Với giả thiết dòng lưu động ổn định và liên tục, lưu lượng G tính theo kg/s của dòng môi chất qua tiết diện sẽ không đổi:

$$\omega.\rho.f = \text{const hay } \frac{f\omega}{v} = \text{const} \quad (1\text{-}83)$$

trong đó:

G — lưu lượng khối lượng [kg/s];
ω - vận tốc của dòng [m/s];
f — diện tích tiết diện ngang của dòng tại nơi khảo sát [m^2];
ρ - khối lượng riêng của mổi chất [kg/m^3];

- Tốc độ âm thanh a

$$a = \sqrt{kpv} = \sqrt{kRT} \quad (1\text{-}84)$$

trong đó:

k — số mũ đoạn nhiệt;
p - áp suất môi chất [N/m^2];
v — thể tích riêng [m^3/kg];
R — Hằng số chất khí [J/kg^0K];
T — nhiệt độ tuyệt đối của môi chất [^0K];

- Số Mach M.

$$M = \frac{\omega}{a} \qquad (1\text{-}85)$$

trong đó:

ω - vận tốc của dòng, [m/s];

a - tốc độ âm thanh trong dòng khí, [m/s];

b) Các công thức cơ bản về lưu động

- Quan hệ giữa tốc độ dòng khí và áp suất

$$\omega d\omega = -vdp \qquad (1\text{-}86)$$

Từ đó khái niệm: ống tăng tốc trong đó tốc độ tăng, áp suất giảm; ống tăng áp trong đó áp suất tăng, tốc độ giảm.

- Quan hệ giữa tốc độ và hình dáng ống

$$\frac{df}{f} = (M^2 - 1)\frac{d\omega}{\omega}, \qquad (1\text{-}87)$$

Từ đó khái niệm: ống tăng tốc nhỏ dần (khi M < 1), ống tăng tốc lớn dần (khi M > 1), ống tăng tốc hỗn hợp hay laval (khi vào ống M < 1, khi khỏi ống dòng khí có M > 1). ống tăng áp nhỏ dần (M > 1), ống tăng áp lớn dần (khi M < 1), ống tăng tốc hỗn hợp (khi vào dòng khí có M > 1, khi ra M < 1).

-Tốc độ dòng khí tại tiết diện ra của ống tăng tốc

$$\omega_2 = \sqrt{2\frac{k}{k-1}RT_1\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \qquad (1\text{-}88)$$

trong đó:

k - số mũ đoạn nhiệt;

R - Hằng số chất khí [J/kg^{0}K];

T_1 - nhiệt độ tuyệt đối của chất khí khi vào ống, [^{0}K];

p_1 - áp suất chất khí vào ống, [N/m^2];

p_2 - áp suất chất khí tại tiết diện ra của ống, [N/m^2];

+ Với khí thực (hơI nước . . .) thường dùng công thức:

$$\omega_2 = \sqrt{2l_{kt}} = \sqrt{2(i_1 - i_2)} \qquad (1\text{-}89)$$

i_1, i_2 — entanpi của khí tại tiết diện vào và ra của ống, J/kg.

- Tỷ số áp suất tới hạn β_k được xác định theo công thức:

$$\beta_k = \frac{p_k}{p_1} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \qquad (1\text{-}90)$$

p_k là áp suất tới hạn (áp suất ở trạng thái khi ω = a).

Với khí 2 nguyên tử k = 1,4 thì β_k = 0,528, với hơI nước quá nhiệt β_k = 0,55.

- Tốc độ tới hạn ω_k

+ Với khí lý tưởng:

$$\omega_k = \sqrt{2\frac{k}{k-1}RT_1\left[1-\beta_k^{\frac{k-1}{k}}\right]}, \qquad (1\text{-}91)$$

Với hơi nước:

$$\omega_k = \sqrt{2(i_1 - i_k)}\text{, m/s;} \qquad (1\text{-}92)$$

i_1, i_2 — entanpi của môI chất ở trạng tháI tới hạn, J/kg, có áp suất tới hạn $p_k = p_1 . \beta_k$.

- Lưu lượng của dòng khí G

Lưu lượng dòng khí G được xác định theo phương trình liên tục viết cho tiết diện ra f_2 của ống:

$$G = \frac{f_2\omega_2}{v_2}\text{, kg/s;} \qquad (1\text{-}93)$$

trong đó:

f_2 - tính theo m^2;

ω_2 - vận tốc của dòng, [m/s];

v_2 — tính bằng m^3/kg;

- Lưu lượng cực đại

+ Với ống tăng tốc nhỏ dần:

$$G = \frac{f_2\omega_k}{v_k}\text{, kg/s;} \qquad (1\text{-}94)$$

+ Với ống tăng tốc hỗn hợp:

$$G_{max} = \frac{f_{min}\omega_k}{v_k} \qquad (1\text{-}95)$$

trong đó:

f_2, f_{min} — diện tích cửa ra và diện tích nhỏ nhất của ống, m^2;

ω_2 - vận tốc của dòng, [m/s];

v_k — thể tích riêng ở trạng thái tới hạn có áp suất p_k, m^3/kg;

1.8.2. Quá trình tiết lưu của khí và hơi

a) Tính chất của quá trình tiết lưu

- áp suất giảm: $p_2 < p_1$,
- Entanpi trước và sau tiết lưu khôngđổi: $i_2 = i_1$,
- Nhiệt độ khí lý tưởng không đổi: $T_2 = T_1$,
- Nhiệt độ khí lý tưởng không đổi: $T_2 = T_1$,
- Nhiệt độ khí thực giảm ($T_1 < T_{cb}$ — nhiệt độ chuyển biến)

b) ứng dụng

Quá trình tiết lưu được ứng dụng trong máy lạnh như van tiết lưu nhiệt(giảm áp suất và có điều chỉnh năng suất lạnh), ống mao dẫn (chỉ giảm áp suất) và trong tuốc bin để điều chỉnh công suất của tuốc bin.

1.9 QUÁ TRÌNH NÉN KHÍ

Máy nén cũng như bơm, quạt là máy tiêu tốn công, nên cố gắng để công hoặc công suất của máy nén càng nhỏ càng tốt.

Có hai loại máy nén khí: máy nén piston và máy nén li tâm. Nguyên lý làm việc cấu tạo của hai loại máy nén khác nhau nhưng chúng giống nhau trong việc phân tích tính chất nhiệt động.

1.9.1. Máy nén piston một cấp lí tưởng và thực

Máy nén piston gọi là lý tưởng khi nghĩa là khi piston chuyển động đến sát nắp xilanh, máy nén piston thực khi piston chỉ chuyển động đến gần nắp xilanh, nghĩa là còn một khoảng hở gọi là thể tích thừa (hay thể tích chết).

Công tiêu thụ của máy nén một cấp lí tưởng hoặc thực khi quá trình nén là đa biến, với số mũ đa biến n được tính theo công thức:

$$L_{mn} = -\frac{n}{n-1} GRT_1 \left[\pi^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right], [J] \qquad (1\text{-}96)$$

trong đó:

G — khối lượng khí, kg;

R - Hằng số chất khí [J/kg^{0}K];

T_1 - nhiệt độ khí khi vào máy nén, [^{0}K];

Nhiệt lượng toả ra trong máy nén khi nén đa biến:

$$Q_n = -GC_n T_1 \left[\pi^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right], [J] \qquad (1\text{-}97)$$

C_n — nhiệt dung riêng của quá trình đa biến, [J/kg^{0}K];

1.9.2. Máy nén piston nhiều cấp

Với máy nén một cấp, tỉ số nén cao nhất khoảng $\pi = 6 \div 8$, vậy muốn nén tới áp suất cao hơn phải dùng máy nén nhiều cấp. Tổng quát, khi ký hiệu số cấp máy nén là m, ta có tỉ số giữa các cấp như nhau và bằng:

$$\pi = \sqrt[m]{\frac{p_c}{p_d}} \qquad (1\text{-}98)$$

trong đó:

p_c - áp suất cuối cùng;

$p_đ$ - áp suất đầu của khí.

Công của máy nén nhiều cấp bằng m lần công của máy nén một cấp L_1:

$$L_{mn} = mL_1 = -m \frac{.n}{n-1} RT_1 \left[(\pi)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \qquad (1\text{-}99)$$

1.10 KHÔNG KHÍ ẨM

1.10.1. Tính chất của không khí ẩm

Không khí ẩm là hỗn hợp của không khí khô và hơi nước.

Không khí khô là hỗn hợp các khí có thành phần thể tích: Nitơ khoảng 78%; Oxy: 20,93%; Carbonnic và các khí trơ khác chiếm khoảng 1%.

Vì phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm rất nhỏ nên hơi nước ở đây có thể coi như là khí lý tưởng.

áp suất của không khí ẩm là p (áp suất khí quyển) là tổng của phân áp suất của không khí khô p_k và hơi nước p_h:

$$p = p_k + p_h, \qquad (1\text{-}100)$$

Nhiệt độ của không khí ẩm t bằng nhiệt độ của không khí khô t_k và bằng nhiệt độ của hơi nước t_h:

$$t = t_k = t_h,$$

Thể tích của không khí ẩm V bằng thể tích của không khí khô V_k và bằng thể tích của hơi nước V_h:

$$V = V_{kk} + V_h,$$

Khối lượng của không khí ẩm là G bằng tổng khối lượng của không khí khô G_k và hơi nước G_h:

$$G = G_k + G_h, \qquad (1\text{-}101)$$

Tuy nhiên vì khối lượng của hơi nước trong không khí ẩm thường rất nhỏ nên có thể coi khối lượng của không khí ẩm bằng khối lượng của không khí khô:

$$G = G_k ,$$

ở đây ta có thể dùng phương trình trạng thái của khí lý tưởng cho không khí ẩm:

$$pV = GRT$$

- đối với không khí khô:

$$p_k V = G_k R_k T; \text{ với } R_k = 287 \text{ J/kg.}^0\text{K}$$

- đối với hơi nước:

$$p_h V = G_h R_h T \text{ với } R_h = 8314/18 = 462 \text{ J/kg.}^0\text{K}$$

1.10.2. Các loại không khí ẩm

Không khí ẩm chưa bão hòa là không khí ẩm mà trong đó còn có thể nhận thêm một lượng hơi nước nữa từ các vật khác bay hơi vào. Hơi nước ở đây là hơi quá nhiệt.

Không khí ẩm bão hòa là không khí ẩm mà trong đó không thể nhận thêm một lượng hơi nước nữa từ các vật khác bay hơi vào. Hơi nước ở đây là hơi bão hòa khô.

Không khí ẩm quá bão hòa là không khí ẩm bão hoà và còn chứa thêm một lượng hơi nước nhất định, ví dụ sương mù là không khí ẩm quá bão hòa.

1.10.3. Các đại lượng đặc trưng của không khí ẩm

q Độ ẩm tuyệt đối:*

Độ ẩm tuyệt đối đwocj tính theo công thức:

$$\rho_h = \frac{G_h}{V}, \text{ kg/m}^3; \quad (1\text{-}102)$$

b Độ ẩm tương đối φ:*

Độ ẩm tương đối φ là tỷ số giữa độ ẩm tuyệt đối của không khí chưa bão hòa ρ_h và của không khí ẩm bão hòa ρ_{hmax} ở cùng nhiệt độ.

$$\varphi = \rho_h / \rho_{h\,max} \quad (1\text{-}103)$$

trong đó:

p_h- phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm chưa bão hòa;

p_{max}- phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm bão hòa;

Giá trị p_{max} tìm được từ bảng nước và hơi nước bão hòa (theo nhiệt độ) với nhiệt độ $t_h = t$.

c Độ chứa hơi d:*

Độ chứa hơi d là lượng hơi chứa trong 1kg không khí khô hoặc trong (1+d) kg không khí ẩm. Độ chứa hơi còn gọi là dung ẩm:

$$d = \frac{G_h}{G_k} = 0{,}622\frac{p_h}{p - p_h}; [\text{kgh/kgkho}]; \quad (1\text{-}104)$$

Độ chứa hơi trong không khí ẩm bão hoà là độ chứa hơi lớn nhất d_{max} (khi $p_h = p_{max}$):

$$d = 0{,}622\frac{p_{h\,max}}{p - p_{h\,max}}; [\text{kgh/kgkho}]; \quad (1\text{-}105)$$

d Entanpi của không khí ẩm*

Entanpi của không khí ẩm bằng tổng entanpi của 1kg không khí khô và của dkg hơi nước:

$$I = t + d(2500 = 1{,}93t); \text{ (kJ/kgK)}.$$

t — nhiệt độ của không khí ẩm, ^{0}C.

e) Nhiệt độ bão hoà đoạn nhiệt τ:

Khi không khí tiếp xúc với nước, nếu sự bay hơi cuả nước vào không khí chỉ do nhiệt lượng của không khí truyền cho, thì nhiệt độ của không khí bão hoà gọi là nhiệt độ bão hoà đoạn nhiệt τ (nhiệt độ τ lấy gần đúng bằng nhiệt độ nhiệt kế ướt $\tau = t_u$).

f) Nhiệt độ đọng sương t_s

Nhiệt độ đọng sương t_s hay là điểm sương là nhiệt độ tại đó không khí chưa bão hòa trở thành không khí ẩm bão hòa trong điều kiện phân áp suất của hơi nước không đổi p_h = const. Từ bảng nước và hơi nước bão hòa, khi biết p_h ta tìm được nhiệt độ t_s.

g) nhiệt độ nhiệt kế ướt t_u

Nhiệt độ nhiệt kế ướt t_u là nhiệt độ đo được bằng nhiệt kế ướt (nhiệt kế có bọc vải ướt bên ngoài).

Khi φ = 100% ta có $t_s = t_u$.

Khi φ < 100% ta có $t_s < t_u$.

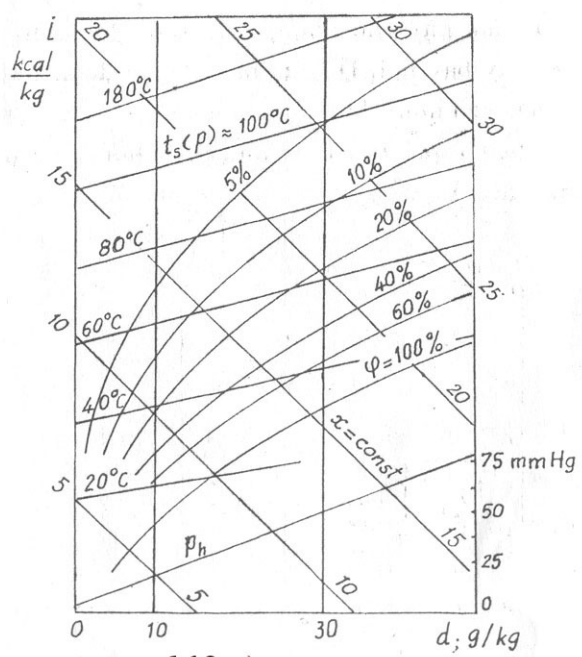
1.10.4. Đồ thị i-d của không khí ẩm

Hình 1.1 biểu diễn đồ thị i-d được, trong đó:

- d = const là đường thẳng đứng, đơn vị g hơi/kg không khí khô;
- i = const là đường thẳng nghiêng góc 135^0, đơn vị kJ/kg hoặc kcal/kg;
- t = const là đường chênh về phía trên,
- φ = const là đường cong đi lên, khi gặp đường nhiệt độ t = 100^0C sẽ là đường thẳng đứng;

p_h = const là đường phân áp suất của hơi nước, đơn vị mmHg.

Sử dụng đồ thị I-d (hình 1-2), ví dụ trạng thái không khí ẩm được biểu diễn bằng điểm A là giao điểm của đường φ_A và t_A. Từ đó tìm được entanpi I_A, độ chứa hơi d_A, phân áp suất p_h, nhiệt độ nhiệt kế ướt $t_ư$ (đường I_A cắt đường φ = 100%), nhiệt độ đọng sương t_s (đường d_A = const cắt đường φ = 100%), độ chứa hơi lớn nhất d_{Amax}, phân áp suất hơI nước lớn nhất p_{hmax} (từ đIểm t_A = const cắt đường φ = 100%).

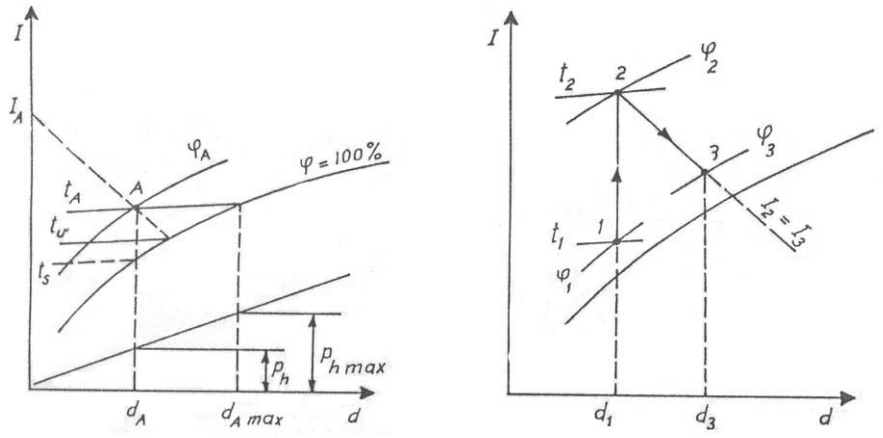


Hình 6.10 Đồ thị I-d của không khí ẩm

1.10.5. Quá trình sấy

Quá trình sấy là quá trình làm khô vật muốn sấy. Môi chất dùng để sấy thường là không khí. Có thể chia quá trình sấy làm hai giai đoạn:

- giai đoạn đốt nóng không khí 1-2 (hình 1.3), ở đây d = const, độ ẩm tương đối φ giảm, nhiệt độ không khí tăng.
- giai đoạn sấy 2-3, ở đây I = const.



lượng không khí ẩm ban đầu cần để làm bay hơi 1kg nước trong vậy sấy:

$$G = \frac{1 + d_1}{d_3 - d_1} \text{ kg/kg hơi} \qquad (1\text{-}107)$$

Lượng nhiệt cần để bay hơi 1kg hơi nước trong vật sấy:

$$Q = \frac{I_2 - I_1}{d_3 - d_1} \text{ kJ/kg hơi} \qquad (1\text{-}108)$$

1.1.BÀI TẬP VỀ PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI VÀ CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CƠ BẢN

Bài tập 1.1 Xác định thể tích riêng, khối lượng riêng của khí N_2 ở điều kiện tiêu chuẩn vật lý và ở điều kiện áp suất dư 0,2 at, nhiệt độ 127 ^{0}C. Biết áp suất khí quyển 760 mmHg.

Lời giải:

ở điều kiện tiêu chuẩn vật lý: $p_0 = 760$ mmHg, $t_0 = 0^0$C, thể tích riêng v_0 và khối lượng riêng ρ_0 của khí N_2 được xác định từ phương trình trạng thái (1-17a):

$$p_0 v_0 = RT_0; \quad v_0 = \frac{RT_0}{p_0}$$

$$R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{28}; \; T_0 = 0 + 272 \; ^0\text{K};$$

$$p_0 = \frac{760}{750} 10^5, \text{ N/m}^2;$$

$$v_0 = \frac{8314.273}{28.\frac{760}{750}10^5} = 0{,}8 \text{m}^3/\text{kg}$$

$$\rho_0 = \frac{1}{v_0} = \frac{1}{0{,}8} = 1{,}25 \text{ kg/m}^3.$$

Thể tích riêng, khối lượng riêng của khí N_2 ở điều kiện áp suất dư 0,2 at, nhiệt độ 127 ^{0}C cũng được xác định từ phương trình trạng thái (1-17a):

$$v = \frac{RT}{p}$$

$$R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{28};\ T_0 = 127 + 272 = 400\ ^0K;$$

$$p = p_0 + p_d = \frac{760}{750}10^5 + 0,2.0,98.10^5 = 1,21.10^5\ N/m^2;$$

$$v = \frac{8314.400}{28.1,21.10^5} = 0,98 m^3/kg$$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,98} = 1,02\ kg/m^3.$$

Bài tập 1.2 Xác định thể tích của 2 kg khí O_2 ở áp suất 4,157 bar, nhiệt độ 47^{0}C.

Lời giải:

Khi coi O_2 ta có phương trình trạng thái (1-17b):

$$p.V = G.R.T$$

$$V = \frac{GRT}{p} = \frac{2.8314.(47 + 273)}{32.4,156.10^5} = 0,4\ /m^3.$$

Bài tập 1.3 Xác định khối lượng của 2 kg khí O_2 ở áp suất 4,157 bar, nhiệt độ 47^{0}C.

