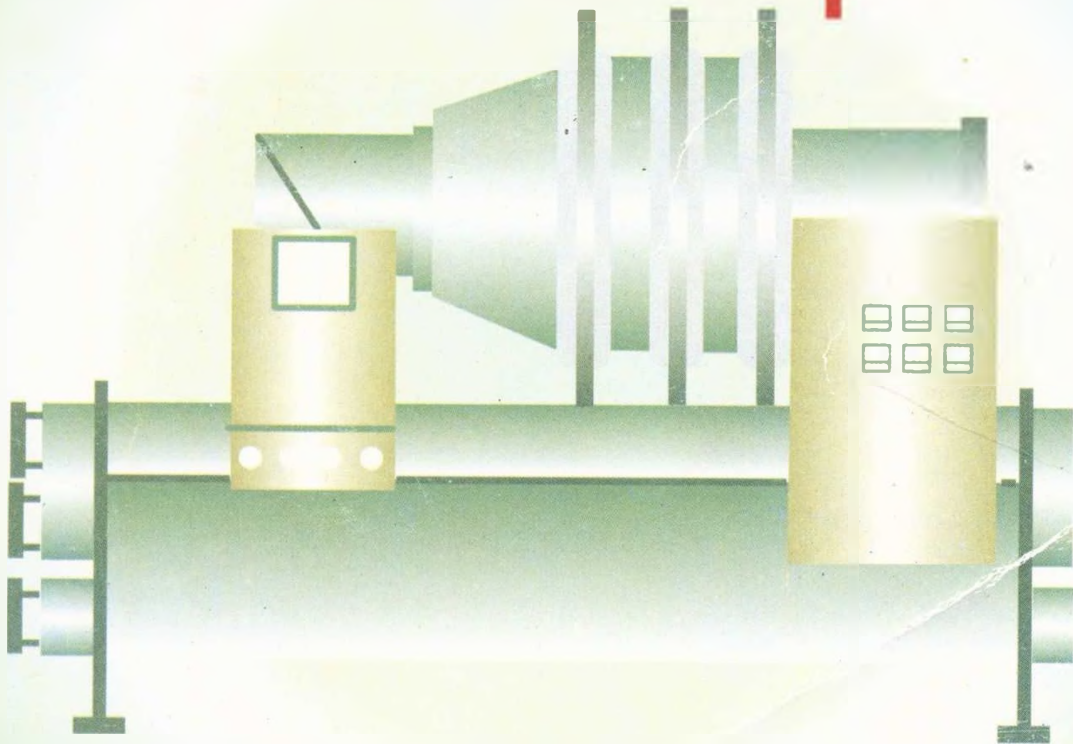


HOÀNG ĐÌNH TÍN - BÙI HẢI

BÀI TẬP

**NHIỆT ĐỘNG HỌC KỸ THUẬT
VÀ TRUYỀN NHIỆT**



NHÀ XUẤT BẢN
ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

Hoàng Đình Tín - Bùi Hải

BÀI TẬP
NHIỆT ĐỘNG HỌC KỸ THUẬT
VÀ TRUYỀN NHIỆT

(Tái bản lần thứ tư)

EBOOKBKMT.COM

HỖ TRỢ TÀI LIỆU HỌC TẬP

**NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA
TP HỒ CHÍ MINH - 2012**

MỤC LỤC

<i>Lời nói đầu</i>	5
PHẦN I. NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC KỸ THUẬT	7
<i>Chương 1. CÁC THÔNG SỐ TRẠNG THÁI</i>	9
1.1 Áp suất	9
1.2 Nhiệt độ	10
1.3 Thể tích riêng v , m^3/kg	10
1.4 Nội năng u , J/kg	10
1.5 Entanpi i , J/kg	11
1.6 Entropi s , $J/kg^{\circ}K$	11
1.7 Exergi e , J/kg	11
Bài tập	12
<i>Chương 2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI, HỖN HỢP KHÍ, NHIỆT DUNG RIÊNG</i>	16
2.1 Phương trình trạng thái khí lý tưởng	16
2.2 Hỗn hợp khí lý tưởng	17
2.3 Nhiệt dung riêng (NDR)	18
Bài tập	19
<i>Chương 3. ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ NHẤT VÀ CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CỦA CHẤT KHÍ</i>	26
3.1 Định luật nhiệt động thứ nhất	26
3.2 Các quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng	27
3.3 Quá trình hỗn hợp các khí	29
3.4 Quá trình nén khí	30
Bài tập	33
<i>Chương 4. CHU TRÌNH CHẤT KHÍ</i>	49
4.1 Chu trình nhiệt động	49
4.2 Chu trình động cơ đốt trong	51
4.3 Chu trình tua bin khí	51
4.4 Chu trình động cơ phản lực	53
<i>Chương 5. HƠI NƯỚC VÀ CHU TRÌNH THIẾT BỊ ĐỘNG LỰC HƠI NƯỚC</i>	69
5.1 Hơi nước	69
5.2 Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi nước	70
Bài tập	71
<i>Chương 6. LƯU ĐỘNG VÀ TIẾT LƯU</i>	101
6.1 Lưu động	101
6.2 Quá trình tiết lưu	104
Bài tập	104

EBOOKBKMT.COM

HỖ TRỢ TÀI LIỆU HỌC TẬP

<i>Chương 7. KHÔNG KHÍ ẨM</i>	113
7.1. Không khí ẩm	113
7.2 Quá trình sấy	117
7.3 Quá trình điều tiết không khí	121
Bài tập	125
<i>Chương 8. CHU TRÌNH THIẾT BỊ LẠNH</i>	145
8.1 Chu trình máy lạnh dùng không khí	145
8.2 Chu trình thiết bị lạnh dùng hơi có máy nén	147
Bài tập	151
PHẦN II. TRUYỀN NHIỆT	181
<i>Chương 9. DẪN NHIỆT</i>	183
9.1 Dẫn nhiệt ổn định	183
9.2 Dẫn nhiệt không ổn định	189
Bài tập	192
<i>Chương 10. TỎA NHIỆT ĐỐI LƯU</i>	214
10.1 Tỏa nhiệt đối lưu tự nhiên	215
10.2 Tỏa nhiệt đối lưu cưỡng bức (dòng một pha)	216
10.3 Tỏa nhiệt khi biến đổi pha	220
Bài tập	221
<i>Chương 11. TRAO ĐỔI NHIỆT BỨC XẠ</i>	251
11.1 Các định luật cơ bản về bức xạ nhiệt	251
11.2 Trao đổi nhiệt bức xạ giữa các vật	252
11.3 Bức xạ chất khí	253
Bài tập	255
<i>Chương 12. TRUYỀN NHIỆT VÀ TÍNH TOÁN THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT</i>	265
12.1 Truyền nhiệt qua vách phẳng	265
12.2 Truyền nhiệt qua vách trụ	265
12.3 Vách có cánh	266
12.4 Thiết bị trao đổi nhiệt	266
12.5 Phương pháp hiệu suất - hệ số chuyển nhiệt (phương pháp $\epsilon - NTU$)	271
Bài tập	273
Phần III. PHỤ LỤC	297
<i>Tài liệu tham khảo</i>	439

Lời nói đầu

Nhiệt động lực học kỹ thuật cùng với các môn học truyền nhiệt, cơ học lưu chất... đã đặt nền tảng cơ sở lý luận quan trọng giúp cho sinh viên hiểu biết có hệ thống về thiết bị nhiệt, động cơ đốt trong, động cơ tua bin khí, máy lạnh, nhà máy nhiệt điện, thông gió và điều tiết không khí.... Thiết bị nhiệt ngày nay phát triển rất nhanh và đa dạng, xâm nhập vào nhiều ngành kỹ thuật và có ảnh hưởng quan trọng đến chất lượng sản phẩm. Các thiết bị luôn luôn được cải tiến trên cơ sở phát triển công nghệ mới, kỹ thuật mới và vật liệu mới, tuy nhiên nó vẫn tuân theo những nguyên lý cơ bản về nhiệt động lực học kỹ thuật và truyền nhiệt. Sự hiểu biết về các môn học này sẽ giúp cho sinh viên, kỹ sư và kỹ thuật viên có cơ sở vững vàng trong việc sử dụng thiết bị, lựa chọn các phương án kỹ thuật về nhiệt một cách hợp lý trong các dây chuyền công nghệ.

Cuốn **BÀI TẬP NHIỆT ĐỘNG LỰC KỸ THUẬT VÀ TRUYỀN NHIỆT** là một phần quan trọng giúp sinh viên trong quá trình học tập các môn học nhiệt động lực học kỹ thuật và truyền nhiệt được thuận lợi hơn.

Chúng tôi đã hết sức cố gắng kế thừa những kinh nghiệm tốt ở trong nước cũng như ở nước ngoài và sưu tầm các bài toán sát với những vấn đề kỹ thuật công nghiệp thường gặp nhằm phục vụ độc giả. Tuy vậy, trong điều kiện hiện nay chúng tôi chưa thể đáp ứng đầy đủ yêu cầu các bạn đọc. Rất mong nhận được sự góp ý của bạn đọc.

Xin chân thành cảm ơn.

Địa chỉ liên hệ: Trung tâm Nghiên cứu Thiết bị Nhiệt và Năng lượng mới Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh 268 Lý Thường Kiệt, Q.10 - ĐT: (08) 8652315

Các tác giả

PGS-TS. Hoàng Đình Tín

PGS-TS. Bùi Hải

PHẦN I

NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC
KỸ THUẬT

Chương 1

CÁC THÔNG SỐ TRẠNG THÁI

Thông số trạng thái là những đại lượng vật lý có giá trị xác định ở một trạng thái nào đó. Thông số trạng thái là hàm chỉ phụ thuộc vào trạng thái mà không phụ thuộc vào quá trình.

Các thông số trạng thái gồm: áp suất p , nhiệt độ T , thể tích riêng v , entanpi i , entropi s , exergi e . Trong đó p , v , T gọi là các thông số trạng thái cơ bản. Ở đây cần lưu ý nhiệt lượng q , công l là các hàm phụ thuộc vào quá trình nên không phải là các thông số trạng thái.

1.1 ÁP SUẤT

Các đơn vị thường dùng để đo áp suất

$$N/m^2 = Pa \text{ (Pascal)}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^3 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 750 \text{ mm Hg}$$

$$1 \text{ at} = 0,981 \text{ bar} = 0,981 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 735,5 \text{ mmHg}$$
$$= 10 \text{ m H}_2\text{O} = 14,696 \text{ psi}$$

$$1 \text{ mm Hg} = 133,32 \text{ N/m}^2 \text{ (1mm Hg còn gọi là tor)}$$

$$1 \text{ psi} = 1 \text{ lb}_f / \text{in}^2 = 6894,76 \text{ N/m}^2$$

Áp suất tuyệt đối trong bình chứa được tính như sau:

- Áp suất bình chứa lớn hơn áp suất khí trời:

$$p_{td} = p_d + p_{kt}$$

- Áp suất bình chứa nhỏ hơn áp suất khí trời:

$$p_{td} = p_{kt} - p_{ck}$$

ở đây: p_{td} - áp suất tuyệt đối;

p_{kt} - áp suất khí trời (đo bằng baromet)

p_d - áp suất dư (đo bằng manomet)

p_{ck} - áp suất chân không (đo bằng vacumet).

1.2 NHIỆT ĐỘ

Nhiệt độ biểu thị mức độ nóng lạnh của vật. Khi đo nhiệt độ người ta thường dùng các thang đo nhiệt độ sau đây: nhiệt độ bách phân (nhiệt độ Celsius) $t^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ tuyệt đối (nhiệt độ Kelvin) $T^{\circ}\text{K}$, nhiệt độ Fahrenheit $t^{\circ}\text{F}$. Quan hệ giữa chúng như sau:

$$T^{\circ}\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273,15$$

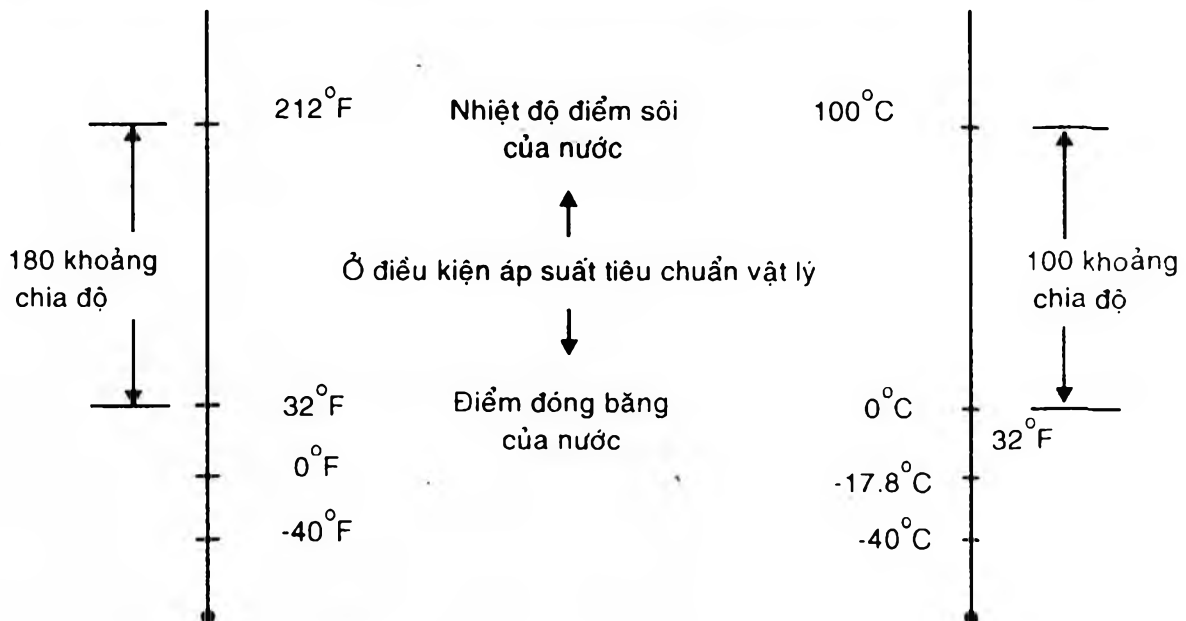
$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$t^{\circ}\text{F} = 1,8t^{\circ}\text{C} + 32$$

$$\Delta t(^{\circ}\text{C}) = \Delta t(^{\circ}\text{K})$$

$$\Delta t(^{\circ}\text{F}) = 1,8\Delta t(^{\circ}\text{C})$$

Cần lưu ý là chỉ có $T^{\circ}\text{K}$ mới là thông số trạng thái



Để dễ dàng khi sử dụng phần phụ lục có bảng tính đổi giữa C và F

1.3 THỂ TÍCH RIÊNG v , m^3/kg

Thể tích riêng là thể tích của một đơn vị khối lượng v , m^3/kg

$$v = \frac{V}{G}, \text{m}^3/\text{kg}; \quad \rho = \frac{1}{v} = \frac{G}{V}, \text{kg}/\text{m}^3 \text{ (khối lượng riêng)}$$

1.4 NỘI NĂNG u , J/kg

Nội năng (nội nhiệt năng) là năng lượng của các phân tử chuyển động trong vật. Nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ và được xác định:

$$\Delta i = u_2 - u_1 = c_v (t_2 - t_1)$$

ở đây: c_v nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích.

Với khí thực nội năng là hàm phụ thuộc vào cả ba thông số cơ bản p , v , T .

1.5 ENTANPI i , J/kg

Entanpi được định nghĩa bằng biểu thức: $i = u + pv$.

Entanpi của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ và xác định theo quan hệ:

$$\Delta i = i_2 - i_1 = c_p (t_2 - t_1).$$

ở đây: c_p - nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp.

Với khí thực entanpi là hàm phụ thuộc vào cả ba thông số cơ bản p , v , T .

1.6 ENTROPI S , J/kg $^\circ$ K

Entropi là hàm trạng thái, vi phân của nó là vi phân toàn phần được xác định bằng biểu thức: $ds = dq / T$

1.7 EXERGI e , J/kg

Chúng ta biết rằng tất cả các dạng năng lượng (ngoài nhiệt năng) như: cơ năng, điện năng, hóa năng.... đều có thể biến đổi hoàn toàn thành công trong các quá trình thuận nghịch. Ngược lại dù là trong quá trình thuận nghịch chúng ta chỉ có thể biến đổi một phần của năng lượng nhiệt thành công. Chúng ta gọi exergi là năng lượng có thể biến đổi hoàn toàn thành công trong quá trình thuận nghịch. Đối với nhiệt năng q ta có thể viết:

$$q = e + a$$

trong đó: e - exergi; a - anergi (là phần nhiệt năng không thể biến đổi thành công).

Người ta đã chứng minh được các công thức sau:

Exergi của dòng chất chuyển động:

$$e = i - i_0 - T_0(s - s_0) \quad (1.1)$$

ở đây: i , s - entanpi và entropi của môi chất ở trạng thái ban đầu

i_0 , s_0 - các thông số của môi chất ở trạng thái cuối cân bằng với môi trường có p_0 , T_0 không đổi.

Exergi của nhiệt lượng q ở nhiệt độ T :

$$e_q = q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (1.2)$$

ở đây: T_0 - nhiệt độ không đổi của môi trường.

Giá trị exergi có thể mang dấu dương hoặc âm. Độ lớn exergi là giá trị tuyệt đối của nó.

BÀI TẬP

1.1. Chỉ số Manomet của lò hơi là 0,3 at, chỉ số Baromet ở 0°C là 785 mmHg. Xác định áp suất tuyệt đối của hơi trong lò hơi.

Giải Áp suất tuyệt đối của hơi trong lò hơi:

$$p_{td} = p_d + p_{kt} = 0,3 + \frac{785}{735,5} = 1,367 \text{ at}$$

$$p_{td} = 1,367 \times 0,981 = 1,34 \text{ bar}$$

1.2. Xác định áp suất tuyệt đối của khí trong bình có lắp áp kế. Nếu manomet chỉ 500 mmHg, Baromet chỉ áp suất khí quyển 750 mm Hg ở 0°C, (ở đây ta coi cột áp của Manomet ở 0°C, nghĩa là không cần hiệu chỉnh độ giãn nở của cột áp này).

Đáp số: 1,69 at hay 1,666 bar

1.3. Xác định áp suất tuyệt đối của khí trong bình chứa có nhiệt độ 170°C nếu Manomet chỉ 500 mmHg, áp suất khí trời đo bằng baromet chỉ 760 mmHg ở nhiệt độ 30°C trong hai trường hợp:

- Coi chiều cao của cột thủy ngân trong áp kế không đổi theo nhiệt độ.
- Coi chiều cao cột thủy ngân h phụ thuộc vào nhiệt độ theo quan hệ:

$$h_0 = h(1 - 0,000172 t)$$

Ở đây: h_0 - là chiều cao cột thủy ngân ở 0°C

Giải. a) $p = p_d + p_{kt} = 500 + 760 = 1260 \text{ mmHg}; p = \frac{1260}{760} = 1,68 \text{ bar}$

b) Chiều cao cột thủy ngân trong manomet qui về 0°C:

$$h_0 = h(1 - 0,000172 t) = 500(1 - 0,000172 \times 100) = 491,4 \text{ mmHg}$$

Ở đây nhiệt độ trong cột thủy ngân lấy bằng nhiệt độ trung bình giữa nhiệt độ ngoài trời 30°C và nhiệt độ trong bình 170°C:

$$t = \frac{1}{2} (170 + 30) = 100^\circ\text{C}$$

Chiều cao cột thủy ngân trong Baromet qui về 0°C:

$$h_0 = h(1 - 0,000172t) = 760(1 - 0,000172 \cdot 30) = 756 \text{ mmHg}$$

Vậy áp suất tuyệt đối của khí trong bình:

$$p = 491,4 + 756 = 1247,4 \text{ mmHg ở } 0^\circ\text{C}$$

$$p = \frac{1247,4}{750} = 1,663 \text{ bar}$$

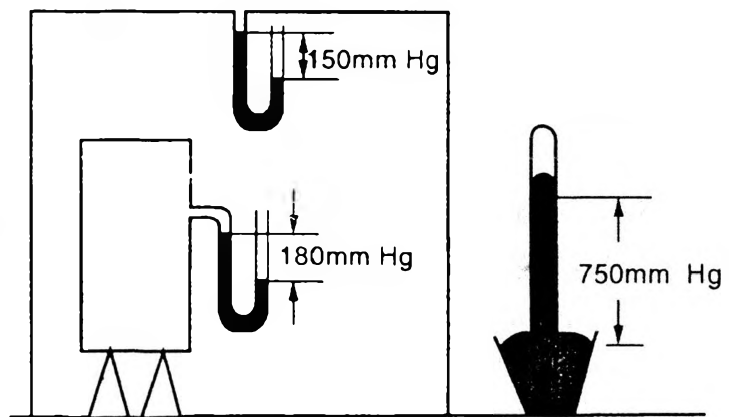
Sai số của trường hợp a so với trường hợp b là: $\frac{1,68 - 1,663}{1,663} = 1\%$

Từ đây chúng ta thấy khi nhiệt độ trong bình và ngoài trời không cao thì ta có thể bỏ qua việc hiệu chỉnh chiều cao cột thủy ngân trong các áp kế chất lỏng thủy ngân.

1.4. Xác định áp suất khí trời ở 0°C nếu baromet chỉ 755 mmHg ở điều kiện nhiệt độ là 30°C

Đáp số: 1 bar hay 750 mmHg

1.5. Một bình có gắn vacumet thủy ngân được đặt trong phòng có gắn manomet H₂O. Xác định áp suất tuyệt đối của khí trong bình nếu biết chỉ số vacumet là 180 mmHg, chỉ số manomet là 50 mmH₂O và áp suất khí trời đo bằng baromet ở 30°C là 750 mmHg.



Giải. - Áp suất tuyệt đối trong phòng: $p_f = p_d + p_{kt}$

Vì ở đây không cho biết nhiệt độ trong bình và nhiệt độ phòng nên ta có thể bỏ qua hiệu chỉnh cột chất lỏng trong vacumet và manomet. Ta sẽ chỉ hiệu chỉnh đối với baromet.

$$p_d = 50 \text{ mm H}_2\text{O} = \frac{50}{10.000} = 0,005 \text{ at}$$

$$h_{kt} = h(1 - 0,000172 t)$$

$$= 750(1 - 0,000172 \times 30) = 746 \text{ mmHg ở } 0^\circ\text{C}$$

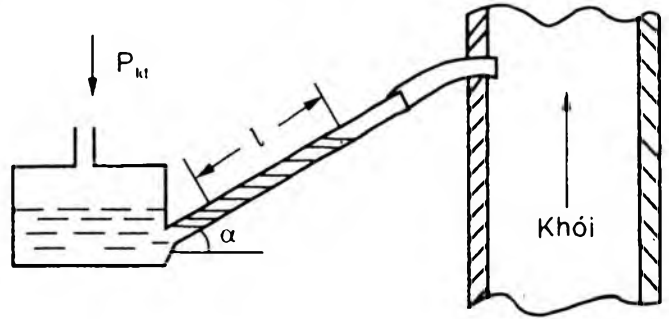
$$p_{kt} = \frac{746}{735,5} = 1,014 \text{ at}$$

$$p_f = p_d + p_{kt} = 0,005 + 1,014 = 1,019 \text{ at}$$

- Áp suất tuyệt đối trong bình: $p_b = p_f - p_{ck}$

$$p_{ck} = 180 \text{ mmHg} = \frac{180}{735,5} = 0,245 \text{ at}; \quad p_b = 1,019 - 0,245 = 0,774 \text{ at}$$

- 1.6. Trên đường khói ra khỏi lò hơi do đặt quạt hút nên áp suất tuyệt đối của khói sẽ nhỏ hơn áp suất khí quyển. Để đo áp suất của khói người ta dùng áp kế chất lỏng H_2O đặt nghiêng 30° . Biết chiều dài cột nước trong áp kế là 160 mm, áp suất khí quyển 740 mmHg ở $0^\circ C$. Xác định áp suất tuyệt đối của khói.



Đáp số: 734,1 mmHg

- 1.7. Trên đường khói ra của lò hơi có đặt quạt hút. Để đo áp suất của khói ta dùng áp kế nghiêng 30° , chất lỏng là dầu hỏa có khối lượng riêng 0,8 kg/lít. Chiều dài cột chất lỏng trong áp kế chỉ $l = 200$ mm, biết áp suất khí quyển 745 mm Hg. Xác định áp suất tuyệt đối của khói.

Giải. Áp suất tuyệt đối của khói: $p = p_{kt} - p_{ck}$

ở đây: $p_{ck} = g \cdot \rho \cdot h$

Chiều cao cột dầu trong h được tính:

$$h = l \sin \alpha = 200 \times \sin 30^\circ = 100 \text{ mm} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$p_{ck} = 0,981 \times 0,8 \cdot 10^{-3} \times 100 \cdot 10^{-3} = 785 \text{ N/m}^2 = \frac{785}{10^5} \times 750 = 5,89 \text{ mmHg}$$

$$p = p_{kt} - p_{ck} = 745 - 5,89 = 739 \text{ mmHg}$$

- 1.8. Độ chân không trong bình ngưng hơi của tua bin có chỉ số 9,52 m H_2O , chỉ số của baromet thủy ngân là 740 mmHg. Xác định áp suất tuyệt đối của hơi trong bình ngưng.

Đáp số: 0,054 at hay 0,0529 bar

- 1.9. 1 kg không khí chuyển động trong ống có nhiệt độ ban đầu bằng nhiệt độ môi trường $27^\circ C$, sau khi nhận nhiệt, nhiệt độ không khí tăng lên đến $127^\circ C$. Xác định lượng biến đổi exergi của 1 kg dòng khí đó khi biết $c_p = 1 \text{ kJ/kg}^\circ$ và biến đổi entropi: $\Delta s = 0,29 \text{ kJ/kg}^\circ$.

Giải. Exergi ở trạng thái ban đầu: $e_1 = i_1 - i_0 - T_0(s_1 - s_0)$

Exergi ở trạng thái cuối: $e_2 = i_2 - i_0 - T_0(s_2 - s_0)$

Vậy biến đổi exergi:

$$\begin{aligned} e &= e_2 - e_1 = i_2 - i_1 - T_0 (s_2 - s_1) = c_p(t_2 - t_1) T_0 \Delta s \\ &= 1(127 - 27) - (27 + 273) \times 0,29 = 13 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

1.10. Hơi nước ở trạng thái đầu có $i_1 = 3050 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 7,1 \text{ kJ/kg độ}$, sau khi giãn nở đẳng áp đến trạng thái hai có $i_2 = 2950 \text{ kJ/kg}$, $s_2 = 6,92 \text{ kJ/kg độ}$. Xác định biến đổi exergi của 10 kg hơi nước đó khi biết nhiệt độ môi trường $t_0 = 27^\circ\text{C}$

Đáp số: 460 kJ

1.11. 1 kg hơi NH_3 đi vào bình ngưng có $i_1 = 2100 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 7 \text{ kJ/kg độ}$, sau khi ngưng tụ đẳng áp trong bình ngưng, chất lỏng ngưng có $i_2 = 410 \text{ kJ/kg}$, $s_2 = 0,7 \text{ kJ/kg độ}$. Xác định biến đổi exergi trong quá trình NH_3 ngưng tụ đó nếu $t_0 = 27^\circ\text{C}$.

Đáp số: 200 kJ/kg

PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI, HỖN HỢP KHÍ, NHIỆT DUNG RIÊNG

2.1 PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÝ TƯỞNG

Khí lý tưởng là khí được xem như không có lực tương tác giữa các phân tử, không có thể tích bản thân phân tử, nghĩa là các phân tử của khí lý tưởng chỉ là các chất điểm chuyển động. Trong thực tế chất khí ở nhiệt độ cao và áp suất thấp có thể coi là khí lý tưởng (ở vị trí cách xa đường giới hạn trên), ví dụ không khí, khí O_2 , N_2 ... ở điều kiện bình thường, đều có thể coi là khí lý tưởng để xử lý.

Phương trình trạng thái với 1 kg khí: $pv = RT$

Phương trình trạng thái với G kg khí: $pV = GRT$

Phương trình trạng thái với 1 kmol khí: $pV_\mu = R_\mu T$

ở đây: p - áp suất tuyệt đối, N/m^2 ;

v - thể tích riêng, m^3/kg

T - nhiệt độ tuyệt đối, $^\circ K$;

V - thể tích, m^3

V_μ - thể tích của 1 kmol, $m^3/kmol$

R - hằng số chất khí, $J/kg^\circ K$

R_μ - hằng số phổ biến của chất khí, $J/kmol^\circ K$.

Hằng số chất khí được xác định bằng biểu thức:

$$R = \frac{R_\mu}{\mu} = \frac{8314}{\mu}, J/kg^\circ K$$

ở đây: μ là phân tử lượng của khí. Kilomol khí là lượng khí tính bằng kg có giá trị bằng phân tử lượng của khí đó, ví dụ $\mu_{O_2} = 32$ kg....

2.2 HỖN HỢP KHÍ LÝ TƯỞNG

Hỗn hợp khí là hỗn hợp cơ học của các khí thành phần khi không xảy ra phản ứng hóa học. Nếu các khí thành phần là khí lý tưởng ta có hỗn hợp khí là khí lý tưởng.

1- Tính chất của hỗn hợp khí lý tưởng

Áp suất của hỗn hợp tuân theo định luật Dalton:

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

ở đây: p - áp suất của hỗn hợp khí

p_i - áp suất riêng phần (phần áp suất) của các khí thành phần trong hỗn hợp

Đối với 1 kg hỗn hợp khí: $pV = R_{hh} T$

Đối với G kg hỗn hợp khí: $pV_{\mu} = GR_{hh} T$

Đối với 1 kmol hỗn hợp khí: $pV_{\mu} = R_{\mu} T$

ở đây: $R_{\mu} = 8314 \text{ J/kmol}^{\circ}\text{K}$ - hằng số phổ biến của chất khí

μ_{hh} - khối lượng của 1 kmol hỗn hợp

$R_{hh} = \frac{8314}{\mu_{hh}}$, $\text{J/kg}^{\circ}\text{K}$ - hằng số chất khí của hỗn hợp.

Để xác định R_{hh} và μ_{hh} cần biết các thành phần của hỗn hợp

2- Các thành phần của hỗn hợp

- Thành phần khối lượng g_i : $g_i = \frac{G_i}{G}$

- Thành phần thể tích r_i : $r_i = \frac{V_i}{V}$

- Thành phần kmol r_i : $r_i = \frac{M_i}{M}$

trong đó: G_i - khối lượng của khí thành phần trong hỗn hợp, kg

G - khối lượng của khí hỗn hợp, kg

V - thể tích của hỗn hợp khí, m^3

V_i - thể tích của riêng phần của khí thành phần, m^3

M_i - số kmol của khí thành phần; M - số kmol của hỗn hợp khí.

3- Xác định các đại lượng của hỗn hợp

$$\mu_{hh} = \sum r_i \mu_i = \frac{1}{\sum g_i / \mu_i}; \quad R_{hh} = \frac{8314}{\mu_{hh}} = \sum g_i R_i$$

4- Xác định phân áp suất của khí thành phần

$$p_i = r_i p$$

2.3 NHIỆT DUNG RIÊNG (NDR)

Nhiệt dung riêng là nhiệt lượng cần để làm tăng nhiệt độ của một đơn vị đo lường vật chất lên một độ trong một quá trình cấp nhiệt nào đó.

1- Các loại nhiệt dung riêng

- NDR khối lượng: Khi lượng vật chất đo bằng kg, ký hiệu là c (J/kg độ)
- NDR thể tích: Khi lượng vật chất đo bằng mét khối tiêu chuẩn (là m^3 ở điều kiện tiêu chuẩn $t = 0^\circ C$, $p = 760$ mm Hg), ký hiệu: c' (J/ m^3_c độ)
- NDR kmol: Khi lượng vật chất đo bằng kmol, ký hiệu: c_μ (J/kmol độ)
- NDR đẳng áp: Khi quá trình xảy ra ở áp suất không đổi, ký hiệu: $c_p, c'_p, c_{\mu p}$.
- NDR đẳng tích: Khi quá trình xảy ra ở thể tích không đổi, ký hiệu: $c_v, c'_v, c_{\mu v}$.

2- Quan hệ giữa các loại nhiệt dung riêng

$$c_p - c_v = R; \quad \frac{c_p}{c_v} = k;$$

$$c_\mu = \mu c = 22,4c'$$

3- Xác định giá trị nhiệt dung riêng

- Nhiệt dung riêng là hằng số: Trong tính toán không cần độ chính xác quá cao hoặc khoảng biến thiên nhiệt độ không lớn, để đơn giản trong tính toán, người ta thường xem nhiệt dung riêng là hằng số. Căn cứ vào từng loại khí: một nguyên tử, hai nguyên tử... và phân tử lượng của khí để xác định NDR.

$$c = \frac{c_\mu}{\mu} \quad \text{và} \quad c' = \frac{c_\mu}{22,4}$$

Trị số c_μ - tra ở phần đầu của phụ lục (Bảng 1)

- Khi cần độ chính xác cao trong tính toán, hoặc khoảng biến thiên nhiệt độ rất lớn thì có thể xem NDR phụ thuộc nhiệt độ theo quan hệ đường thẳng và tính như sau:

$$c_{tb} = c \Big|_{t_2}^{t_1} = \frac{1}{\Delta t} \left[c \Big|_0^{t_2} \times t_2 - c \Big|_0^{t_1} \times t_1 \right]$$

ở đây: $\Delta t = t_2 - t_1$

$c \Big|_0^{t_2}$; $c \Big|_0^{t_1}$ là nhiệt dung riêng trung bình trong khoảng nhiệt độ từ

0 ÷ t_2 ; 0 ÷ t_1 và được xác định từ các bảng số hoặc tính theo công thức ở phần phụ lục (Bảng 2 ÷ bảng 6)

4. NDR của phần hỗn hợp khí

$$c = \sum g_i c_i; \quad c' = \sum r_i c'_i; \quad c_\mu = \sum r_i c'_{\mu i}$$

5. Tính nhiệt theo NDR

$$Q = G \cdot c \cdot \Delta t$$

Nếu chất khí được coi là khí lý tưởng thì $c = \text{const}$, nếu là khí thực thì

$c = c_{tb} = c \Big|_{t_1}^{t_2}$ phụ thuộc nhiệt độ.

BÀI TẬP

2.1. Xác định thể tích riêng, khối lượng riêng của khí N_2 ở điều kiện tiêu chuẩn và ở điều kiện có áp suất dư là 0,2 at, nhiệt độ 127°C . Biết áp suất khí quyển là 780 mm Hg ở 0°C .

$$\text{Đáp số: } v = 0,96 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad \rho = 1,04 \text{ kg/m}^3$$

2.2. Xác định thể tích riêng và khối lượng riêng của O_2 ở điều kiện tiêu chuẩn và ở điều kiện nhiệt độ 27°C , áp suất dư 2 bar. Biết áp suất khí trời là 750 mmHg ở 0°C .

$$\text{Đáp số: } v = 0,26 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad \rho = 3,85 \text{ kg/m}^3$$

2.3. Người ta bơm khí CO_2 vào bình chứa có thể tích là 3m^3 ; manomet của bình chỉ áp suất trước và sau khi nạp khí là 0,3 at và 3 at. Nhiệt độ khí tăng lên từ 45°C đến 70°C . Xác định khối lượng khí đã nạp vào bình nếu áp suất khí quyển là 760 mmHg ở 0°C .

Giải. Lượng khí bơm vào bình: $G = G_2 - G_1$

G_1 là lượng khí có sẵn trong bình

$$p_1 V = G_1 R T_1; \quad G_1 = \frac{p_1 V}{R T_1}$$

G_2 là lượng khí trong bình sau khi đã nạp thêm vào

$$p_2 V = G_2 R T_2; \quad G_2 = \frac{p_2 V}{R T_2}$$

Vậy:
$$G = \frac{V}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right)$$

Áp suất manomet chỉ là áp suất dư, do đó áp suất tuyệt đối được tính:

$$p_{d1} = p_{kt} + p_{d1} = \frac{760}{750} + 0,3 \times 0,98 = 1,307 \text{ bar}$$

$$p_{d2} = p_{kt} + p_{d2} = + 3 \times 0,98 = 3,953 \text{ bar}$$

$$R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{44} = 189 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$G = \frac{3}{189} \left(\frac{3,953 \cdot 10^5}{70+273} - \frac{1,307 \cdot 10^5}{45+273} \right) = 11,8 \text{ kg}$$

2.4. Một bình có thể tích $0,5\text{m}^3$ chứa không khí ở áp suất dư 2 bar, nhiệt độ 20°C . Lượng không khí cần thoát ra khỏi bình là bao nhiêu để áp suất trong bình có độ chân không 420 mmHg trong điều kiện nhiệt độ khí xem như không đổi. Áp suất khí quyển là 768 mm Hg ở 18°C , $\mu = 29\text{kg}$.

Đáp số: 1,527kg

2.5. Một xylanh-piston có dung tích $0,8\text{m}^3$ chứa không khí ở điều kiện áp suất dư là 2 bar. Piston của xylanh sẽ dịch chuyển một đoạn đường là bao nhiêu để cho áp suất của không khí được nén lên đến 8 bar ở nhiệt độ không đổi. Biết đường kính của xylanh là $d = 0,6\text{m}$

Giải. Thể tích ứng với khoảng dịch chuyển x của piston là:

$$V = V_1 - V_2 = \frac{\pi d^3}{4} x; \quad x = \frac{4V}{\pi d^2}$$

Khi nhiệt độ không đổi ta có: $T_1 = T_2 = T$

$$p_1 V_1 = GRT_1; \quad p_2 V_2 = GRT_2$$

ta có:
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}, \text{ hay: } V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2}$$

$$V = V_1 - V_2 = V_1 - V_1 \frac{p_1}{p_2}; \quad V = V_1 \left(1 - \frac{p_1}{p_2} \right) = 0,8 \left(1 - \frac{5}{8} \right) = 0,3\text{m}^3$$

$$x = \frac{4V}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0,3}{3,14 \times 0,6^2} = 1,06 \text{ m}$$

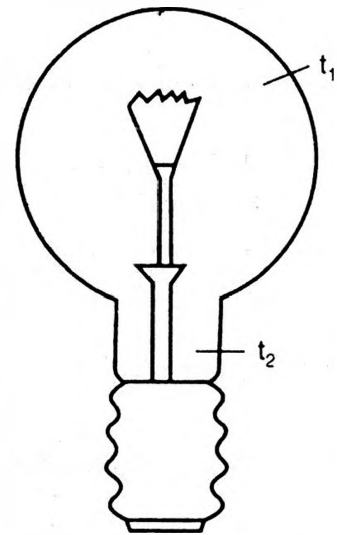
2.6. Piston chuyển động trong xylanh chứa khí lý tưởng có áp suất dư ban đầu 0,2 at. Khi piston dịch chuyển về phía sau, độ chân không của khí là 600 mmHg. Áp suất khí quyển 780 mmHg ở 0°C. Xác định sự thay đổi thể tích V_2/V_1 .

a) Giả sử trong quá trình piston dịch chuyển nhiệt độ không khí không thay đổi.

b) Giả sử trong quá trình piston dịch chuyển nhiệt độ không khí giảm đi 2 lần.

Đáp số: a) $V_2/V_1 = 5,16$; b) $V_2/V_1 = 2,58$

2.7. Một bóng đèn điện chứa khí gồm phần hình cầu A có thể tích $V_A = 90 \text{ cm}^3$ và phần hình trụ B có thể tích $V_B = 15 \text{ cm}^3$. Khi chưa thắp sáng nhiệt độ trong bóng đèn đồng đều và bằng $t_1 = 25^\circ\text{C}$, độ chân không trong bóng đèn là 200 mmHg. Sau khi đốt nóng đến chế độ ổn định, nhiệt độ trong phần hình cầu $t_A = 160^\circ\text{C}$, nhiệt độ trong phần hình trụ $t_B = 70^\circ\text{C}$. Xác định áp suất của khí trong bóng đèn sau khi đốt nóng (thắp sáng). Biết áp suất khí quyển 760 mmHg.



Giải. Ta biết rằng khối lượng khí N_2 trong bóng đèn là không thay đổi trước và sau khi thắp sáng, trước khi thắp sáng nhiệt độ và áp suất đồng đều trong bóng, do đó: $G_1 = G_2 = G$

$$G_1 = \frac{p_1 V}{RT_1} \tag{a}$$

$$G_2 = G_A + G_B = \frac{p_2 V_A}{RT_A} + \frac{p_2 V_B}{RT_B} = \frac{p_2}{R} \left(\frac{V_A}{T_A} + \frac{V_B}{T_B} \right) \tag{b}$$

từ (a) và (b) ta có:
$$p_2 = \frac{p_1 V}{T_1 \left(\frac{V_A}{T_A} + \frac{V_B}{T_B} \right)}$$

$$V = V_A + V_B = 90 + 15 = 105 \text{ cm}^3 = 105 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$p_1 = p_{kt} - p_{ck} = 760 - 200 = 560 \text{ mmHg} = 0,747 \text{ bar}$$

$$T_1 = 25 + 273 = 298^\circ\text{K}; T_A = 160 + 273 = 433^\circ\text{K}; T_B = 70 + 273 = 343^\circ\text{K}$$

$$P_2 = \frac{0,747 \cdot 10^5 \times 10^{-6}}{298 \left(\frac{90 \cdot 10^{-6}}{433} + \frac{15 \cdot 10^{-6}}{343} \right)} = 1,05 \text{ bar}$$

2.8. Một kg khô.r.g khí khô (gồm N_2 và O_2) có thành phần khối lượng $g_{N_2} = 76,8\%$; $g_{O_2} = 23,2\%$. Hãy xác định thành phần thể tích, hằng số chất khí, kmol của không khí và phân áp suất của khí N_2 , O_2 . Nếu biết áp suất khí trời là 760 mmHg

Giải. Thành phần thể tích tính theo thành phần khối lượng: $r_i = \frac{g_i / \mu_i}{\sum g_i / \mu_i}$

$$r_{O_2} = \frac{g_{O_2} / \mu_{O_2}}{g_{O_2} / \mu_{O_2} + g_{N_2} / \mu_{N_2}} = \frac{23,2/32}{23,2/32 + 76,8/28} = 0,21 = 21\%$$

$$r_{N_2} = 1 - r_{O_2} = 1 - 0,21 = 0,79 = 79\%$$

Kmol μ của không khí:

$$\mu = \sum r_i \mu_i = r_{O_2} \mu_{O_2} + r_{N_2} \mu_{N_2} = 0,21 \times 32 + 0,79 \times 28 = 29 \text{ kg/kmol}$$

Hằng số chất khí R: $R = \frac{8314}{\mu} = \frac{9314}{29} = 287 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$

Phân áp suất của từng khí thành phần: $p_i = r_i p$

$$p_{O_2} = r_{O_2} p = 0,21 \times 760 = 159,4 \text{ mmHg}$$

$$p_{N_2} = r_{N_2} p = 0,79 \times 760 = 600,6 \text{ mmHg}$$

2.9. Thành phần thể tích của các sản phẩm cháy (không chứa hơi nước) như sau: $CO_2 = 12,3\%$, $O_2 = 7,2\%$; $N_2 = 80,5\%$.

Tính μ , R, v, ρ của sản phẩm cháy khí $p = 750 \text{ mmHg}$ và $t = 800^\circ\text{C}$

Đáp số: $\mu = 30,3 \text{ kg/kmol}$; $R = 274 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$

$$v = 2,94 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad \rho = 0,34 \text{ kg/m}^3$$

2.10. Cầu nén hỗn hợp khí có thành phần khối lượng $g_{CO_2} = 18\%$; $g_{O_2} = 12\%$; $g_{N_2} = 70\%$ đến áp suất bằng bao nhiêu để khi $t = 180^\circ\text{C}$ thì 8 kg hỗn hợp khí đó chiếm thể tích 4 m^3 .

Đáp số: 2,46 bar

2.11. Trong một bình thể tích 125 m^3 chứa khí đốt có áp suất 3,92 bar, nhiệt độ 18°C . Thành phần thể tích là: $H_2 = 0,46$; $CH_4 = 0,32$; $CO = 0,15$, $N_2 = 0,07$. Sau khi dùng một thời gian áp suất của nó giảm đến 3,04 bar

và nhiệt độ 12°C . Tính lượng khí cháy đã dùng.

Đáp số: 51,4 kg

2.12. Tính nhiệt dung riêng trung bình khối lượng đẳng áp của khí N_2 từ nhiệt độ 200°C đến 800°C .

Giải. Từ công thức nhiệt dung riêng trung bình:

$$c_{tb} = \frac{1}{\Delta t} \left[c \Big|_0^{t_2} \times t_2 - c \Big|_0^{t_1} \times t_1 \right]$$

ở đây: $\Delta t = t_2 - t_1 = 800 - 200 = 600^\circ\text{C}$

Từ bảng nhiệt dung riêng trung bình của N_2 ta có:

$$c_p \Big|_0^t = 1,024 + 0,00008855t, \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$c_p \Big|_0^{t_2} = 1,024 + 0,00008855t \times 800 = 1,095 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$c_p \Big|_0^{t_1} = 1,024 + 0,00008855t \times 200 = 1,042 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$\text{Vậy ta có: } c_{tb} = \frac{1,085 \times 800 - 1,042 \times 200}{600} = 1,113 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Khi tính gần đúng ta có thể coi bằng nhiệt dung riêng trung bình từ $0 \div t_{tb}$ với $t_{tb} = \frac{1}{2}(t_1 + t_2) = 500^\circ\text{C}$

$$c_{tb} = 1,024 + 0,8855 \cdot 10^{-4} t_{tb} = 1,024 + 0,8855 \cdot 10^{-4} \cdot 500 = 1,07 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Sai số gặp phải là 4%

2.13. Trong một bình kín thể tích $V = 300$ lít chứa không khí ở áp suất $p_1 = 3 \text{at}$, nhiệt độ $t_1 = 200^\circ\text{C}$. Xác định nhiệt lượng cần cấp để nhiệt độ không khí tăng đến 120°C . Khi tính xem nhiệt dung riêng là hằng số và phụ thuộc nhiệt độ, kiểm tra lại độ sai số trong hai trường hợp.

Giải. Khối lượng của không khí chứa trong bình:

$$G = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{3 \times 0,98 \cdot 10^5 \times 0,3}{287(20 + 273)} = 1,05 \text{ kg}$$

Khi coi không khí là khí lý tưởng, nhiệt dung riêng là hằng số (không khí là khí hai nguyên tử), từ bảng ta có $c_{\mu v} = 20,9 \text{ kJ/kmol}^\circ\text{K}$. Vậy nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích của không khí:

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

Nhiệt lượng cần cung cấp:

$$Q_v = G \cdot c_v (t_2 - t_1) = 1,05 \times 0,72 (120 - 20) = 75,6 \text{ kJ}$$

Khi coi nhiệt dung riêng phụ thuộc nhiệt độ, từ bảng nhiệt dung riêng

ta có: $c_v \Big|_0^t = 0,7088 + 0,00009299 t, \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$

Người ta đã chứng minh rằng muốn tìm $c_v \Big|_{t_1}^{t_2}$ chỉ cần thay $t = t_1 + t_2$

vào công thức $c_v \Big|_0^t$. Vậy ở đây ta có:

$$c_v \Big|_{t_1}^{t_2} = 0,7088 + 0,0009299 (t_1 + t_2)$$

$$c_{v_{tb}} = 0,7088 + 0,00009299 (20 + 120) = 0,7218 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Nhiệt lượng cần cung cấp:

$$Q_v = G c_{v_{tb}} (t_2 - t_1) = 1,05 \times 0,7218 (120 - 20) = 75,79 \text{ kJ}$$

Sai số trong hai trường hợp: $\frac{75,79 - 75,6}{75,79} = 0,25\%$

2.14. Không khí được làm lạnh từ 1000°C đến 100°C ở áp suất không đổi. Xác định lượng nhiệt của 1 kg không khí tỏa ra, khi tính ta coi nhiệt dung riêng là hằng số và phụ thuộc vào nhiệt độ. Tính sai số trong hai trường hợp.

Đáp số: $q = 988,2 \text{ kJ/kg}$;
sai số 8%

2.15. Không khí ở nhiệt độ 0°C , áp suất 760 mmHg chứa trong bình kín có thể tích 100 lít. Xác định nhiệt lượng cần cung cấp để làm nóng không khí tăng lên đến 200°C . Khi tính coi nhiệt dung riêng phụ thuộc nhiệt độ.

Đáp số: $Q_v = 18,5 \text{ kJ}$

2.16. 4m^3 không khí ở áp suất dư $p_d = 2\text{at}$, nhiệt độ 20°C được đốt nóng đến 120°C . Xác định nhiệt lượng cần cấp trong điều kiện áp suất không đổi nếu coi nhiệt dung riêng là hằng số và áp suất khí quyển là 1 at.

Đáp số: $Q_p = 1410\text{kJ}$

2.17. Xác định nhiệt dung riêng trung bình khối lượng đẳng áp và nhiệt lượng cần cấp cho 10kg hỗn hợp khí có thành phần khối lượng: $\text{O}_2 = 10\%$; $\text{CO}_2 = 10\%$; $\text{N}_2 = 80\%$ để nhiệt độ từ 200°C tăng đến 800°C .