Lời giải:

Từ phương trình trạng thái (1-17b) với O_2 ta có :

$$p.V = G.R.T$$

$$G = \frac{p.V}{RT} = 2 = 10\ kg.$$

Bài tập 1.4 Một bình có thể tích 0,5 m^3, chứa không khí ở áp suất dư 2 bar, nhiệt độ 20 ^{0}C. Lượng không khí cần thoát ra bao nhiêu để áp suất trong bình có độ chân không 420 mmHg, trong điều kiện nhiệt độ trong bình không đổi. Biết áp suất khí quyển 768 mmHg.

Lời giải:

Lượng không khí cần thoát ra khỏi bình bằng:

$$G = G_1 - G_2$$

G_1, G_2 - lượng không khí có trong bình lúc đầu và sau khi lấy ra khỏi bình.

Lượng không khí G_1, G_2 được xác định từ phương trình trạng thái (coi không khí là khí lý tưởng) theo (1-17b):

$$p_1V_1 = G_1R.T_1\ ;\ p_2V_2 = G_2R.T_2\ ;$$

$$G_1 = \frac{p_1.V_1}{RT_1};\ \ G_2 = \frac{p_2.V_2}{RT_2}$$

trong đó: $V_1 = V_2 = V = 0,5\ m^3$; $R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{29} = 287\ kJ/kg\ ^0K$

$$T_1 = T_2 = T = 20 + 273 = 293\ ^0K$$

$$G = \frac{p_1.V}{RT} - \frac{p_2.V}{RT} = \frac{V}{RT}(p_1 - p_2)$$

$$p = p_{d1} + p_0 = (2 + \frac{768}{750})10^5 = 3,024.10^5\ N/m^2;$$

$$p = p_0 + p_{ck2} = \frac{768 - 420}{750}10^5 = 0,464.10^5\ N/m^2;$$

$$G = \frac{0,5}{287.293}(3,024 - 0,464).10^5 = 1,52\ kg.$$

Bài tập 1.5 Một bình có thể tích 200 l, chứa 0,2 kg khí N_2, áp suất khí quyển là 1 bar:
a) Nếu nhiệt độ trong bình là 7 ^{0}C, xác định chỉ số áp kế (chân không kế) gắn trên nắp bình.
b) Nếu nhiệt độ trong bình là 127 ^{0}C, xác định chỉ số áp kế gắn trên nắp bình.

Lời giải:
a) Khi nhiệt độ trong bình là 7^{0}C,áp suất tuyệt đối trong bình p:

$$pV = GR.T;$$

$$G = \frac{p.V}{RT};$$

ở đây: G = 0,2kg; $R = \frac{8314}{28}$; T =7 + 273 = 300 ^{0}K

V = 200 l = 0, 2 m^3.

$$p = \frac{0,2.8314.280}{0,2.28} = 0,8314.10^5\ N/m^2 = 0,8314\ bar.$$

Chỉ số áp kế gắn trên nắp bình:

$P_{ck} = p_0 - p = 1 - 0,8314 = 0,1686$ bar;

a) Khi nhiệt độ trong bình là 7^{0}C,áp suất tuyệt đối trong bình p:

$$G = \frac{p.V}{RT};$$

$$p = \frac{0,2.8314.(127 + 273)}{0,2.28} = 1,1877.10^5\ N/m^2 = 1,1877\ bar;$$

Chỉ số áp kế gắn trên nắp bình:

$P_{ck} = p - p_0 = 1,1877 - 1 = 0,1877$ bar;

Bài tập 1.6 Tìm nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp trung bình và nhiệt dung riêng thể tích đẳng tích trung bình từ 200 ^{0}C đến 800 ^{0}C của khí N_2.

Lời giải:

Ta có thể giải bài này theo công thức tổng quát tính nhiệt dung riêng trung bình (1-24):

$$\overline{C}\Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1}\left[t_2.\overline{C}\Big|_0^{t_2} - t_1.\overline{C}\Big|_0^{t_1} \right] \qquad (a)$$

Từ bảng 2 ở phụ lục, nhiệt dung riêng phụ thuộc vào nhiệt độ, đối với khí N_2 ta có:

$$\overline{C}\Big|_0^{t} = 1{,}024 + 0{,}00008855.t,\ kJ/kg.^0K$$

ở đay với $t_2 = 800\ ^0C$, $t_1 = 200\ ^0C$, ta có:

$$\overline{C}\Big|_0^{t_2} = 1{,}024 + 0{,}00008855.800 = 1{,}09484,\ kJ/kg.^0K$$

$$\overline{C}\Big|_0^{t_1} = 1{,}024 + 0{,}00008855.200 = 1{,}04171,\ kJ/kg.^0K$$

Vậy ta có:

$$\overline{C}_p\Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{800 - 200}\left[1{,}09484.800 - 1{,}04171.200\right] = 1{,}11255,\ kJ/kg.^0K$$

Ta cũng có thể tính ngắn gọn hơn như sau:

$$\overline{C}\Big|_0^{t} = 1{,}024 + 0{,}00008855.t = a + b.t,$$

$$\overline{C}\Big|_0^{t_2} = a + b.t_2; \qquad \overline{C}\Big|_0^{t_1} = a + b.t_2;$$

Khi thế các giá trị này vào biểu thức (a) ta rút ra được:

$$\overline{C}_p\Big|_{t_1}^{t_2} = a + b(t_2 + t_1) \qquad (b)$$

Với $t_2 = 800\ ^0C$, $t_1 = 200\ ^0C$, ta có:

$$\overline{C}_p\Big|_{t_1}^{t_2} = 1{,}024 + 0{,}00008855.(800 + 200) = 1{,}11255,\ kJ/kg.^0K$$

Cũng từ bảng 2 phụ lục, ta có nhiệt dung riêng trung bình thể tích đẳng tích của khí N_2 :

$$\overline{C}'_v\Big|_0^{t} = 0{,}9089 + 0{,}0001107.t\ ,\ kJ/kg.^0K$$

áp dụng qui tắc (b) ta có:

$$\overline{C}'_v\Big|_{t_1}^{t_2} = 0{,}9089 + 0{,}0001107.(800 + 200) = 1{,}0196,\ kJ/kg.^0K$$

Bài tập 1.7 Biết nhiệt dung riêng trung bình từ $0\ ^0C$ đến $1500\ ^0C$ của một chất khí $C_{tb} = 1{,}024 + 0{,}00008855.t,\ kJ/kg.^0K$. Xác định nhiệt dung riêng trung bình của khí đó trong khoảng từ $200\ ^0C$ đến $300\ ^0C$.

Lời giải:

ở đây chỉ việc thay $t = t_1 + t_2 = 200 + 300 = 500$ vào nhiệt dung riêng trung bình đã cho:

$$C_{tb} = 1{,}024 + 0{,}00008855.(t_1 + t_2)$$

$$C_{tb} = 1{,}024 + 0{,}00008855.500 = 1{,}0683,\ kJ/kg.^0K.$$

Bài tập 1.8 Biết nhiệt dung riêng thực của chất khí phụ thuộc vào nhiệt độ từ 0 ^{0}C đến 1500 ^{0}C C = 1,02344 +0,0000548.t, kJ/kg.^{0}K. Xác định nhiệt dung riêng trung bình của khí đó trong khoảng từ 400 ^{0}C đến 600 ^{0}C.

Lời giải:

ở đây đầu bài cho nhiệt dung riêng thực nên chỉ việc thay t = 0,5(t_1 + t_2):

$$C_{tb} = C\Big|_{t_1}^{t_2} = 1,02344 + 0,0000548\frac{t_1 + t_2}{2} = 1,0508, \text{ kJ/kg.}^0\text{K}.$$

Bài tập 1.9 Xác định nhiệt dung riêng đa biến của khí H_2 khi thực hiện quá trình đa biến n = 1,5.

Lời giải:

Theo (1-49) nhiệt dung riêng quá trình đa biến:

$$C_n = C_v\frac{n-k}{n-1}$$

ở đây $C_v = \frac{C_{\mu v}}{\mu}$, với H_2 là khí 2 nguyên tử, theo bảng 1.1, ta có k = 1,4; $C_{\mu v}$ = 5 kcal/kmol.^{0}K và H_2 có μ = 2 kg. Vậy ta có:

$$C_n = \frac{5}{2}\frac{1,5-1,4}{1,5-1} = 0,5 \text{ kcal/kg.}^0\text{K} = 0,5.4,18 = 2,09 \text{ kJ/kg.}^0\text{K}.$$

Bài tập 1.10 Xác định các thông số: entanpi, thể tích riêng, nội năng của 1 kg hơi nước và 300 kg/h hơi nước ở áp suất p = 10 bar, độ khô x = 0,9.

Lời giải:

Với 1 kg hơi nước và ở đây là hơi nước bão hoà ẩm, theo (1-28) và (1-29) ta có:

$$i_x = i' + x(i'' — i')$$
$$v_x = v' + x(v'' — v')$$
$$u_x = i_x - pv_x$$

Từ bảng hơi nước bão hoà trong phụ lục, với p = 10bar ta tra ra được:

i' = 762,7 kJ/kg; i'' = 2778 kJ/kg

v' = 0,0011273 m^3/kg; v'' = 0,1946 m^3/kg

và ta có:

i_x = 762,7 + 0,9 (2778 -762,7) = 2576,5 kJ/kg

v_x = 0,0011273 + 0,9(0,1946 + 0,00112773) = 0,17525 m^3/kg

Với 300kg/h hơi nước ta có:

$I_x = G.i_x$ = 300.2576,5 = 772950 kJ/h = 215kW,

$V_x = G.v_x$ = 300.0,17525 = 52,6 m^3/h = 0,0146 m^3/s.

Nội năng của 1kg hơi nước:

$$u_x = i_x - pv_x$$

$u_x = 2576,5.10^3 - 10.10^5.0,17525 = 2,4.10^6$ J/kg = 2400kJ/kg

Nối năng của 300kg/h hơi nước:

$U_x = G.u_x = 300.2400 = 720000kJ/h = 200kW.$

Bài tập 1.11 Xác định các thông số: entanpi, thể tích riêng, nội năng của 1 kg hơi nước và 300 kg/h hơi nước ở áp suất p = 10 bar, độ khô x = 0,9.

Lời giải:

Với 1 kg hơi nước, từ bảng 5 ở phụ lục với ước chưa sôi và hơi quá nhiệt khi p = 10 bar, t = 300 ^{0}C ta có:

$v = 0,2578\ m^3/kg$; $i = 3058\ kJ/kg$, $s = 7,116\ kJ/kg.^0K$.

Với 10 kg hơi nước:

$V = G.v = 10.0,2578 = 2,578\ m^3$

$I = G.i = 10.\ 3058 = 30580\ kJ$,

$S = G.s = 10.7,116 = 71,16\ kJ/\ ^0K$,

Với nội năng của 1 kg hơi nước:

$u = i - pv$

$u = 3058.10^3 - 10.10^5.0,2578 = 2,8.10^6\ J/kg = 2800kJ/kg$

Nối năng của 10kg hơi nước:

$U = G.u_x = 10.2800 = 28000kJ.$

Bài tập 1.12 1 kg hơi bão hoà khô môi chất lạnh R12 ở nhiệt độ -50 ^{0}C được nén đoạn nhiệt (s = const) đến áp suất 0,4 Mpa. Xác định áp suất ban đầu, thể tích đầu và cuối, entanpi đầu và cuối, nhiệt độ cuối quá trình nén bằng đồ thị lgp-i của R12.

Lời giảI:

Sử dụng đồ thị lgp-i của R12 ở phần phụ lục. Dạng đồ thị được biểu diễn trên hình 1.4.

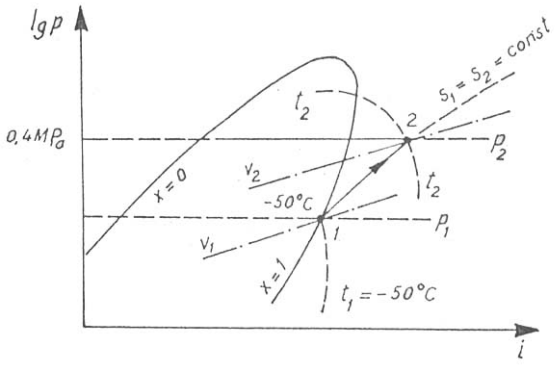
Từ đồ thị ta tìm được áp suất p_1 (qua điểm 1):

$p_1 \approx 0,04Mpa = 0,4$ bar.

Thể tích ban đầu:

$v_1 = 0,4m^3/kg$,

Entanpi đầu:



Hình 1.4

$i_1 = 630kJ/kg$,

Từ điểm 1 (giao điểm của $t_1 = -50\ ^0$C và $x_1 = 1$, vì là hơi bão hoà khô) vạch đường $s_1 = const$ cắt đường áp suất $p_2 = 0,4$Mpa tại điểm 2. Từ đó tìm được thể tích cuối v_2, nhiệt độ cuối t_2, entanpi cuối quá trình i_2:

$v_2 = 0,05\ m^3/kg$; $t_2 = 30\ ^0$C; $i_2 = 670kJ/kg$.

Bài tập 1.13 10 kg không khí ở nhiệt độ 27 ^{0}C được đốt nóng ở áp suất không đổi đến 127 ^{0}C. Xác định nhiệt lượng, biến đổi entanpi, biến đổi nội năng, công thay đổi thể tích của quá trình đốt nóng (coi không khí là khí hai nguyên tử và có kilôml $\mu = 29kg$).

Lời giải:

Không khí là hỗn hợp của nhiều khí nhưng chủ yếu là N_2 và O_2 nên có thể không khí là khí hai nguyên tử và khi tính toán có $\mu = 29$kg. Vì đây là quá trình đẳng áp nên nhiệt lượng tính theo nhiệt dung riêng (1-25):

$$Q = G.C_p(t_2 - t_1)$$

ở đây nhiệt dung riêng C_p tính theo (1-21) và bảng 1.1 khi coi không khí là khí lý tưởng:

$$C_p = \frac{C_{\mu p}}{\mu} = \frac{29.3}{29} = 1,01 \text{ kJ/kg } ^0K = 1 \text{ kJ/kg } ^0K,$$

Vậy ta có: $Q = 10.\ 1,01(127 - 27) = 1010$ kJ

Biến đổi entanpi ΔI tính theo (1-32) :

$$\Delta I = G.C_p(t_2 - t_1) = 1010\text{kJ},$$

Biến đổi nội năng ΔU tính theo (1-31) :

$$\Delta U = G.C_v(t_2 - t_1) ,$$

Nhiệt dung riêng tính theo (1-21) và bảng 1.1:

$$C_v = \frac{C_{\mu v}}{\mu} = \frac{20.9}{29} = 0,72 \text{ kJ/kg } ^0K ,$$

$\Delta U = 10\ .0,72(127 - 27) = 720$ kJ.

Công thay đổi thể tích của quá trình đẳng áp có thể tính theo (1-38), nhưng ở đây vì đã biết nhiệt lượng Q và biến đổi nội năng ΔU nên tính theo phương trình định luật nhiệt động I:

$$Q = \Delta U + L_{12}$$

$$L_{12} = Q - \Delta U = 1010 - 720 = 290 \text{ kJ}.$$

Bài tập 1.14 1 kg nước ở áp suất 1 bar, nhiệt độ 20 ^{0}C được đốt nóng đến 200^{0}C ở điều kiện áp suất không đổi đến 127 ^{0}C. Xác định nhiệt lượng q_1 đốt nóng nước đến nhiệt độ sôi, nhiệt lượng q_2 biến nước sôi thành hơi bão hoà khô, nhiệt lượng q_3 biến hơi bão hoà khô thành hơi quá nhiệt và nhiệt lượng q biến nước ban đầu thành hơi quá nhiệt ở trạng thái cuối.

Lời giải:

Nhiệt lượng đốt nóng nước đến nhiệt độ sôi:

$$q_1 = C_n(t_2 - t_1) = 4,186.(100\text{-}20) = 334,4 \text{ kJ/kg},$$

Nhiệt lượng biến nước sôi thành hơi bão hoà khô:

$$q_2 = i'' - i' = r = 2258 \text{ kJ/kg}$$

Từ bảng 4 ở phụ lục với hơi bão hoà theo p = 1 bar, ta có r = 2258 kJ/kg,

Nhiệt lượng biến hơi bão hoà khô thành hơi quá nhiệt:

$$q_3 = i - i''$$

Từ bảng 4 ở phụ lục với hơi bão hoà theo p = 1 bar, ta có i" = 2675 kJ/kg,

Từ bảng 5 hơi quá nhiệt ở phụ lục với p = 1 bar, t = 200 ^{0}C, ta có i = 2875 kJ/kg.

Vậy ta có:

$$q_3 = 2875 - 2675 = 200$$

Nhiệt lượng tổng cộng biến nước ban đầu thành hơi quá nhiệt:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = 334,4 + 2258 + 200 = 2792,4 \text{ kJ/kg}.$$

Bài tập 1.15 Xy lanh có đường kính d = 400 mm chứa không khí có thể tích 0,08 m^3, áp suất 3,06 at, nhiệt độ 15 ^{0}C. Nếu không khí nhận nhiệt trong điều kiện piston chưa kịp dịch chuyển và nhiệt độ không khí tăng đến 127 ^{0}C. Xác định lực tác dụng lên mặt piston, khối lượng không khí có trong xilanh, nhiệt lượng cung cấp, lượng biến đổi entrôpi.

Lời giải:

Lực tác dụng lên mặt piston sau khi nhận nhiệt:

$$F = p_2.S.N$$

p_2 - áp suất không khí sau khi nhận nhiệt, N/m^2;

S - diện tích mặt piston;

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14.0,4^2}{4} = 0,1256 \text{ m}^2,$$

Không khí nhận nhiệt trong điều kiện piston chưa kịp dịch chuyển, nghĩa là ở đây là quá trình đẳng tích, theo (1-33) ta có:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 0,306. \frac{398 + 273}{15 + 273} = 7,129 \text{ at},$$

$$p_2 = 7,129.0,98.10^5 = 6,986.10^5 \text{ N/m}^2;$$

Lực tác dụng:

$$F = 6,986.10^5 = 0,877.10^5,$$

Khối lượng không khí được xác định từ phương trình trạng thái:

$$p_1 V_1 = G_1 R.T_1 ;$$

$$G_1 = \frac{p_1.V_1}{RT_1} = \frac{3,06.0,98.10^5.0,08}{287.(15 + 273)} = 29 \text{ kg};$$

Nhiệt lượng toả ra trong quá trình đẳng tích được tính theo (1-35):

$$Q = G.C_v.(t_2 - t_1) = 0,29.0,72.(398 - 15) = 79,97\text{kJ},$$

Biến đổi entrôpi được tính theo (1-36):

$$\Delta s = G.C_v . \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$= 0,29.0,72. \ln \frac{398 + 273}{15 + 273} = 0,177\text{kJ/}^0\text{K}.$$

Bài tập 1.16 Người ta đốt nóng 1 kg không khí trong điều kiện áp suất không đổi p = 2 bar từ nhiệt độ 20 ^{0}C đến nhiệt độ 110 ^{0}C. Tính thể tích cuối, lượng nhiệt, công thay đổi thể tích, lượng biến đổi nội năng và entropi.