Giải:

$$\text{O}_2: \quad c_p \Big|_0^t = 0,9203 + 0,0001065t$$

$$c_p \Big|_{t_1}^{t_2} = 0,9203 + 0,0001065(200 + 800) = 1,0268 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$\text{CO}_2: \quad c_p \Big|_0^t = 0,8654 + 0,0002443t$$

$$c_p \Big|_{t_1}^{t_2} = 0,8654 + 0,0002443(200 + 800) = 1,1097 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$\text{N}_2: \quad c_p \Big|_0^t = 1,024 + 0,00008855t$$

$$c_p \Big|_{t_1}^{t_2} = 1,024 + 0,00008855(200 + 800) = 1,1126 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Theo công thức tính nhiệt dung riêng trung bình: $c_p = \sum g_i c_{p_i}$

Ta có: $c_{p_{tb}} = 0,1 \times 1,0268 + 0,1 \times 1,1097 + 0,8 \times 1,1126 = 1,04 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$

$$Q_p = G c_{p_{tb}} (t_2 - t_1) = 10 \times 1,04(800 - 200) = 6624 \text{ kJ}$$

ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ NHẤT VÀ CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CỦA CHẤT KHÍ

3.1 ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ NHẤT

1- Dạng tổng quát của phương trình định luật I

$$q = \Delta W + l_{n12} \quad (3.1)$$

ở đây: $\Delta W = W_1 - W_2$ - biến đổi năng lượng toàn phần của hệ
 l_{n12} - công ngoài mà hệ trao đổi với môi trường.

Trong hệ kín, năng lượng toàn phần là nội năng $W = u$, công ngoài là công thay đổi thể tích $l_{n12} = l_{12}$.

Trong hệ hở, năng lượng toàn phần của hệ là entanpi và động năng $W = i + \frac{\omega^2}{2}$, công ngoài của hệ (khi bỏ qua biến đổi động năng) là công kỹ thuật $l_{n12} \approx l_{kt12}$.

2- Phương trình định luật I cho hệ kín và hệ hở

Với mọi khí:

$$q = \Delta u + l_{12}; \quad dq = du + pdv \quad (3.2)$$

$$q = \Delta i + l_{kt12}; \quad dq = di - vdp$$

với khí lý tưởng: $dq = c_v dT + pdv$

$$dq = c_p dT - vdp \quad (3.3)$$

3- Phương trình định luật I cho dòng lưu động

Khi chuyển động trong ống dòng khí không trao đổi công với môi trường ($l_{n12} = 0$) và biến đổi năng lượng của dòng:

$$\Delta W = \Delta i + \frac{\Delta \omega^2}{2}$$

Vậy từ (3.1) ta có phương trình định luật I cho dòng khí:

$$dq = di + d\left(\frac{\omega^2}{2}\right) \quad (3.4)$$

4. Phương trình định luật I cho các quá trình hỗn hợp đoạn nhiệt

Khi hỗn hợp đoạn nhiệt ($q = 0$) có khí không trao đổi công với môi trường ($l_n = 0$), vậy từ dạng tổng quát của phương trình (3.1) ta có dạng cụ thể của phương trình định luật I cho các quá trình hỗn hợp.

$$\Delta u = 0, \text{ hay: } W_1 = W_2 = \text{const} \quad (3.5)$$

3.2 CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CƠ BẢN CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

1- Biến đổi nội năng và entanpi của khí lý tưởng

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c_v(t_2 - t_1)$$

$$\Delta u = i_2 - i_1 = c_p(t_2 - t_1)$$

2- Quá trình đẳng tích

Phương trình: $v = \text{const}$

Quan hệ giữa các thông số cơ bản: $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$

Công thay đổi thể tích: $l_{12} = 0$

Công kỹ thuật: $l_{kt12} = v(p_2 - p_1), J/kg$

Nhiệt của quá trình:

$$q_v = c_v(t_2 - t_1) = \Delta u, J/kg$$

$$Q_v = Gq_v = Gc_v(t_2 - t_1), J$$

Biến đổi entropi: $\Delta s = s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$

3- Quá trình đẳng áp

Phương trình: $p = \text{const}$

Quan hệ giữa các thông số: $\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}$

Công thay đổi thể tích: $l_{12} = p(v_2 - v_1), J/kg$

Công kỹ thuật: $l_{kt12} = 0$

Nhiệt của quá trình: $Q_p = Gq_p = Gc_p(t_2 - t_1), J$

Biến đổi entropi: $\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$

4- Quá trình đẳng nhiệt

Phương trình: $p v = \text{const}, (T = \text{const})$

Quan hệ giữa các thông số:

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

Công thay đổi thể tích và công kỹ thuật:

$$l_{12} = l_{kt12} = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = p_1 v_1 \ln \frac{v_1}{v_2}$$

Nhiệt của quá trình: $q_T = l_{12}$

Biến đổi entropi: $\Delta s = R \ln \frac{v_2}{v_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2}$

5- Quá trình đoạn nhiệt ($q = 0$)

Phương trình: $p v^k = \text{const}$ với số mũ $k = \frac{c_p}{c_v}$

Quan hệ giữa các thông số: $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k$

Công thay đổi thể tích: $l_{12} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)$

$$l_{12} = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \frac{RT_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

Công kỹ thuật: $l_{kt12} = k l_{12}$

Biến đổi entropi: $\Delta s = 0; s_2 = s_1 = \text{const}$

6- Quá trình đa biến

Phương trình: $p v^n = \text{const}$

Quan hệ các thông số: $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n;$

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

Công thay đổi thể tích: $l_{12} = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2)$

$$l_{12} = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

Công kỹ thuật: $l_{kt12} = n l_{12}$

Nhiệt của quá trình: $Q_n = Gq_n = Gc_n(t_2 - t_1)$

Nhiệt dung riêng c_n : $c_n = c_v \frac{n-k}{n-1}$

Biến đổi entropi: $\Delta s = c_n \ln \frac{T_1}{T_2}$

3.3 QUÁ TRÌNH HỖN HỢP CÁC KHÍ

Có ba cách tạo ra hỗn hợp khí khác nhau: hỗn hợp trong thể tích đã cho, hỗn hợp theo dòng, hỗn hợp khi nạp vào thể tích cố định.

Chúng ta chỉ xét quá trình hỗn hợp đoạn nhiệt và không trao đổi công với môi trường, nên theo (3.5) ta có phương trình định luật I:

$$W_1 = W_2 = \text{const}$$

ở đây: W_1 - năng lượng của hệ trước khi xảy ra hỗn hợp

W_2 - năng lượng của hệ sau quá trình hỗn hợp.

1- Hỗn hợp trong thể tích đã cho

Phương trình định luật I: $U = \sum U_i$

Thể tích của hỗn hợp: $V = \sum V_i$

Nhiệt độ của hỗn hợp: $T = \frac{\sum g_i c_v T_i}{\sum g_i c_{vi}}$

Áp suất của hỗn hợp: $p = \frac{T}{V} \sum \frac{p_i V_i}{T_i}$

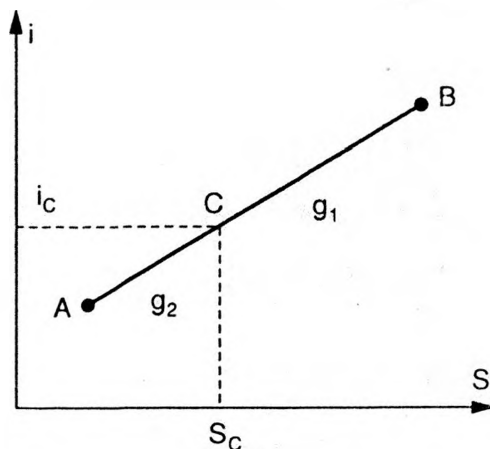
Ở đây ký hiệu với chỉ số i là của khí thành phần tạo nên hỗn hợp.

2- Hỗn hợp theo dòng

Hỗn hợp theo dòng tạo nên khi ta cho nhiều dòng khí hòa trộn vào nhau tạo nên dòng khí hỗn hợp. Động năng của dòng khí được bỏ qua.

Phương trình định luật I:

$$I = \sum I_i$$



Hình 3.1

Nhiệt độ của hỗn hợp khí lý tưởng:

$$T = \frac{\sum g_i c_{pi} T_i}{\sum g_i c_{pi}}$$

Thể tích của hỗn hợp khí cho biết áp suất của khí hỗn hợp p:

$$V = \frac{T}{p} \sum \frac{p_i V_i}{T_i}$$

Với khí thực, ví dụ H₂O có thể dùng đồ thị i - s, các điểm A, B là trạng thái của hơi tham gia hỗn hợp. Trạng thái của dòng hỗn hợp C nằm trên đường AB chia nó theo tỉ lệ nghịch với g₁, g₂. Từ điểm C ta có thể tìm được i_c, s_c, p_c, T_c,...

3- Hỗn hợp khí nạp vào thể tích cố định

Hỗn hợp được tạo nên khi ta bơm thêm vào một bình chứa khí những dòng khí khác.

Phương trình định luật I: $U = U_1 + I_i$

ở đây: U₁ - nội năng của khí có sẵn trong bình

I_i - entanpi của dòng khí nạp thêm vào

U - nội năng của hỗn hợp khí trong bình.

Nhiệt độ của hỗn hợp khí lý tưởng:

$$T = \frac{g_1 c_v T_1 + g_i c_{pi} T_i}{g_1 c_{v1} + g_i c_{vi}}$$

Áp suất của hỗn hợp khí biết trước thể tích V: $p = \frac{GRT}{V}$

3.4 QUÁ TRÌNH NÉN KHÍ

Máy nén khí có rất nhiều chủng loại (piston, trục vít, xoắn ốc, cánh gạt, ly tâm, hướng trục...) nhưng khi phân tích về mặt nhiệt động chúng đều giống nhau nên ở đây chúng ta chỉ nêu lên các công thức tính cho máy nén piston là loại sử dụng rất phổ cập. Máy nén là thiết bị tiêu tốn công (công có giá trị âm) nên ở đây công tiêu hao càng nhỏ càng tốt.

3.4.1 Máy nén piston một cấp

1- Công của máy nén lý tưởng

Khi nén đẳng nhiệt: $L_{mn} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = GRT_1 \ln \frac{p_2}{p_1}$

Khi nén đoạn nhiệt:

$$L_{mn} = -\frac{k}{k-1} p_1 V_1 [x^{k-1/k} - 1] = -\frac{k}{k-1} GRT_1 [x^{k-1/k} - 1]$$

Khi nén đa biến

$$L_{mn} = -\frac{n}{n-1} p_1 V_1 [x^{n-1/n} - 1] = -\frac{n}{n-1} GRT_1 [x^{n-1/n} - 1]$$

trong đó: p_1 - N/m²;

T_1 - °K;

V - m³;

G - kg;

L_{mn} - J

$x = \frac{p_2}{p_1}$ gọi là tỉ số nén

Còn nếu tính V_1 (m³/s), G (kg/s) thì L_{mn} (w) gọi là công suất.

2- Công của máy nén thực

Máy nén thực là máy nén mà piston không chuyển động đến sát nắp xylanh (nó có một khoảng không khí đệm được gọi là dung tích thừa V_t). Ngoài ra ở đây còn kể đến các ảnh hưởng khác như hiện tượng ma sát...

Công của máy nén thực giống như biểu thức tính công của máy nén lý tưởng ở trên, chỉ khác ở đây là $V_1 = V$ (m³, m³/s) là lượng khí hút thực, G (kg, kg/s) là khối lượng khí hút vào máy nén. Ví dụ khi nén đa biến.

$$L_{mn} = -\frac{n}{n-1} p_1 V_1 [x^{n-1/n} - 1] = -\frac{n}{n-1} GRT_1 [x^{n-1/n} - 1]$$

ở đây: $V = \lambda V_h$

λ - hệ số nạp; V_h - thể tích hành trình của piston

$\lambda = \lambda_t \cdot \lambda_{tl} \cdot \lambda_w \cdot \lambda_r \cdot \lambda_k$

trong đó: λ_t - hệ số kể đến ảnh hưởng của thể tích thừa

λ_{tl} - hệ số kể đến ảnh hưởng của quá trình tiết lưu qua các van

λ_w - hệ số kể đến ảnh hưởng của việc đốt nóng khí từ vách xylanh

λ_r - hệ số kể đến ảnh hưởng sự rò rỉ môi chất

λ_k - hệ số kể đến các ảnh hưởng khác.

$$V_h = S \cdot Z \cdot n \text{ (m}^3\text{/s)}$$

d (m) - đường kính xylanh;

S (m) - hành trình của piston

Z - số xylanh trong một cấp nén

n (vòng/s) - số vòng quay của trục khuỷu trong 1 giây.

Nếu kể đến các ảnh hưởng khác như ma sát của khí (thể hiện bằng

hiệu suất của chỉ thị η_i), ma sát của ổ trục khuỷu (hiệu suất cơ η_c), ảnh hưởng của khớp truyền động (hiệu suất truyền động η_d), của động cơ điện (hiệu suất động cơ η_{dc}). Công hoặc công suất tiêu thụ điện năng của máy

$$\text{nén sẽ là: } L_d = \frac{L_{mn}}{\eta_i \eta_c \eta_d \eta_{dc}} \quad (J, W)$$

3- Nhiệt làm mát xy lanh trong quá trình nén

Nếu là nén đa biến $1 < n < k$, nhiệt cần phải làm mát xy lanh (nhiệt tỏa ra trong quá trình nén):

$$Q_n = Gc_n (T_2 - T_1) = Gc_n T_1 \left(x^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) J$$

$$c_n = c_v \frac{n-k}{n-1}$$

3.4.2 Máy nén piston nhiều cấp

1- Tỷ số nén của các cấp

$$x_1 = x_2 = \dots = x = \sqrt[m]{\frac{p_c}{p_d}}$$

ở đây: m - số cấp nén; p_c - áp suất cuối; p_d - áp suất đầu

Áp suất sau các cấp nén tăng theo cấp số nhân công bội là x .

$$\text{Cấp 1: } p_2 = p_1 x$$

$$\text{Cấp 2: } p_3 = p_1 x^2$$

2- Nhiệt độ

Nhiệt độ vào các cấp nén như sau: $T_1 = T_3 = T_5 \dots$

Nhiệt độ ra các cấp nén như nhau:

$$T_2 = T_4 = T_6 = T_1 x^{n-1/n}$$

3- Thể tích xy lanh

$$\text{Cấp 1: } V_1$$

$$\text{Cấp 2: } V_3 = V_1/x$$

$$\text{Cấp 3: } V_5 = V_1/x^2$$

Thể tích xy lanh giảm theo cấp số nhân công bội $1/x$

4- Công của máy nén nhiều cấp

$$L_{mn} = mL_I$$

ở đây: m - số cấp máy nén;

L_I - công của cấp thứ nhất.

5. Nhiệt tỏa ra khi nén và làm mát trung gian

Nhiệt tỏa ra khi nén ở các cấp như nhau:

$$q_n = c_n T_1 \left(x^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right)$$

ở đây: c_n - nhiệt dung riêng của quá trình đa biến.

Nhiệt thải trong quá trình làm mát trung gian sẽ như sau:

$$q_m = c_p (T_2 - T_1)$$

ở đây: c_p - nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp.

BÀI TẬP

3.1. Để nén 3kg khí metan (CH_4) người ta cần tiêu tốn công nén 800 kJ và lúc này nội năng của khí tăng một lượng 595 kJ.

Xác định nhiệt lượng thải, độ biến thiên nhiệt độ và biến thiên nội năng của khí nén, nếu cho biết nhiệt dung riêng $c_{\mu v} = 26,48 \text{ kJ/kmol K}$.

Đáp số: $Q = 205 \text{ kJ}$; $\Delta t = 120^\circ \text{K}$; $\Delta L = 782 \text{ kJ}$

3.2. Bom nhiệt lượng thể tích 300 cm^3 chứa đầy O_2 ở áp suất 25 bar, nhiệt độ 20°C . Người ta đốt 0,3g nhiên liệu có nhiệt trị 25,1 MJ/kg. Xác định áp suất và nhiệt độ cuối quá trình cháy nếu bỏ qua nhiệt tỏa ra ngoài qua thành bom nhiệt lượng.

Giải. Nhiệt tỏa ra khi đốt 0,3g nhiên liệu:

$$Q = 0,3 \cdot 10^{-3} \times 25,1 \cdot 10^3 = 7,53 \text{ kJ}$$

Nhiệt này đốt nóng hỗn hợp khí tạo nên sau khi cháy:

$$Q = Gc_v (t_2 - t_1)$$

Từ đây suy ra nhiệt độ sau khi cháy t_2 :

$$t_2 = \frac{Q}{Gc_v} + t_1$$

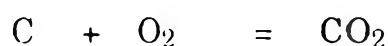
ở đây: G - khối lượng của khí sau khi cháy (gồm CO_2 tạo ra và O_2 còn lại)

c_v - nhiệt dung riêng của hỗn hợp khí đó.

Lượng khí O_2 lúc đầu chứa trong bom:

$$G_{\text{O}_2} \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{25 \cdot 10^5 \times 0,3 \cdot 10^{-3}}{\frac{8314}{32} (20 + 273)} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 9,8 \text{ g}$$

Khi cháy xảy ra phản ứng:



$$12g + 32g = 44g$$

$$0,3g + \frac{32}{12} \cdot 0,3 = \frac{44}{12} \cdot 0,3$$

Lượng O_2 đã tham gia vào phản ứng cháy: $\frac{32}{12} \times 0,3 = 0,8g$

Vậy lượng O_2 còn lại trong bom: $9,8g - 0,8g = 9g O_2$

Lượng CO_2 tạo thành sau phản ứng cháy: $\frac{44}{12} \times 0,3 = 1,1g$

Khối lượng hỗn hợp khí sau khi cháy:

$$G = G_{O_2} + G_{CO_2} = 9 + 1,1 = 10,1 g$$

Nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích của hỗn hợp:

$$c_v = \sum g_i c_{vi} = \left(\frac{9}{10,1} \times \frac{5}{32} + \frac{1,1}{10,1} \times \frac{7}{44} \right) \times 4,18 = 0,657 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Vậy nhiệt độ khí sau khi cháy:

$$t_2 = \frac{7,53}{10,1 \cdot 10^{-3} \times 0,657} + 20 = 1155^\circ\text{C}$$

Áp suất khí sau khi cháy:

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 25 \frac{1155+273}{20+273} = 122 \text{ bar}$$

3.3. Trong một bình kín thể tích $V = 0,015 \text{ m}^3$ chứa lượng không khí với áp suất đầu $p_1 = 2 \text{ bar}$, nhiệt độ $t_1 = 30^\circ\text{C}$. Nhiệt độ và áp suất sẽ thay đổi ra sao nếu ta cấp cho không khí lượng nhiệt 16 kJ .

Xác định lượng biến đổi nội năng, entanpi và entropi. Khi coi không khí là khí lý tưởng.

Giải. Khối lượng không khí trong bình:

$$p_1 V = GRT_1; \quad G = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{2 \cdot 10^5 \times 0,015}{273(30+273)} = 0,0345 \text{ kg}$$

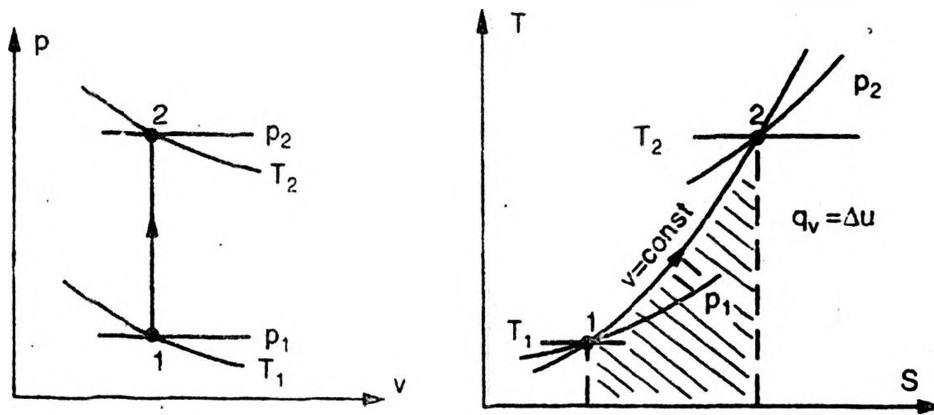
Vì đây là quá trình đẳng tích nên nhiệt độ cuối quá trình:

$$Q_v = Gc_v (t_2 - t_1).$$

với: $c_v = \frac{c_{\mu v}}{\mu} = \frac{20,9}{29} \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$

$$t_2 = \frac{Q_v}{Gc_v} + t_1 = \frac{16 \cdot 10^3}{0,0345 \times \frac{20,9}{29} \cdot 10^3} + 30 = 674^\circ\text{C}$$

$$\text{Áp suất cuối quá trình: } p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 2 \times \frac{674+273}{30+273} = 6,25 \text{ bar}$$



Hình 3.2

Lượng biến đổi nội năng:

$$q_v = \Delta u; Q_v = \Delta U = 16 \text{ kJ}$$

Lượng biến đổi entanpi:

$$\Delta I = G\Delta i = Gc_p (t_2 - t_1)$$

$$c_p = \frac{c_{\mu p}}{\mu} = \frac{29,3}{29} \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$\Delta I = 0,0345 \frac{29,3}{29} (674 - 30) = 22,44 \text{ kJ}$$

Lượng biến đổi entropi:

$$\Delta s = Gc_v \ln \frac{p_2}{p_1} = 0,0345 \frac{20,9}{29} \cdot 10^3 \ln \frac{6,25}{2} = 28,3 \text{ J/}^\circ\text{K}$$

3.4. Xylanh có đường kính $d = 400 \text{ mm}$ chứa lượng không khí có thể tích $V = 0,08 \text{ m}^3$ ở áp suất 3 bar, nhiệt độ 15°C . Hở lực tác dụng lên piston sẽ tăng lên bao nhiêu nếu không khí trong xylanh nhận nhiệt lượng 80 kJ trong điều kiện piston không dịch chuyển.

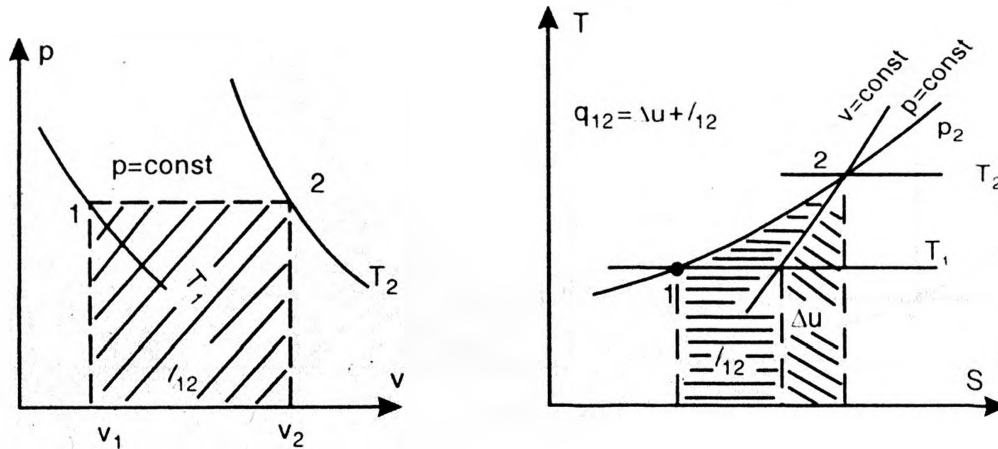
Đáp số: $\Delta t = 4,99 \cdot 10^4 \text{ N}$

3.5. Một bình kín thể tích $0,6 \text{ m}^3$ chứa không khí ở áp suất 5,1 at, nhiệt độ 20°C . Để làm lạnh bình người ta lấy đi lượng nhiệt 105 kJ. Xác định nhiệt độ và áp suất trong bình, lượng thay đổi entanpi sau quá trình làm lạnh đó.

Đáp số: $t_2 = -20,7^\circ\text{C}; p_2 = 4,3 \text{ bar}; \Delta I = 147 \text{ kJ}$

3.6. Người ta gia nhiệt cho 1 kg không khí trong điều kiện áp suất không đổi $p = 2 \text{ bar}$ từ nhiệt độ $t_1 = 20^\circ\text{C}$ đến $t_2 = 110^\circ\text{C}$. Xác định thể tích cuối, nhiệt lượng cần cấp, công thay đổi thể tích, lượng thay đổi nội năng, lượng biến thiên entropi.

Giải



Hình 3.3

Đây là quá trình đẳng áp của khí lý tưởng, thể tích cuối được tính:

$$v_2 = \frac{RT_2}{p} = \frac{287(110+273)}{2 \cdot 10^5} = 0,549 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Lượng nhiệt cần cung cấp cho 1 kg không khí:

$$q_p = c_p(t_2 - t_1) = \frac{29,3}{29} \cdot 10^3(110 - 20) = 90,9 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

Lượng thay đổi nội năng:

$$\Delta u = c_v(t_2 - t_1) = \frac{29,3}{29} \cdot 10^3(110 - 20) = 64,8 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

Công thay đổi thể tích:

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

$$l_{12} = q_p - \Delta u = (90,9 - 64,8) \cdot 10^3 = 26,1 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

Lượng biến thiên entropi:

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{29,3}{29} \cdot 10^3 \ln \frac{(10+273)}{(20+273)} = 271 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

- 3.7.** Thể tích không khí trong xylanh có đường kính $d = 600 \text{ mm}$, $V_1 = 0,41 \text{ m}^3$ ở nhiệt độ 20°C . Nếu không khí nhận lượng nhiệt $99,5 \text{ kJ}$ trong điều kiện áp suất không đổi và piston dịch chuyển 400 mm .
Hỏi nhiệt độ cuối và áp suất trong quá trình là bao nhiêu.

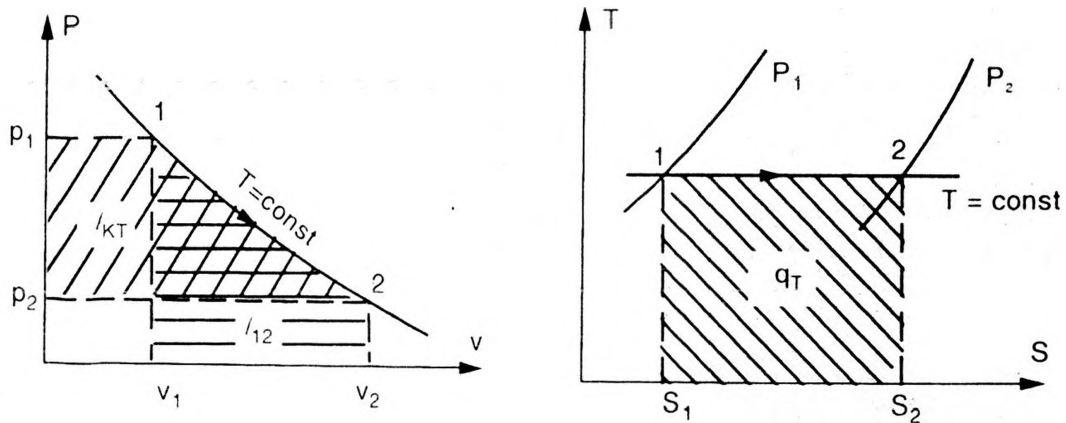
Đáp số: $t_2 = 101^\circ\text{C}$; $p = 2,5 \text{ bar}$

- 3.8.** 1 kg không khí ở áp suất $p_1 = 1 \text{ at}$, thể tích riêng $v_1 = 0,8 \text{ m}^3/\text{kg}$ nhận lượng nhiệt 100 kcal/kg trong điều kiện áp suất không đổi. Xác định nhiệt độ đầu, nhiệt độ và thể tích cuối?

Đáp số: $t_1 = 0^\circ\text{C}$; $t_2 = 416^\circ\text{C}$; $v_2 = 2,02 \text{ m}^3/\text{kg}$

3.9. Không khí trong xylanh giãn nở đẳng nhiệt ở $t = 20^\circ\text{C}$ từ thể tích $V_1 = 1,5 \text{ m}^3$, áp suất $p_1 = 5 \text{ bar}$ đến $V_2 = 5,4 \text{ m}^3$. Tính lượng nhiệt cung cấp, công thay đổi thể tích và công kỹ thuật, biến đổi nội năng entanpi và entropi.

Giải. Đây là quá trình đẳng nhiệt của khí lý tưởng. Quá trình được biểu diễn trên H.3.4 dưới đây.



Hình 3.4

Áp suất cuối:
$$p_2 = p_1 \frac{V_2}{V_1} = 5 \frac{1,5}{5,4} = 1,39 \text{ bar}$$

Biến đổi nội năng và entanpi trong quá trình đẳng nhiệt của khí lý tưởng: $\Delta U = \Delta I = 0$ vì $\Delta T = 0$

Nhiệt cung cấp cho quá trình:

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

Công kỹ thuật bằng công thay đổi thể tích:

$$L_{kt12} = L_{12}$$

$$L_{12} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = 5 \cdot 10^5 \times 1,5 \times \ln \frac{5,4}{1,5} = 9,6 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Lượng biến thiên entropi:

$$\Delta s = GR \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{Q_T}{T} = \frac{9,6 \cdot 10^3}{20+273} = 3280 \text{ J/}^\circ\text{K}$$

3.10. 1 kg không khí được nén đẳng nhiệt ở nhiệt độ $t = 30^\circ\text{C}$ từ áp suất đầu $p_1 = 1 \text{ bar}$ đến áp suất cuối $p_2 = 10 \text{ bar}$.

a) Xác định: thể tích cuối, công nén, lượng nhiệt thải.

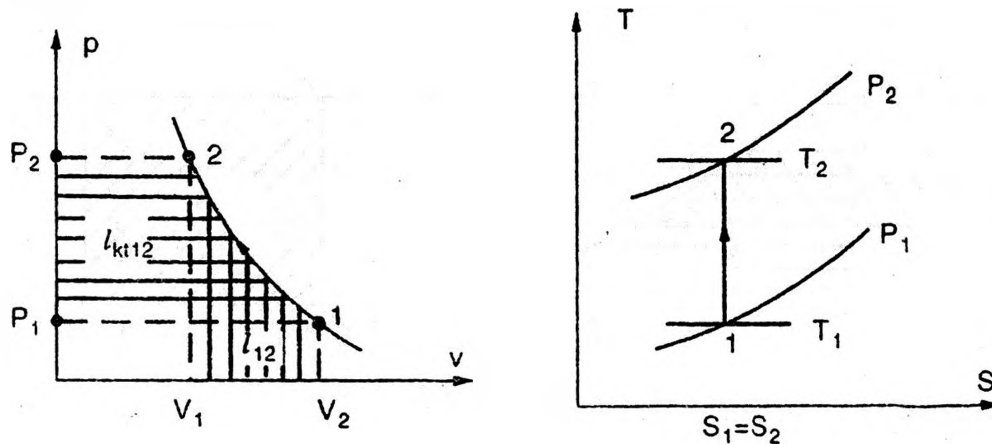
b) So sánh công tiêu hao với quá trình nén đoạn nhiệt trong cùng điều kiện áp suất như trên. Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p - v$ và $T - S$

Đáp số: a) $v_2 = 0,087 \text{ m}^3/\text{kg}$; $l_{12} = -200 \text{ kJ/kg} = l_{kt12}$; $q = -200 \text{ kJ/kg}$

b) $t_2 = 312^\circ\text{C}$; $v_2 = 0,168 \text{ m}^3/\text{kg}$; $l_{12} = -202,2 \text{ kJ/kg}$; $l_{kt12} = -283 \text{ kJ/kg}$

3.11. Không khí được nén đoạn nhiệt từ trạng thái ban đầu có $t_1 = 15^\circ\text{C}$, $p_1 = 1 \text{ at}$ đến trạng thái cuối có $p_2 = 8 \text{ at}$. Hãy xác định các thông số trạng thái cuối t_2 , v_2 của không khí nén, công thay đổi thể tích, công kỹ thuật, hướng biến đổi nội năng và entanpi.

Giải. Đây là quá trình đoạn nhiệt của khí lý tưởng, quá trình được biểu diễn trên H.3.5.



Hình 3.5

Nhiệt độ sau khi nén:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = (15+273) \left(\frac{8}{1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 288 \times 1,811 = 522\text{K} = 249^\circ\text{C}$$

Thể tích cuối:

$$v_2 = v_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/k} = \frac{RT_1}{p_1} \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/k} = \frac{287 \times 288}{1 \times 0,98 \times 10^5} \left(\frac{1}{8} \right)^{1/1.4} = 0,1906 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Công thay đổi thể tích:

$$l_{12} = \frac{RT_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{k-1/k} \right] = -168 \text{ J/kg}$$

Công kỹ thuật của quá trình (chính là công của máy nén)

$$l_{kt12} = k l_{12} = -1,4 \times 168 = -235,2 \text{ J/kg}$$

Lượng biến đổi nội năng:

$$q = \Delta u + l_{12} = 0$$

$$\Delta u = -l_{12} = 168 \text{ J/kg}$$

Lượng biến đổi của entanpi:

$$q = \Delta i + l_{kt12} = 0$$

$$\Delta i = -l_{kt12} = 235,2 \text{ J/kg}$$

3.12. Không khí trong xylanh ở trạng thái đầu $p_1 = 6 \text{at}$, $t_1 = 25^\circ\text{C}$ sau khi giãn nở đoạn nhiệt thể tích tăng lên gấp hai. Hãy tính áp suất và nhiệt độ cuối quá trình. Công thay đổi thể tích của 1kg không khí

Đáp số: $p_2 = 2,22 \text{ bar}$; $t_2 = -47^\circ\text{C}$; $l_{12} = 52,2 \text{ kJ/kg}$

3.13. 1 kg không khí ở áp suất $p_1 = 1 \text{at}$, nhiệt độ $t_1 = 30^\circ\text{C}$. sau khi bị nén đoạn nhiệt áp suất tăng lên 10 lần.

Xác định: thể tích, nhiệt độ sau khi nén, công của máy nén.

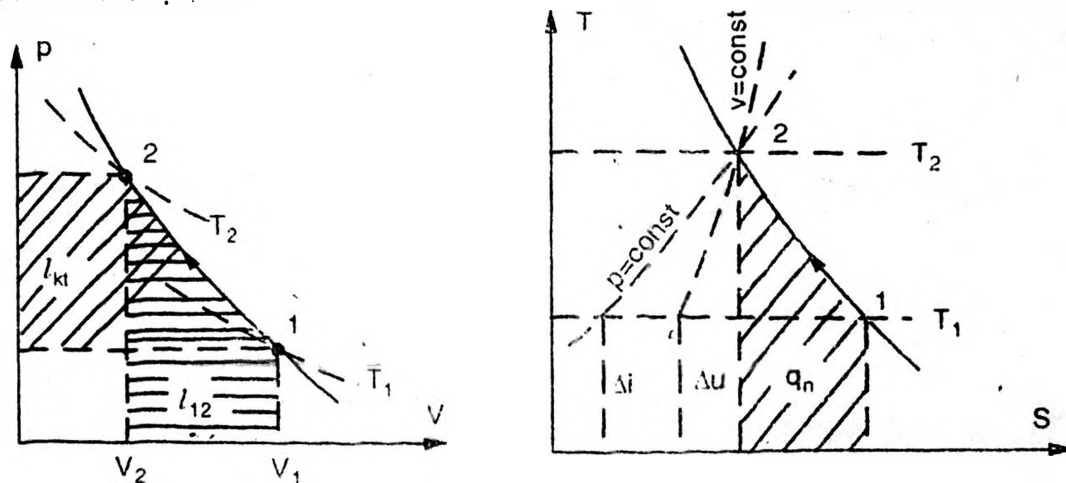
Đáp số: $t_2 = 312^\circ\text{C}$; $v_2 = 0,171 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$l_{mn} = l_{kt12} = 282,8 \text{ kJ/kg}$$

3.14. 1 kg không khí được nén đa biến ($n = 1,2$) trong máy nén từ nhiệt độ $t_1 = 20^\circ\text{C}$, áp suất $p_1 = 0,98 \text{ bar}$ đến áp suất $p_2 = 7,845 \text{ bar}$.

Xác định nhiệt độ cuối quá trình nén, lượng biến đổi nội năng, entanpi, công kỹ thuật của quá trình.

Giải. Đây là quá trình đa biến của khí lý tưởng, quá trình được biểu diễn trên đồ thị (H.3.6).



Hình 3.6

Nhiệt độ cuối của quá trình nén:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = (20+273) \left(\frac{7,845}{0,98} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}}$$

$$= 293 \times 1,415 = 414^\circ\text{K} = 141^\circ\text{C}$$

Lượng biến đổi nội năng:

$$\Delta u = c_v (t_2 - t_1) = \frac{20,9}{29} \cdot 10^3 (141 - 20) = 87,2 \text{ J/kg}$$

Lượng biến đổi entanpi:

$$\Delta i = c_p (t_2 - t_1); \quad \frac{\Delta i}{\Delta u} = \frac{c_p}{c_v} = k = 1,4$$

$$\Delta i = 1,4 \Delta u \times 87,2 = 122,08 \text{ J/kg}$$

Lượng nhiệt thải ra trong quá trình nén:

$$\begin{aligned} q_n &= c_n(t_2 - t_1) = c_v \frac{n-k}{n-1} (t_1 - t_2) \\ &= 0,72 \cdot 10^3 \frac{1,2-1,4}{1,2-1} (141-20) = -87,2 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

Công thay đổi thể tích

$$l_{12} = \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} \right] = \frac{287 \times 239}{1,2-1} \left[1 - \left(\frac{7,845}{0,98} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} \right] = -174,4 \text{ J/kg}$$

Tính cách khác, theo định luật I: $q_n = \Delta u + l_{12}$

$$l_{12} = q_n - \Delta u = 87,2 - 264,4 = -177,2 \text{ J/kg}$$

Công kỹ thuật: $l_{kt} = n l_{12} = 1,2(-174,4) = -209 \text{ J/kg}$

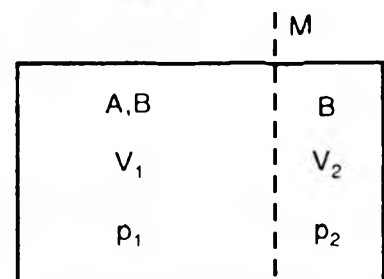
3.15. Cần nén lượng không khí từ $V_1 = 10 \text{ m}^3$, $p_1 = 0,9 \text{ bar}$, $t_1 = 17^\circ\text{C}$ đến $p_2 = 7,2 \text{ bar}$, $V_2 = 1,77 \text{ m}^3$. Xác định số mũ đa biến n , công thay đổi thể tích.

Đáp số: $n = 1,2$; $L_{12} = 1872 \text{ kJ}$

3.16. 1,5 kg không khí được nén đa biến từ $p_1 = 0,9 \text{ bar}$, $t_1 = 18^\circ\text{C}$ đến $p_2 = 10 \text{ bar}$, $t_2 = 125^\circ\text{C}$. Xác định số mũ đa biến n , thể tích sau khi nén và lượng nhiệt thải ra.

Đáp số: $n = 1,149$; $V_2 = 0,171 \text{ m}^3$; $Q_n = 195 \text{ kJ}$

3.17. Trong một bình chứa 2 chất khí A và B có nhiệt độ như nhau $t = 300^\circ\text{C}$ được ngăn cách bởi tấm chắn M (H.3.7), tấm chắn này có đặc tính là chỉ cho khí B đi qua. Thể tích phía trái vách ngăn $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$, phía phải vách ngăn $V_2 = 0,25 \text{ m}^3$. Khối lượng khí A là 1,44 kg, khí B là 0,464 kg. Khí A và B được coi là khí lý tưởng có: $\mu_A = 28$ và $\mu_B = 2$



Hình 3.7

Xác định:

Áp suất ban đầu p_1 , p_2 ứng với thể tích V_1 , V_2 khi chưa bỏ tấm ngăn.

Xác định áp suất của hỗn hợp khí sau khi bỏ tấm ngăn.

Giải

Chúng ta nhận thấy rằng trong thể tích V_1 có chất khí A và B còn trong thể tích V_2 chỉ có khí B. Vậy áp suất p_1 trong V_1 là áp suất của khí hỗn hợp của khí A và khí B nên $p_1 = p_A + p_B$. Còn áp suất p_2 trong V_2 chỉ là áp suất của khí B ($p_2 = p_B$).

Vì khí A chỉ có trong V_1 ($V_A = V_1$) nên ta có:

$$p_A V_A = G_A R_A T$$

$$p_A = \frac{G_A R_A T}{V_1} = \frac{1.44 \times 8314 (300 + 273)}{28 \times 0.5} = 4,9 \text{ bar}$$

Khí B có thể khuếch tán qua màng chắn và chiếm cả thể tích V_1 và V_2 nên $V_B = V_1 + V_2$, vậy:

$$p_B V_B = G_B R_B T$$

$$p_B = \frac{G_B R_B T}{V_1 + V_2} = \frac{0.464 \times 8314 (300 + 273)}{2(0.5 + 0.25)} = 14,7 \text{ bar}$$

và ta có: $p_1 = p_A + p_B = 4,9 + 14,7 = 19,6 \text{ bar}$

$p_2 = p_B = 14,7 \text{ bar}$

Sau khi bỏ màng chắn hai khí sẽ tạo thành hỗn hợp khí trong toàn bộ thể tích và có áp suất hỗn hợp lúc này là p , ta có:

$$p(V_1 + V_2) = (G_A + G_B) RT$$

ở đây:

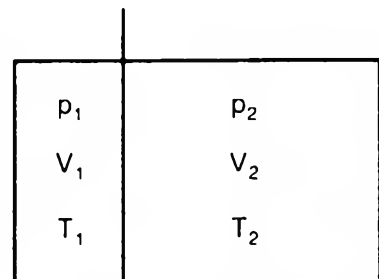
$$R = g_A \cdot R_A + g_B \cdot R_B$$

$$R = \frac{1.44}{1.904} \times \frac{8314}{28} + \frac{0.464}{1.904} \times \frac{8314}{2} = 322,2 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

Vậy áp suất trong bình khí bỏ màng chắn sẽ là:

$$p = \frac{(G_A + G_B) RT}{V_1 + V_2} = \frac{1.904 \times 322,2 \times 573}{0.74} = 17,93 \text{ bar}$$

3.18. Trong một bình chứa khí CO₂ được chia đôi bởi một vách ngăn (H.3.8). Ngăn bên trái khí CO₂ có $p_1 = 430 \text{ mmHg}$, $t_1 = 170^\circ\text{C}$, $V_1 = 1 \text{ m}^3$. Còn ngăn bên phải khí CO₂ có $p_2 = 940 \text{ mmHg}$, $t_2 = 210^\circ\text{C}$, $V_2 = 3 \text{ m}^3$.



Hình 3.8

Hãy xác định áp suất và nhiệt độ của hỗn hợp sau khi rút vách ngăn.

Giải

Đây là hỗn hợp của khí lý tưởng trong thể tích đã cho $V = V_1 + V_2$.
Nhiệt độ của hỗn hợp CO_2 sau khi lấy vách ngăn:

$$T = \frac{\sum g_i c_{vi} T_i}{\sum g_i c_{vi}} = \frac{g_1 c_{v1} T_1 + g_2 c_{v2} T_2}{g_1 c_{v1} + g_2 c_{v2}}$$

Ở đây vì các chất khí đều là CO_2 và nhiệt độ không sai khác nhau nhiều nên xem $c_{v1} = c_{v2}$. Vậy ta có:

$$T = \frac{g_1 T_1 + g_2 T_2}{g_1 + g_2} = g_1 T_1 + g_2 T_2 \quad (\text{vì } g_1 + g_2 = 1)$$

Khối lượng CO_2 trong V_1 :

$$p_1 V_1 = G_1 \cdot R T_1; \quad G_1 = \frac{p_1 V_1}{R T_1}$$

$$p_1 = \frac{430}{750} \times 10^5 = 0,573 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{44} = 189 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$$G_1 = \frac{0,572 \cdot 10^5 \times 1}{189(170+273)} = 0,68 \text{ kg}$$

Khối lượng CO_2 trong V_2 :

$$p_2 V_2 = G_2 R T_2; \quad p_2 = \frac{940}{750} \cdot 10^5 = 1,253 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$G_2 = \frac{p_2 V_2}{R T_2} = \frac{1,253 \cdot 10^5 \times 3}{189(210+273)} = 4,1 \text{ kg}$$

$$g_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} = \frac{0,68}{0,68 + 41} = 0,142$$

$$g_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} = \frac{0,41}{0,68 + 41} = 0,858$$

Nhiệt độ hỗn hợp:

$$T = g_1 T_1 + g_2 T_2 = 0,142(170 + 273) + 0,858(210 + 273) = 477^\circ\text{K}$$

Áp suất hỗn hợp: $pV = GRT$

$$p = \frac{GRT}{V} = \frac{(0,68+41) \times 189 \times 477}{1+3} = 1,08 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

3.19. Có hai bình A và B nối với nhau bởi 1 van. Bình A chứa 50 lít khí N₂ ở áp suất p₁ = 20 bar, t₁ = 200 °C, bình B chứa 200 lít khí CO₂ ở áp suất p₂ = 5 bar, t₂ = 600 °C.

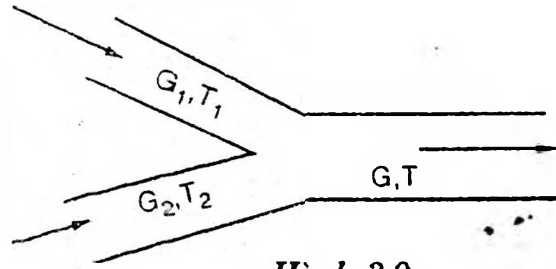
Xác định áp suất và nhiệt độ của hỗn hợp sau khi mở van.

Đáp số: t = 411 °C; p = 8,9 bar

3.20. Trong một bình có vách ngăn, ngăn bên trái chứa 1kg khí O₂ ở t₁ = 27 °C, ngăn bên phải chứa 1kg khí N₂ ở t₂ = 127 °C. Sau khi bỏ vách ngăn, hãy xác định nhiệt độ của hỗn hợp, áp suất của hỗn hợp, cho biết thể tích của bình V = 1m³.

Đáp số: t₁ = 180 °C; p = 1,96 bar

3.21. Có hai dòng không khí hòa trộn vào nhau (H.3.9). Dòng thứ nhất có G₁ = 120 kg/h, t₁ = 500 °C dòng khí thứ 2 có G₂ = 210kg/h và t₂ = 200 °C. Giả thiết rằng áp suất của các dòng không khí bằng nhau và bằng áp suất của dòng hỗn hợp.



Hình 3.9

Xác định nhiệt độ của dòng khí hỗn hợp.

Giải. Đây là trường hợp hỗn hợp theo dòng của các khí lý tưởng. Nhiệt độ của hỗn hợp được xác định:

$$T = \frac{\sum g_i c_{pi} T_i}{\sum g_i c_{pi}} = \frac{g_1 c_{p1} T_1 + g_2 c_{p2} T_2}{g_1 c_{p1} + g_2 c_{p2}}$$

Ở đây hai dòng đều là không khí và nhiệt độ cũng không khác nhau quá nhiều nên c_{p1} = c_{p2}. Vậy ta có:

$$T = \frac{g_1 c_{p1} T_1 + g_2 c_{p2} T_2}{g_1 c_{p1} + g_2 c_{p2}} = g_1 T_1 + g_2 T_2$$

$$t = g_1 t_1 + g_2 t_2 = \frac{120}{120+210} \cdot 500 + \frac{210}{120+210} \cdot 200 = 309 \text{ °C}$$

3.22. Dòng không khí lạnh ở 0 °C hỗn hợp với dòng không khí nóng ở 900 °C tạo nên dòng khí hỗn hợp ở 80 °C. Xác định khối lượng của dòng không khí lạnh và nóng để tạo ra 1kg dòng hỗn hợp.

Đáp số: G₁ = 0,911 kg ; G₂ = 0,089 kg

3.23. Ba dòng khí hỗn hợp với nhau, dòng I là khí O₂ có G₁ = 115 kg/h ở

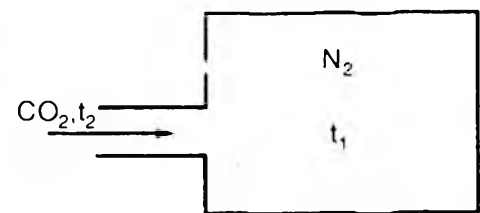
nhiệt độ $t_1 = 300^\circ\text{C}$, dòng II là khí CO có $G_2 = 200 \text{ kg/h}$ ở $t_2 = 200^\circ\text{C}$, dòng III là không khí có $t_3 = 400^\circ\text{C}$. Dòng hỗn hợp có $t = 275^\circ\text{C}$.

Xác định lưu lượng của dòng không khí G_3 và lưu lượng thể tích của dòng hỗn hợp nếu áp suất của hỗn hợp là 1 bar.

Đáp số: $G_3 = 100 \text{ kg/h}$; $V = 643 \text{ m}^3/\text{h}$

3.24. Trong một bình kín chứa 5 kg khí N_2 ở nhiệt độ $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Có 2 kg khí CO_2 ở nhiệt độ $t_i = 27^\circ\text{C}$ chảy vào bình đó. Xác định nhiệt độ và áp suất của hỗn hợp khí trong bình nếu biết thể tích của bình $V = 3 \text{ m}^3$.