Lời giải:

Không khí được coi là khí lý tưởng và đây là quá trình đẳng áp cho 1 kg không khí. Thể tích cuối được tính theo (1-37):

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$v_2 = v_1 \frac{T_2}{T_1},$$

v_1 được xác định từ phương trình trạng thái:

$$p_1 v_1 = R.T_1$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} \quad \frac{287(20+273)}{2.10^5} = 0,42 \text{ m}^3/\text{kg},$$

$$v_2 = 0,42 \frac{110+273}{20+273} = 0,549 \text{ m}^3/\text{kg},$$

Lượng nhiệt của quá trình đẳng áp với G = 1 kg tính theo (1-39):

$$q = C_p (t_2 - t_1)$$

Nhiệt dung riêng đẳng áp C_p của không khí được xác định theo (1-21) và bảng 1.1 nhiệt dung riêng, với μ = 29 kg:

$$C_p = \frac{C_{\mu p}}{\mu} = \frac{29,3}{29} = 1,01 \text{ kJ/kg } ^0\text{K},$$

$$q = 1,01.(110 - 20) = 20,9 \text{ kJ/kg},$$

Công thay đổi thể tích tính theo (1-38):

$$l_{12} = p(v_2 - v_1) = 2.10^5(0,549 - 0,42) = 25,8.10^3 \text{ kJ/kg},$$

$$l_{12} = 25,8 \text{ KJ/kg},$$

Biến đổi nội năng có thể tính theo hai cách. Cách thứ nhất tính theo (1-31) với G = 1 kg:

$$\Delta u = C_v(t_2 - t_1)$$

Nhiệt dung riêng đẳng tích C_v được xác định theo (1-21) và bảng 1.1 nhiệt dung riêng, với μ = 29 kg:

$$C_v = \frac{C_{\mu v}}{\mu} = \frac{20,9}{29} = 0,72 \text{ kJ/kg } ^0\text{K},$$

$$\Delta u = 0,72(110 - 20) = 64,8 \text{ kJ/kg},$$

Cách thứ hai, khi đã biết q và công thay đổi thể tích l_{12} có thể tính Δu từ phương trình định luật nhiệt động I:

$$q = \Delta u + l_{12}$$

$$\Delta u = q - l_{12} = 90,9 - 25,8 = 65,1 \text{ kJ/kg},$$

Sai số khi tính bằng hai phương pháp trên là do khi tính ta đã lấy gần đúng một số giá trị như: R ≈ 287 kJ/kg. ^{0}K, μ ≈ 29

Biến đổi entropi của quá trình đẳng áp tính theo (1-40):

$$\Delta s = \frac{\Delta S}{G} = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = 1,01. \ln \frac{110+273}{20+273} = 0,27 \text{ kJ/kg } ^0\text{K}.$$

Bài tập 1.17 10 kg khí O_2 ở nhiệt độ 527 ^{0}C được làm nguội đẳng áp đến 27 ^{0}C. Tính biến đổi entropi và nhiệt lượng Q toả ra.

Lời giải:
Biến đổi entropi của quá trình đẳng áp tính theo (1-40) vơi nhiệt dung riêng theo bảng 1.1:

$$\Delta s = G.C_p.\ln\frac{T_2}{T_1} = -GC_p.\ln\frac{T_1}{T_2}$$

$$= -10.\frac{29,3}{32}.\ln\frac{527+273}{27+273} = \text{-9,095 kJ/kg } {}^0\text{K}.$$

Lượng nhiệt toả ra trong quá trình đẳng áp:

$$Q = G.C_p(t_2 - t_1) = 10.\frac{29,3}{32}.(27 - 527) = 4578 \text{ kJ}.$$

Bài tập 1.18 Xác định công kỹ thuật quá trình đẳng nhiệt của 2,9 kg không khí ở nhiệt độ 127 ^{0}C, áp suất từ 1 bar đến 2,7 bar.

Lời giải:

Trong quá trình đẳng nhiệt, công kỹ thuật bằng công dãn nở, theo (1-42):

$$l_{kt} = l_{12} = RT\ln\frac{p_1}{p_2}$$

$$= 2,9.\frac{8314}{29}(127+273).\ln\frac{1}{2,7} = -332,6.10^3 \text{ J}$$

(ở đây hằng số chất khí của không khí $R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{28}$ J/kg $_0$K).

Bài tập 1.19 Khi nén đẳng nhiệt 4 kg chất khí (coi là khí lý tưởng) có hằng số chất khí R = 189 J/kg ^{0}K từ áp suất 2at đến 5,4 at, cần thải lượng nhiệt 378 kJ. Xác định nhiệt độ của quá trình, thể tích đầu và cuối của chất khí đó.

Lời giải:

Trong quá trình đẳng nhiệt của khí lý tưởng, nhiệt bằng công và được xác định theo công thức:

$$Q = G.R.T.\ln\frac{p_1}{p_2}$$

Từ đó nhiệt độ của quá trình:

$$T = \frac{Q}{G.R.\ln\frac{p_1}{p_2}} = \frac{-378.10^3}{4.189.\ln\frac{2}{5,4}} = 500\ {}^0\text{K}$$

$500 - 273 = 227\ {}^0$C,

Thể tích đầu của chất khí được xác định từ phương trình trạng thái:

$$p_1V_1 = GR.T_1$$

$$v_1 = \frac{GRT_1}{p_1} \frac{4.189.500}{2.0,98.10^5} = 1,93 \text{ m}^3,$$

Thể tích cuối của chất khí được xác định từ phương trình trạng thái hoặc theo quan hệ (1-41):

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2} = 1,93. \frac{2}{5,4} = 0,72 \text{ m}^3.$$

Bài tập 1.20 không khí có thể tích 2,48 m^3 , nhiệt độ 15 ^{0}C, áp suất p = 1 bar, khi bị nén đoạn nhiệt, không khí nhận công tahy đổi thể tích 471kJ. Xác định nhiệt độ cuối, biến đổi nội năng và entanpi.

Lời giải:

Không khí ở đây được coi là khí lý tưởng, quá trình ở đây là quá trình đoạn nhiệt. Biến đổi nội năng được suy ra từ phương trình định luật nhiệt động I:

$$Q = \Delta U + L_{12} = 0$$

$$\Delta U = - L_{12} = - (- 471) = 471 \text{ kJ}$$

Nhiệt độ cuối của quá trình được suy ra từ biểu thức tổng quát tính lượng biến đổi nội năng:

$$\Delta U = G.C_v (t_2 - t_1)$$

$$t_2 = t_1 + \frac{\Delta U}{GC_v}$$

Khối lượng không khí được xác định từ phương trình trạng thái:

$$p_1 V_1 = G_1 R.T_1$$

$$G = \frac{p_1.V_1}{RT_1} = \frac{1.10^5.2,48}{287.(15+273)} = 3 \text{ kg},$$

$$t_2 = 15 + \frac{471}{3.0,72} = 233 \ ^0\text{C},$$

Biến đổi entanpi được xác định theo công thức:

$$\Delta I = G.C_p.(t_2 - t_1) = 3.1,01.(233 - 15) = 661 \text{ kJ}.$$

Bài tập 1.21 2 kg khí O_2 thực hiện quá trình đa biến với số mũ đa biến n = 1,2 từ nhiệt độ 27 ^{0}C đến 537 ^{0}C. Xác định biến đổi entropi, nhiệt lượng của quá trình, biến đổi nội năng, công thay đổi thể tích và công kỹ thuật của quá trình.

Lời giải:

Nhiệt dung riêng của quá trình đa biến được xác định theo công thức:

$$C_n = C_v \frac{n-k}{n-1}$$

Nhiệt dung riêng đẳng tích Cv được xác định từ bảng 1-1:

$$C_v = \frac{C_{\mu v}}{\mu} = \frac{20,9}{32} = 0,65 \text{ kJ/kg } ^0K$$

$$C_n = 0,65\frac{1,2-1,4}{1,2-1} = -0,65 \text{ kJ/kg } ^0K$$

Biến đổi entropi quá trình đa biến được tính theo (1-55):

$$\Delta S = G.C_n.\ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S = 2.(-0,65).\ln\frac{537+273}{27+273} = -1,3 \text{ kJ/}^0K$$

Lượng nhiệt của quá trình đa biến được tính theo (1-54):

$Q = G.C_n.(t_2 - t_1) = 2.(- 0,65).(537-27) = - 663$ kJ,

Biến đổi nội năng của quá trình được tính theo (1-31):

$\Delta U = G.C_v (t_2 - t_1) = 2.0,65.(537 - 27) = 663$kJ,

Công thay đổi thể tích có thể tính theo phương trình định luật nhiệt động I:

$$Q = \Delta U + L_{12}$$

$$L_{12} = Q - \Delta U = (- 663) - 663 = - 1326 \text{ kJ}$$

Công kỹ thuật của quá trình được tính theo (1-53):

$L_{kt12} = n.L_{12} = 1,2. (- 1326) = - 1591$ kJ.

Bài tập 1.22 Xác định số mũ đa biến khi quá trình đa biến thay đổi từ áp suất 0,001 at, nhiệt độ -73 ^{0}C đến áp suất 1000 at, nhiệt độ 1727 ^{0}C.

Lời giải

Từ đẳng thức quan hệ giữa nhiệt độ và áp suất của quá trình đa biến (1-51), ta tìm được số mũ đa n:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\ln\frac{T_2}{T_1}}{\ln\frac{p_2}{p_1}} = \frac{\ln\frac{1727+273}{-73+273}}{\ln\frac{1000}{0,001}}$$

$$n - 1 = 0,166n$$

$$n = \frac{1}{1-0,166} = 1,2$$

Bài tập 1.23 2 kg khí O_2 thực hiện quá trình đa biến với số mũ đa biến n = 1,2 từ nhiệt độ 27 ^{0}C đến 537 ^{0}C. Xác định biến đổi entropi, nhiệt lượng của quá trình.

Lời giải:

Theo (1-55) ta có biến đổi entropi quá trình đa biến:

$$\Delta S = G.C_n.\ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$C_n = C_v\frac{n-k}{n-1} = \frac{5}{32}.4{,}18.\frac{1{,}2-1{,}4}{1{,}2-1} = -0{,}65\ \text{kJ/kg}\ ^0\text{K}$$

(với O_2 là khí 2 nguyên rử k = 1,4, $C_\mu = \frac{C_{\mu v}}{\mu} = \frac{5}{32}.4{,}18$

$$\Delta S = G.C_n.\ln\frac{T_2}{T_1} = 2.(-0{,}65).\ln\frac{537+273}{27+273} = -1{,}3\ \text{kJ/}^0\text{K}$$

Lượng nhiệt của quá trình đa biến được tính theo (1-54):

$Q = G.C_n.(t_2 - t_1) = 2.(-0{,}65).(537-27) = -663$ kJ,

Bài tập 1.24 Xác định công nén của 16 kg khí O_2 nén đa biến với n = 1,5 từ nhiệt độ 27 ^{0}C áp suất 1 bar đến 8bar.

Lời giải:

Công nén là công thay đổi thể tích có thể tính theo (1-52) với chú ý $p_1v_1 = R.T_1$:

$$L_{12} = Gl_{12} = \frac{GRT_1}{n-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]$$

$$L_{12} = \frac{16.8314.(27+273)}{32.(1{,}5-1)}\left[1-\left(\frac{8}{1}\right)^{\frac{1{,}5-1}{1{,}5}}\right] = -2490.10^3\ \text{J} = -2490\text{kJ}.$$

Bài tập 1.25 Hơi nước bão hoà ẩm có độ khô x = 0,3, ở áp suất 5 bar, entanpi và thể tích riêng của hơi bão hoà khô 2749 kJ/kg và 0,3747 m^3/kg; entanpi và thể tích riêng của nước sôi 640 kJ/kg và 0,0011 m^3/kg. Xác định entanpi, thể tích riêng hơi nước bão hoà ẩm.

Lời giải:

Theo (1-29) ta có:

$i_x = i' + x(i'' — i') = 640 + 0{,}3.(2747 — 640) = 1272{,}7$ kJ/kg

$v_x = v' + x(v'' — v') = 0{,}0011 + 0{,}3(0{,}3747 — 0{,}0011) = 0{,}11318\ m^3$/kg

Bài tập 1.26 Xác định độ khô của hơi nước bão hoà ẩm biết entanpi của nước sôi 560 kJ/kg, của hơi bão hoà khô 3450 kJ/kg và của hơi bão hoà ẩm 2750 kJ/kg.

Lời giải:

Theo (1-29) với $i_x = i' + x(i'' — i')$, ta có:

$$x = \frac{i_x - i'}{i''-i'} = \frac{2750-560}{3450-560} = 0{,}76$$

Bài tập 1.27 100 kg hơi nước ở trạng thái đầu p_1 = 8bar, t_1 = 240 ^{0}C dãn nở đoạn nhiệt đến áp suất p_2 = 2 bar. Xác định độ khô của hơi sau khi dãn nở và công kỹ thuật của quá trình.

Lời giải:

Đây là quá trình đoạn nhiệt của hơi nước, hình 1-5 biểu diễn quá trình trên đồ thị I-s.

Từ bảng hơi nước bão hoà với p_1 = 8bar, ta có nhiệt độ sôi t_s = 170,42 ^{0}C, vì nhiệt độ đã cho $t_1 > t_s$ nên hơi đã cho là hơi quá nhiệt. Ta có:

$s_1 = s_2$ = const,

$s_2 = s_2' + x(s_2'' — s_2')$

Độ khô của hơi sau khi dãn nở:

$$x_2 = \frac{s_s - s_2'}{s_2'' - s_2'}$$

Công kỹ thuật của quá trình đoạn nhiệt theo (6-7):

$L_{kt12} = G.l_{kt12} = - G.(i_2 — i_1) = G. (i_1 — i_2)$

Từ bảng hơi quá nhiệt với p_1 = 8 bar, t_1 = 240 ^{0}C ta tìm được:

i_1 = 2926 kJ/kg; s_1 = 6,991 kJ/kg ^{0}K;

Từ bảng hơi nước bão hoà với p_2 = 2bar, ta có:

s_2' = 1,53 kJ/kg ^{0}K; s_2'' = 7,127 kJ/kg ^{0}K;

Vậy độ khô của hơi:

$$x_2 = \frac{6,991 - 1,53}{7,127 - 1,53} = 0,977 ,$$

Giá trị entanpi i_2 có thể tìm từ đồ thị I-s qua đIểm 2 ta tìm được i_2 = 2656 kJ/kg.

Vậy công kỹ thuật của quá trình:

L_{kt12} = 100.(2926 — 2656) = 27000 kJ/h = 7,5 kW.

Bài tập 1.28 Xác định khối lượng riêng và thể tích riêng của không khí ở điều kiện nhiệt độ t = 27 ^{0}C, áp suất p = 1 bar (khi tính toán lấy kilomol của 1 kg không khí là μ = 29).

Trả lời ρ = 1,163 kg/m^3; v = 0,86 m^3/kg.

Bài tập 1.29 Khí CO_2 được bơm vào bình có thể tích V = 3 bằng máy nén. Chỉ số áp kế gắn trên nắp bình chỉ áp suất dư trước khi nén 0,3 at và sau khi nén 3 at, nhiệt độ CO_2 trong bình bình tăng từ t_1 = 45 ^{0}C đến t_2 = 70 ^{0}C. Xác định lượng khí CO_2 được bơm vào bình nếu áp suất khí quyển là 700 mmHg.

Trả lời G = 11,8 kg;

Bài tập 1.30 Một bình kín thể tích 100 l chứa 2 kg khí O_2 ở nhiệt độ 47 ^{0}C. biết áp suất khí quyển là 1 bar. Xác định chỉ số đồng hồ áp kế gắn trên nắp bình.

Trả lời 15,64 bar;

Bài tập 1.31 Biết nhiệt dung riêng trung bình từ 0 ^{0}C đến 1500 ^{0}C của một chất khí C_{tb} = 1,024 +0,00008855.t, kJ/kg.^{0}K. Xác định nhiệt dung riêng trung bình của khí đó trong khoảng từ 200 ^{0}C đến 800 ^{0}C.
Gợi ý: Chỉ việc hay vào giá trị nhiệt dung riêng trung bình đã cho ở:

$$T = 0,5(t_1 + t_2)$$

Trả lời C_{tb} = 1,11255 kJ/kg ^{0}K.

Bài tập 1.32 Biết nhiệt dung riêng thực của chất khí phụ thuộc vào nhiệt độ từ 0 ^{0}C đến 1500 ^{0}C C = 1,02344 +0,0000548.t, kJ/kg.^{0}K. Xác định nhiệt dung riêng trung bình của khí đó trong khoảng từ 400 ^{0}C đến 1600 ^{0}C.
Gợi ý: Chỉ việc hay vào giá trị nhiệt dung riêng trung bình đã cho ở:

$$T = 0,5(t_1 + t_2)$$

Trả lời C_{tb} = 1,078 kJ/kg ^{0}K.

Bài tập 1.33 ở áp suất 10 bar, entanpi của nước sôi hơi nước bão hoà khô là 762,7 kJ/kg và 2778 kJ/kg. Xác định entanpi của hơi nước bão hoà ẩm có độ khô x = 0,8.
Trả lời i_x = 2375 kJ/kg.

Bài tập 1.34 ở áp suất 10 bar, entropi của nước sôi hơi nước bão hoà khô là 2,138 kJ/kg.^{0}K và 6,587 kJ/kg. ^{0}K. Xác định độ khô của hơi nước bão hoà ẩm nếu biết entropi của hơi nước bão hoà ẩm là 4,138 kJ/kg. ^{0}K.
Trả lời x = 0,8.

Bài tập 1.35 Một bình có thể tích V = 0,015 m^3 chứa không khí ở áp suất đầu p_1 = 2 bar, nhiệt độ t_1 = 30 ^{0}C. Người ta cung cấp cho không khí trong bình một lượng nhiệt 16 kJ. Xác định nhiệt độ cuối, áp suất cuối quá trình và lượng biến đổi entropi của không khí (lấy μ = 29).
Trả lời t_2 = 674 ^{0}C ; p_2 = 6,25 bar; Δs = 28,2 J/ ^{0}K.

Bài tập 1.36 1 kg không khí ở áp suất đầu p_1 = 1 at, thể tích v_1 = 0,8 m^3/kg nhận một lượng nhiệt 100kcal/kg trong điều kiện áp suất không đổi. Xác định nhiệt độ đầu và cuối, thể tích cuối quá trình.
Trả lời t_1 = 0 ^{0}C ; t_2 = 416 ^{0}C ; v_2 = 2,202 m^3/kg.

Bài tập 1.37 Không khí trong xy lanh dãn nở đẳng nhiệt ở nhiệt độ t = 20 ^{0}C, từ thể tích V_1 = 1,5 m^3, áp suất p_1 = 5 bar đến thể tích V_2 = 5,4 m^3. Xác định lượng nhiệt cần cung cấp, công thay đổi thể tích, lượng biến đổi entrôpi của không khí trong xilanh.
Trả lời Q = L_{12} = 9,6 kJ; Δs = 3,28 kJ/ ^{0}K.

Bài tập 1.38 Không khí được nén đoạn nhiệt trong máy nén từ áp suất 1 at đến áp suất 8 at. Hãy xác định các thông số trạng thái của không khí sau khi nén và công kỹ thuật của quá trình nén với 1 kg không khí, nếu biết nhiệt độ không khí trước khi nén $t_1 = 15^0C$.

Trả lời $t_2 = 249\ ^0C$; $v_2 = 0,1906\ m^3/kg$; $l_{kt} = -\ 167\ kJ/kg$.

Bài tập 1.39 1 kg không khí được nén đa biến với số mũ n = 1,2 trong máy nén từ nhiệt độ $t_1 = 20\ ^0C$, áp suất $p_1 = 0,98$ bar đến áp suất $p_2 = 7,845$ bar. Hãy xác định nhiệt độ không khí sau khi nén, lượng biến đổi nội năng, lượng nhiệt thải ra, công thay đổi thể tích và công kỹ thuật của quá trình nén.

Trả lời $t_2 = 249\ ^0C$; $\Delta u = 87,2\ kJ/kg$;

$Q = 87,2\ kJ/kg$; $l_{12} = -\ 174,4\ kJ/kg$; $l_{kt} = -\ 209\ kJ/kg$.

1.12. BÀI TẬP VỀ HỖN HỢP KHÍ VÀ LƯU ĐỘNG

Bài tập 1.40 Hỗn hợp khí gồm O_2 và H_2 có thành phần thể tích $r_{O2} = 30\%$, $r_{H2} = 70\%$. Xác định hằng số chất khí của hỗn hợp, thành phần khối lượng và phân áp suất của khí thành phần nếu biết áp suất của hỗn hợp là p = 1 bar.

Lời giải

Hằng số chất khí của hỗn hợp được xác định theo (1-73) khi biết thành phần thể tích:

$$R = \frac{8314}{\mu}$$

Theo (1-71) kilomol của hỗn hợp:

$$\mu = \sum_{i=1}^{n} r_i \mu_i = r_{O2}.\ \mu_{O2} + r_{H2}.\ \mu_{H2}$$

$$\mu = 0,3.32 + 0,7.2 = 11,$$

$$R = \frac{8314}{11} = 755,6\ ,\ J/kg.^0K$$

Thành phần khối lượng của hỗn hợp được xác định theo (1-77) khi biết thành phần thể tích:

$$g_i = \frac{\mu_i r_i}{\sum \mu_i r_i}$$

$$g_i = \frac{\mu_{O2} r_{O2}}{\mu_{O2} r_{O2} + \mu_{H2} r_{H2}} = \frac{0,3.32}{0,3.32 + 0,7.2} = 0,873 = 87,3\%$$

$$g_{H2} = 1 — g_{O2} = 1 — 0,873 = 0,127 = 12,7\%$$

Phân áp suất của khí thành phần theo (1-76):

$$P_{O2} = r_{O2}.\ p = 0,3.1 = 0,3\ bar$$

$$P_{H2} = r_{H2}.\ p = 0,7.1 = 0,7\ bar$$

(hoặc $P_{H2} = p — p_{O2} = 1 — 0,3 = 0,7$ bar).