Giải. Đây là trường hợp hỗn hợp khí nạp vào thể tích cố định của các khí lý tưởng (H.3.10):



Hình 3.10

Nhiệt độ của hỗn hợp T:

$$T = \frac{g_1 c_v T_1 + g_i c_{vi} T_i}{g_1 c_{v1} + g_i c_{vi}}$$

ở đây: $g_1 = g_{\text{N}_2} = \frac{G_{\text{N}_2}}{G_{\text{N}_2} + G_{\text{CO}_2}} = \frac{5}{5+2} = \frac{5}{7}$

$$g_i = g_{\text{CO}_2} = \frac{2}{7}$$

$$c_{v1} = c_{v\text{N}_2} = \frac{c_{\text{uv}}}{\mu} = \frac{20,9}{28}$$

$$c_{p1} = c_{p\text{CO}_2} = \frac{c_{\text{up}}}{\mu} = \frac{37,7}{44}; \quad c_{vi} = \frac{29,3}{44}$$

$$T = \frac{\frac{5}{7} \cdot \frac{20,9}{28} \cdot 300 + \frac{2}{7} \cdot \frac{37,7}{44} \cdot 300}{\frac{5}{7} \cdot \frac{20,9}{28} + \frac{2}{7} \cdot \frac{29,3}{44}} = 323^\circ\text{K} = 50^\circ\text{K}$$

Áp suất của hỗn hợp: $pV = GRT$

$$p = \frac{GRT}{V}; \quad \sum g_i R_i = \frac{5}{7} \cdot \frac{8314}{28} + \frac{2}{7} \cdot \frac{8314}{44}$$

$$p = \frac{7 \times 266 \times 33}{1} = 6,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 6,01 \text{ bar}$$

3.25. Một khối khí CO_2 ở điều kiện ban đầu $t_1 = 40^\circ\text{C}$, $p_1 = 1,2 \text{ bar}$ biến thiên theo quá trình đa biến đến trạng thái 2 có $t_2 = 60^\circ\text{C}$ và $p_2 = 0,9 \text{ bar}$. Cho biết nội năng cung cấp cho quá trình là 2,66 kJ.

Xác định nhiệt lượng cung cấp cho khối khí Q ?

Đáp số: Q = 9,495 kJ

3.26. Máy nén lý tưởng một cấp, lưu lượng hút không khí là 100 m³/h ở áp suất p₁ = 1at, nhiệt độ t₁ = 27 °C. Áp suất cuối p₂ = 8at.

Xác định công suất lý thuyết của máy nén và lượng nước làm mát xy lanh của máy nén nếu nhiệt độ của nước tăng lên 13 °C, quá trình nén là đa biến với n = 1,2.

Giải. Công suất tiêu hao của máy nén khí được tính:

$$\begin{aligned} L_{mn} &= -\frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = -\frac{1,2}{1,2-1} \times 1 \times 0,98 \cdot 10^5 \times 100 \left(8^{\frac{1,2-1}{1,2}} - 1 \right) \\ &= 2,44 \cdot 10^7 \text{ J/h} = -\frac{2,44 \cdot 10^7}{3600} = -6,78 \cdot 10^3 \text{ W} = 6,78 \text{ kW} \end{aligned}$$

Nhiệt thải ra xy lanh trong quá trình nén:

$$Q_n = G c_n (t_2 - t_1) = G c_v \frac{n-k}{n-1} (t_2 - t_1)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 8^{0,2/1,2} = 1,415$$

$$T_2 = T_1 \times 1,415 = (27 + 273) \times 1,415 = 424 \text{ °K}$$

$$t_2 = 151 \text{ °C}$$

$$G = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{1 \times 0,98 \cdot 10^5 \times 100}{287 \times 300} = 114 \text{ kg/h}$$

$$Q_n = 114 \times \frac{20,9}{29} \cdot 10^3 \times \frac{1,2-1,4}{1,2-1} (151 - 27) = -1,02 \cdot 10^7 \text{ J/h}$$

Nhiệt thải trong quá trình nén này được nước làm nguội xy lanh mang đi, nên:

$$|Q_n| = Q_{\text{nước}} = G_{\text{nước}} \times c_p \times \Delta t$$

$$G_{\text{nước}} = \frac{|Q_n|}{c_p \Delta t} = \frac{1,02 \times 10^7}{4,18 \cdot 10^3 \times 13} = 187 \text{ kg/h}$$

3.27. Máy nén 1 cấp hút lượng không khí 400 m³/h ở áp suất p₁ = 1 bar, t₁ = 20 °C, áp suất nén là p₂ = 7 bar với số mũ đa biến của quá trình nén n = 1,3. Xác định:

a) Công suất lý thuyết của máy nén, công suất tiêu thụ điện năng của máy nén, cho biết:

$$\eta_{mn} = \eta_i \cdot \eta_c \cdot \eta_{dc} = 0,7$$

b) Xác định số vòng quay của trục khuỷu nếu biết hệ số nạp $\lambda = 0,7$, đường kính xy lanh $d = 200 \text{ mm}$, hành trình piston $s = 100 \text{ mm}$, số xy lanh $Z = 2$.

c) Lượng nhiệt thải qua xy lanh máy nén

Giải. Công suất lý thuyết của máy nén:

$$\begin{aligned} L_{mn} &= -\frac{n}{n-1} p_1 V \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{n-1/n} - 1 \right] \\ &= -\frac{1,3}{1,3-1} \times 1 \cdot 10^5 \times 400 (7^{0,3/1,3} - 1) = -9,8 \cdot 10^7 \text{ J/h} \end{aligned}$$

Công suất tiêu thụ điện năng của máy nén:

$$L_d = \frac{L_{mn}}{\eta_{mn}} = \frac{-9,8 \cdot 10^7}{0,7 \times 3600} = -38,8 \cdot 10^3 \text{ W} = -38,8 \text{ kW}$$

Số vòng quay của trục máy nén:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{V}{\lambda} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot s \cdot n \cdot Z \\ n &= \frac{4V}{\lambda \cdot \pi \cdot d^2 \cdot s \cdot Z} = \frac{4 \times 400}{0,7 \times 3,14 \times 0,2^2 \times 0,1 \times 2 \times 3600} \\ &= 25 \text{ vò/s} = 1500 \text{ vò/ph} \end{aligned}$$

Lượng nhiệt thải qua xy lanh

$$Q = |Q_n| = |G \cdot c_n (t_2 - t_1)|$$

$$G = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{1 \cdot 10^5 \times 400}{287(20+273)} = 476 \text{ kg/h}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 293 \times 7^{0,3/1,3} = 458^\circ \text{K} = 185^\circ \text{C}$$

$$c_n = c_v \frac{n-k}{n-1} = 0,72 \cdot 10^3 \frac{1,3-1,4}{1,3-1} = -0,24 \cdot 10^3 \text{ J/kg}^\circ \text{K}$$

$$Q = 476 \times 0,24 \cdot 10^3 (185 - 20) = 1,89 \cdot 10^7 \text{ J/h} = 5,25 \text{ kW}$$

3.28. Máy nén lý tưởng một cấp hút lượng không khí $250 \text{ m}^3/\text{h}$ ở áp suất $p_1 = 1 \text{ at}$, áp suất sau khi nén đa biến với $n = 1,3$ là $p_2 = 8 \text{ at}$.

Xác định lượng nước làm mát xy lanh nếu nhiệt độ nước tăng 15°C .

Đáp số: 175 lít/h

3.29. Máy nén một cấp hút lượng không khí $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ở áp suấ

$p_1 = 1 \text{ bar}$, sau khi nén đa biến $n = 1,2$ áp suất là $p_2 = 6 \text{ bar}$

Xác định:

a) Công suất lý thuyết và công suất tiêu thụ điện của máy nén nếu cho biết hiệu suất toàn bộ của máy nén khí $\eta_{mn} = 0,75$.

b) Xác định đường kính xylanh nếu cho $n = 900 \text{ vg/ph}$, số xylanh $Z = 1$, hệ số nạp $\lambda = 0,7$, hành trình piston $s = 100 \text{ mm}$

Đáp số: a) $L_{mn} = 11,6 \text{ kW}$; $L_d = 15,5 \text{ kW}$

b) $d = 260 \text{ mm}$

3.30. Cần chọn máy nén bao nhiêu cấp nếu áp suất vào cấp 1 là $p_d = 1 \text{ bar}$, áp suất ra của cấp cuối là $p_c = 120 \text{ bar}$. Giả thiết là nén đa biến với $n = 1,3$. Nhiệt độ khí vào các cấp như nhau $t_o = 20^\circ \text{C}$, nhiệt độ lớn nhất khi ra của các cấp như nhau $t_{max} = 120^\circ \text{C}$.

Xác định tỷ số nén, áp suất và nhiệt độ khí ra của các cấp.

Giải

Ta biết rằng trong quá trình nén đa biến ở cấp I:

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

Vậy tỷ số nén lớn nhất của các cấp $x = x_1$

$$\frac{p_2}{p_1} = x = \left(\frac{T_{max}}{T_o} \right)^{\frac{n}{n-1}} = \left(\frac{393}{293} \right)^{\frac{1,3}{1,3-1}} = 3,568$$

Ta biết rằng tỷ số nén x được xác định: $x = \sqrt[m]{\frac{p_c}{p_d}}$

trong đó: m - số cấp nén, do đó:

$$x^m = \frac{p_c}{p_d} \text{ hay } m \ln x = \ln \frac{p_c}{p_d}$$

$$m = \frac{\ln \frac{p_c}{p_d}}{\ln x} = \frac{\ln 120}{\ln 3,568} = 3,76$$

ở đây, ta phải chọn số cấp nén $m > 3,76$ để nhiệt độ ra mỗi cấp nhỏ hơn t_{max} , vậy ta chọn $m = 4$ và lúc này tỉ số nén thực của mỗi cấp:

$$x = \sqrt[4]{\frac{p_c}{p_d}} = \sqrt[4]{120} = 3,31$$

Áp suất ra của cấp I:

$$p_2 = x p_1 = 3,31 \times 1 = 3,31 \text{ bar}$$

Áp suất ra của cấp II:

$$p_4 = x^2 \cdot p_1 = 3,31^2 \times 1 = 10,95 \text{ bar}$$

Áp suất ra của cấp III:

$$p_6 = x^3 \cdot p_1 = 3,31^3 \times 1 = 36,22 \text{ bar}$$

Áp suất ra của cấp IV:

$$p_8 = x^4 \cdot p_1 = 3,31^4 \times 1 = 120 \text{ bar}$$

Nhiệt độ ra của các cấp như nhau:

$$T_2 = T_4 = T_6 = T_8$$

$$T_2 = T_1 x^{n-1/n} = 293 \times 3,331^{0,3/1,3} = 386,5^\circ\text{K} = 113,5^\circ\text{C}$$

3.31. Máy nén ba cấp hút lượng không khí 250 kg/h ở áp suất $p_1 = 0,95 \text{ bar}$, $t_1 = 17^\circ\text{C}$. Áp suất cuối $p_6 = 80 \text{ bar}$. Xác định công suất lý thuyết và công suất tiêu thụ điện của máy nén nếu giả thiết là nén đoạn nhiệt và hiệu suất toàn bộ của máy nén $\eta_{mn} = 0,75$.

Giải. Tỷ số nén của các cấp:

$$x = \sqrt[3]{\frac{80}{0,95}} = 4,38$$

Vậy áp suất ra của cấp I:

$$p_2 = xp_1 = 4,38 \times 0,95 = 4,16 \text{ bar}$$

Áp suất ra của cấp II:

$$p_4 = x^2 p_1 = (4,38)^2 \times 0,95 = 18,23 \text{ bar}$$

Áp suất ra của cấp III:

$$p_6 = x^3 p_1 = (4,38)^3 \times 0,95 = 80 \text{ bar}$$

Công suất lý thuyết của máy nén ba cấp:

$$L_{mn} = 3L_I$$

$$L_I = -\frac{k}{k-1} GRT_1 \left[x^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = -38.300 \text{ kJ/h}$$

$$L_{mn} = 3L_I = 3 \times 38.300 = 11,49 \cdot 10^4 \text{ kJ/h} = -31,9 \text{ kW}$$

Công suất tiêu thụ điện của máy nén:

$$L_d = \frac{L_{mn}}{\eta_{mn}} = \frac{42,53}{0,75} = 42,53 \text{ kW}$$

3.32. Máy nén ba cấp hút lượng không khí 250 kg/h ở áp suất $p_1 = 0,95 \text{ bar}$, $t_1 = 17^\circ\text{C}$; áp suất cuối $p_6 = 80 \text{ bar}$. Giả thiết nén đa biến với $n = 1,2$. Xác định nhiệt độ ra của các cấp, nhiệt cần làm mát xylanh của mỗi cấp, nhiệt cần làm mát bình làm mát trung gian, công suất tiêu thụ điện của máy nén nếu $\eta_{mn} = 0,75$

Đáp số: $t_2 = 98^\circ\text{C}$; $Q_n = 14562 \text{ kJ/h}$; $Q_m = 20655 \text{ kJ/h}$; $L_d = 33,34 \text{ kW}$

CHU TRÌNH CHẤT KHÍ

4.1 CHU TRÌNH NHIỆT ĐỘNG

1- Công của chu trình, hiệu suất nhiệt, hệ số làm lạnh

- Công của chu trình: được tính bằng tổng công thay đổi thể tích hoặc công kỹ thuật của các quá trình trong chu trình.

$$l_o = \sum l_i = \sum l_{kt} \quad (4.1)$$

Công của chu trình còn được tính theo nhiệt. Với chu trình động cơ nhiệt (chu trình thuận chiều, sinh công) công của chu trình là hiệu số giữa nhiệt cấp q_1 cho chu trình và nhiệt thải q_2 cho nguồn làm mát.

$$l_o = q_1 - |q_2| \quad (4.2)$$

Với chu trình máy lạnh và bơm nhiệt (chu trình ngược chiều, tiêu hao công) công của chu trình mang dấu âm $l_o < 0$ thì:

$$|l_o| = |q_1| - q_2 \quad (4.3)$$

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

$$\eta_t = \frac{l_o}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} \quad (4.4)$$

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

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|l_o|} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} \quad (4.5)$$

- 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 của máy lạnh nhưng ở đây sử dụng nhiệt q_1 ở nhiệt độ cao các quá trình như sấy, sưởi...):

$$\varphi = \frac{|q_1|}{l_o} = \varepsilon + 1 \quad (4.6)$$

2- Hiệu suất exergi

Để phân tích một quá trình thực hoặc chu trình thực (không thuận nghịch) ta có hai phương pháp:

- Phương pháp thứ nhất

Bằng khái niệm hiệu suất nhiệt, hệ số làm lạnh... để xét chu trình thuận nghịch, sau đó xét thêm sự không thuận nghịch của các quá trình bằng việc đưa thêm vào khái niệm hiệu suất trong tương đối (của quá trình giãn nở trong tua bin, quá trình nén trong máy nén...).

- Phương pháp thứ hai

Đó là phương pháp hoàn hảo nhất để xét tới sự không thuận nghịch của chu trình: phương pháp exergi. Khi tiến hành cân bằng exergi theo chiều thuận ta có phương pháp exergi, khi tiến hành cân bằng ngược ta có phương pháp exergi theo chiều ngược (hay còn gọi là phương pháp entropi). Trong phương pháp cân bằng thuận ta định nghĩa hiệu suất exergi như sau:

$$\eta_e = \frac{e_r}{e_v} \quad (4.7)$$

ở đây: e_r - tổng exergi lấy ra (hữu ích có thể dùng trong kỹ thuật) ví dụ là công l_0 trong động cơ nhiệt, là exergi của vật cần làm lạnh trong máy lạnh...

e_v - tổng exergi đem vào ví dụ là exergi của nhiệt q_1 trong động cơ nhiệt, là công l_0 trong máy lạnh....

3- Hiệu suất nhiệt của chu trình Carnot

Chu trình Carnot gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt xen kẽ nhau ở nhiệt độ hai nguồn nhiệt không đổi $T_1 = \text{const}$ (nguồn nóng), $T_2 = \text{const}$ (nguồn lạnh). Chu trình Carnot là một trong những chu trình thuận nghịch.

Hiệu suất nhiệt của chu trình Carnot thuận chiều:

$$\eta_{tc} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (4.8)$$

Hệ số làm lạnh của chu trình Carnot ngược chiều:

$$\epsilon_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (4.9)$$

4.2 CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

1- Chu trình cháy cấp nhiệt đẳng tích (air-standard otto cycle)

Nhiên liệu sử dụng ở đây là xăng hoặc khí đốt, quá trình cháy xảy ra rất nhanh nên coi là cháy đẳng tích ($v = \text{const}$). Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \quad (41.C)$$

ở đây: ϵ - tỷ số nén; k - số mũ đoạn nhiệt.

2- Chu trình cháy đẳng áp (air-standard diesel cycle)

Nhiên liệu là dầu mazut..., quá trình xảy ra chậm nên coi là cháy đẳng áp $p = \text{const}$, đây là động cơ diesel ngày xưa. Hiệu suất của chu trình:

$$\eta_t = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k\epsilon^{k-1}(\rho - 1)} \quad (4.11)$$

ở đây: λ - tỷ số giãn nở sớm

3- Chu trình cháy hỗn hợp (air-standard dual cycle)

Nhiên liệu là dầu mazut... được phun vào xy lanh nhờ có bơm cao áp và vòi phun dưới dạng những hạt rất nhỏ như sương mù nên quá trình cháy xảy ra nhanh hơn và coi là cháy hỗn hợp (phần đầu cháy đẳng tích, phần sau cháy đẳng áp). Đây là động cơ diesel ngày nay. Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda\rho^k - 1}{[(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)]\epsilon^{k-1}}$$

ở đây: λ - tỷ số đẳng áp trong quá trình cấp nhiệt.

4.3 CHU TRÌNH TUA BIN KHÍ

4.3.1. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp (air-standard Brayton cycle)

Được ứng dụng nhiều trong thực tế vì có cấu tạo buồng đốt đơn giản, ít có van nên tổn thất qua các van cũng nhỏ.

1- Chu trình loại không có hồi nhiệt

Ở đây sản phẩm cháy sau khi giãn nở sinh công trong tua bin thải luôn vào khí quyển. Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \quad (4.13)$$

ở đây: $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ - tỷ số tăng áp trong quá trình nén khí trong máy nén, T_1 và T_2 - nhiệt độ không khí vào và ra khỏi máy nén; k - số mũ đoạn nhiệt

2- Chu trình có hồi nhiệt

Gọi là độ hồi nhiệt (H.4.1):

$$\sigma = \frac{T_a - T_2}{T_4 - T_2}$$

Trường hợp hồi nhiệt lý tưởng $\sigma = 1$, ($T_a = T_4$, nhiệt độ không khí ra khỏi thiết bị hồi nhiệt bằng nhiệt độ sản phẩm cháy đi vào thiết bị hồi nhiệt), hồi nhiệt thực $\sigma < 1$.

Hiệu suất nhiệt của chu trình có hồi nhiệt:

$$\eta'_t = \frac{(\rho - 1)(\beta^{(k-1)/k} - 1)}{\beta^{(k-1)/k}(\rho - 1) - \sigma(\rho - \beta^{(k-1)/k})}$$

(4.14)

ở đây: $\rho = v_3/v_2$ - tỷ số giãn nở sớm (giãn nở khi cấp nhiệt)

Ta nhận thấy khi không có hồi nhiệt $\sigma = 0$, biểu thức (4.14) trở về biểu thức (4.13), khi hồi nhiệt lý tưởng $\sigma = 1$ biểu thức (4.14) trở nên:

$$\eta'_t = 1 - \frac{1}{\rho} = 1 - \frac{T_2}{T_3} = 1 - \frac{T_1}{T_4}$$

(4.15)

So sánh (4.15) và (4.13) ta thấy khi có hồi nhiệt hiệu suất nhiệt sẽ tăng lên.

4.3.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích

1- Chu trình không có hồi nhiệt

Hiệu suất nhiệt η_t :

$$\eta_t = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{(\lambda - 1)\beta^{(k-1)/k}} \quad (4.16)$$

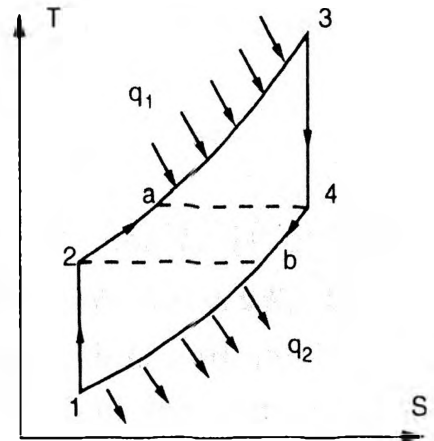
ở đây: $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$ - tỷ số tăng áp trong quá trình cháy

$v = \text{const}$ trong buồng đốt

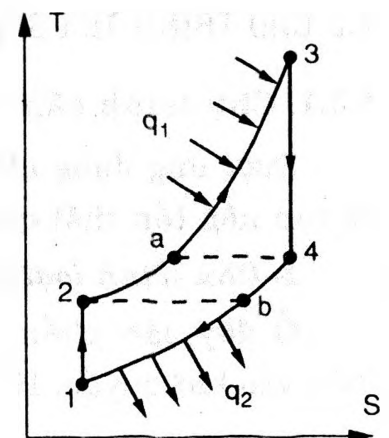
2- Chu trình có hồi nhiệt

Gọi γ là độ hồi nhiệt (H.4.2):

$$\gamma = \frac{T_a}{T_2}$$



Hình 4.1



Hình 4.2

Nếu hồi nhiệt lý tưởng (hoàn toàn) $\gamma = \gamma_{\max}$ khi $T_a = T_4$ (thực tế $T_a < T_4$). Hiệu suất nhiệt của chu trình có hồi nhiệt với độ hồi nhiệt γ :

$$\eta'_t = 1 - k \frac{(\gamma \lambda^{1/k} - 1) - \beta^{(k-1)/k} (\gamma - 1)}{\gamma \beta^{(k-1)/k} (\gamma - 1)} \quad (4.17)$$

và với độ hồi nhiệt γ_{\max} :

$$\eta'_{t\max} = 1 - k \frac{\beta^{(k-1)/k} - 1}{\gamma_{\max} \beta^{(k-1)/k} (\beta^{(k-1)/k} - 1)} \quad (4.18)$$

Khi không có hồi nhiệt ($T_a = T_2$; $\gamma = 1$) biểu thức (4.17) trở về biểu thức (4.16).

4.4 CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC

1- Chu trình cấp nhiệt đẳng áp không có máy nén

Quá trình cháy nhiên liệu xảy ra trong buồng đốt ở $p = \text{const}$. Hiệu suất nhiệt của chu trình tính giống như chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{(k-1)/k}} \quad (4.19)$$

ở đây: β - tỷ số tăng áp trong quá trình nén khí trong ống tăng áp.

2- Chu trình cấp nhiệt đẳng tích không có máy nén

Quá trình cháy nhiên liệu xảy ra trong buồng đốt khi các van đều đóng nên là quá trình $v = \text{const}$. Hiệu suất nhiệt của chu trình tính giống chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng tích.

$$\eta_t = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{(\lambda - 1)\beta^{(k-1)/k}} \quad (4.20)$$

ở đây: β - tỷ số tăng áp trong quá trình nén khí đoạn nhiệt trong ống tăng áp

λ - tỷ số tăng áp trong quá trình cháy đẳng tích trong buồng đốt.

3- Chu trình có máy nén

Loại này được sử dụng rộng rãi trong thực tế. Việc tăng áp suất ở đây một phần do ống tăng áp và chủ yếu là do máy nén được cung cấp động lực bởi tua bin khí ở phần sau. Quá trình cháy đẳng áp $p = \text{const}$ trong buồng đốt, hiệu suất nhiệt tính giống chu trình động cơ phản lực cấp nhiệt đẳng áp không có máy nén:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{(k-1)/k}} \quad (4.21)$$

4- Chu trình động cơ tên lửa

Trong các chu trình trên, oxy cung cấp cho quá trình cháy được lấy từ

khí quyển, ở đây oxy được cung cấp dưới dạng lỏng được chứa ngay trong tên lửa. Hiệu suất nhiệt của chu trình được tính:

$$\eta_t = \frac{\omega_4^2}{2q_1} = \frac{\omega_4^2}{2c_p(T_3 - T_2)} \quad (422)$$

BÀI TẬP

4.1. Chu trình Carnot thuận chiều với môi chất là không khí được tiến hành ở nhiệt độ nguồn nóng $t = 627^\circ\text{C}$, nhiệt độ nguồn lạnh $t_1 = 27^\circ\text{C}$, áp suất lớn nhất $p_{\max} = 60 \text{ bar}$, áp suất nhỏ nhất $p_{\min} = 1 \text{ bar}$.

Hãy xác định:

- Thông số cơ bản tại các điểm đặc trưng của chu trình.
- Nhiệt cấp vào và nhả ra của chu trình.
- Công và hiệu suất nhiệt của chu trình.

Đáp số: a) $p_1 = 60 \text{ bar}$; $t_1 = 627^\circ\text{C}$; $v_1 = 0,043 \text{ m}^3/\text{kg}$

$p_2 = 46,76 \text{ bar}$; $t_2 = 627^\circ\text{C}$; $v_2 = 0,0553 \text{ m}^3/\text{kg}$

$p_3 = 1 \text{ bar}$; $t_3 = 27^\circ\text{C}$; $v_3 = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg}$

$p_4 = 1,284 \text{ bar}$; $t_4 = 27^\circ\text{C}$; $v_4 = 0,67 \text{ m}^3/\text{kg}$

b) $q_1 = 64,2 \text{ kJ/kg}$; $|q_2| = 21,4 \text{ kJ/kg}$;

c) $l_o = 42,8 \text{ kJ/kg}$; $\eta_c = 66,6\%$

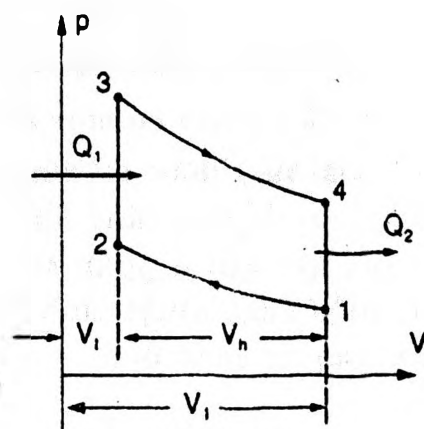
4.2. Chu trình động cơ đốt trong cháy đẳng tích, môi chất được xem như không khí. Thể tích hành trình của piston $V_h = 0,006 \text{ m}^3$, nhiệt độ vào $t_1 = 20^\circ\text{C}$, áp suất vào $p_1 = 1 \text{ bar}$. Thể tích thừa $V_t = V_2 = 0,001 \text{ m}^3$. Áp suất lớn nhất của chu trình $p_3 = 25 \text{ bar}$. Hãy xác định:

- Thông số cơ bản tại các điểm đặc trưng của chu trình.
- Nhiệt cấp vào và thải ra của chu trình.
- Công và hiệu suất nhiệt của chu trình.

Giải. a) Điểm 1:

$$p_1 = 1 \text{ bar}; \quad t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$V_1 = V_t + V_h = 0,007 \text{ m}^3$$



Hình 4.3

Điểm 2:

$$V_2 = 0,001 \text{ m}^3; p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = 1 \times 7^{1.4} = 15,24 \text{ bar}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{k-1/k} = (20 + 273)(15,24)^{(1.4-1)/1.4} = 639^\circ \text{K} = 366^\circ \text{C}$$

Điểm 3:

$$V_3 = V_2 = 0,001 \text{ m}^3; p_3 = 25 \text{ bar}$$

vì 2-3 là quá trình đẳng tích nên:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2}; T_3 = T_2 \frac{p_3}{p_2} = 639 \frac{25}{15,24}$$

$$T_3 = 1048^\circ \text{K} = 775^\circ \text{C}$$

Điểm 4: $V_4 = V_1 = 0,007 \text{ m}^3$

Từ hai quá trình đoạn nhiệt 1 - 2 và 3 - 4 ta có:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = \frac{T_4}{T_3}$$

$$T_4 = T_3 \frac{T_1}{T_2} = 1048 \frac{293}{639} = 481^\circ \text{K} = 208^\circ \text{C}$$

$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{k/k-1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{k/k-1} = \frac{p_1}{p_2}$$

$$p_4 = p_3 \frac{p_1}{p_2} = 25 \frac{1}{15,24} = 1,64 \text{ bar}$$

b) Nhiệt cấp vào cho chu trình trong quá trình đẳng tích 2 - 3:

$$Q_1 = G c_v (t_3 - t_2)$$

$$G = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{1 \times 10^5 \times 0,007}{287 \times 293} = 0,00832 \text{ kg}$$

$$Q_1 = 0,00832 \times \frac{20,9}{29} \times 10^3 (775 - 366) = 2,45 \cdot 10^3 \text{ J} = 2,45 \text{ kJ}$$

Nhiệt thải ra của chu trình trong quá trình 4 - 1:

$$Q_2 = G c_v (t_1 - t_4)$$

$$Q_2 = 0,00832 \times \frac{20,9}{29} \times 10^3 (20 - 208) = -1,13 \cdot 10^3 \text{ J} = -1,13 \text{ kJ}$$

c) Công của chu trình:

$$L_o = Q_1 - |Q_2| = 2,45 - 1,13 = 1,32 \text{ kJ}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{1,13}{2,45} = 0,54 = 54\%$$

Hoặc hiệu suất nhiệt có thể tính theo công thức:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}; \varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{0,007}{0,001} = 7$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{7^{(1,4-1)}} = 0,54 = 54\%$$

4.3. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích có $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, tỷ số nén $\varepsilon = 3,6$, tỷ số tăng áp $\lambda = 3,33$.

Xác định:

- Thông số cơ bản tại các điểm đặc trưng của chu trình.
- Nhiệt cấp vào và thải ra của chu trình.
- Công và hiệu suất nhiệt của chu trình.

Trong tính toán xem chất môi giới như là không khí

Đáp số:

a)

Điểm	p bar	v, m ³ /kg	t °C
1	1	0,84	20
2	6,01	0,233	216
3	20	0,233	1357
4	3,33	0,84	704

b) $q_1 = 822 \text{ kJ/kg}$; $q_2 = 493 \text{ kJ/kg}$; c) $l_o = 329 \text{ kJ/kg}$; $\eta_t = 40\%$

4.4. Chu trình động cơ đốt trong cháy đẳng tích có $t_1 = 27^\circ\text{C}$, $p_1 = 1 \text{ bar}$, tỷ số nén $\varepsilon = 5$. Xác định hiệu suất nhiệt, công, nhiệt lượng cấp và thải của chu trình. Nếu xem chất môi giới như là không khí.

Đáp số: $\eta_t = 47\%$; $l_o = 91,4 \text{ kJ/kg}$; $q_1 = 194,4 \text{ kJ/kg}$; $|q_2| = 103 \text{ kJ/kg}$

4.5. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng áp có $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 27^\circ\text{C}$, $p_4 = 3,5$, $p_3 = 55 \text{ bar}$.

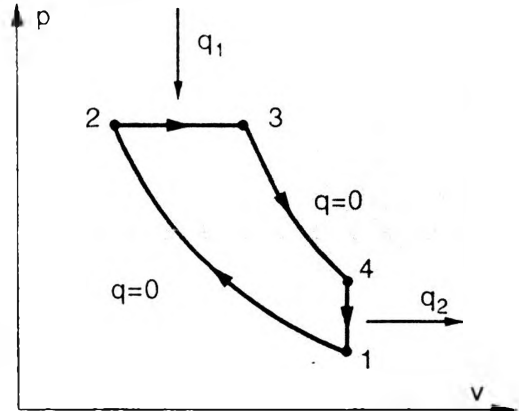
Xác định: Nhiệt cấp, nhiệt thải, công và hiệu suất của chu trình. Tính toán xem chất môi giới như không khí.

Giải. Chu trình được biểu diễn như trên H.4.4.

Vì 1- 2 là quá trình nén đoạn nhiệt nên:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{k-1/k} = \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{k-1/k}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{k-1/k} = 300 \left(\frac{55}{1}\right)^{1.4-1/1.4} = 944^\circ\text{K}$$



Hình 4.4

Điểm 1:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \times 300}{1.10^5} = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Điểm 4: $T_4 = \frac{p_4 v_4}{R} = \frac{p_4 v_1}{R} = \frac{(3.5 \cdot 10^5) \times 0.861}{287} = 1050^\circ\text{K}$

trong quá trình giãn nở đoạn nhiệt 3 - 4 ta có:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{k-1/k}$$

$$T_3 = T_4 \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{k-1/k} = 1050 \left(\frac{55}{3.5}\right)^{1.4-1/1.4} = 2309^\circ\text{K}$$

Nhiệt cấp cho chu trình trong quá trình đẳng áp 2 - 3:

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2) = \frac{29,3}{29} (2309 - 944) = 1379 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt thải từ chu trình trong quá trình đẳng tích 4-1

$$q_2 = c_v (T_1 - T_4) = (300 - 1050) = - 540 \text{ kJ/kg}$$

Công của chu trình:

$$l_o = q_1 - |q_2| = 1379 - 540 = 839 \text{ kJ/kg}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = \frac{l_o}{q_1} = 0,61 = 61\%$$

4.6. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng áp có tỷ số nén $\varepsilon = 15$, tỷ số giãn nở sớm $\rho = 2$, nhiệt độ ban đầu $t_1 = 27^\circ\text{C}$, $p_1 = 1 \text{ bar}$.

Xác định hiệu suất nhiệt, công của chu trình. Tính toán xem môi chất như không khí.

Đáp số: $\eta_t = 60\%$; $l_o = 537 \text{ kJ/kg}$

4.7. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp (H.4.5) có các thông số: $p_1 = 1 \text{ bar}$; $t_1 = 30^\circ\text{C}$; $\varepsilon = 7$; $\lambda = 2$; $\rho = 1,2$

Xác định:

a) Thông số cơ bản tại các điểm đặc trưng.

b) Lượng nhiệt cấp và thải của chu trình.

c) Công và hiệu suất nhiệt của chu trình.

Tính toán xem môi chất như không khí.

Đáp số:

a)

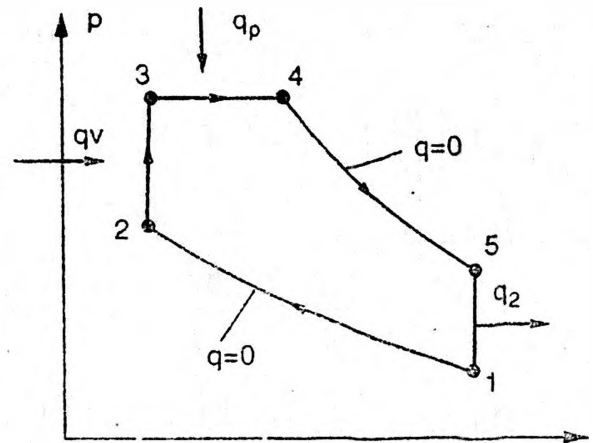
Điểm	p , bar	t °C	v , m^3/kg
1	1	30	0,870
2	15,2	387	0,124
3	30,5	1047	0,124
4	30,5	1311	0,149
5	2,6	511	0,870

b) $q_1 = 744,2 \text{ kJ/kg}$; $|q_2| = 378,2 \text{ kJ/kg}$; c) $l_o = 396 \text{ kJ/kg}$; $\eta_t = 53,2\%$

4.8. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp (H.4.5) có $p_1 = 0,9 \text{ bar}$, $t_1 = 67^\circ\text{C}$; $\varepsilon = 10$; $p_3 = 45 \text{ bar}$. Nhiệt cấp cho chu trình $q_1 = 1090 \text{ kJ/kg}$, chất môi giới xem như không khí.

Xác định nhiệt cấp q_v và q_p cho chu trình và nhiệt độ t_4 .

Giải. Vì 1 - 2 là quá trình nén đoạn nhiệt:



Hình 4.5

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = T_1 \varepsilon^{k-1} = (67 + 273) \times 10^{1.4-1} = 854 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$p_2 = p_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k = p_1 \varepsilon^k = 0,9 \times 10^{1.4} = 22,6 \text{ bar}$$

Vì 2 - 3 là quá trình đẳng tích nên:

$$T_3 = T_2 \frac{p_3}{p_2} = 854 \frac{45}{22,6} = 1700 \text{ }^\circ\text{K}$$

Nhiệt cấp trong quá trình cháy đẳng tích 2 - 3:

$$q_v = c_v (T_3 - T_2) = \frac{20,9}{29} (1700 - 854) = 609 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt cung cấp trong quá trình cháy đẳng áp 3 - 4:

$$q_p = q_1 - q_v = 1090 - 609 = 481 \text{ kJ/kg}$$

$$q_p = c_p (T_4 - T_3)$$

$$T_4 = \frac{q_p}{c_p} + T_3 = \frac{481}{1,01} + 1700 = 2176 \text{ }^\circ\text{K} = 1903 \text{ }^\circ\text{C}$$

4.9. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp có tỷ số nén $\varepsilon = 7$, tỷ số tăng áp $\lambda = 2$, tỷ số giãn nở sớm $\rho = 1,2$, môi chất xem như không khí, nhiệt cấp cho chu trình 1090 kJ/kg.

Xác định hiệu suất nhiệt, công và nhiệt thải của chu trình.

Đáp số: $\eta_t = 53,5\%$; $l_o = 583 \text{ kJ/kg}$; $|q_2| = 507 \text{ kJ/kg}$

4.10. Chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp không hồi nhiệt (H.4-6) có các thông số như sau: $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 27^\circ\text{C}$, $t_3 = 700^\circ\text{C}$, tỷ số tăng áp $\beta = 10$, chất môi giới xem như không khí.

Xác định:

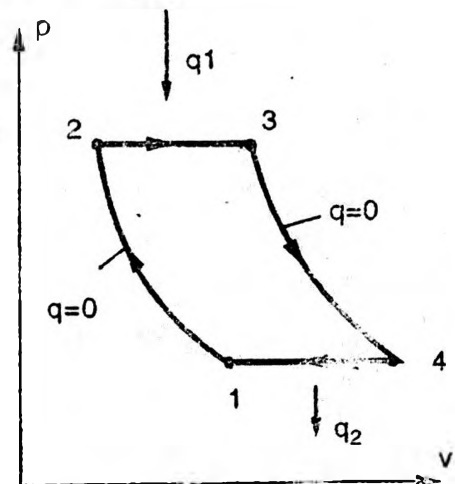
- Thông số cơ bản tại các điểm đặc trưng.
- Công, nhiệt cấp và thải, hiệu suất nhiệt của chu trình.

Giải

Điểm 1:

$$p_1 = 1 \text{ bar}; t_1 = 27^\circ\text{C}$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \times (27 + 273)}{1 \cdot 10^5} = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg}$$



Hình 4.6

Điểm 2: $\beta = \frac{p_2}{p_1} = 10; p_2 = 10p_1 = 10 \text{ bar}$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{k-1/k} = \beta^{k-1/k} = 10^{0.4/1.4} = 1,93$$

$$T_2 = 1,93T_1 = 579^\circ\text{K} = 306^\circ\text{C}$$

$$v_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{287 \times 579}{10 \cdot 10^5} = 0,166 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Điểm 3: $p_3 = p_2 = 10 \text{ bar}; t_3 = 700^\circ\text{C}$

$$v_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{287(700+273)}{10 \cdot 10^5} = 0,279 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Điểm 4: $p_4 = p_1 = 1 \text{ bar}; \frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1}$

$$T_4 = T_3 \frac{T_1}{T_2} = 973 \frac{300}{579} = 504^\circ\text{K} = 229^\circ\text{C}$$

$$v_4 = \frac{RT_4}{p_4} = \frac{287 \times 504}{1 \cdot 10^5} = 1,45 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Lượng nhiệt cấp vào và thải ra:

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) = 1,01(973 - 579) = 398 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = c_p(T_1 - T_4) = 1,01(300 - 504) = -202 \text{ kJ/kg}$$

Công của chu trình:

$$l_o = q_1 - |q_2| = 398 - 205 = 192 \text{ kJ/kg}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = \frac{l_o}{q_1} = \frac{192}{398} = 0,48 = 48\%$$

hoặc: $\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{k-1/k}} = 1 - \frac{1}{10^{0.4/1.4}} = 0,482$

$$l_o = \eta_t q_1 = 0,482 \times 398 = 192 \text{ kJ/kg}$$

4.11. Chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp (H.4.6), với môi chất được coi như không khí có $p_1 = 1 \text{ bar}, t_1 = 17^\circ\text{C}, t_3 = 600^\circ\text{C}, \beta = 8$. Xác định thông số cơ bản tại các điểm đặc trưng, nhiệt cấp và thải, công và hiệu suất nhiệt của chu trình.

Đáp số: $v_1 = 0,831 \text{ m}^3/\text{kg}; v_2 = 0,189 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$v_3 = 0,313 \text{ m}^3/\text{kg}; v_4 = 1,38 \text{ m}^3/\text{kg}; t_2 = 254^\circ\text{C}; t_4 = 224^\circ\text{C}$$

$$p_2 = p_3 = 8\text{bar}; q_1 = 350 \text{ kJ/kg};$$

$$|q_2| = 192,2 \text{ kJ/kg}; l_0 = 157,8 \text{ kJ/kg}; \eta_t = 0,45$$

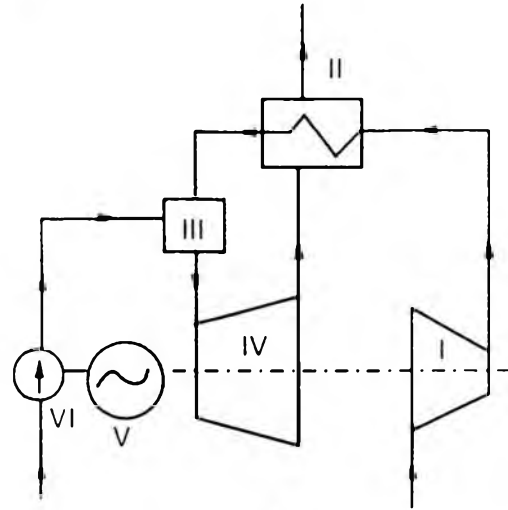
4.12. Chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp có hồi nhiệt được biểu thị trên H.4.7 và H.4.1.

Ở đây: I- máy nén, II- thiết bị hồi nhiệt, III- buồng đốt, IV- tua bin khí, V- máy phát điện, VI - bơm nhiên liệu.

Nếu biết $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $t_4 = 400^\circ\text{C}$. $\beta = 6$, giả thiết hồi nhiệt lý tưởng (hoàn toàn) $\sigma = 1$. Xác định hiệu suất nhiệt.

Cũng chu trình trên nhưng không có hồi nhiệt, với tỷ số tăng áp $\beta = 6$,

tính hiệu suất nhiệt trong trường hợp này.



Hình 4.7

Đáp số: $\eta'_t = 55\%$; $\eta_t = 40\%$

4.13. Chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp có hồi nhiệt (H.47 và H.41) có $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $t_4 = 400^\circ\text{C}$, $t_b = 266^\circ\text{C}$, $\beta = 6$, $\rho = 2$. Xác định độ hồi nhiệt σ , hiệu suất nhiệt của chu trình hồi nhiệt, hiệu suất nhiệt của chu trình không hồi nhiệt. Tính toán xem chất môi giới như không khí.

Giải. Vì 1 - 2 là quá trình đoạn nhiệt:

$$T_2 = T_1 \beta^{k-1/k} = 303 \times 6^{0.4/1.4} = 506^\circ\text{K} = 233^\circ\text{C}$$

Cân bằng nhiệt đối với thiết bị hồi nhiệt ta có:

$$q_h = c_p (t_a - t_2) = c_p (t_4 - t_b)$$

$$t_a = t_2 + (t_4 - t_b) = 233 + (400 - 266) = 367^\circ\text{C}$$

$$\text{Độ hồi nhiệt: } \sigma = \frac{t_a - t_2}{t_4 - t_2} = \frac{367 - 233}{400 - 233} = 0,8$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình hồi nhiệt:

$$\begin{aligned} \eta'_t &= \frac{(\rho - 1)(\beta^{(k-1)/k} - 1)}{\beta^{(k-1)/k}(\rho - 1) - \sigma(\rho - \beta^{(k-1)/k})} \\ &= \frac{(2-1)6^{0.4/1.4} - 1}{6^{0.4/1.4}(2-1) - 0,8(2-6^{0.4/1.4})} = 0,48 = 48\% \end{aligned}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình không hồi nhiệt:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{k-1/k}} = 1 - \frac{1}{6^{0.4/1.4}} = 0,4 = 40\%$$

4.14. Chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng tích không có hồi nhiệt (H.4.8) có

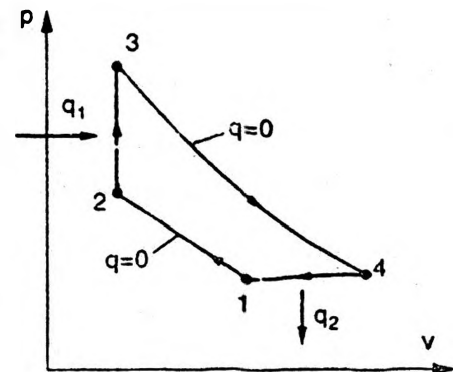
$t_1 = 27^\circ\text{C}$, tỷ số tăng áp $\beta = \frac{p_2}{p_1} = 10$, tỷ số

tăng áp trong quá trình cấp nhiệt

$\lambda = \beta = \frac{p_3}{p_2} = 2$. Môi chất được xem như

không khí.

Xác định hiệu suất nhiệt, công, nhiệt cấp và thải của chu trình.



Hình 4.8

Giải. Hiệu suất nhiệt của chu trình cấp nhiệt đẳng tích không hồi nhiệt

$$\eta_t = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{(\lambda - 1)\beta^{k-1/k}} = 1 - \frac{1,4(2^{1/1.4} - 1)}{(2 - 1)10^{0.4/1.4}} = 0,54 = 54\%$$

Trong quá trình nén đoạn nhiệt 1 - 2:

$$T_2 = T_1 \beta^{k-1/k} = 300 \times 10^{0.4/1.4} = 580^\circ\text{K}$$

Trong quá trình cấp nhiệt đẳng tích 2 - 3:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda = 2; T_3 = 2T_2$$

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2) = c_p (2T_2 - T_2) = c_p T_2 = 1,01 \times 580 = 585,8 \text{ kJ/kg}$$

$$l_o = q_1 \eta_t = 585,8 \times 0,54 = 316,3 \text{ kJ/kg}$$

$$|q_2| = q_1 l_o = 585,8 \times 316,3 = 269,5 \text{ kJ/kg}$$

4.15. Chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng tích có hồi nhiệt hoàn toàn

$\gamma = \gamma_{\max} = \frac{T_4}{T_2}$; $t_1 = 30^\circ\text{C}$; $t_4 = 400^\circ\text{C}$, $\beta = p_2/p_1 = 4$, chất môi giới

được xem như không khí. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình.

Đáp số: $\eta'_{t\max} = 58,6\%$

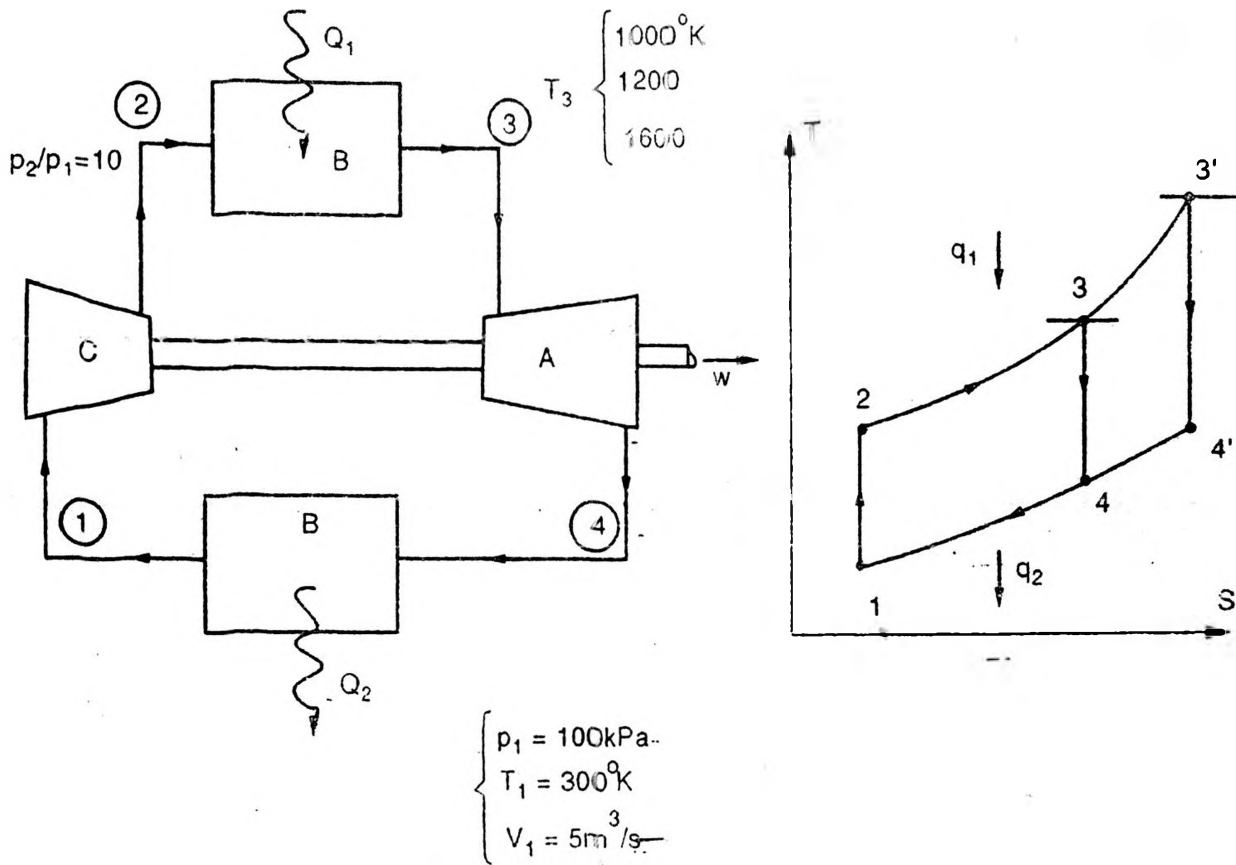
4.16. Chu trình Brayton lý thuyết được thể hiện trên hình vẽ cùng với các thông số cần thiết (bỏ qua sự thay đổi động năng)

trong đó: A - tua bin khí; B - thiết bị trao đổi nhiệt; C - máy nén khí

Xác định:

1) Hiệu suất nhiệt của chu trình

2) Tỷ lệ công tiêu hao của máy nén và công sinh ra của tua bin (tỷ lệ tự dùng).