Bài tập 1.41 Một hỗn hợp khí có thành phần khối lượng N_2 là 60%, của CO_2 là 40%. Xác định hằng số chất khí, thể tích riêng của hỗn hợp ở điều kiện tiêu chuẩn ($p_0 = 760$ mmHg, $t_0 = 0^0C$).

Lời giải

Hằng số chất khí của hỗn hợp được xác định theo (1-74):

$$R = \sum_{i=1}^{n} g_i R_i = g_{N2}.\ R_{N2} + g_{CO2}.\ R_{CO2}$$

$$R = \ R = 0,6.\frac{8314}{28} + 0,4.\frac{8314}{28} = 253,7 \ \text{kJ/kg.}^0\text{K}$$

Thể tích riêng của hỗn hợp được xác định theo phương trình trạng thái:

$$P_0.v_0 = R.T_0$$

$$v_0 = \frac{RT_0}{p_0} = \frac{253,7.273}{\frac{760}{750}.10^5} = 0,684\ \text{m}^3/\text{kg}.$$

Bài tập 1.42 Dòng thứ nhất có lưu lượng $G_1 = 100$ kg/s, nhiệt độ 150 ^{0}C hợp với dòng không khí thứ hai có lưu lượng $G_2 = 144000$ kg/h, nhiệt độ 200 ^{0}C. Xác định nhiệt độ của hỗn hợp.

Lời giải

Đây là hỗn hợp theo dòng và các dòng là cùng một chất, vậy nhiệt độ của hỗn hợp được xác định theo (1-81b):

$$t = \ \sum g_i t_i$$

$$t = g_1 t_1 + g_2 t_2$$

với $$g_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} = \frac{100}{100 + 40} = 0,714$$

$$g_2 = 1 — g_1 = 1 — 0,714 = 0,286$$

Nhiệt độ của hỗn hợp:

$$T = 0,714.\ 150 + 0,286.\ 200 = 164,3\ ^0\text{C}.$$

Bài tập 1.43 Dòng khí O_2 có lưu lượng 20 kg/s, nhiệt độ 47 ^{0}C hợp với dòng khí N_2 có lưu lượng 5 kg/s, nhiệt độ 147 ^{0}C. Xác định nhiệt độ của hỗn hợp.

Lời giải

Đây là hỗn hợp theo dòng, theo (1-81) nhiệt độ của hỗn hợp:

$$T = \frac{g_{O2}Cp_{O2}T_{O2} + g_{N2}Cp_{N2}T_{N2}}{g_{O2}C_{pO2} + g_{O2}C_{pO2}}$$

ở đây:

$$g_{O2} = \frac{20}{20 + 5} = 0,8; \quad g_{N2} = 1 — g_{O2} = 1 — 0,8 = 0,2$$

$$T_{O2} = 47 + 273 = 320\ ^0\text{K}; \quad T_{N2} = 147 + 273 = 420\ ^0\text{K};$$

$$C_{pO2} = \frac{7}{32}\ \text{kcal/kg.}^0\text{K}; \qquad C_{pN2} = \frac{7}{28}\ \text{kcal/kg.}^0\text{K}$$

$$T = \frac{0{,}8\frac{7}{32}.320 + 0{,}2.\frac{7}{28}.420}{0{,}8.\frac{7}{32} + 0{,}2\frac{7}{28}} = 342\ ^0\text{K} = 69^0\text{C}.$$

Bài tập 1.44 0,64 kg khí O_2 ở nhiệt độ 127 ^{0}C hợp với 0,36 kg khí N_2 ở nhiệt độ 27 ^{0}C trong thể tích đã cho. Xác định nhiệt độ của hỗn hợp.

Lời giải

Đây là trường hợp hỗn hợp trong thể tích đã cho, theo (1-79a) nhiệt độ của hỗn hợp:

$$T = \frac{g_{O2}C_{vO2}T_{O2} + g_{N2}C_{vN2}T_{N2}}{g_{O2}C_{vO2} + g_{O2}C_{vO2}}$$

ở đây:

$$g_{O2} = \frac{0{,}64}{0{,}64 + 0{,}36} = 0{,}64; \quad g_{N2} = 1 - g_{O2} = 1 - 0{,}64 = 0{,}36$$

$$T_{O2} = 127 + 273 = 400\ ^0\text{K}; \qquad T_{N2} = 27 + 273 = 300\ ^0\text{K};$$

$$C_{vO2} = \frac{5}{32}\ \text{kcal/kg.}^0\text{K}; \qquad C_{vN2} = \frac{5}{28}\ \text{kcal/kg.}^0\text{K}$$

$$T = \frac{0{,}64\frac{5}{32}.400 + 0{,}36.\frac{5}{28}.300}{0{,}64.\frac{5}{32} + 0{,}36\frac{5}{28}} = 373\ ^0\text{K} = 100^0\text{C}.$$

Bài tập 1.45 10 kg khí O_2 ở nhiệt độ 127 ^{0}C hợp với 30 kg khí O_2 ở nhiệt độ 27 ^{0}C trong thể tích đã cho. Xác định nhiệt độ của hỗn hợp.

Lời giải

$$t = \sum g_i t_i = g_1.t_1 + g_2.t_2$$

với $$g_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} = \frac{10}{10 + 30} = 0{,}25$$

$$g_2 = 1 - g_1 = 1 - 0{,}25 = 0{,}75$$

$$t_1 = 127\ ^0\text{C} \quad ; \quad t_2 = 27\ ^0\text{C},$$

Nhiệt độ của hỗn hợp

$$t = 0{,}25.\ 127 + 0{,}75.\ 27 = 52\ ^0\text{C}.$$

Bài tập 1.46 Một dòng khí có khối lượng G_2 = 10 kg, nhiệt độ t_2 = 127 ^{0}C được nạp vào bình có thể tích V = 10 m^3 chứa sẵn không khí ở nhiệt độ t_1 = 27 ^{0}C, áp suất 1 bar. Hãy xác định nhiệt độ và áp suất của hỗn hợp.

Lời giải

Đây là trường hợp hỗn hợp khí nạp vào thể tích cố định, nhiệt độ của hỗn hợp được xác định theo (1-82):

$$T = \frac{g_1 C_{v1} T_1 + g_2 C_{v2} T_2}{g_1 C_{v1} + g_2 C_{v2}}$$

Vì hỗn hợp gồm cùng một chất (không khí), nên ta có $C_{v1} = C_{v2}$ và $\frac{C_p}{C_v} = k$

Vậy ta có:

$$T = g_1.T_1 + kg_2.T_2$$

Khối lượng không khí có sẵn trong bình G_1 được xác định theo:

$$G_1 = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{1.10^5.10}{287.300} = 11{,}6\,kg$$

Vậy thành phần khối lượng g_1, g_2 bằng:

$$g_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} = \frac{11{,}6}{11{,}6 + 10} = 054$$

$g_2 = 1 — g_1 = 1 — 0{,}54 = 0{,}46$

Nhiệt độ hỗn hợp:

$T = 0{,}54.\ 300 + 1{,}4.0{,}46.400 = 419{,}6\ ^0$K (= 146,6 ^{0}C)

áp suất của hỗn hợp được xác định từ phương trình trạng thái viết cho hỗn hợp:

$pv = GRT$

$G = G_1 + G_2 = 11{,}6 + 10 = 21{,}6$kg

$$p = \frac{GRT}{V} = \frac{21{,}6.287.419{,}6}{10} = 2{,}6.10^5\ N/m^2 = 2{,}6\ bar.$$

Bài tập 1.47 Khí O_2, áp suất p_1 =60at, nhiệt độ t_1 = 100 ^{0}C chuyển động qua ống tăng tốc (ống phun) nhỏ dần vào môI trường có áp suất p_2 = 36 at. Xác định tốc độ ra của dòng khí O_2 tại tiết diện ra của ống và lưu lượng nếu tiết diện ra f_2 = 20 mm^2.

Lời giải

Trước hết cần so sánh tỷ số áp suất $\beta = \frac{p_2}{p_1}$ với tỷ số áp suất tới hạn của khí O_2 là khí 2 nguyên tử :

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{36}{60} = 0{,}6 > \beta_k = 0{,}528$$

Vậy dòng O_2 chưa đến trang thái tới hạn nên tốc độ $\omega_2 < \omega_2$, lưu lượng $G < G_{max}$. Tốc độ được xác định theo (1-88):

$$\omega_2 = \sqrt{2\frac{k}{k-1}RT_1\left[1-\beta_k^{\frac{k-1}{k}}\right]}$$

$$= \sqrt{\frac{2.1{,}4}{1{,}4-1}.\frac{8314}{32}(100+273)\left[1-0{,}6^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}}\right]} = 304\,\text{m/s}$$

Lưu lượng dòng O_2 được xác định theo phương trình liên tục tại tiết diện ra theo (1-93):

$$G = \frac{f_2\omega_2}{v_2}$$

ở đây: v_2 - thể tích riêng được xác định theo quá trình đoạn nhiệt(lưu động đang xét là đoạn nhiệt):

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = \beta$$

$$v_2 = v_1\beta^{-\frac{1}{k}}$$

v_1 là thể tích riêng ở trang thái đầu được xác định từ phương trình trạng tháI:

$$p_1.v_1 = R.T_1$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{8314.373}{32.60.0{,}98.10^5} = 0{,}01648\,\text{m}^3/\text{kg},$$

$$v_2 = 0{,}01648.0{,}6^{-\frac{1}{1{,}4}} = 0{,}0236\ \text{m}^3/\text{kg},$$

Vậy lưu lượng O_2 bằng:

$$G = \frac{20.10^{-6}.304}{0{,}0236} = 0{,}258\ \text{kg/s}.$$

Bài tập 1.48 Chất khí lưu động đoạn nhiệt trong ống tăng tốc nhỏ dần, entanpi giảm đi một lượng 45 kJ/kg. Xác định entanpi của khí khi ra khỏi ống.

Lời giải

$$\omega_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2)} = \sqrt{2.45.10^3} = 300\ \text{m/s}$$

Bài tập 1.49 Chất khí lưu động trong ống tăng tốc với tốc độ tại cửa ra là 200 m/s, có entanpi vào 40 kJ/kg.. Xác định entanpi của khí khi ra khỏi ống.

Lời giải

Theo (1-89) ta có:

$$\omega_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2)} \text{ hay } \omega^2{}_2 = 2(i_1 — i_2)$$

$$i_2 = i_1 - \frac{\omega^2}{2} = 40.10^3 - \frac{200^2}{2} = 20.10^3 = 20\ \text{kJ/kg}$$

Bài tập 1.50 Xác định tỷ số áp suất tới hạn của dòng khí có số mũ đoạn nhiệt k = 1,4.

Lời giải
T ỷ số áp suất tới hạn được xác định theo (1-90):

$$\beta_k = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{2}{1,4+1}\right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,528.$$

Bài tập 1.51 Một hỗn hợp khí gồm O_2 và H_2. Thành phần khối lượng của H_2 là 10%. Xác định hằng số chất khí của hỗn hợp, thể tích riêng của hỗn hợp ở điều kiện tiêu chuẩn (p_0 = 760 mmHg, $t_0 = 0^0$C).

Trả lời: R = 648,5 J/kg.^{0}K; v = 1,747 m^3/kg;

Bài tập 1.52 1 kg không khí khô gồm N_2 và O_2 có thành phần thể tích r_{O2} = 21%, r_{N2} = 79%. Xác định kilomol μ của hỗn hợp, hằng số chất khí của hỗn hợp và phân áp suất của khí N_2 và O_2 tròng hỗn hợp khi áp suất của hỗn hợp là p = 10 bar.

Trả lời μ = 28,84 kg; R = 288 J/kg.^{0}K;
p_{O2} = 2,1 bar; p_{N2} = 7,9 bar;

Bài tập 1.53 Trong một bình có vách ngăn, ngăn bên trái chứa 1 kg khí O_2 ở nhiệt độ 27 ^{0}C, ngăn bên phải chứa 1 kg khí N_2 ở nhiệt độ 127 ^{0}C. Hãy xác định nhiệt độ của hỗn hợp sau khi bỏ vách ngăn.

Trả lời t = 80 ^{0}C.

Bài tập 1.54 Dòng thứ nhất có lưu lượng G_1 = 120 kg/h, nhiệt độ t_1 = 500 ^{0}C hợp với dòng không khí thứ hai có lưu lượng G_2 = 210 kg/h, nhiệt độ t_2 = 200 ^{0}C. Hãy xác định nhiệt độ của hỗn hợp.

Trả lời t = 309 ^{0}C.

Bài tập 1.55 Một bình kín có chứa 10 kg khí O_2 ở nhiệt độ 27 ^{0}C. Người ta nạp vào bình mọt dòng khí cũng là O_2 ở nhiệt độ 37 ^{0}C. Hãy xác định nhiệt độ của hỗn hợp.

Trả lời t = 49 ^{0}C.

Bài tập 1.56 Khí hai nguyên tử có hằng số chất khí R = 294,3 J/kg.^{0}K ở áp suất p_1 = 63,7 bar, nhiệt độ T_1 = 300 ^{0}K lưu động qua ống tăng tốc nhỏ dần phun vào môi trường có áp suất p_2 = 35,4 bar. Xác định tốc độ tại của ra của ống, lưu lượng của dòng khí nếu đường kính của tiết diện ra d_2 = 5 mm và β_k = 0,528.

Trả lời $\omega_2 = 310$ m/s; $G = 0{,}257$ kg/s;

Bài tập 1.57 Hơi nước quá nhiệt ở áp suất $p_1 = 10$ bar, nhiệt độ $t_1 = 300\ ^0$C lưu động qua ống tăng tốc nhỏ dần vào môi trường trong hai trường hợp:
a) có áp suất $p_2 = 7$ bar,
b) có áp suất $p_2 = 4$ bar,

Xác định tốc độ dòng hơi tại cửa ra của ống trong hai trường hợp trên, biết $\beta_k = 0{,}55$.

Trả lời a) $\omega_2 = 310$ m/s; b) $\omega_2 = \omega_k = 510$ m/s;

Bài tập 1.58 Không khí lưu động qua ống tăng tốc hỗn hợp có áp suất $p_1 = 8$at, nhiệt độ $t_1 = 127\ ^0$C vào môi trường có áp suất $p_2 = 1$ at. Xác định tốc độ tại của ra của ống và đường kính của tiết diện ra nếu biết lưu lượng của không khí nếu là 2kg/s.

Trả lời $\omega_2 = 600$ m/s; $d_2 = 63$ mm;

Bài tập 1.59 Hơi nước quá nhiệt ở áp suất $p_1 = 20$ bar, nhiệt độ $t_1 = 400\ ^0$C lưu động qua ống tăng tốc hỗn hợp vào môi trường có áp suất $p_2 = 5$ bar. Xác định tốc độ tại của ra của ống và tốc độ tại tiết diện nhỏ nhất của ống, biết $\beta_k = 0{,}55$.

Trả lời a) $\omega_2 = 837$ m/s; b) $\omega_k = 600$ m/s;

1.13. BÀI TẬP VỀ QUÁ TRÌNH NÉN KHÍ VÀ KHÔNG KHÍ ẨM

Bài tập 1.60 Máy nén lý tưởng mỗi giờ nén được 100 m^3 không khí từ áp suất $p_1 = 1$ at, nhiệt độ $t_1 = 27\ ^0$C đến áp suất $p_2 = 8$ at theo quá trình đa biến với $n = 1{,}2$. Xác định công suất của máy nén, lượng nhiệt toả ra trong quá trình nén.

Lời giải

Công suất (hay công) của máy nén được xác định theo (1-96):

$$N = -\frac{n}{n-1} GRT_1 (\pi^{\frac{n}{n-1}} - 1)$$

$$N = -\frac{n}{n-1} p_1 V_1 (\pi^{\frac{n}{n-1}} - 1)$$

ở đây $n = 1{,}2$; $p_1 = 1$ at $= 0{,}98.10^5$ N/m^2,

$V_1 = 100$ m^3/h $= 100/3600$ m^3/s,

$$\pi = \frac{p_2}{p_1} = \frac{8}{1} = 8$$

$$N_{mn} = -\frac{1,2}{1,2-1}.0,98.10^5.\frac{100}{3600}(8^{\frac{1,2-1}{1,2}} - 1) = -6,78.10^3\ W$$

Nhiệt toả ra trong quá trình nén được tính theo (1-97):

$$Q_n = -G.C_n T_1(\pi^{\frac{n}{n-1}} - 1)$$

Khối lượng G (kg/s) được xác định từ phương trình trạng thái:

$$G = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{1.0,98.10^5.100}{287.(27+273).3600} = 0,0316\ kg/s$$

Nhiệt dung riêng của quá trình đa biến C_n được xác định theo (1-49) với không khí k =1,4:

$$C_n = C_v \frac{n-k}{n-1} = \frac{20,9}{29}\frac{1,2-1,4}{1,2-1} = -0,72\ kJ/kg.^0K$$

C_n = -0,72 kJ/kg.^{0}K,

ở đây $C_v = \frac{C_{\mu v}}{\mu}$; $C_{\mu v}$ = 20,9 kJ/kg.^{0}K, tra ở bảng 1 phụ lục, μ = 29 kg.

Vậy nhiệt lượng toả ra trong quá trình nén:

$$Q_n = -0,0316.0,72.10^3(8^{\frac{0,2}{1,2}} - 1) = -2,82.10^3\ W = -2,82kW\ .$$

Bài tập 1.61 Không khí ẩm ở áp suất p_1 = 1at, nhiệt độ t_1 = 25 ^{0}C, độ ẩm tương đối φ = 0,6. Xác định phân áp suất hơi nước p_h, nhiệt độ đọng sương t_s, độ chứa hơi d, entanpi I của không khí ẩm.

Lời giải

Theo (1-103) ta có:

$$\varphi = \frac{p_h}{p_{h\,max}}$$

vậy $p_h = \varphi.p_{hmax}$

Từ bảng nước và hơi nước bão hoà với $t_h = t$ =25 ^{0}C, tra được áp suất p_{max} = 0,03166 bar. Vậy phân áp suất của hơi nước:

P_h = 0,6.0,03166 = 0,018996 bar = 0,19 bả

Từ bảng nước và hơi nước bão hoà với p_h = 0,019 bar tra được nhiệt độ đọng sương t_s = 17 ^{0}C.

Độ chứa hơi d theo (1-104):

$$d = 622\frac{p_h}{p - p_h} = 622\frac{0,019}{1-0,019} = 12\ g/kg\ khô = 0,012kg/kg\ khô$$

Entanpi tinh theo (1-106):

$I = t + d(2500 + 1,93\ t)$

$= 25 + 0,012(2500 + 1,93.25) = 55,6$ kJ/kg khô.

Bài tập 1.62 10 kg không khí ẩm ở áp suất p_1 = 1 bar, nhiệt độ t_1 = 20 ^{0}C, nhiệt độ đọng sương t_s = 10 ^{0}C. Xác định độ ẩm tương đối φ, độ chứa hơi d, entanpi I và khối lượng không khí ẩm G, khối lượng riêng của không khí ẩm ρ.

Lời giải

Theo (1-103) ta có:

$$\varphi = \frac{p_h}{p_{h\,max}}$$

Tra bảng nước và hơi nước bão hoà theo:

$t = 20\ ^0C$, tra được áp suất $p_{max} = 0,0234$ bar

$t = 10\ ^0C$, tra được áp suất $p_h = 0,0123$ bar

Vậy:

$$\varphi = \frac{0,0123}{0,0234} = 0,53$$

Theo (1-104) ta có:

$$d = 622\frac{p_h}{p - p_h} = 622\frac{0,0123}{1 - 0,0123} = 0,00775\,\text{kJ/kg khô}$$

Entanpi tinh theo (1-106):

$I = t + d(2500 + 1,93\ t)$

$= 20 + 0,00775(2500 + 1,93.20) = 39,67$ kJ/kg khô.

Lượng không khí ẩm:

$G = G_h + G_k$

Từ phương trình trạng thái viết cho hơi nước và không khí khô ta tính được:

$$G_h = \frac{p_h.V}{R_h T} = \frac{0,0123.10^5.10}{\frac{8314}{18}.(20 + 273)} = 0,09\ \text{kg hơi nước}$$

$$G_k = \frac{p_k.V}{R_k T} = \frac{(1 - 0,0123).10^5.10}{287.(20 + 273)} = 11,75\ \text{kg không khí khô}$$

$G = 0,09 + 11,75 = 11,84$ kg.