3) Mức độ tăng công suất của thiết bị khi nhiệt độ khí vào tua bin thay đổi như đã cho.

Khi tính toán xem môi chất như không khí, nhiệt dung riêng xem là hằng số.

Giải

Trạng thái 1: $p_1 = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$; $T_1 = 300^\circ \text{K}$

$$p_1 v_1 = RT_1 \rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \times 300}{1.10^5} = 0,86 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Trạng thái 2: $\frac{p_2}{p_1} = 10 \rightarrow p_2 = 10p_1 = 10 \text{ bar}$

1 - 2 là quá trình nén đoạn nhiệt do đó:

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

$$T_2 = 300 \times (10)^{0,4/1,4} = 300 \times 10^{0,286} = 579,6^\circ \text{K}$$

Trạng thái 3: 2 - 3 là quá trình cấp nhiệt đẳng áp:

$$p_3 = p_2 = 10 \text{ bar}$$

$$p_2 v_2 = RT_2 \rightarrow v_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{287 \times 579,6}{10 \cdot 10^5} = 0,166 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$p = \frac{RT}{v} \rightarrow \frac{RT_3}{v_3} = \frac{RT_2}{v_2}$$

$$T_3 = 1000^\circ\text{K} \rightarrow v_3 = \frac{T_3}{T_2} v_2 = 0,286 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_3' = 1200^\circ\text{K} \rightarrow v_3' = 0,3436 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_3'' = 1600^\circ\text{K} \rightarrow v_3'' = 0,458 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Trạng thái 4:

4 - 1 là quá trình thải nhiệt đẳng áp nên: $p_4 = p_1 = 1 \text{ bar}$

Trạng thái 4 quan hệ với trạng thái 3 theo quá trình đoạn nhiệt 3 - 4 và quan hệ với trạng thái 1 theo quá trình đẳng áp 4 - 1. do đó:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{k-1/k} \rightarrow T_4 = T_3 / \left(\frac{p_3}{p_2} \right)^{k-1/k}$$

$$T_3 = 1000^\circ\text{K} \rightarrow T_4 = 1000/1,93 = 518^\circ\text{K}$$

$$T_3' = 1200^\circ\text{K} \rightarrow T_4' = 621^\circ\text{K}$$

$$T_3'' = 1600^\circ\text{K} \rightarrow T_4'' = 829^\circ\text{K}$$

Công tiêu hao của máy nén

$$\begin{aligned} l_c &= \frac{k}{k-1} R(T_1 - T_2) = \frac{1,4}{0,4} \times 287 \times (300 - 579,6) \\ &= 280 \cdot 858 \text{ J/kg} = -280,858 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Công sinh ra của tua bin:

$$l_T = \frac{k}{k-1} R(T_3 - T_4) = \frac{1,4}{0,4} \times 287 \times (1000 - 518) = 484,169 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{với: } T = 1200^\circ\text{K} \quad l'_T = 581,605 \text{ kJ/kg}$$

$$T = 1600^\circ\text{K} \quad l''_T = 774,469 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt cấp vào q_1 :

$$1000^\circ\text{K} \rightarrow q_1 = c_p(T_3 - T_2) = 1 \times (1000 - 579,6) = 420,4 \text{ kJ/kg}$$

$$1200^\circ\text{K} \rightarrow q'_1 = 620,4 \text{ kJ/kg}$$

$$1600^\circ\text{K} \rightarrow q''_1 = 1020,4 \text{ kJ/kg}$$

Công của chu trình: $l = l_T - |l_c|$

$$\text{với: } T_3 = 1000^\circ\text{K} \rightarrow l = 484,16 - 280,8 = 203,36 \text{ kJ/kg}$$

$$T_3'' = 1200^\circ\text{K} \rightarrow l' = 300,8 \text{ kJ/kg}$$

$$T_3 = 1600^\circ\text{K} \rightarrow l'' = 493,8 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt thải q_2 :

$$T_3 = 1000^\circ\text{K} \rightarrow |q_2| = c_p (T_4 - T_1) = 218 \text{ kJ/kg}$$

$$1200^\circ\text{K} \rightarrow |q'_2| = 321 \text{ kJ/kg}$$

$$1600^\circ\text{K} \rightarrow |q''_2| = 529 \text{ kJ/kg}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình: $\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1}$

$$1000^\circ\text{K} \quad \eta_t = 0,483 \text{ (48,3\%)}$$

$$1200^\circ\text{K} \quad = 0,482 \text{ (48,2\%)}$$

$$1600^\circ\text{K} \quad = 0,480 \text{ (48\%)}$$

Công sinh ra của chu trình tính theo: $l = q_1 - |q_2|$

$$1000^\circ\text{K} \quad l = 204,2 \text{ kJ/kg}$$

$$1200^\circ\text{K} \quad l' = 300,8 \text{ kJ/kg}$$

$$1600^\circ\text{K} \quad l'' = 493,7 \text{ kJ/kg}$$

vì: $V = 5 \text{ m}^3/\text{s}; pV = GRT \rightarrow G = \frac{pV}{RT} = \frac{p_1 V_1}{RT_1}$

$$G = \frac{(1 \cdot 10^5) \times 5}{287 \times 300} = 5,8 \text{ kg/s}$$

Công suất hệ thống: $N = G \times l$

Mức độ tăng công suất của thiết bị khi tăng nhiệt độ nguồn nóng 1000°K

$$N = 970,34 \text{ kW}$$

$$1200^\circ\text{K} \quad = 1744,6 \text{ kW}$$

$$1600^\circ\text{K} \quad = 2863,5 \text{ kW}$$

Hệ số tự dùng: $bwr = \frac{l_c}{l_T}$

$$1000^\circ\text{K} \quad bwr = \frac{280,8}{484} = 0,580 \text{ (58\%)}$$

$$1200^\circ\text{K} \quad = 0,483 \text{ (48,3\%)}$$

$$1600^\circ\text{K} \quad = 0,363 \text{ (36,3\%)}$$

4.17. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp lý tưởng hoạt động với các thông số như sau:

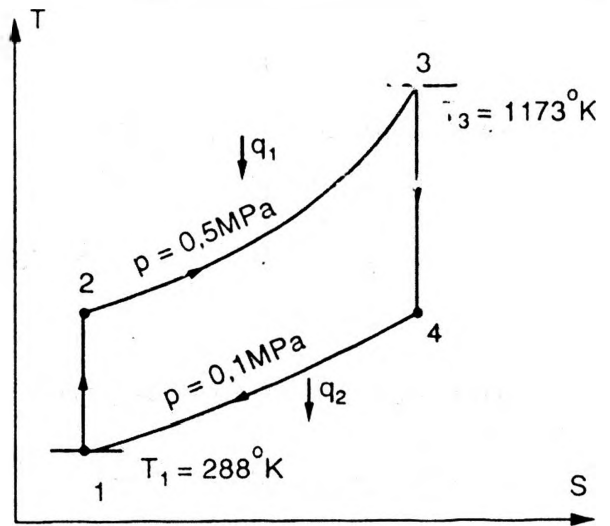
$$p_1 = 0,1 \text{ MPa}; \quad t_1 = 15^\circ\text{C}$$

$$p_2 = 0,5 \text{ MPa}; \quad t_3 = 900^\circ\text{C}$$

Xác định:

- Nhiệt độ và áp suất tại các điểm đặc trưng của chu trình

- Công tiêu hao của máy nén, công sinh ra của tua bin, hiệu suất nhiệt của chu trình (chất môi giới xem như không khí, nhiệt dung riêng xem là hằng số).



Hình 4.9

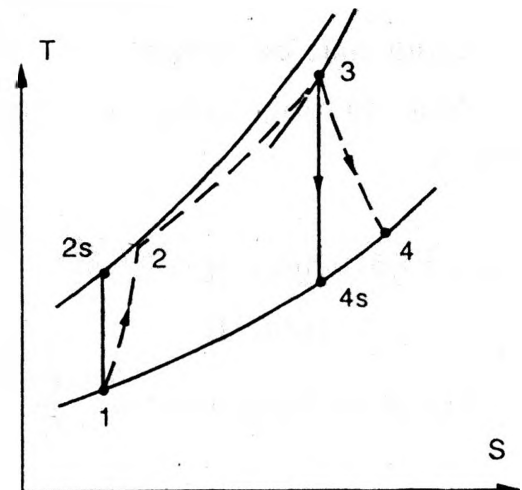
Đáp số: $T_2 = 456,6^\circ\text{K}; T_4 = 740,4^\circ\text{K};$

Công của máy nén: $l_c = 169 \text{ kJ/kg};$ Công của tua bin: $l_T = 434,3 \text{ kJ/kg}$

Công của chu trình: $l = 265,3 \text{ kJ/kg};$ $bwr = 38,9\%; \eta_p = 36,9\%$

- 4.18. Chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp thực thông số của chu trình tương tự bài 4.17 là $p_1 = 0,1 \text{ MPa}, t_1 = 15^\circ\text{C}; p_2 = 0,5 \text{ MPa},$ nhiệt độ cực đại là $900^\circ\text{C}.$ Giả sử rằng máy nén khí có hiệu suất $\eta_c = 80\%,$ tua bin khí có hiệu suất $\eta_t = 85\%,$ giáng áp giữa máy nén và tua bin là $15 \text{ kPa}.$ Xác định công tiêu hao của máy nén, công sinh ra của tua bin, hiệu suất nhiệt của chu trình thực.

Giải. Trong chu trình thực quá trình nén khí và giãn nở khí trong tua bin không phải là quá trình đoạn nhiệt lý tưởng ($S = \text{const}$) mà là quá trình đoạn nhiệt thực vì có tổn thất (quá trình không thuận nghịch) nên entropi tăng lên, chu trình được biểu thị trên đồ thị T - S.



Hình 4.10

a) Công tiêu hao của máy nén:

$$l_c = i_2 - i_1$$

$$\text{ta có: } \eta_c = \frac{i_{2s} - i_1}{i_2 - i_1} = 80\%$$

Quá trình 1 - 2s là quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch do đó:

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{k-1/k} = \frac{T_{2s}}{T_1} = 5^{0,286} = 1,5845$$

$$T_{2s} = 1,5845 T_1 = 456,3^\circ\text{K}$$

Vì $c_p = \text{const}$ do đó:

$$\eta_c = \frac{i_{2s} - i_1}{i_2 - i_1} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} = 0,8; \quad T_2 = 498,4^\circ\text{K}$$

Công tiêu hao của máy nén thực là:

$$l_c = i_2 - i_1 = c_p(T_2 - T_1) = 1,0035(498,4 - 288) = 210,4 \text{ kJ/kg}$$

b) Công sinh ra thực của tua bin khí:

$$l_T = i_3 - i_4; \quad \eta_t = \frac{i_3 - i_4}{i_3 - i_{4s}} = 0,85$$

$$p_3 = p_2 - (\text{giáng áp } \Delta p) = 0,5 - 0,015 = 0,485 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{p_3}{p_{4s}}\right)^{k-1/k} = \frac{T_3}{T_{4s}} = 4,85^{0,286} = 1,5708; \quad T_{4s} = \frac{T_3}{1,5708} = \frac{(920+273)}{1,5708} = 746,7^\circ\text{K}$$

$$\eta_T = \frac{i_3 - i_4}{i_3 - i_{4s}} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} = 0,85; \quad T_4 = 810,65^\circ\text{K}$$

$$l_T = i_3 - i_4 = c_p(T_3 - T_4) = 1,0035(1173 - 810,65) = 363,7 \text{ kJ/kg}$$

Công sinh ra của chu trình thực:

$$l = l_T - |l_c| = 363,7 - 211,2 = 152,5 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt cấp vào buồng đốt q_1 :

$$q_1 = i_3 - i_2 = c_p(T_3 - T_2) = 1,0035(1173,2 - 498,7) = 676,9 \text{ kJ/kg}$$

Hiệu suất nhiệt chu trình thực:

$$\eta_{th} = \frac{l}{q_1} = \frac{152,5}{676,9} = 22,5\%$$

Tỷ lệ công dùng cho máy nén bwr:

$$\text{bwr} = \frac{l_c}{l_T} = \frac{211,2}{363,7} = 0,58 \text{ (58\%)}$$

So sánh kết quả giữa chu trình lý thuyết (ví dụ 4.17) và chu trình thực (ví dụ 4.18) ta có kết quả như bảng sau đây:

Bài	l_c	l_T	l	q_1	η_t (%)
4.17 (lý thuyết)	169,0	434,3	265,3	719,1	36,9
4.18 (thực)	211,1	363,7	152,5	676,9	22,5

Từ sự so sánh này chúng ta nhận thấy rất rõ là do sự không thuận nghịch (do quá trình thực có tổn thất do ma sát, do xoáy, do truyền nhiệt... nên khác với điều kiện thuận nghịch - điều kiện lý tưởng) sẽ dẫn đến công sinh ra của tua bin bị giảm và ngược lại công tiêu hao của máy nén tăng lên, kết quả là công của chu trình sẽ giảm rất nhanh khi hiệu suất của máy nén η_c và của tua bin η_t càng thấp. Vì vậy việc chế tạo máy nén và tua bin có hiệu suất cao là vấn đề vô cùng quan trọng đối với sự phát triển của hệ thống tua bin khí thực tế.

Chúng ta nhận thấy rằng trong chu trình lý tưởng khoảng 39% công sinh ra của tua bin là sử dụng cho máy nén còn 61% là để phát công suất động lực. Nhưng trong chu trình thực chúng ta thấy có đến 58% công suất sinh ra của tua bin là tiêu hao cho máy nén chỉ còn 42% là phát công suất động lực, trong đó chưa kể đến công suất phát thực của tua bin bị suy giảm mà trên chỉ mới xét phần trăm ảnh hưởng.

HƠI NƯỚC VÀ CHU TRÌNH THIẾT BỊ ĐỘNG LỰC HƠI NƯỚC

5.1 HƠI NƯỚC

5.1.1. Nước sôi và hơi bão hòa khô (nước và hơi nước bão hòa)

Trạng thái của nước sôi và hơi bão hòa khô được xác định khi biết nhiệt độ hoặc áp suất của chúng. Từ bảng nước và hơi nước bão hòa theo nhiệt độ sôi hoặc áp suất sôi ta có thể tìm được tất cả các thông số còn lại.

5.1.2. Hơi bão hòa ẩm

1- Độ khô và độ ẩm

Hơi bão hòa ẩm (hơi ẩm) là hỗn hợp giữa nước sôi và hơi bão hòa ở nhiệt độ bão hòa tương ứng. Độ khô được định nghĩa bằng biểu thức sau:

$$x = \frac{G_h}{G_h + G_n}$$

trong đó: G_h (kg) - khối lượng hơi bão hòa khô trong hơi ẩm

G_n (kg) - khối lượng nước sôi trong hơi ẩm.

Độ khô x là thông số trạng thái cơ bản của hơi ẩm, nó cho ta biết lượng hơi bão hòa khô chứa trong 1 kg hơi ẩm.

Độ khô x thay đổi từ $x = 0$ (đường giới hạn dưới) đến $x = 1$ (đường giới hạn trên), $0 \leq x \leq 1$.

Giá trị $y = 1 - x$ gọi là độ ẩm của hơi, nó cho ta biết lượng nước bão hòa (nước sôi) chứa trong 1 kg hơi ẩm.

2- Các thông số trạng thái của hơi ẩm

Để xác định được các thông số trạng thái của hơi ẩm chúng ta phải dựa vào thông số cơ bản của nước sôi, hơi bão hòa khô (tìm từ bảng thông số nhiệt động của nước và hơi nước bão hòa) và độ khô x :

$$v_x = (1 - x) v' + xv'' = v' + x(v'' - v')$$

$$s_x = (1 - x) s' + xs'' = s' + x(s'' - s') = s' + x \frac{r}{T_s}$$

$$i_x = i' + rx$$

$$x = \frac{v_x - v'}{v'' - v'} = \frac{i_x - i'}{i'' - i'} = \frac{s_x - s'}{s'' - s'} = \frac{\Phi_x - \Phi'}{\Phi'' - \Phi'}$$

trong đó: dấu " ' " - chỉ trạng thái nước sôi

dấu " '' " - chỉ trạng thái hơi bão hòa khô; r - ẩn nhiệt hóa hơi.

$$u_x = (1 - x) u' + xu'' = u' + x(u'' - u')$$

Nếu trong bảng không có các giá trị u'' và u' thì nội năng được tính bằng công thức sau:

$$u_x = i_x - pv_x$$

5.1.3. Hơi quá nhiệt

Ở cùng áp suất, hơi quá nhiệt có nhiệt độ t cao hơn nhiệt độ của hơi bão hòa khô t_s . Đối với nước chưa sôi và hơi quá nhiệt thì áp suất và nhiệt độ là hai thông số độc lập, trạng thái của hơi quá nhiệt được xác định khi biết hai thông số. Trong bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt các trạng thái thường xác định theo hai thông số là áp suất và nhiệt độ.

5.2 CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CƠ BẢN CỦA HƠI NƯỚC

5.2.1. Quá trình đẳng tích ($v = \text{const}$)

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1) = (i_2 - i_1) - v(p_2 - p_1)$$

$$\text{Công của quá trình: } l = \int_1^2 p dv = 0$$

Nhiệt lượng cung cấp cho quá trình: $q = \Delta u + l$ vì $l = 0$ do đó $q = \Delta u$

5.2.2. Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$)

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1) = (i_2 - i_1) - p(v_2 - v_1)$$

$$l = \int_1^2 p dv = p(v_2 - v_1); \quad dq = du + dl = di - v dp = di$$

Do đó: $q = i_2 - i_1$

5.2.3. Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1)$$

$$ds = \frac{dp}{T}, \quad dq = Tds, \quad \text{do đó } q = T(s_2 - s_1)$$

$$q = \Delta u + l; \quad l = q - \Delta u$$

5.2.4. Quá trình đoạn nhiệt ($q = 0$)

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1)$$

$$q = 0 = \Delta u + l, \quad \text{do đó } l = -\Delta u$$

BÀI TẬP

5.1. Hơi bão hòa ẩm có áp suất $p = 2\text{bar}$, độ khô $x = 0,9$.

Hãy xác định: Thể tích riêng v_x , entanpi i_x , entropi s_x , nội năng u_x .

Giải

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa phần phụ lục (bảng 15), theo áp suất $p = 2\text{bar}$ ta tra được các thông số sau:

$$v' = 0,0010605 \text{ m}^3/\text{kg} \quad v'' = 0,8854 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$i' = 504,8 \text{ kJ/kg} \quad i'' = 2707 \text{ kJ/kg}$$

$$s' = 1,5302 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad s'' = 7,127 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Từ công thức tính các thông số của hơi bão hòa ẩm ta có:

$$v_x = v' + x(v'' - v') = 0,0010605 + 0,9(0,8854 - 0,0010605) = 0,797 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$i_x = i' + x(i'' - i') = 504,8 + 0,9(2707 - 504,8) = 2486,8 \text{ kJ/kg}$$

$$s_x = s' + x(s'' - s') = 1,5302 + 0,9(7,127 - 1,5302) = 6,567 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$u_x = i_x - p v_x = 2486,8 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5 \times 0,797 = 2,326 \cdot 10^6 \text{ J/kg} = 2326,6 \text{ kJ/kg}$$

5.2. Xác định entanpi, nội năng của hơi ẩm ở áp suất $p = 13 \text{ bar}$, độ khô $x = 0,98$

$$\text{Đáp số: } i_x = 2748,5 \text{ kJ/kg}; \quad u_x = 2541,3 \text{ kJ/kg}$$

5.3. Một bình kín có thể tích $V = 0,035 \text{ m}^3$ chứa 5 kg hơi bão hòa ẩm ở nhiệt độ $t = 310^\circ\text{C}$. Xác định độ khô, lượng hơi bão hòa khô và lượng nước sôi trong bình.

Giải

Thể tích riêng của hơi bão hòa ẩm được tính:

$$v_x = \frac{V}{G} = \frac{0,035}{5} = 0,007 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad v_x = v' + x(v'' - v')$$

$$\text{Vậy độ khô } x \text{ là: } x = \frac{v_x - v'}{v'' - v'}$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa, với nhiệt độ sôi $t_x = 310^\circ\text{C}$ chúng ta tra được: $v' = 0,001447 \text{ m}^3/\text{kg}$; $v'' = 0,01832 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$\text{Do đó: } x = \frac{0,007 - 0,001447}{0,01832 - 0,001447} = 0,33$$

$$x = \frac{G_h}{G_{\text{âm}}} = \frac{G_h}{G}$$

$$G_h = x \times G = 0,33 \times 5 = 1,65 \text{ kg}$$

$$\text{Lượng nước sôi } G_n: G_n = G - G_h = 5 - 1,65 = 3,35 \text{ kg}$$

5.4. Bao hơi của lò hơi có thể tích $V = 12 \text{ m}^3$ chứa hỗn hợp nước và hơi $G = 1800 \text{ kg}$ ở áp suất 110 bar. Hãy xác định độ khô, lượng nước và lượng hơi bão hòa, độ khô trong bao hơi.

$$\text{Đáp số: } x = 0,357; G_h = 642,6 \text{ kg}; G_n = 1157,4 \text{ kg}$$

5.5. Bao hơi có thể tích $V = 9 \text{ m}^3$, hai phần ba thể tích đó chứa nước sôi ở áp suất $p = 100 \text{ bar}$. Hãy xác định lượng nước sôi, lượng hơi, độ khô và entanpi của hơi ẩm trong bao hơi.

Giải

$$\text{Thể tích của nước sôi: } V_n = \frac{2}{3}V = \frac{2}{3} \times 9 = 6 \text{ m}^3$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với áp suất $p = 100 \text{ bar}$ tra được các thông số sau:

$$v' = 0,0014521 \text{ m}^3/\text{kg}; v'' = 0,01803 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$i' = 1407,7 \text{ kJ/kg}; i'' = 2725 \text{ kJ/kg}; r = 1317,0 \text{ kJ/kg}$$

Lượng nước sôi được tính:

$$v' = \frac{V_n}{G_n}; G_n = \frac{V_n}{v'} = \frac{6}{0,0014521} = 4132 \text{ kg}$$

$$\text{Thể tích của hơi: } V_h = V - V_n = 9 - 6 = 3 \text{ m}^3$$

Thể tích riêng của hơi bão hòa khô ở áp suất $p = 100 \text{ bar}$ đã biết, vậy lượng hơi sẽ là:

$$v'' = \frac{V_h}{G_h}; G_h = \frac{V_h}{v''} = \frac{3}{0,01803} = 166 \text{ kg}$$

Độ khô của hơi ẩm trong bao hơi:

$$x = \frac{G_h}{G_n + G_h} = \frac{166}{4132 + 166} = 0,0386$$

Entanpi của hơi ẩm:

$$i_x = i' + rx = 1407,7 + 1317,0 \times 0,0386 = 1.458,5 \text{ kJ/kg}$$

5.6. Một lượng hơi bão hòa ẩm $G = 1,4 \text{ kg/s}$ với độ khô là $x = 0,96$, áp suất $p = 20 \text{ bar}$ chuyển động trong ống với vận tốc $\omega = 40 \text{ m/s}$. Hãy xác định đường kính trong của ống.

Giải

Lưu lượng hơi chảy trong ống:

$$G = f \omega \rho = \frac{f \omega}{v_x}$$

ở đây: ρ - khối lượng riêng của hơi, kg/m^3 ;

f - tiết diện ngang của ống, m^2

d - đường kính trong của ống, m ; ω - tốc độ của dòng hơi, m/s

v_x - thể tích riêng của hơi ẩm, m^3/kg .

$$\text{Ta có: } f = \frac{G v_x}{\omega} = \frac{\pi d^2}{4}; \quad d = \sqrt{\frac{4 G v_x}{\pi \omega}}$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p = 20 \text{ bar}$ ta tìm được:

$$v' = 0,0011678 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad v'' = 0,09958 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Vì nước sôi có thể tích riêng rất nhỏ so với hơi bão hòa, đồng thời hơi có độ khô khá cao nên:

$$v_x = v' + x(v'' - v') \approx x v''$$

$$v_x = 0,96 \times 0,09958 = 0,0956 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 1,4 \times 0,0956}{3,14 \times 40}} = 0,0652 \text{ m} = 65 \text{ mm}$$

5.7. Hơi nước có áp suất $p = 16 \text{ bar}$ chuyển động trong đường ống với vận tốc $\omega = 30 \text{ m/s}$. Hãy xác định đường kính trong của ống trong hai trường hợp sau:

a) Biết hơi có độ khô $x = 0,9$

b) Biết hơi có nhiệt độ $t = 350^\circ\text{C}$.