Khối lượng riêng của không khí ẩm ρ:

$$\rho = \frac{G}{V} = \frac{11,84}{10} = 1,184\ \text{kg/m}^3 \approx 1,2\ \text{kg/ m}^3$$

Bài tập 1.63 Không khí ẩm có độ ẩm $\varphi = 0,6$, áp suất hơi nước bão hoà $p_{bh} = 0,06$ bar, áp suất khí quyển $p_0 = 1$ bar. Xác định độ chứa hơi d.

Lời giải

Độ chứa hơi d của không khí ẩm theo (1-104):

$$d = 622\frac{p_h}{p - p_h}; \qquad \varphi = \frac{p_h}{p_{bh}}$$

$p_h = \varphi.p_{bh} = 0,7.0,06 = 0,042$ bar,

$$d = 622\frac{0,042}{1 - 0,042} = 27,3\ \text{g/kg}$$

Bài tập 1.64 Không khí ẩm có phân áp suất của hơI nước 30 mmHg, áp suất khí quyển $p_0 = 750$ mmHg. Xác định độ chứa hơi d.

Lời giải
Theo (1-104) độ chứa hơi d:

$$d = 622\frac{p_h}{p_0 - p_h}\quad d = 622\frac{30}{750-30} = 25{,}9\ \text{g/kg}$$

Bài tập 1.61 Không khí ẩm ở trạng thái đầu có nhiệt độ $t_1 = 20\ ^0$C, độ ẩm tương đối $\varphi_1 = 40\%$ được đốt nóng tới nhiệt độ $t_2 = 80\ ^0$C rồi đưa vào buồng sấy. Sau khi sấy nhiệt độ giảm xuống $t_3 = 35\ ^0$C. Xác định độ chứa hơi d, độ ẩm tương đối φ sau khi sấy, nhiệt và lượng không khí cần để bốc hơi 1 kg nước trong vật sấy.
Lời giải

Từ hình 1-3 và đồ thị I-d của không khí ẩm trong phần phụ lục ta tìm được:

$d_1 = 6$ g/kg; $d_3 = 24$ g/kg; $\varphi_3 = 66\%$;
$I_1 = 8{,}3$ kcal/kg; $I_1 = 23$ kcal/kg;

Vậy độ chứa hơi $d_3 = 24$ g/kg, độ ẩm tương đối sau khi sấy $\varphi_3 = 66\%$.
Lượng nhiệt cần để bốc hơi 1 kg nước trong vật sấy htoe (1-108):

$$Q = \frac{I_2 - I_1}{d_3 - d_1} = \frac{23 - 8{,}3}{0{,}024 - 0{,}006} = 817\ \text{kcal/kg}$$

$$Q = 817.4{,}18 = 3415\ \text{kJ/kg}$$

Lượng không khí cần để bốc hơi 1 kg nước trong vật sấy theo (1-107):

$$G = \frac{1 + d_1}{d_3 - d_1} = \frac{1 + 0{,}006}{0{,}024 + 0{,}006} = 55{,}9\ \text{kg/kg.}$$

. Vậy phân áp suất của hơi nước:

$P_h = 0{,}6.0{,}03166 = 0{,}018996$ bar = 0,19 bả

Từ bảng nước và hơi nước bão hoà với $p_h = 0{,}019$ bar tra được nhiệt độ đọng sương $t_s = 17\ ^0$C.
Độ chứa hơi d theo (1-104):

$$d = 622\frac{p_h}{p - p_h} = 622\frac{0{,}019}{1 - 0{,}019} = 12\ \text{g/kg khô} = 0{,}012\text{kg/kg khô}$$

$$= 25 + 0{,}012(2500 + 1{,}93.25) = 55{,}6\ \text{kJ/kg khô.}$$

khối lượng riêng của không khí ẩm ρ

Chương 2. CHU TRÌNH NHIỆT ĐỘNG VÀ MÁY LẠNH

2.1. CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ NHIỆT

2.1.1. Công của chu trình, hiệu suất nhiệt, hệ số làm lạnh và bơm nhiệt

Công của chu trình nhiệt được tính bằng tổng công thay đổi thể tich hoặc công kỹ thuật của các quá trình trong chu trình.

$$l_0 = \sum l_i = \sum l_{kt} \qquad (2\text{-}1)$$

Công của chu trình còn được tính theo nhiệt:

Với chu trình động cơ nhiệt (thuận chiều, công sinh ra) công của chu trình là hiệu số giữa nhiệt cấp q_1 cho chu trình và nhiệt nhả q_2 cho nguồn làm mát.

$$l_0 = q_1 - |q_2| \qquad (2\text{-}2)$$

Với chu trình máy lạnh hoặc bơm nhiệt (chu trình ngược chiều, tiêu hao công) công của chu trình mang dấu âm $l_0 < 0$ và cũng là hiệu số giữa nhiệt nhả từ chu trình q_1 và nhiệt lấy của vật cần làm lạnh q_2.

$$|l_0| = |q_1| - q_2 \qquad (2\text{-}3)$$

Hiệu suất nhiệt η_t để đánh giá mức độ hoàn thiện của chu trình động cơ nhiệt:

$$\eta = \frac{l_0}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} \qquad (2\text{-}4)$$

Hệ số làm lạnh ε để đánh giá mức độ hoàn thiện của chu trình máy lạnh:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|l_0|} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} \qquad (2\text{-}5)$$

Hệ số bơm nhiệt φ để đánh giá mức độ hoàn thiện của chu trình bơm nhiệt (bơm nhiệt là máy làm việc theo nguyên lý máy lạnh, nhưng ở đay sử dụng nhiệt q_1 ở nhiệt độ cao cho các quá trình như sấy, sưởi . . .):

$$\varphi = \frac{|q|}{|l_0|} = \varepsilon + 1 \qquad (2\text{-}6)$$

2.1.2. Hiệu suất nhiệt của chu trình Carno

Chu trình Carno gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt xen kẽ nhau, ở nhiệt độ hai nguồn nhiệt không đổi T_1 = const (nguồn nóng), T_2 = const (nguồn lạnh). Chu trình Carno là một trong những chu trình thuận nghịch. Hiệu suất nhiệt của chu trình Carno thuận chiều bằng:

$$\eta_{tc} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (2\text{-}7)$$

Hệ số làm lạnh của chu trình Carno ngược chiều bằng:

$$\varepsilon_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \qquad (2\text{-}8)$$

2.2 CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

2.2.1. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích

Nhiên liệu ở đây là xăng hoặc khí cháy xẩy ra rất nhanh nên coi là quá trình cháy đẳng tích v = const. Hiệu suất chu trình bằng:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \qquad (2\text{-}9)$$

Trong đó:

ε- tỷ số nén:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$$

k — số mũ đoạn nhiệt

2.2.2. Chu trình cháy đẳng áp

Nhiên liệu là mazut, . . . qua strình cháy xẩy ra chậm nên coi là cháy đẳng áp p = const. Đây là động cơ diezen trước đây. Hiệu suất chu trình cấp nhiệt bằng:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{\rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} k(\rho - 1)} \qquad (2\text{-}10)$$

ρ - tỷ số dãn nở sớm:

$$\rho = \frac{v_3}{v'_2}$$

2.2.3. Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp

Nhiên liệu là dầu mazut, □. được phun vào xi lanh nhờ bơm cao áp và vòi phun dưới dạng những hạt rất nhỏ như sương mù, quá trình cháy xẩy ra nhanh hơn và coi là cháy hỗn hợp (phần đầu cháy đẳng tích, phần sau cháy đẳng áp). Đây là động cơ diezen hiện đại. Hiệu suất chu trình cấp nhiệt bằng:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{\lambda\rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1}\left[(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)\right]} \qquad (2\text{-}11)$$

λ - Tỉ số tăng áp trong quá trình cấp nhiệt:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

2.2.4. So sánh hiệu suất nhiệt của chu trình động cơ đốt trong

Khi ký hiệu hiệu suất của chu trình cháy đẳng tích là η_{tv}, cháy đẳng áp là η_{tp}, cháy hỗn hợp là η_{th} ta có:

- Khi có cùng tỉ số nén ε và nhiệt lượng q_1 cấp vào cho chu trình:

$$\eta_{tv} > \eta_{th} > \eta_{tp}$$

- Khí có cùng áp suất và nhiệt độ lớn nhất và nhỏ nhất:

$$\eta_{tp} > \eta_{th} > \eta_{tv}$$

2.3 CHU TRÌNH TUỐC BIN KHÍ

Chu trình tuốc bin khí cấp nhiệt đẳng áp

Chu trình cấp nhiệt đẳng áp được dùng nhiều trong thực tế vì có cấu tạo buồng đốt đơn giản, có ít avn nên tổn thất qua van cũng nhỏ. Hiệu suất chu trình cấp nhiệt bằng:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \qquad (2\text{-}12)$$

trong đó:

$\beta = \frac{p_2}{p_1}$ - Tỷ số tăng áp trong quá trình nén:

T_1, T_2 — nhiệt độ không khí vào và ra khỏi máy nén;

K — số mũ đoạn nhiệt.

2.4. CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC

2.4.1. Chu trình động cơ phản lực (máy bay) có máy nén

Hiệu suất nhiệt của chu trình giống hiệu suất nhiệt chu trình tuốc bin khí cấp nhiệt đẳng áp bằng:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \qquad (2\text{-}13)$$

β là tỷ số tăng áp trong ống tăng áp và trong máy nén,

k — số mũ đoạn nhiệt.

2.4.2. Chu trình động cơ tên lửa

ở các dạng chu trình trên, oxy cần cho chu trình lấy từ khí quyển, ở đay oxy dưới dạng chất lỏng được chứa ngay trong tên lửa. Hiệu suất nhiệt của chu trình bằng:

$$\eta_{ct} = \frac{l}{q_1} = \frac{\omega_4^2}{2q_1} = \frac{\omega_4^2}{2C_p(T_3 - T_2)} \qquad (2\text{-}14)$$

trong đó:

ω_4 — tốc độ khói ra khỏi tên lửa, m/s
C_p — nhiệt dung riêng của khói, J/kg. ^{0}K,
T_3 — nhiệt độ sau khi cháy trong buồng đốt,
T_2 — nhiệt độ khi vào buồng đốt.

2.5 CHU TRÌNH RENKIN CỦANHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

Chu trình gồm các quá trình: quá trình dãn nở đoạn nhiệt trong tuốc bin, ngưng tụ đẳng áp trong bình ngưng, nén đoạn nhiệt trong bơm, cấp nhiệt đẳng áp trong lò hơi và bộ quá nhiệt.

Hiệu suất nhiệt của chu trình bằng:

$$\eta_{ct} = \frac{l}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3} \qquad (2\text{-}15)$$

l_0 — Công của chu trình,
q_1 — nhiệt cấp cho chu trình,
i_1 — entanpi vào tuốc bin,
i_2 - entanpi ra khỏi tuốc bin,
i'_2 — entanpi vào và ra khỏi bình ngưng.

2.6. CHU TRÌNH MÁY LẠNH VÀ BƠM NHIỆT

2.6.1. chu trình máy lạnh không khí

Môi chất lạnh là không khí, hiện chỉ dùng trong máy bay. Hệ số làm lạnh của chu trình bằng:

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \qquad (2\text{-}16)$$

ở đây: T_1 - nhiệt độ khí vào máy nén, T_1 - nhiệt độ khí ra khỏi máy nén.

2.6.2. Chu trình máy lạnh dùng hơi có máy nén

Môi chất thường dùng: NH_3, Frêon F_{12}, F_{22} . . .

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_4}{(i_2 - i_1)} \qquad (2\text{-}17)$$

ở đây:
q_2 — nhiệt môi chất lạnh nhận từ nguồn lạnh,
l_0 — Công của máy nén,
i_1 — entanpi vào máy nén,
i_2 - entanpi ra khỏi máy nén,
i_4 — entanpi vào bình bốc hơi (hoặc ra khỏi bộ phận tiết lưu).
Hệ số bơm nhiệt:

$$\varphi = \varepsilon + 1.$$

Bài tập 2.1 Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình Carno thuận chiều khi biết nhiệt độ nguồn nóng t_1 = 927 ^{0}C, nhiệt độ nguồn lạnh t_2 = 27^{0}C. Xácđịnh hệ số làm lạnh của chu trình Carno ngược chiều khi biết nhiệt độ nguồn nóng t_1 = 37 ^{0}C, nhiệt độ nguồn lạnh t_2 = -3^{0}C.

Lời giải

Hiệu suất nhiệt của chu trình Carno theo (2-7):

$$\eta_{tc} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}\frac{(927+273)-(27+273)}{927+273} = 0{,}75 = 75\%$$

Hệ số làm lạnh của chu trình Carno theo (2-8):

$$\varepsilon_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{-3+273}{(37+273)-(-3+273)} = 6{,}75$$

Bài tập 2.2 Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích có tỷ số nén ε = 5, số mũ đoạn nhiệt k = 1,5. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình.

Lời giải

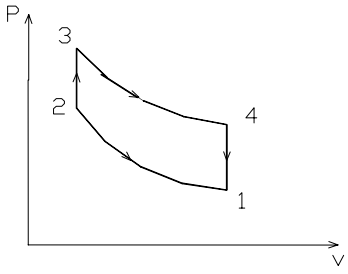
Hiệu suất nhiệt của chu trình được xác định theo (2-9):

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{5^{1,5-1}} = 0{,}553 = 55{,}3\%$$

Bài tập 2.3 Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích có nhiệt độ môi chất vào 20 ^{0}C, tỷ số nén ε = 3,6, tỷ số tăng áp 3,33. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình với môi chất 1kg không khí.

Lời giải

Hiệu suất nhiệt của chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích (hình 2-1) theo (2-9):



$$\eta_{ct} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{1}{3{,}6^{1,4k-1}} = 0{,}4 = 40\%$$

ở đây không khí là khí 2 nguyên tử nên k = 1,4.

Công của chu trình được tính theo hiệu suất nhiệt:

$$l_0 = \eta_t \,.q_1$$

q_1 — nhiệt cấp vào cho quá trình cháy đẳng tích 2-3:

$$q_1 = C_v(t_3 - t_2)$$

Từ quá trình đoạn nhiệt 1-2 ta có:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1} = 3{,}6^{1,4-1} = 3{,}6^{0,4}$$

$$T_2 = T_1.3{,}6^{0,4} = (20+273).3{,}6^{0,4} = 489\ ^0\text{K} = 216\ ^0\text{C},$$

Từ quá trình cấp nhiệt đẳng tích 2-3 ta có:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda$$

$T_3 = \lambda T_2 = 489.3{,}33 = 1628\ ^0K$ = 1628 — 273 = 1355 ^0C

Vậy ta có với nhiệt dung riêng đẳng tích của không khí C_v = 0,72 kJ/kg. ^0C:

$q_1 = C_v(t_3 - t_2) = 0{,}72.\ (1355 - 216) = 820$ kJ/kg

$l_0 = \eta_t\ .q_1 = 0{,}4.820 = 328$kJ/kg.

Bài tập 2.4 Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp, môi chất 1kg không khí có p_{min} = 0,9 bar, t_1 = 67 ^0C, p_{max} = 45bar, ε = 10, nhận từ nguồn nóng 1090 kJ/kg. Tính nhiệt nhận trong quá trình đẳng tích.

Lời giải

Nhiệt cấp vào cho chu trình trong quá trình 2-3-4:

$q_1 = q_{1v} + q_{1p}$

$q_{1v} = C_v(t_3 - t_2)$

$q_{1p} = q_1 - q_{1v}$

Nhiệt độ T_2 trong quá trình nén đoạn nhiệt 1-2 với không khí có k = 1,4:

$T_2 = T_1\varepsilon^{k-1} = (67 + 273).10^{1,4-1} = 854\ ^0K.$

Nhiệt độ T_3 trong quá trình cấp nhiệt đẳng tích 2-3:

$$T_3 = T_2\frac{p_3}{p_2};\ p_3 = p_{max} = 45 \text{ bar}$$

áp suất p_2 trong quá trình nén đoạn nhiệt 1-2:

$p_2 = p_1.\ \varepsilon^k = 0{,}9.10^{1,4} = 22{,}6$ bar.

Vậy ta có:

$$T_1 = 854.\frac{45}{22{,}6} = 1700\ K^0$$

$q_{1v} = C_v(t_3 - t_2) = 0{,}72.(1700 — 854) = 609$ kJ/kg.

$q_{1p} = q_1 - q_{1v} = 1090 — 609 = 481$ kJ/kg.

Bài tập 2.5 Chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp, môi chất là 1kg không khí có tỷ số tăng áp β = 7, tỷ số dãn nở sớm ρ = 1,3, nhiệt độ không khí t_1 = 27 ^0C. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình.

Lời giải

Hiệu suất nhiệt của chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp được xác định theo (2-12) với $\frac{k-1}{k}\frac{1{,}4-1}{1{,}4} = 0{,}286:$):

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{0,286}} = 1 - \frac{1}{7^{0,286}} = 0{,}43 = 43\%$$

Công của chu trình tính theo hiệu suất nhiệt:

$$l_0 = \eta_t \cdot q_1$$

q_1 — nhiệt cấp vào cho quá trình cháy đẳng tích 2-3:

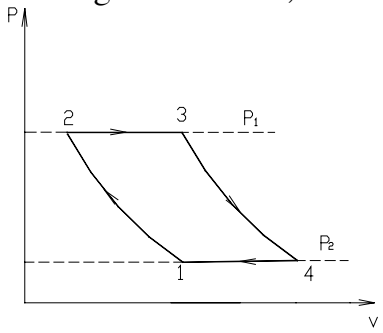
$$q_1 = C_p(t_3 - t_2)$$

Từ quá trình đoạn nhiệt 1-2 ta có:

C_p = 1kJ/kg.^{0}K nhiệt dung riêng đẳng áp của không khí.

Nhiệt độ T_2 trong quá trình nén đoạn nhiệt 1-2 với không khí có k = 1,4:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \beta^{\frac{k-1}{k}}$$



$$T_2 = T_1\beta^{\frac{k-1}{k}} = (27 + 273).7^{0,286} = 523\ ^0\text{K}.$$

Nhiệt độ T_3 trong quá trình đẳng áp 2-3:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho; \qquad T_3 = T_2.\rho = 523.1,3 = 680\ ^0\text{K}.$$

Vậy ta có:

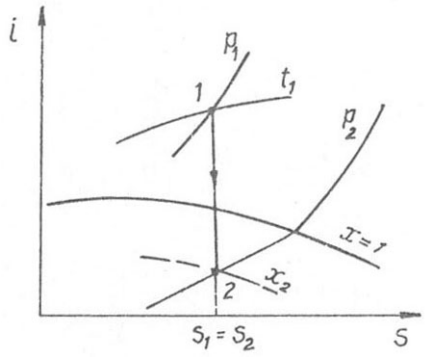
$$q_1 = 1.(680 — 523) = 157\ \text{kJ/kg},$$
$$l_0 = 0,43.157 = 67,5\ \text{kJ/kg}$$

Bài tập 2.6 Chu trình Rankin thiết bị động lực hơi nước có nhiệt độ và áp suất vào tuabin t_1 = 500 ^{0}C, p_1 = 100 bar, áp suất bình ngưng p_2 = 0,05 bar.. Xác định hiệu suất nhiệt và công của chu trình.

Lời giải

Hiệu suất nhiệt của chu trình Rankin theo (2-15):

$$\eta_{ct} = \frac{l_0}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3}$$



Entanpi i_1 được xác định theo hình 2-4 qua điểm 1 và đồ thị i-s của H_2O trong phần phụ lục, hoặc sử dụng bảng 5 hơi nước quá nhiệt trong phần phụ lục theo p_1 = 100 bar, t_1 = 500 ^{0}C; i_1 = 3372kJ/kg, s = 6,596 kJ/kg.^{0}K

Entanpi i_2 cũng có thể được xác định theo đồ thị i-s (hình 2-4), hoặc được tính toán cùng bảng hơi nước:

$$i_2 = i_2' + x(i_2'' - i_2')$$

Từ bảng 4 hơi nước bão hoà trong phần phụ lục theo p_2 = 0,05bar ta có: i_2' = 138 kJ/kg; i_2'' = 2561 kJ/kg; s_2' = 0,476 kJ/kg.^{0}K ; s_2'' = 8,393 kJ/kg^{0}K

Vì quá trình 1-2 là đoạn nhiệt:

$$s_1 = s_2 = s_2' + x(s_2'' + s_2')$$

$$x = \frac{s_1 - s_2'}{s_2'' - s_2'} \frac{6,596 - 0,476}{8,393 - 0,476} = 0,77,$$

$$i_2 = 138 — 0,773(2561-138) = 2011\ \text{kJ/kg},$$

Vậy hiệu suất nhiệt và công của chu trình:

$$\eta_t = \frac{3372 - 2011}{3372 - 138} = 0{,}42 = 42\%,$$

$l_0 = i_1 — i_2 = 3372 — 2011 = 1361$ kJ/kg.

Bài tập 2.7 Chu trình Rankin thiết bị động lực hơi nước có entanpi vào tuabin 5600 kJ/kg, entanpi ra khỏi tuabin 4200 kJ/kg, entanpi của nước ngưng ra khỏi bình ngưng 1000 kJ/kg. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình.

Lời giải

Hiệu suất nhiệt của chu trình Rankin theo (2-15) với: i_1 =5600 kJ/kg, i_2 = 4200 kJ/kg, i_2' = 1000 kJ/kg:

$$\eta_{ct} = \frac{l_0}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3} = \frac{5600 - 4200}{5600 - 1000} = 0{,}304 = 30{,}4\%.$$

Bài tập 2.8 Hơi nước trong chu trình Rankin dãn nở đoạn nhiệt trong tua bin, entanpi giảm đi 150 kJ/kg, sau đó hơI nước ngưng tụ đẳng áp trong bình ngưng thảI nhiệt 280. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình.

Lời giải

Hiệu suất nhiệt của chu trình Rankin theo (2-15):

$$\eta_t = \frac{l_0}{q_1}, \text{ với } q_1 = l_0 + |q_2| = 150 + 280 = 430 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = \frac{150}{430} = 0{,}35 = 35\%$$

Bài tập 2.9 Chu trình máy lạnh không khí với nhiệt độ không khí vào máy nén -13^0C, nhiệt độ không khí sau khi nén 47^0C. Xác định hệ số làm lạnh và hệ số bơm nhiệt.

Lời giải

Hệ số làm lạnh của máy nén không khí với $t_1 = -13^0$C, $t_2 = 47^0$C, theo (2-16):

$$\varepsilon_c = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{-13 + 273}{(47 + 273) - (-13 + 273)} = 4{,}33$$

Hệ số bơm nhiệt:

$\varphi = \varepsilon + 1 = 4{,}33 + 1 = 5{,}33.$

Bài tập 2.10 Máy lạnh dùng NH_3, hút hơi vào máy nén là hơi bão hoà khô ở áp suất p_1 = 1 bar, áp suất sau khi nén p_2 = 5 bar, công của máy nén N = 50 KW. Xác định hệ số làm lạnh, lượng môi chất lạnh, năng suất lạnh của máy lạnh.

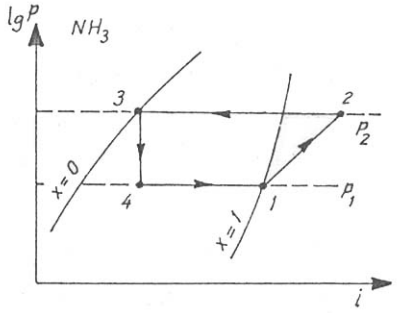
Lời giải

Từ đồ thị lgp-h trong phần phụ lục và hình 2.5 với p_1 = 1 bar =o,1 Mpa, p_2 = 5 bar = 0,5 Mpa ta tìm được:

i_1 = 1720 kJ/kg; i_2 = 1950 kJ/kg; $i_3 = i_4$ = 520 kJ/kg.

Hệ số làm lạnh theo (2-17):

$$\varepsilon_c = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{1720 - 520}{1950 - 1720} = 5{,}12$$



Lượng môi chất lạnh:

$$N = G(i_2 — i_1)$$

$$G = G = \frac{N}{i_2 - i_1} = \frac{50}{1950 - 1720} = 0{,}22 kg/s$$

Năng suất lạnh:

$$Q_2 = G(i_1 — i_4) = G(i_1 — i_3) = 0{,}22(1720\text{-}520) = 264 kW.$$

Bài tập 2.11 Máy lạnh dùng R_{22} có entanpi vào máy nén 700 kJ/kg, entanpi ra khỏi máy nén 740 kJ/kg, entanpi ra khỏi bình ngưng 550 kJ/kg. Xác định hệ số làm lạnh và hệ số bơm nhiệt.

Lời giải

Hệ số làm lạnh theo (2-16) với chú ý i_1 = 700 kJ/kg, i_3 = 550 kJ/kg = i_4 (là entanpi vào bình bốc hơi):

$$\varepsilon_c = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{700 - 500}{740 - 700} = 3{,}75$$

Hệ số bơm nhiệt:

$$\varphi = \varepsilon + 1 = 3{,}75 + 1 = 4{,}75.$$

Bài tập 2.12 Máy lạnh toả nhiệt 1250 kJ cho nguồn nóng, tiêu tốn 250 kJ. Xác định hệ số làm lạnh.

Lời giải

Theo (2-6) hệ số bơm nhiệt φ với Q_1 = 1250kJ; L_0 = 250kJ:

$$\varphi = \frac{|Q_1|}{|L_0|} = \frac{1250}{250} = 5$$

Vậy hệ số làm lạnh: $\varphi = \varepsilon + 1$; $\varepsilon = \varphi - 1 = 5 — 1 = 4$.

Bài tập 2.13 Máy lạnh (hoặc bơm nhiệt) nhận nhiệt 800 kJ từ nguồn lạnh, thải 1000 kJ cho nguồn nóng. Xác định hệ số làm lạnh ε (hoặc hệ số bơm nhiệt φ).

Lời giải

Theo (2-5) hệ số làm lạnh và theo (2-2) công của chu trình:

$$\varepsilon = \frac{|Q_2|}{|L_0|};\ L_0 = Q_1 - |Q_2| = 1000 - 800 = 200 \text{ kJ},$$

$$\varepsilon = \frac{800}{200} = 4$$

Vậy hệ số bơm nhiệt: $\varphi = \varepsilon + 1 = 4 + 1 = 5$

Hoặc:

$$\varphi = \frac{|Q_1|}{|L_0|} = \frac{1000}{200} = 5.$$

Phần II
TRUYỀN NHIỆT

Chương 3
DẪN NHIỆT VÀ ĐỐI LƯU

3.1 DẪN NHIỆT

3.1.1 Dẫn nhiệt ổn định một chiều không có nguồn nhiệt bên trong

3.1.1.1 Dẫn nhiệt qua vách phẳng

$$q = \frac{t_{|W1} - t_{|W(n+1)}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}},\ W/m^2 \qquad (3\text{-}1)$$

q — mật độ dòng nhiệt, W/m^2

δ_i - chiều dày của lớp thư i, m

λ_i - hệ số dẫn nhiệt, W/m.K;

t_{W1} — nhiệt độ bề mặt trong,

$t_{W(n+1)}$ — nhiệt độ bề mặt ngoài của lớp thứ n.

Phân bố nhiệt độ theo chiều dày vách có qui luật đường thẳng(khi λ_I = const).

3.1.1.2 Dẫn nhiệt qua vách trụ

$$q_l = \frac{t_{|W1} - t_{|W(n+1)}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln\frac{d_{i+1}}{d_i}},,\ (W/m) \qquad (3\text{-}2)$$

q — mật độ dòng nhiệt trên một mét chiều dài, W/m

d_i - đường kính của lớp thư i, m

Phân bố nhiệt độ theo chiều dày vách có qui luật đường cong logarit.

3.1.2 Dẫn nhiệt ổn định một chiều khi có nguồn nhiệt bên trong

3.1.2.1 Tấm phẳng có chiều dày 2δ

$$t = t_f + \frac{q_v \delta}{\alpha} + \frac{q_v}{2\lambda}(\delta^2 - x^2) \qquad (3\text{-}3)$$

Nhiệt độ bề mặt tấm:

$$t_w = t_f + \frac{q_v \delta}{\alpha} \qquad (3\text{-}4)$$

Nhiệt độ tại tâm của tấm:

$$t_0 = t_f + \frac{q_v \delta}{\alpha} + \frac{q_v}{2\lambda}\delta^2 \qquad (3\text{-}5)$$

t_f — nhiệt độ moi trường xung quanh,

α_i - hệ số toả nhiệt, $W/m^2.K$;

q_v — năng suất phát nhiệt của nguồn bên trong, W/m^3

Phân bố nhiệt độ theo chiều dày vách có qui luật đường cong parabol.

3.1.2.2. Thanh trụ đồng chất bán kính r_0

$$t = t_f + \frac{q_v r_0}{\alpha} + \frac{q_v}{4\lambda}(r_0^{\,2} - x^2) \qquad (3\text{-}6)$$

Nhiệt độ bề mặt thanh trụ:

$$t_w = t_f + \frac{q_v r_0}{2\alpha} \qquad (3\text{-}7)$$

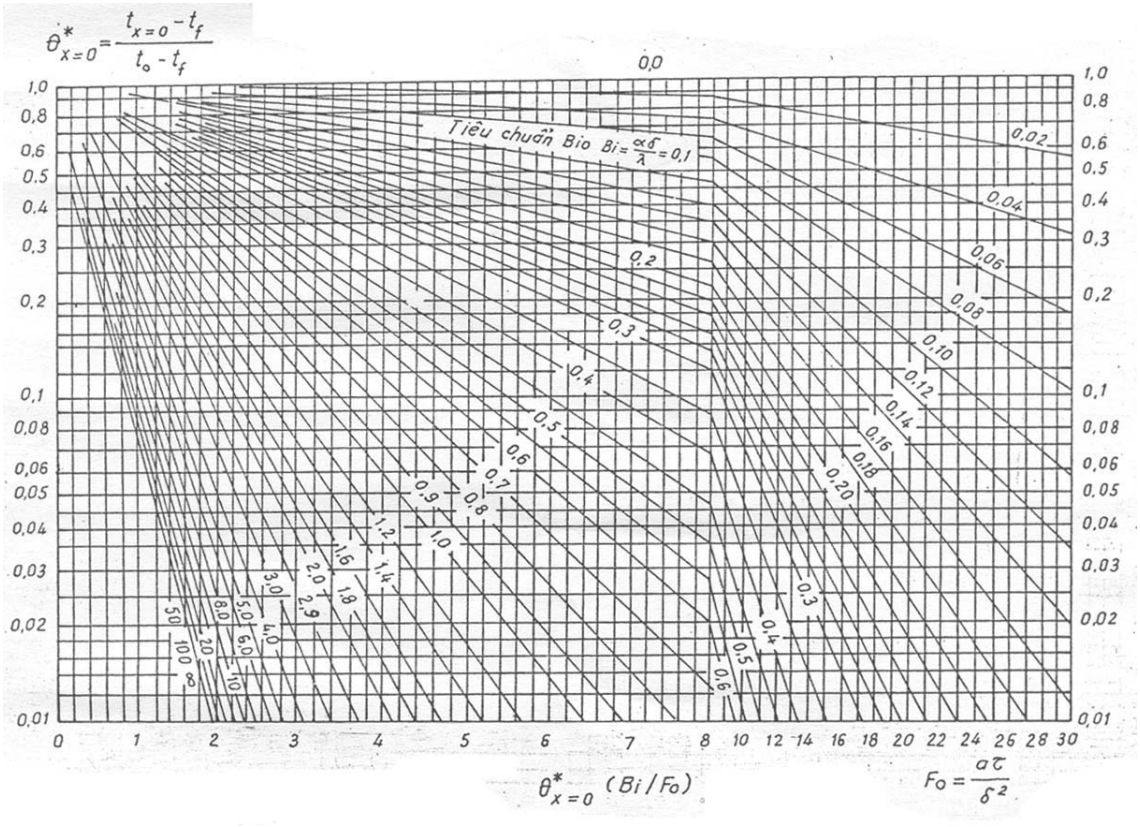
Nhiệt độ tại tâm của tấm:

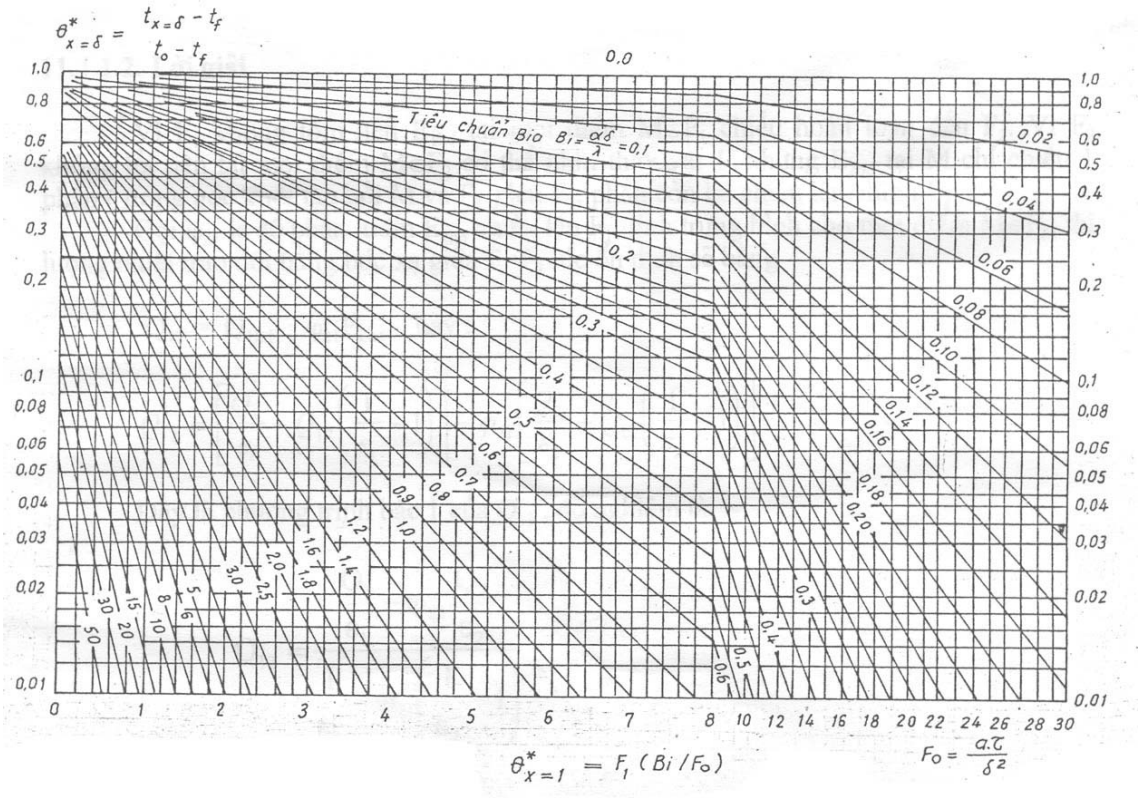
$$t_0 = t_f + \frac{q_v r_0}{2\alpha} + \frac{q_v}{4\lambda} r_0^{\,2} \qquad (3\text{-}8)$$

Mật độ dòng nhiệt tại bề mặt:

$$q_w = \frac{q_v r_0}{2},\ \text{W/m}^2 \qquad (3\text{-}9)$$

Phân bố nhiệt độ theo chiều dày vách có qui luật đường cong parabol.





3.1.2 Dẫn nhiệt không ổn định

Với tấm phẳng rộng 2δ

Nhiệt độ tại tâm của tấm:

$\theta^*_{x=0} = f_1(Bi/Fo)$ tra đồ thị hình 3.1

Nhiệt độ bề mặt tấm:

$\theta^*_{x=1} = f_2(Bi/Fo)$ tra đồ thị hình 3.2

trong đó:

$Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda}$, là tiêu chuẩn Biot,

$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$, là tiêu chuẩn Fourier

$X = \frac{x}{\delta}$, kích thước không thứ nguyên.

Phân bố nhiệt độ theo chiều dày vách có qui luật đường cong parabol.

3.2 TRAO ĐỔI NHIỆT ĐỐI LƯU

Khi tính toán lượng nhiệt trao đổi bằng đối lưu ta dùng công thức Newton:

$Q = \alpha F(t_{|W} - t_f), [W],$

trong đó:

Q — lượng nhiệt trao đổi trong một đơn vị thời gianlà một giây, s.

F — diện tích bề mặt trao đổi nhiệt, m^2

T_W — Nhiệt độ trung bình của bề mặt,

T_f — Nhiệt độ trung bình của môI trường (chất lỏng hoặc khí).

α - hệ số tỏa nhiệt, $W/m^2.K$.

Hệ số tỏa nhiệt α được xác định từ các phương trình tiêu chuẩn. Các phương trình tiêu chuẩn này được xác định từ thực nghiệm.

$$Nu = f(Re,Pr,Gr, \ldots)$$

Trong đó:

- $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ là tiêu chuẩn Nusselt,

- $Pr = \frac{\nu}{a}$ là tiêu chuẩn Prandtl,

- $Re = \frac{\omega l}{\nu}$ là tiêu chuẩn Reynolds,

- $Gr = \frac{g\beta l^3 \Delta t}{\nu^2}$ là tiêu chuẩn Grashof,

với

α - hệ số toả nhiệt, $W/m^2.K$;

λ - hệ số dẫn nhiệt, W/m.K;

ω - tốc độ chuyển động, m/s

ν - độ nhớt động học, m^2/s;

a - hệ số dẫn nhiệt độ, m^2/s;

g - gia tốc trọng trường 9,81 m/s^2

$\Delta t = (t_w - t_f)$

β - hệ số dãn nở thể tích, $(1/^0K)$

với chất lỏng ta tra bảng;

với chất khí:

$$\beta = \frac{1}{T}, \ ^0K^{-1}.$$

l — kích thước xác định.

3.2.1 Tỏa nhiện tự nhiên

3.2.1.1 Tỏa nhiện tự nhiên trong không gian vô hạn

Đối với ống hoặc tấm đặt đứng, khi $(Gr_f.Pr_f) > 10^9$:

$$Nu_f = 0{,}15(Gr_f Pr_f)^{0{,}33}\left(\frac{Pr_f}{Pr_{|W}}\right)^{0{,}25} \qquad (3\text{-}10)$$

Đối với ống hoặc tấm đặt nằm ngang, khi $10^3 < (Gr_f.Pr_f) < 10^9$:

$$Nu_f = 0{,}5(Gr_f Pr_f)^{0{,}25}\left(\frac{Pr_f}{Pr_{|W}}\right)^{0{,}25} \qquad (3\text{-}11)$$

Nhiệt độ xác định là nhiệt độ t_f, kích thước xác định với ống hoặc tấm đặt đứng là chiều cao h, với ống đặt nằm ngang là đường kính, với tấm đặt nằm ngang là chiều rộng.

3.2.2 Tỏa nhiệt cưỡng bức khi chất lỏng chuyển độngtrong ống

3.2.2.1 Chế độ chảy tầng

$$Nu_f = 0{,}15\,Re_f^{\,0{,}33}\,Pr_f^{\,0{,}43}Gr_f^{\,0{,}1}\left(\frac{Pr_f}{Pr_{|W}}\right)^{0{,}25} \qquad (3\text{-}12)$$

Đối với không khí:

$$Nu_f = 0{,}13\,Re_f^{\,0{,}33}\,Gr_f^{\,0{,}1} \qquad (3\text{-}13)$$

Công thức trên áp dụng cho trường hợp $\frac{l}{d} > 50$

Nếu $\frac{l}{d} <$ 50 thì hệ số toả nhiệt cần nhân thêm hệ số hiệu chỉnh.

3.2.1.2 Tỏa nhiệt khi chất lỏng chấy rối

$$Nu_f = 0{,}021\,Re_f^{\,0{,}8}\,Pr_f^{\,0{,}43}\left(\frac{Pr_f}{Pr_{|W}}\right)^{0{,}25}.\varepsilon_l.\varepsilon_R \qquad (3\text{-}14)$$

trường hợp:

$\frac{l}{d} > 50$ thì $\varepsilon_l = 1$

Nếu $\frac{l}{d} <$ 50: ε_l tra bảng

3.2.2 Tỏa nhiệt khi chất lỏng chảy ngang qua chùm ống

3.2.3.1. Đối với chùm ống song song

$$Nu_f = 0{,}026\,Re_f^{\,0{,}65}\,Pr_f^{\,0{,}33}\left(\frac{Pr_f}{Pr_{|W}}\right)^{0{,}25}.\varepsilon_l.\varepsilon_s \qquad (3\text{-}15)$$

ε_i - hệ số kể đến thứ tự hàng ống.

Đối với hàng ống thứ nhất $\varepsilon_1 = 0{,}6$, hàng ống thứ hai $\varepsilon_2 = 0{,}9$, hàng ống thứ ba trở đi $\varepsilon_3 = 1$.

ε_s - hệ số kể đến ảnh hưởng của bước ống theo chiều sâu.

$$s_s = \left(\frac{S_2}{d}\right)^{0{,}15}$$

3.2.3.1. Đối với chùm ống so le

$$Nu_f = 0{,}41 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,33} \left(\frac{Pr_f}{Pr_{iW}}\right)^{0,25} .\varepsilon_1.\varepsilon_s \qquad (3\text{-}16)$$

ε_i - hệ số kể đến thứ tự hàng ống.

Đối với hàng ống thứ nhất $\varepsilon_1 = 0{,}6$, hàng ống thứ hai $\varepsilon_2 = 0{,}7$, hàng ống thứ ba trở đi $\varepsilon_3 = 1$.

ε_s - hệ số kể đến ảnh hưởng của bước ống theo chiều sâu.

$\frac{S_1}{S_2} < 2$ $\qquad \varepsilon_s = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^{0,15}$

$\frac{S_1}{S_2} > 2$ $\qquad \varepsilon_s = 1{,}12$

S_2 — bước dọc, S_1 — bước ngang,

Trong các công thức trên, Rè = $10^3 \div 10^5$. Kích thước xác định là đường kính ngoài. Nhiệt độ xác định là nhiệt độ trung bình của chất lỏng t_f .

3.2.4 Toả nhiệt khi biến đổi pha

3.2.4.1. Toả nhiệt khi sôi

Khi nước sôi bọt ở áp suất p = 0,2 ÷ 80 bar:

$\alpha = 0{,}46.\Delta t^{2,33}.p^{0,5}$, W/m^2.K

$\Delta t = t_w$ — t_s

t_w - nhiệt độ bề mặt vách đốt nóng,

t_s - nhiệt độ bão hoà ứng với áp suất sôi;

p - áp suất sôi;

3.2.4.1. Toả nhiệt khi ngưng màng

Ngưng trên bề mặt vách ống đứng:

$$\alpha_d = 0{,}943\sqrt[4]{\frac{r.\rho.g.\lambda^3}{\gamma(t_s - t_w)d}}, \quad w/m^2.K \qquad (3\text{-}18)$$

Ngưng trên bề mặt ống nằm ngang:

$$\alpha_n = 0{,}724\sqrt[4]{\frac{r.\rho.g.\lambda^3}{\gamma(t_s - t_w)d}}, \quad w/m^2.K \qquad (3\text{-}18)$$

trong đó:

g - Gia tốc trọng trường , 9,81 m/s^s

λ - hệ số dẫn nhiệt cuả chất lỏng, W/m.K;

r - nhiệt ẩn hoá hơI, J/kg;

ρ - khối lượng riêng của chất lỏng ngưng, kg/m^3;

ν - độ nhớt động học, m^2/s;

h — chiều cao của vách hoặc ống đặt đứng, m;

d - đường kính ngoàI của ống, m;

t_w - nhiệt độ bề mặt vách, ^{0}C;

t_s - nhiệt độ bão hoà ứng với áp suất sôi;

Trong các công thức trên, nhiệt độ xác định là $t_m = 0,5(t_w + t_s)$.

3.3 BÀI TẬP VỀ DẪN NHIỆT

Bài 3.1 Vách buồng sấy được xây bằng hai lớp gạch đỏ cố độ dày 250 mm, có hệ số dẫn nhiệt bằng 0,7 W/mK; lớp nỉ bọc ngoài có hệ số dẫn nhiệt bằng 0,0465 W/mK. Nhiệt độ mặt tường bên trong buồng sấy bằng 110^{0}C. Nhiệt độ mặt tường bên ngoài bằng 25^{0}C. Xác định chiều dày lớp nỉ để tổn thất nhiệt qua vách buồng sấy không vượt quá 110W/m^2. Tính nhiệt độ tiếp xúc giữa hai lớp.

Lời giải

Mật độ dòng nhiệt qua vách buồng sấy:

$$q = \frac{t_{|W1} - t_{|W2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}, \text{ W/m}^2,$$

$$\delta_2 = \left[\frac{t_{|W1} - t_{|W2}}{q} - \frac{\delta_1}{\lambda_1}\right].\lambda_2$$

$$\delta_2 = \left[\frac{110 - 25}{110} - \frac{0,25}{0,7}\right].0,0465 = 0.019 \text{ m}.$$

Vậy chiều dày lớp nỉ bằng 0,019 m.

Nhiệt độ tiếp xúc giữa hai lớp dựa vào đIều kiện dòng nhiệt ổn định:

$$q = q_1 = \frac{t_{|W1} - t_{|W2}}{\frac{q}{\lambda}}:$$

$$t_1 = t_{|W1} - q\frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$$t_1 = 110 - 110.\frac{0,25}{0,7} = 70,7^0\text{C}$$

Bài 3.2 Vách phẳng hai lớp có độ chênh nhiệt độ 105 ^{0}C, chiều dày dày và hệ số dẫn nhiệt tương ứng của hai lớp: δ_1 = 100 mm, δ_2 = 50 mm, λ_1 = 0,5 W/mK, λ_2 = 0,1 W/mK. Xác định mật độ dòng nhiệt qua vách

Lời giải

Mật độ dòng nhiệt qua vách phẳng hai lớp theo (3-1) với δ_1 = 100 mm = 0,1 m; δ_2 = 50 mm = 0,05 m và $\Delta t = t_{W1} — t_{W2}$ = 105 ^{0}C:

$$q = \frac{t_{W1} - t_{W2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{105}{\frac{0,1}{0,5} + \frac{0,05}{0.1}} = 150\ , \text{W/m}^2,$$

Bài 3.3 Biết dòng nhiệt qua vách phẳng dày 20 cm, có hệ số dẫn nhiệt 0,6 W/m.K là 150 W/m^2. Xác định độ chênh nhiệt độ giữa hai mặt vách.

Lời giải

Theo (3-1), mật độ dòng nhiệt qua vách phẳng một lớp với q = 150 W/m^2, δ = 20 cm = 0,2 m; $\Delta t = t_{W1} — t_{W2}$:

$$q = \frac{t_{W1} - t_{W2}}{\frac{q}{\lambda}}; \quad \Delta t = q.\frac{\delta}{\lambda} = 150.\frac{0,2}{0,6} = 50\ ^0\text{C}.$$

Bài 3.4 Vách trụ dài 1 m, đường kính d_2/d_1 = 144/120 mm,có độ chênh nhiệt độ giữa hai mặt vách 60C^0, hệ số dẫn nhiệt của vách 0,4 W/m.K. Xác định dòng nhiệt dẫn qua vách.

Lời giải

Dòng nhiệt qua vách trụ một lớp theo (3-2) với l = 1 m; ; $\Delta t = t_{W1} — t_{W2}$ = 60 ^{0}C:

$$Q = l.q_1 = \frac{l.(t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\pi\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}} = \frac{1.60}{\frac{1}{2.3,14.0,4}\ln\frac{144}{120}} = 826,7\ \text{W}$$

Bài 3.5 Một ống dẫn hơi bằng thép đường kính d_2/d_1 = 110/100 mm, hệ số dẫn nhiệt λ_1 = 55 W/mK được bọc một lớp cách nhiệt có λ_2 = 0,09 W/mK. Nhiệt độ mặt trong ống t_{w1} = 200^{0}C, nhiệt độ mặt ngaòi lớp cách nhiệt t_{w3} = 50^{0}C.

Xác định chiều dày δ và nhiệt độ t_{W2} để tổn thất nhiệt qua vách ống không vượt quá 300W/m.

Lời giải

Dòng nhiệt trên 1 m chiều dài ống theo (3-2) với vách 2 lớp:

$$q_1 = \frac{(t_{W1} - t_{W3})}{\frac{1}{2\pi\lambda_1}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_2}}$$

$$\ln\frac{d_3}{d_2} = \left(\frac{(t_{W1} - t_{W3})}{q_1} - \frac{1}{2\pi\lambda_1}\ln\frac{d_2}{d_1}\right)2\pi\lambda_2$$

$$\ln\frac{d_3}{d_2} = \left(\frac{200-50}{300} - \frac{1}{2.3,14.55}\ln\frac{110}{100}\right)2.3,14.0,09 = 0,282$$

$$\frac{d_3}{d_2} = e^{0,282}$$

$d_3 = d_2.e^{0,282} = 110.\ e^{0,282} = 146$ mm.

Chiều dày cách nhiệt δ:

$$\delta = \frac{d_3 - d_2}{2} = \frac{146-110}{2} = 18 \text{ mm.}$$

Để tìm nhiệt độ giữa hai lớp t_{W2} ta dựa vào đIều kiện trường nhiệt độ ổn định: $q_1 = q_{11} = q_{12} = const.$

$$q_1 = q_{11} = \frac{(t_{¦W1} - t_{¦W2})}{\frac{1}{2\pi\lambda_1}\ln\frac{d_2}{d_1}}$$

$$t_{¦W2} = t_{¦W1} - q_1\frac{1}{2\pi\lambda_1}\ln\frac{d_2}{d_1}$$

$$t_{¦W2} = 200 - 300\frac{1}{2.3,14.55}\ln\frac{110}{100} = 199,9\ ^0C.$$

Bài 3.6 Một thiết bị sấy bằng đIện được chế tạo từ các dây hợp kim niken-crom đường kính d = 2 mm, dài 10 m. Không khí lạnh thổi vào thiết bị sấy có nhiệt độ 20^0C. Tính nhiệt lượng toả ra trên 1 m dây, nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ tâm của dây. Nếu dòng điện đốt nóng có cường độ 25 A, điện trở suất ρ = 1,1 Ωmm²/m, hệ số dẫn nhiệt λ = 17,5 W/mK, hệ số toả nhiệt từ bề mặtdây tới không khí α = 46,5 W/m².K.

Lời giải

Điện trở của dây đốt nóng:

$$R = \rho\frac{l}{S} = \frac{1,1.10}{3,14.1^2} = 3,5\Omega,$$

Nhiệt do dây toả ra:

$Q = R.I^2 = 3,5.\ 25^2 = 2187,5$ W,

Nhiệt lượng toả ra trên 1 m dây:

$$q_1 = \frac{Q}{I} = \frac{2187,5}{10} = 218,75 \text{ ¦ W/m}$$

Năng suất phát nhiệt:

$$q_v = \frac{q_1}{\pi r_0^2} = \frac{218,75}{3,14.0,001^2} = 69,7.10^6 \text{ ¦ W/m}^3$$

Nhiệt độ bề mặt dây:

$$t_w = t_f + \frac{q_v r_0}{2\alpha} = 20 + \frac{69{,}7.10^6.1.10^{-3}}{2.46{,}5} = 769\ C^0,$$

Nhiệt độ tại tâm dây:

$$t_0 = t_f + \frac{q_v r_0}{2\alpha} + \frac{q_v}{4\lambda} r_0^{\ 2} = 20 + \frac{69{,}7.10^6.1.10^{-3}}{2.46{,}5} \frac{69{,}7.1.10^6.10^{-6}}{4.17{,}5}$$

$t_0 = 770\ C^0$.

Bài 3.7 Một tấm cao su dày = 2 mm, nhiệt độ ban đầu $t_0 = 140\ ^0C$ được làm nguội trong môi trường không khí có nhiệt độ $t_f = 140\ ^0C$. Xác định nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ tâm của tấm cao su sau 20 ph. Biết hệ số dẫn nhiệt của cao su $\lambda = 0{,}175$ W/mK, hệ số dẫn nhiệt độ $a = 8{,}33.10^{-8}$ m^2/s. Hệ số toả nhiệt từ bề mặt tấm cao su đến không khí $\alpha = 65$ $W/m^2.K$.

Lời giải

$$Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda} = \frac{65.0{,}01}{0{,}075} = 3{,}71,$$

$$Fo = \frac{a.\tau}{\delta^2} = \frac{8{,}33.10^{-8}.20.60}{0{,}01^2} = 1$$

Căn cứ Bi = 3,71 và Fo = 1, từ đồ thị hình 3-2 và 3-1 ta có:

$\theta^*_{X=1} = 0{,}038$

$\theta^*_{X=0} = 0{,}26$

Vậy nhiệt độ bề mặt:

$t_{X=\delta} = t_f + \theta^*_{X=\delta}.(t_0 - t_f)$

$t_{X=\delta} = 15 + 0{,}038.(140 — 15) = 25{,}4\ C^0$,

Nhiệt độ tai tâm:

$t_{X=0} = t_f + \theta^*_{X=0}.(t_0 - t_f)$

$t_{X=0} = 15 + 0{,}26.(140 — 15) = 47{,}5\ C^0$,

Bài 3.8 Một tường gạch cao 5 m, rộng 3m, dày 250 mm, hệ số dẫn nhiệt của gạch $\lambda = 0{,}6$ W/mK. Nhiệt độ bề mặt tường phía trong là $70\ ^0C$ và bề mặt tường phía ngoài là $20\ ^0C$. Tính tổn thất nhiệt qua tường.

Trả lời Q = n1800W,

3.4. BÀI TẬP VỀ TOẢ NHIỆT ĐỐI LƯU

Bài 3.9 Bao hơi của lò đặt nằm ngang có đường kính d = 600 mm. Nhiệt độ mặt ngoài lớp bảo ôn t_W = 60 ^{0}C, nhiệt độ không khí xung quanh t_f = 40 ^{0}C. Xác định lượng nhiệt toả từ 1 m^2 bề mặt ngoài của bao hơi tới không khí xung quanh.

Lời giải

Từ nhiệt độ không khí t_f = 40 ^{0}C tra bảng 6 trong phần phụ lục của không khí ta có:

λ = 0,00276 W/m.K , ν = 16,69.01^{-6} $\left[m^2/s\right]$, Pr_f = 0,699,

Cũng từ bảng 6 với t_f = 40 C^0, ta có: Pr_W = 0,696. Ta nhận thấy $Pr_f \approx Pr_W$ nên $\left(\frac{Pr_f}{Pr_{|W}}\right)^{0,25} = 1$,

Theo tiêu chuẩn Gr: $Gr_f = \frac{g.\beta.l^3.\Delta t}{\nu^2}$

Ở đây g = 9,81 m/ s^2, $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{40+273} = 0,0032$, $\Delta t = t_W$ —t_f = 20 ^{0}C.

$$Gr_f = \frac{9,81.0,0032.0,6^3.20}{(16,69.10^{-6})^2} = 4,87.10^8$$

$Gr_f.Pr_f = 4,87.10^8.0,699 = 3,4.10^8$

Ta dùng công thức (3-11):

$Nu_f = 0,5.(Gr_f.Pr_f)^{0,25} = 0,5.(3,4.10^8)^{0,25} = 68.$

$$Nu_f = \frac{\alpha.d}{\lambda}$$

Vậy hệ số toả nhiệt đối lưu:

$$\alpha = \frac{Nu_i.\lambda}{d} = \frac{68.0,027}{0,6}$$

Lượng nhiệt toả từ 1 m^2 bề mặt ngoài của bao hơi:

$Q = \alpha.\Delta t = 3,13.20 = 62,6$ W/m^2.

Bài 3.10 Tính hệ số toả nhiệt trung bình của dầu máy biến áp chảy trong ống có đường kính d = 8 mm, dàI 1 m, nhiệt độ trung bình của dầu t_f = 80 ^{0}C, nhiệt độ trung bình của váchống t_W = 20 ^{0}C. tốc độ chảy dầu trong ống ω = 0,6m/s.

Lời giải

Kích thước xác định : đường kính trong d = 8.10^{-3} m.

Nhiệt độ xác định: t_f = 80 ^{0}C.

Tra các thông số của dầu biến áp theo t_f = 80 ^{0}C, ở bảng 8 phụ lục:

λ = 0,1056 W/m.K , ν = 3,66.10^{-6} $\left[m^2/s\right]$,

β = 7,2.10^{-4} ^{0}K^{-1}, Pr_f = 59,3, Pr_W = 298 Tra theo t_W = 20 ^{0}C,

$$Re = \frac{\omega l}{\nu} = \frac{0,6.8.10^{-3}}{3,66.10^{-6}} = 1310$$

Re_f < 2300 dầu chảy tầng, do đó:

$$Nu_f = 0,15\,Re_f^{0,33}\,Pr_f^{0,43}Gr_f^{0,1}\left(\frac{Pr_f}{Pr_{|W}}\right)^{0,25}$$

Tính $$Gr_f = \frac{g.\beta.l^3.\Delta t}{\nu^2} = \frac{9,81.7,2.10^{-4}.8.01^{-9}.(80-20)}{(3,66.10^{-6})^2}$$

$$Gr_f = 16198$$

$$Nu_f = 0,15.1310^{0,33}.16198^{0,1}.59,3^{0,43}\left(\frac{59,3}{298}\right)0,25$$

$$Nu_f = 16,3$$

Tính $$\alpha = \frac{Nu_f.\lambda_f}{d} = \frac{16,3.0,1056}{8.10^{-3}} = 215 \quad W/m^2.K$$

Bài 3.11 Biết phương trình tiêu chuẩn trao đổi nhiệt đối lưu của không khí chuyển động trong ống $Nu = 0,021Re^{0,5}$. Nếu tốc độ của không khí giảm đI 2 làn còn các đIều kiện khác không đổi, lúc này hệ số toả nhiệt α_2 sẽ là bao nhiêu so với α_1. Ngược lại nếu tốc độ tăng lên 2 lần thì α_2 bằng bao nhiêu?

Lời giải

Vì $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$; $Re = \frac{\omega l}{\nu}$ nên ta có:

$$Nu = 0,021.Re^{0,5},$$

$$\frac{\alpha l}{\lambda} = 0,021\left(\frac{\omega d}{\nu}\right)^{0,5}$$

Chỉ khi có tốc độ thay đổi, các thông số khác không đổi, ta có:

$\alpha \sim \omega^{0,5}$ (α tỷ lệ với $\omega^{0,5}$)

$\alpha_1 \sim \omega_1^{0,5}$; $\alpha_2 \sim \omega_2^{0,5}$

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^{0,5} = \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad \alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\alpha_1$$

Vậy hệ số toả nhiệt α_2 giảm đi 2 lần so với α_1.

Ngược lại, nếu tốc độ tăng lên 2 lần thì α_2 tăng lên $\sqrt{2}$ lần so với α_1. Chú ý nếu tốc độ giữ không đổi còn đường kính giảm đi 2 lần thì α_2 tăng lên $\sqrt{2}$ lần, khi đường kính tăng lên 2 lần thì α_2 giảm đi $\sqrt{2}$ lần so với α_1.

Bài 3.12 Không khí ở nhiệt độ 27 C^0 có độ nhớt động học 16.10^{-6} m^2/s, trao đổi nhiệt đối lưu tự nhiên với ống trụ nằm ngang đường kính 80 mm với nhiệt độ bề mặt 67 . Xác định tiêu chuẩn đồng dạng.

Lời giải

Tiêu chuẩn đồng dạng Gr_f với ống trụ nằm ngang có kích thước xác định l =d:

$$Gr_f = \frac{g.\beta.l^3.\Delta t}{\nu^2}$$

ở đây: g = 9,81 m/s^2 (gia tốc trọng trường), $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{273+27} = \frac{1}{300}$

d = 80 mm = 0,08 m; $\Delta t = t_W$ — t_f = 67 — 27= 40 C^0; $\nu = 16.10^{-6}$ m^2/s.

$$Gr_f = \frac{9,81.0,08.^3.40}{300.(16.10^{-6})^2} = 2,616.10^6.$$

Bài 3.13 Một chùm ống so le gồm 10 dãy. Đường kính ngoàI của ống d = 38 mm. Dòng không khí chuyển động ngang qua chùm ống có nhiệt độ trung bình t_f = 500 C^0. Tốc độ dòng không khí là 12 m/s. Xác định hệ số toả nhiệt trung bình của chùm ống.

Lời giải

Kích thước xác định: d = 38.10^{-3} m,

Nhiệt độ xác định: t_f = 500 C^0.

Tra các thông số vật lý của không khí ứng với 500 C^0 ở bảng 6 phụ lục, ta có:

λ = 5,74.10^{-2} W/m.K , ν = 79,38.10^{-6} $\left[m^2/s\right]$, Pr_f = 0,687.

Tính: $Re_{ì} = \frac{\omega.d}{\nu} = \frac{12.38.10^{-3}}{79.38.10^{-6}}$

Re_f = 5745,

Tính theo (3-16) với hàng ống thứ 3:

$Nu_f = 0,41 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,33}$ (với không khí coi $Pr_f = Pr_W$ và bỏ qua ảnh hưởng của bước ống ε_S = 1),

$Nu_f = 0,41.5745^{0,6}.0,687^{0,33}$

$Nù_{= 65,2.}$

Tính $\alpha_3 = \frac{Nu_{ï}.\lambda}{d} = \frac{65,2.5,74.10^{-2}}{38.10^{-3}}$

α_2 = 98,5 W/m^2.K,

Hệ số toả nhiệt trung bình của chùm ống so le:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + (n-2).\alpha_3}{n}$$

$$\alpha = \frac{0,6.\alpha_3 + 0,7.\alpha_3 + (10-2).\alpha_3}{10} = \frac{9,3\alpha_3}{10} = 91,6 \text{ W/m}^2.\text{K}.$$

Bài 3.14 Xác định hệ số toả nhiệt và lượng hơi nhận được khi nước sôi trên bề mặt có diện tích 5 m2. Biết nhiệt độ của vách t_W = 156 ^{0}C và áp suất hơi p = 4,5 bar.

Lời giải

Nhiệt độ sôi (nhiệt độ bão hoà) tương ứng với p = 4,5 bar là t_s = 148 ^{0}C.

Nhiệt ẩn hoá hơi r = 2120,9 kJ/kg. (tra bảng 4 phụ lục):

$\Delta t = t_W - t_s = 156 - 148 = 8^0$C,

Hệ số toả nhiệt khi sôi bọt theo (3-17):

$\alpha = 46.\ \Delta t^{2,33}.p^{0,5} = 46.8^{2,33}.4,5^{0,5}$

α = 12404 W/m^2.K.

Nhiệt lượng bề mặt vách truyền cho nước:

$Q = \alpha.F.(t_W - t_s) = 12404.5.(156 - 148)$

Q = 496160 W,

Lượng hơI nhận được sau 1 giờ:

$$G = \frac{496160.3600}{2120,9.10^3} = 842 \text{ kg/h.}$$

Chương 4
TRAO ĐỔI NHIỆT BỨC XẠ VÀ TRUYỀN NHIỆT

4.1. TRAO ĐỔI NHIỆT BỨC XẠ

4.1.1 Hai tấm phẳng song song

$$q_{12} = \varepsilon_{qd}.C_0.\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 + \left(\frac{T_1}{100}\right)^4\right], (W/m^2). \quad (4\text{-}1)$$

Độ đen qui dẫn:

$$\varepsilon_{qd} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (4\text{-}2)$$

Hệ số bức xạ của vật đen tuyệt đối:

$C_0 = 5{,}67\ W/m^2.K^4$

4.1.2 Hai tấm phẳng song song có mằng chắn

Khi có n máng chắn ở giữa với độ đen $\varepsilon_m = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$, lúc này bức xạ từ tấm phẳng 1 sang tấm phẳng 2 sẽ giảm đi (m+1) lần:

$$(q_{12})_m = \frac{q_{12}}{(m+1)} \quad (4\text{-}3)$$

4.1.3 Hai vật bọc nhau:

$$q_{12} = \varepsilon_{qd}.C_0.F_1.\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 + \left(\frac{T_1}{100}\right)^4\right], (W/m^2). \quad (4\text{-}4)$$

Độ đen qui dẫn:

$$\varepsilon_{qd} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \quad (4\text{-}5)$$

F_1 — diện tích bề mặt vật bị bọc (vật nhỏ)

F_2 — diện tích bề mặt vật bọc (vật lớn)

Chú ý: Nếu hai tấm phẳng hoặc hai vật là vật trắng tuyệt đối (vật có hệ số phản xạ R = 1, hệ số hấp thụ A và độ đen ε: A = ε = 0) thì độ đen qui dẫn $\varepsilon_{qd} = 0$ hay $Q_{12} = 0$.

4.2. TRUYỀN NHIỆT VÀ THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT

4.2.1 TRUYỀN NHIỆT

4.2.2.1. Truyền nhiệt qua vách phẳng

$$q = k(t_{f1} - t_{f2}) \quad (4\text{-}6)$$

Hệ số truyền nhiệt của vách phẳng n lớp:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}; \text{ W/m}^{2.K},$$

t_{f1}, t_{f2} - nhiệt độ của môi chất nóng và lạnh;

α_1, α_2 - hệ số toả nhiệt từ bề mặt đến môi chất,

δ_i, λ_i — chiều dày và hệ số dẫn nhiệt của lớp thứ i.

4.2.1.2 Truyền nhiệt qua vách trụ

$$q_1 = k_1(t_{f1} - t_{f2}); \text{ W/m}, \qquad (4\text{-}7)$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1.\pi.d_1} + \sum_{1}^{n} \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln\frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_{n+1}}} \quad ; \text{ W/m.K}$$

k_1 - hệ số truyền nhiệt qua vách trụ n lớp.

4.2.1.2 Truyền nhiệt qua vách trụ có cánh

$$Q = k_c(t_{f1} - t_{f2}); \text{ W} \qquad (4\text{-}8)$$

$$k_c = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}}; \quad \text{W/K}$$

k - hệ số truyền nhit của vách có cánh. Người ta làm cánh ở bề mặt phía có giá trị hệ số α nhỏ.

Mật độ dòng nhiệt phía không làm cánh với hệ số làm cánh: $\varepsilon_c = \frac{F_2}{F_1}$

$$q_1 = k_1(t_{f1} - t_{f2}); \text{ W/m}^2 \qquad (4\text{-}9)$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2.\varepsilon_c}}; \quad \text{W/m}^2\text{.K},$$

Mật độ dòng nhiệt phía làm cánh:

$$q_2 = k_2(t_{f1} - t_{f2}); \text{ W/m}^2 \qquad (4\text{-}10)$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{\varepsilon_c}{\alpha_1} + \frac{\delta.\varepsilon_c}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}; \text{ W/m}^2\text{.K},$$

$$q_2 = \frac{q_1}{\varepsilon_c}$$

Ta thấy khi hệ số làm cánh ε_c tăng mật độ dòng nhiệt phía không làm cánh q_1 tăng và ngược lại ε_c giảm thì q_1 giảm. Còn khi tăng hệ số làm cánh ε_c mật độ dòng nhiệt phía làm cánh q_2 sẽ giảm và ngược lại khi ε_c giảm thì q_2 tăng

4.2.2 THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT

4.2.2.1 Các phương trình cơ bản tính toán thiết bị trao đổi nhiệt loại vách ngăn

a) Phương trình truyền nhiệt:

$$Q = k.F.\Delta t;\ W, \qquad (4\text{-}11)$$

trong đó:

Q - lượng nhiệt trao đổi giữa hai môi chất,

F - diện tích bề mặt trao đổi nhiệt, m^2

k - là hệ số truyền nhiệt của thiết bị trao đổi nhiệt, W/m^2K;

Δt_x - độ chênh nhiệt độ trung bình.

b) Phương trình cân bằng nhiệt

$$Q = G_1 C_{p1}(t_1' — t_1'') = G_2 C_{p2} (t_2'' — t_2'),\ (W) \qquad (4\text{-}12)$$

Chỉ số 1 là của chất lỏng nóng, chỉ số 2 là của chất lỏng lạnh.

- ký hiệu " ' " - các thông số đi vào thiết bị,
- ký hiệu " " " - các thông số đi ra khỏi thiết bị,

G — lưu lượng khối lượng, kg/s:

$$G = V.\rho$$

V - lưu lượng thể tích, m^3/s

ρ - khối lượng riêng, kg/m^3

C_p — nhiệt dung riêng đẳng áp, J/kg.K.

c) Độ chênh nhiệt độ trung bình logarit

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}, \qquad (4\text{-}13)$$

Đối với dòng chất lỏng chuyển động song song cùng chiều

$\Delta t_1 = t_1' - t_2'$;

$\Delta t_2 = t_1'' - t_2''$

Đối với dòng chất lỏng chuyển động song song ngược chiều

$\Delta t_1 = t_1' — t_2''$;

$\Delta t_2 = t_1'' - t_2'$

4.2.2.2. Xác định diện tích bề mặt trao đổi nhiệt

$$F = \frac{Q}{k\Delta t} \qquad (4\text{-}14)$$

4.3. BÀI TẬP VỀ BỨC XẠ NHIỆT VÀ TRUYỀN NHIỆT

Bài 4.1 Một thanh thép có nhiệt độ là 727^0C, độ đen $\varepsilon = 0,7$. Tính khả năng bức xạ của thanh thép. Nếu nhiệt độ giảm đi 2 lần thì khả năng bức xạ giảm đi mấy lần.

Lời giải

Khả năng bức xạ của thanh thép:

$$E = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

$$T = 273 + 727 = 1000^0\text{C},$$

$$E = 0,7.5,67.\left(\frac{1000}{100}\right)^4 = ;\ \text{W/m}^2$$

$$E = 3,97.10^4;\ \text{W/m}^2$$

Nếu nhiệt độ của thanh thép giảm đi 2 lần:

$$T = 273 + \frac{727}{2} = 636,5\ ^0\text{K};$$

$$E = 0,7.5,67.\left(\frac{636,5}{100}\right)^4 = 6514,4\ ;\ \text{W/m}^2$$

$$E = 6514,4;\ \text{W/m}^2$$

Khả năng bức xạ giảm đi: $\frac{3,97.10^4}{6514,4} = 6,09$ lần.

Bài 4.2 Hai tấm phẳng đặt song song, tấm thứ nhất có nhiệt độ $t_1 = 527^0$C, độ đen $\varepsilon_1 = 0,8$, tấm thứ hai có nhiệt độ $t_2 = 27^0$C, độ đen $\varepsilon_2 = 0,6$. Tính khả năng bức xạ của mỗi tấm, độ đen qui dẫn và lượng nhiệt trao đổi bằng bức xạ giữa hai tấm phẳng.

Lời giải

Khả năng bức xạ của thanh thép:

$$E_1 = \varepsilon_1 C_0 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 = 0,8.5,67.\left(\frac{800}{100}\right)^4$$

$$E_1 = 18579;\ \text{W/m}^2$$

$$E_2 = \varepsilon_2 C_0 \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 = 0,6.5,67.\left(\frac{300}{100}\right)^4$$

$$E_2 = 275;\ \text{W/m}^2$$

Lượng nhiệt trao đổi bằng bức xạ giữa hai tấm phẳng ứng với một đơn vị diện tích theo (4-1) và (4-2):

$$q_{12} = \varepsilon_{qd} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]$$

Ở đây độ đen qui dẫn bằng:

$$\varepsilon_{qd} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,6} - 1} = 0,526$$

$$q_{1-2} = 0,526.5,67.\left[\left(\frac{800}{100}\right)^4 - \left(\frac{300}{100}\right)^4\right] = 11975;\ W/m^2$$

Bài 4.3 Xác định tổn thất nhiệt do bức xạ từ bề mặt ống thép có đường kính d = 70 mm, dài 3 m, nhiệt độ bề mặt ống $t_1 = 227^0C$ trong hai trường hợp:

a) ống đặt trong phòng rộng có nhiệt độ tường bao bọc $t_1 = 27^0C$.
b) ống đặt trong cống có kích thước (3 x 0,3) m và nhiệt độ vách cống $t_2 = 27^0C$. Biết độ đen của ống thép $\varepsilon_1 = 0,95$ và của vách cống $\varepsilon_2 = 0,3$.

Lời giải

Trường hợp ống đặt trong phòng rộng theo (4-4) và (4-5), khi $F_2 = \infty$:

$$Q_{12} = \varepsilon_{qd} C_0 . F_1 . \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]$$

Với $\varepsilon_{qd} = \varepsilon_1$; $F_1 = \pi.d.l = 3,14.0,07.3 = 0,66\ m^2$

$$Q_{1-2} = 0,95.5,67.0,66\left[\left(\frac{500}{100}\right)^4 - \left(\frac{300}{100}\right)^4\right] = 1934;$$

$Q_{1-2} = 1934W$.

Trường hợp ống đặt trong cống hẹp có độ đen qui dẫn theo (4-5):

$$\varepsilon_{qd} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}$$

$F_2 = 2.(0,3 + 0,3).3 = 3,6\ m^2$,

$$\varepsilon_{qd} = \frac{1}{\frac{1}{0,95} + \frac{0,66}{3,6}\left(\frac{1}{0,3} - 1\right)}$$

$$Q_{1-2} = 0,675.5,67.0,66\left[\left(\frac{500}{100}\right)^4 - \left(\frac{300}{100}\right)^4\right] = 1374$$

$Q_{1-2} = 1374$ W .

Bài 4.4 Hai hình hộp lập phương có cạnh 5 cm và 20 cm bọc nhau, trao đổi nhiệt bức xạ, độ đen bề mặt hình hộp nằm trong 0,4, độ đen bề mặt hình hộp bọc ngoàI 0,5. Xác định độ đen qui dẫn của hệ thống hai vật bọc nhau.

Lời giải

Độ đen qui dẫn của 2 vật bọc nhau theo (4-5) với $\varepsilon_1 = 0,4$, $\varepsilon_2 = 0,5$:

$$\varepsilon_{qd} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} = \frac{1}{\frac{1}{0,4} + \frac{6.0,05^2}{6.0,2^2}\left(\frac{1}{0,5} - 1\right)} = 0,39$$

ở đây $F_1 = 6.0,05^2$, m^2; $F_2 = 6.0,2^2$, m^2.
F_1 và F_2 là diện tích các mặt của hình lập phương.

Bài 4.5 Một tường lò bên trong là gạch chịu lửa, dày 250 mm, hệ số dẫn nhiệt bằng 0,348 W/m.K, bên ngoài là lớp gạch đỏ dày 250 mm, hệ số dẫn nhiệt bằng 0,348 W/m.K. Nếu khói trong lò có nhiệt độ 1300 ^{0}C, hệ số toả nhiệt từ khói đến gạch là 34,8 W/m^2.K; nhiệt độ không khí xung quanh bằng 30 ^{0}C. hệ số toả nhiệt từ gạch đến không khí là 11,6 W/m^2.K.

Tìm mật độ dòng nhiệt truyền qua tường lò và nhiệt độ tiếp xuc giữa hai lớp gạch.

Lời giải
Mật độ dòng nhiệt truyền qua tường lò:

$$q = k(t_{f1} - t_{f2})$$

với:
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{34,8} + \frac{0,250}{0,348} + \frac{0,250}{0,695} + \frac{1}{11,6}}$$

$k = 0,838$ W/m^2.K

$q = 0,838.(1300 — 30) = 1064$ W/m^2.K

Nhiệt độ bề mặt tường phía khói:

$$t_{W1} = t_{f1} - q.\frac{1}{\alpha_1} = 1300 - 1064\frac{1}{34,8} = 1269\,^0\text{C},$$

Nhiệt độ tiếp xúc giữa hai lớp gạch:

$$t_{W2} = t_{W1} - q.\frac{\delta_1}{\lambda_1} = 1269 - 1064\frac{0,250}{0,348}$$

$t_{W2} = 504\ ^0$C.

Bài 4.6 Một ống dẫn hơi làm bằng thép, đường kính 200/216 mm, hệ số dẫn nhiệt bằng 46 W/m.K, được bọc bằng một lớp cách nhiệt dày 120 mm, có hệ số dẫn nhiệt bằng 0,116 W/m.K. Nhiệt độ của hơi bằng 300 ^{0}C. Hệ số toả nhiệt từ hơi đến bề mặt trong của ống bằng 116 W/m^2.K; nhiệt độ không khí xung quanh bằng 25 ^{0}C. Xác định tổn thất nhiệt trên 1 m chiều dài ống và nhiệt độ bề mặt lớp cách nhiệt.

Lời giải

Tổn thất nhiệt trên 1 m chiều dài ống theo (4-7):

$$q_1 = k_1(t_{f1} - t_{f2}); \text{ W/m},$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1.\pi.d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_i}\ln\frac{d_2}{d_i} + \frac{1}{2\pi\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2\pi d_3}} \text{ ; W/m.K}$$

$d_1 = 0,2$ m; $d_2 = 0,216$ m

$d_3 = d_2 + 2\delta = 0,216 + 2.0,12 = 0,456$ m.

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{116.3,14.0,2} + \frac{1}{2.3,14.216}\ln\frac{216}{200} + \frac{1}{2.3,14.0,116}\ln\frac{456}{216} + \frac{1}{10.3,14.0.456}}$$

$k_1 = 0,9$ W/m.K,

$q_l = 0,9.(300-25) = 247,5$ W/m

Nhiệt độ bề mặt lớp cách nhiệt xác định từ đIều kiện ổn định nhiệt:

$$q_l = q_{13} = \alpha.\pi.d_3.(t_{W3}-t_{f2})$$

$$t_{|W3} = t_{f2} + \frac{q_l}{\alpha.\pi.d_3} = 25 + \frac{247,5}{10.3,14.0,456}$$

$t_{W3} = 42\ ^0$C.

Bài 4.7 Một thiết bị trao đổi nhiệt chất lỏng nóng được làm nguội từ 300 ^{0}C đến 200 ^{0}C, chất lỏng lạnh được đốt nóng từ 25 ^{0}C đến 175 ^{0}C. Tính độ chênh nhiệt độ trung bình trong các trường hợp sau:

a) chất lỏng chuyển động song song cùng chiều.

b) chất lỏng chuyển động song song ngược chiều.

Lời giải

a) Trường hợp chất lỏng chuyển động song song cùng chiều:

$$\Delta t_1 = t_1' - t_2' = 300 - 25 = 275\ ^0\mathbf{C}$$

$$\Delta t_2 = t_1'' - t_2'' = 200 - 175 = 25\ ^0\mathbf{C}$$

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{275 - 25}{\ln\frac{275}{25}} = 104\ ^0\text{C}$$

b) Trường hợp chất lỏng chuyển động song song ngược chiều:

$$\Delta t_1 = t_1' - t_2'' = 300 - 175 = 125\ ^0\mathbf{C}$$

$$\Delta t_2 = t_1'' - t_2' = 200 - 25 = 175\ ^0\mathbf{C}$$

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{125 - 175}{\ln\frac{125}{175}} = 149\ ^0\mathbf{C}.$$

Bài 4.8 Trong một thiết bị trao đổi nhiệt cần làm nguội chất lỏng nóng từ 120 ^{0}C đến 50 ^{0}C, chất lỏng nóng có nhiệt dung riêng $C_{p1} = 3,04$ kJ/kg.K. chất lỏng lạnh

(chất cần gia nhiệt) có lưu lượng 1000 kg/h, nhiệt độ vào thiết bị là 10^0C, nhiệt dung riêng C_{p2} = 4,18 kJ/kg.K. Biết hệ số truyền nhiệt k = 1160 W/m^2.K. Tính diện tích truyền nhiệt của thiết bị trong các trường hợp sau:

a) chất lỏng chuyển động song song cùng chiều.

b) chất lỏng chuyển động song song ngược chiều.

Lời giải

Nhiệt lượng do chất lỏng nóng nhả ra:

$$Q = G_1 C_{p1}(t_1' — t_1'')$$

$$Q = \frac{275}{3600}.3,04.10^3.(120 - 50) = 16255,5\ W$$

Nhiệt độ ra của chất lỏng lạnh xác định từ phương trình cân bằng nhiệt:

$$Q = G_1 C_{p1}(t_1' — t_1'') = G_2 C_{p2} (t_2'' — t_2'),$$

$$t''_2 = t'_2 + \frac{G_1.C_{p1}.(t'_1 - t''_1)}{G_2.C_{p2}}$$

Độ chênh nhiệt độ trung bình trong trường hợp chuyển động song song cùng chiều theo (4-13):

$$\Delta t_1 = t_1' - t_2' = 120 — 25 = 110\ ^0\mathbf{C}$$

$$\Delta t_2 = t_1'' - t_2'' = 50 — 24 = 26\ ^0\mathbf{C}$$

$$\overline{\Delta t}_{cc} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{110 - 26}{\ln\frac{110}{26}} = 58,3\ ^0C$$

Diện tích bề mặt truyền nhiệt trong trường hợp chuyển động song song cùng chiều theo (4-14):

$$Q = k.F_{cc}.\Delta T_{cc}$$

$$F = \frac{Q}{k.\Delta t_{cc}} = \frac{16255}{1160.58,3} = 0,24\ m^2$$

Độ chênh nhiệt độ trung bình trong trường hợp chuyển động song song ngược chiều theo (4-13):

$$\Delta t_1 = t_1' — t_2'' = 120 — 24 = 96\ ^0\mathbf{C}$$

$$\Delta t_2 = t_1'' - t_2' = 50 — 10 = 40\ ^0\mathbf{C}$$

$$\overline{\Delta t}_{nc} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{96 - 40}{\ln\frac{96}{40}} = 64\ ^0\mathbf{C.}$$

Diện tích bề mặt truyền nhiệt trong trường hợp chuyển động song song ngược chiều theo (4-14):

$$Q = k.F_{nc}.\Delta T_{nc}$$

$$F = \frac{Q}{k.\Delta t_{nc}} = \frac{16255}{1160.64} = 0,22\ m^2\ ./.$$