Đáp số: a) $d = 75,4 \text{ mm}$

b) $d' = 94,4 \text{ mm}$

5.8. Hơi bão hòa ẩm có lưu lượng $G = 500 \text{ kg/h}$ với áp suất $p = 100 \text{ bar}$, độ khô $x = 0,99$, từ bao hơi của lò hơi chuyển vào bộ quá nhiệt. Sau khi qua bộ quá nhiệt, nhiệt độ của hơi tăng lên đến $t_2 = 550^\circ\text{C}$. Hãy tính lượng

hiệt cần cung cấp cho bộ quá nhiệt nếu biết hiệu suất của bộ quá nhiệt $\eta = 0,984$ và bỏ qua tổn thất áp suất của dòng hơi khi qua bộ quá nhiệt.

Giải

Khi bỏ qua tổn thất áp suất thì quá trình nhận nhiệt của hơi trong bộ quá nhiệt là quá trình đẳng áp. Nhiệt nhận được của hơi trong quá trình đẳng áp là:

$$Q = \Delta I = G\Delta i = G(i_2 - i_1)$$

ở đây: i_1 - entanpi của hơi ẩm khi vào bộ quá nhiệt

i_2 - entanpi của hơi ra khỏi bộ quá nhiệt.

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa, với áp suất $p = 100$ bar ta tìm được: $t_s = 310,96^\circ\text{C}$; $i' = 1407,7$ kJ/kg; $i'' = 2.725$ kJ/kg; $r = 1317,0$ kJ/kg

Entanpi của hơi vào bộ quá nhiệt:

$$i_1 = i_{1x} = i'_1 + x(i''_1 - i'_1) = i'_1 + r_1 x_1 = 1407,7 + 1317,0 \times 0,99 = 2712 \text{ kJ/kg}$$

Từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt, với áp suất $p = 100$ bar ta tìm được:

$$t = 500^\circ\text{C}; \quad i = 3372 \text{ kJ/kg}; \quad t = 600^\circ\text{C}; \quad i = 3621 \text{ kJ/kg}$$

Vậy entanpi ở: $t = \frac{500+600}{2} = 550^\circ\text{C}$ là:

$$i_2 = \frac{3372+3621}{2} = 3496,5 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt hơi nhận được trong quá trình đẳng áp:

$$Q = G(i_2 - i_1) = 500(3496,5 - 2712) = 392,25 \cdot 10^3 \text{ kJ/h}$$

$$Q = \frac{392,25 \cdot 10^3}{3600} = 109 \text{ kW}$$

Nhiệt cần cung cấp cho bộ quá nhiệt sẽ là:

$$\eta = \frac{Q}{Q_c}; \quad Q_c = \frac{Q}{\eta} = \frac{109}{0,984} = 110,8 \text{ kW}$$

5.9. Hơi ẩm có áp suất $p = 20$ bar, độ khô $x = 0,98$, lưu lượng $G = 2500$ kg/h được đưa vào bộ quá nhiệt. Hơi sau khi ra khỏi bộ quá nhiệt có nhiệt độ $t_2 = 400^\circ\text{C}$. Hãy xác định lượng nhiệt mà hơi nhận được ở bộ quá nhiệt và tỷ số đường kính của ống dẫn hơi khi vào và khi ra khỏi bộ quá nhiệt nếu giả thiết hơi vào và ra có cùng tốc độ, bỏ qua tổn thất áp suất.

$$\text{Đáp số: } Q = 1,25 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}; \quad \frac{d_1}{d_2} = 0,81$$

5.10. Nước được cấp vào lò với lưu lượng $G = 900 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$ nhiệt độ $t_1 = 180^\circ\text{C}$, áp suất $p = 160 \text{ bar}$. Sau khi nhận lượng nhiệt $Q = 2270,4 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}$ nước biến thành hơi và ra khỏi lò hơi. Xác định trạng thái của hơi ra khỏi lò là hơi gì, có nhiệt độ bao nhiêu.

Đáp số: Hơi quá nhiệt, có $t = 500^\circ\text{C}$

5.11. Hơi vào bình ngưng của tua bin có lưu lượng $G = 25 \text{ kg/s}$ độ khô $x = 0,83$. Vacumet của bình ngưng chỉ độ chân không $p_{ck} = 712,5 \text{ mm Hg}$, áp suất khí quyển $p_o = 750 \text{ mm Hg}$. Hơi ngưng tụ trong bình ngưng ở áp suất không đổi tạo thành nước ngưng và chảy ra khỏi bình. Hãy xác định lượng nước làm mát cần cho bình ngưng, nếu nhiệt độ nước làm mát khi vào $t_{n1} = 12^\circ\text{C}$ và khi ra $t_{n2} = 23^\circ\text{C}$.

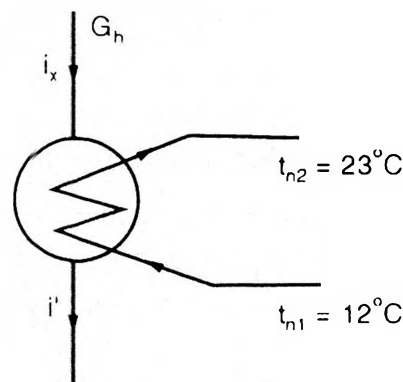
Giải

Trước tiên chúng ta hãy viết phương trình cân bằng nhiệt của bình ngưng:

Nhiệt lượng của hơi nhả ra trong quá trình ngưng tụ được dùng để làm nóng nước làm mát từ t_{n1} đến t_{n2} .

$$G_h(i_x - i') = G_n c_p (t_{n2} - t_{n1})$$

$$G_n = \frac{G_h(i_x - i')}{c_p(t_{n2} - t_{n1})}$$



Hình 5.1

Áp suất tuyệt đối của hơi trong bình ngưng là:

$$p = p_o - p_{ck} = 750 - 712,5 = 37,5 \text{ mm Hg} \cong \frac{37,5}{750} = 0,05 \text{ bar}$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p = 0,05 \text{ bar}$ tìm được:

$$t_s = 32,88^\circ\text{C}; \quad i' = 137,83 \text{ kJ/kg}; \quad i'' = 2561 \text{ kJ/kg}; \quad r = 2423 \text{ kJ/kg}$$

Do đó: $i_x = i' + rx = 137,83 + 2423 \times 0,83 = 2148,9 \text{ kJ/kg}$

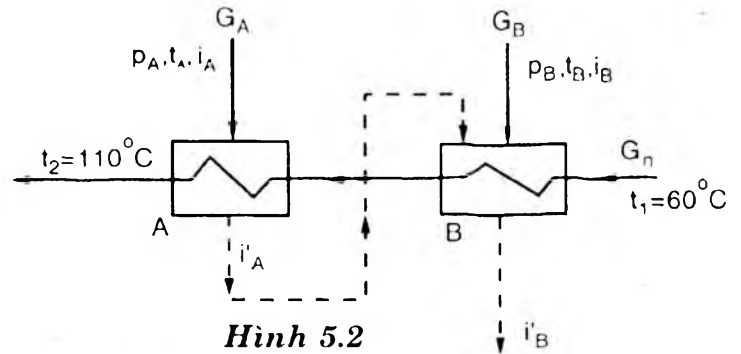
Nhiệt dung riêng của nước: $c_p = 1 \text{ kcal/kg độ} = 4,18 \text{ kJ/kg độ}$

$$|Q_h| = G_h(i_x - i') = G \times r \times x = 25 \times 2423 \times 0,83 = 50.277 \text{ kw}$$

Lượng nước cần làm mát của bình ngưng:

$$G_n = \frac{5027}{4,18(23-12)} = 1.093 \text{ kg/s}; \quad V_n = \frac{G_n}{\rho_n} = \frac{1093}{1000} = 1,093 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.12. Có hai bình hồi A và B (H.5.2). Bình A được gia nhiệt bằng hơi trích từ tua bin có áp suất $p_A = 6$ bar, $t_A = 260^\circ\text{C}$, bình B cũng được gia nhiệt bằng hơi trích ở cửa tiếp theo của



tua bin với áp suất $p_B = 1,2$ bar và $t_B = 140^\circ\text{C}$. Sau khi ngưng tụ nước từ bình A chảy dần cấp sang bình B nhờ chênh lệch áp suất. Nước cấp từ bình ngưng của tua bin có $G_n = 8$ kg/s đi vào bình B ở nhiệt độ $t_1 = 60^\circ\text{C}$, ra khỏi bình B vào bình A có nhiệt độ $t = 96,8^\circ\text{C}$, ra khỏi bình A có nhiệt độ $t_2 = 110^\circ\text{C}$. Tính lượng hơi trích từ tua bin vào các bình gia nhiệt, cho biết hiệu suất sử dụng nhiệt của hai bình như nhau, $\eta_A = \eta_B = 0,98$.

Giải

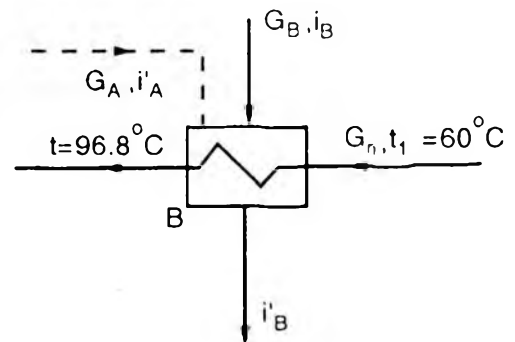
Từ $p_A = 6$ bar tra bảng nước và hơi nước bão hòa ta tìm được nhiệt độ bão hòa tương ứng $t_{SA} = 158,84^\circ\text{C}$, $i'_A = 670,5$ kJ/kg, hơi trích là hơi quá nhiệt. Từ bảng hơi quá nhiệt với $p_A = 6$ bar và $t_A = 260^\circ\text{C}$ tìm được $i_A = 2975$ kJ/kg. Hơi sau khi nhả nhiệt sẽ thành nước ngưng có i'_A dồn sang bình B.

Lượng nhiệt hơi nhả ra trong bình A cho nước: $Q_A = G_A(i_A - i'_A)$

Lượng nhiệt hơi cấp cho bình A: $Q_A = Q_{nA} = G_n c_n (t_2 - t)$

$$G_A = \frac{G_n c_n (t_2 - t)}{\eta_A (i_A - i'_A)} = \frac{8 \times 4,18 (110 - 96,8)}{0,98 (2975 - 670,5)} = 0,195 \text{ kg/s} = 702 \text{ kg/h}$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p = 1,2$ bar tìm được $t_{SB} = 104,81^\circ\text{C}$, $i'_B = 439,4$ kJ/kg, như vậy hơi vào bình B cũng là hơi quá nhiệt. Từ $p_B = 1,2$ bar, $t_B = 140^\circ\text{C}$, tra bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt tìm được $i_B = 2755$ kJ/kg. Cân bằng nhiệt cho bình B:



Nhiệt do nước ngưng tụ bình A cấp cho bình B:

$$Q_{AB} = G_A (i'_A - i'_B)$$

Nhiệt do dòng hơi trích nhả ra cho bình B:

$$Q_B = G_B (i_B - i'_B)$$

Nhiệt thực tế truyền cho nước cấp ở bình B:

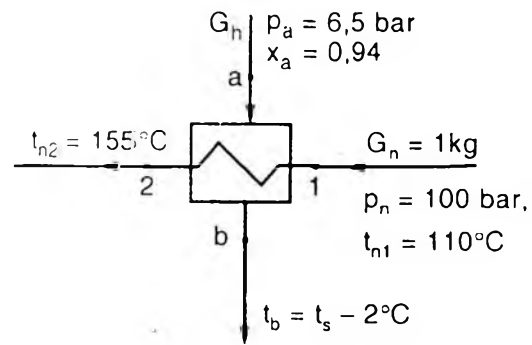
$$Q_{nB} = \eta_B(Q_{AB} + Q_B) = G_n c_n (t - t_1) = \eta_B [G'_A (i'_{A'} - i'_{B'}) + G_B (i_B - i'_{B'})]$$

Như vậy:

$$G_B = \frac{G_n c_n (t - t_1) - G'_A (i'_{A'} - i'_{B'})}{(i_B - i'_{B'})} = \frac{8 \times 4.18 (96.8 - 60) - 0.195 (670.5 - 439.4)}{0.98 (275.5 - 439.4)} = \frac{0.195 (670.5 - 439.4)}{(275.5 - 439.4)}$$

$$= 0.523 \text{ kg/s} = 1882.8 \text{ kg/h}$$

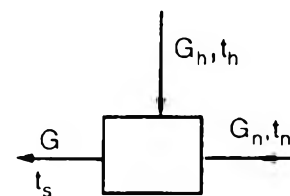
5.13. Hơi trích từ tua bin vào bình hồi nhiệt có áp suất $p = 6,5 \text{ bar}$, lưu lượng G_h , độ khô $x = 0,94$ (H.5.3). Nước ngưng ra khỏi bình hồi nhiệt có nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ sôi 2°C . Nước cấp có áp suất $p_n = 100 \text{ bar}$, nhiệt độ nước vào $t_{n1} = 110^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước ra $t_{n2} = 155^\circ\text{C}$. Hãy xác định lượng hơi trích G_h cần để đốt nóng 1 kg nước cấp.



Hình 5.3

Đáp số: $G_h = 0,098 \text{ kg hơi / kg nước}$

5.14. Hơi bão hòa ẩm ở áp suất $p = 0,1 \text{ bar}$, độ khô $x = 0,98$ đi vào bình ngưng kiểu hỗn hợp (H.5.4). Nước làm mát đi vào có $t_n = 15^\circ\text{C}$. Nước $G = G_h + G_n$ ra khỏi bình có nhiệt độ bão hòa (nhiệt độ sôi) t_s . Hãy xác định lượng nước làm mát G_n cần thiết, nếu cho biết lượng hơi bão hòa ẩm đi vào $G_h = 580 \text{ kg/h}$.



Hình 5.4

Đáp số: $G_n = 9240 \text{ kg/h}$

5.15. Nồi hơi chứa lượng hơi bão hòa ẩm $G = 8000 \text{ kg}$ ở áp suất $p_1 = 4 \text{ bar}$, độ khô $x = 0,0015$. Người ta cấp cho nó lượng nhiệt $Q = 300 \text{ kw}$ trong điều kiện đóng tất cả các van thì áp suất tăng lên đến 10 bar . Xác định thời gian cần thiết đốt nóng để áp suất tăng lên như trên và xác định độ khô.

Giải

Vì tất cả các van đều đóng nên đây là quá trình đẳng tích của hơi nước. Nhiệt cấp vào trong quá trình đẳng tích bằng biến thiên nội năng:

$$Q_v = G \cdot \Delta u = G(u_{x2} - u_{x1}); \quad \Delta u_x = i_{x2} - i_{x1} + v_x(p_1 - p_2)$$

$$v_{1x} = v_{2x} = v_x; \quad v_1 = v'_1 + x_1(v''_1 - v'_1)$$

Từ bảng nước và hơi bão hòa, với $p = 4$ bar ta tìm được:

$$v'_1 = 0,0010836 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad v''_1 = 0,462 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_{1x} = 0,0010836 + 0,0015(0,4624 - 0,001836) = 0,001776 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Ngoài ra ta có: $v_{1x} = v_{2x} = v'_2 + x_2(v''_2 - v'_2)$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p_2 = 10$ bar tìm được:

$$v'_2 = 0,001273 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad v''_2 = 0,1946 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Do đó ta có:
$$x_2 = \frac{(v_{1x} - v'_2)}{v''_2 - v'_1} = \frac{0,001776 - 0,001273}{0,1964 - 0,001273} = 0,00335$$

Entanpi:
$$i_{x1} = i'_1 + x_1(i''_1 - i'_1) = i'_1 + r_1 x_1$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p = 4$ bar ta có:

$$i' = 604,7 \text{ kJ/kg}; \quad r_1 = 2133 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{x1} = 604,7 + 0,0015 \times 2133 = 607,9 \text{ kJ/kg}$$

Entanpi i_{x2} :
$$i_{x2} = i'_2 + x_2 r_2$$

Từ bảng nước và hơi bão hòa với $p_2 = 10$ bar ta có:

$$i'_2 = 762,7 \text{ kJ/kg}; \quad r_2 = 2015 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{x2} = 762,7 + 0,00335 \times 2015 = 769,4 \text{ kJ/kg}$$

Vậy Δu_x được tính:

$$\Delta u_x = i_{x2} - i_{x1} + v_x(p_1 - p_2)$$

$$= 769,4 - 607,9 + 0,001776(4 - 10) \cdot 10^5 \cdot 10^3 = 160,4 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt do hơi nhận được:
$$Q_v = G \cdot \Delta u = 8000 \times 160,4 = 1,283 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

Thời gian cần thiết:
$$\tau = \frac{Q_v}{Q} = \frac{1,283 \cdot 10^6}{300 \times 60} = 71,3 \text{ phút}$$

5.16. Một bình kín thể tích $V = 0,2 \text{ m}^3$ chứa một lượng hơi bão hòa ẩm ở nhiệt độ $t_1 = 180^\circ\text{C}$, độ ẩm $y = 5\%$. Sau một thời gian nhất định để ra ngoài trời người ta đo được áp suất $p_2 = 9$ bar. Hãy xác định độ khô của hơi ở trạng thái cuối, lượng nhiệt của hơi nhả ra môi trường. Biểu diễn quá trình trên đồ thị $i - s$.

Đáp số: $x_2 = 0,85$; $Q_v = 298 \text{ kJ}$

5.17. Người ta đốt nóng 1 kg hơi nước ở áp suất $p_1 = 10$ bar, nhiệt độ $t_1 = 240^\circ\text{C}$ đến $t_2 = 350^\circ\text{C}$ trong điều kiện áp suất không đổi. Xác định lượng nhiệt mà hơi nhận được, công thay đổi thể tích và lượng thay đổi nội năng.

Giải

Đây là quá trình đẳng áp của khí thực, nhiệt trong quá trình đẳng áp được tính: $q_p = \Delta i = i_2 - i_1$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p = 10 \text{ bar}$ ta tra được nhiệt độ sôi tương ứng $t_s = 179,88^\circ\text{C}$. Ở đây $t_1 = 240^\circ\text{C} > t_s$, vậy hơi ở trạng thái đầu là hơi quá nhiệt. Từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt tìm được:

$$p_1 = 10 \text{ bar}, t_1 = 240^\circ\text{C} \quad \text{ta có: } i_1 = 2918 \text{ kJ/kg}$$

$$p_2 = 10 \text{ bar}, t_2 = 350^\circ\text{C} \quad i_2 = 3156 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Vậy nhiệt mà hơi nhận được: } q_p = 3156 - 2918 = 238 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Công thay đổi thể tích trong quá trình đẳng áp: } l_{12} = p(v_2 - v_1)$$

$$\text{Từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt: } p_1 = 10 \text{ bar}; t_1 = 240^\circ\text{C}$$

$$\text{ta có: } v_1 = 0,2274 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$p_2 = 10 \text{ bar}, t_2 = 350^\circ\text{C} \quad v_2 = 0,2822 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{Vậy: } l_{12} = 10 \cdot 10^5 (0,2822 - 0,2274) = 54,8 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

Theo định luật nhiệt động I:

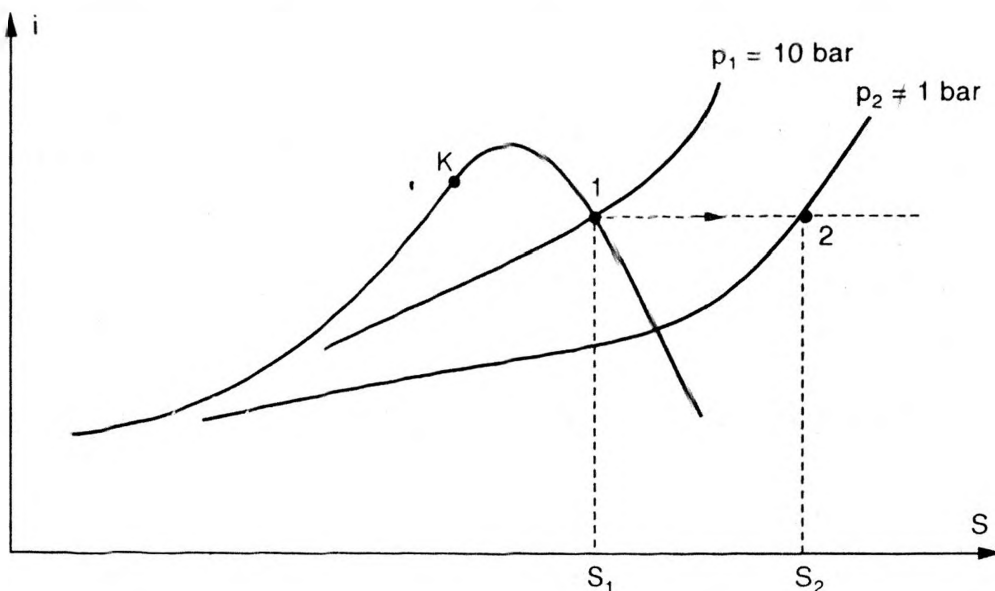
$$q = \Delta u + l_{12}; \quad \Delta u = q - l_{12} = 238 - 54,8 = 183,2 \text{ J/kg}$$

5.18. Hơi bão hòa khô ở áp suất $p = 10 \text{ bar}$ sau khi giãn nở đẳng nhiệt, áp suất cuối $p_2 = 1 \text{ bar}$. Xác định lượng nhiệt cần cấp cho hơi và công thay đổi thể tích. Biểu diễn quá trình trên đồ thị $i - s$.

Giải

Nhiệt trong quá trình đẳng nhiệt được tính:

$$q_T = T(s_2 - s_1)$$



Ở đây $s_1 = s''_1$ (hơi bão hòa khô), $T = T_s$. Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p_1 = 10 \text{ bar}$ tìm được $s''_1 = 6,587 \text{ kJ/kg độ}$, $t_s = 179,88^\circ\text{C} \approx 180^\circ\text{C}$. Trạng thái 2 là hơi quá nhiệt có $p_2 = 1 \text{ bar}$, $t_2 = t_1 = 180^\circ\text{C}$, từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt tìm được: $s_2 = 7,743 \text{ kJ/kg độ}$
 $v_2 = 2,078 \text{ m}^3/\text{kg}$, $i_2 = 2835 \text{ kJ/kg}$.

$$\text{Do vậy: } q_T = (180 + 273)(7,743 - 6,587) = 524 \text{ kJ/kg}$$

Từ định luật nhiệt động I suy ra:

$$q = \Delta u + l; \quad l_{12} = q_T - \Delta u$$

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1)$$

Từ bảng hơi nước bão hòa với $p_1 = 10 \text{ bar}$ ta có:

$$i_1 = i''_1 = 2778 \text{ kJ/kg}; \quad v_1 = v''_1 = 0,1946 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Do đó:

$$\Delta u = (2835 - 1 \cdot 10^5 \times 2,078 \cdot 10^{-3}) - (2778 - 10 \cdot 10^5 \times 0,1946 \cdot 10^{-3}) = 43,8 \text{ kJ/kg}$$

$$l_{12} = q_T - \Delta u = 524 - 43,8 = 480,2 \text{ kJ/kg}$$

5.19. Hơi nước ở áp suất $p_1 = 6 \text{ bar}$, $t_1 = 200^\circ\text{C}$. Sau khi bị nén đẳng nhiệt đến thể tích là $v_2 = 0,11 \text{ m}^3/\text{kg}$. Xác định nhiệt thải trong quá trình nén, biểu diễn quá trình trên đồ thị $i - s$.

$$\text{Đáp số: } q_T = -522,9 \text{ kJ/kg}$$

5.20. Hơi nước ở trạng thái đầu $p_1 = 8 \text{ bar}$, $t_1 = 240^\circ\text{C}$, giãn nở đoạn nhiệt đến $p_2 = 2 \text{ bar}$. Hãy xác định độ khô, công kỹ thuật và công thay đổi thể tích.

Giải

Đây là quá đoạn nhiệt thuận nghịch ($s = \text{const}$) của khí thực (hơi).

$$s_1 = s_2 = \text{const}$$

Hơi ở trạng thái 1 là hơi quá nhiệt ($t_1 > t_s = 170,42^\circ\text{C}$), từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt với $p_1 = 8 \text{ bar}$, $t_1 = 240^\circ\text{C}$ tìm được:

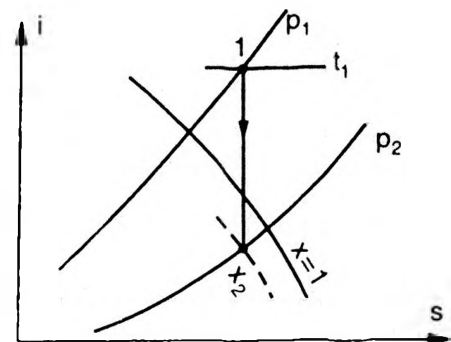
$$v_1 = 0,2867 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad i_1 = 2926 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = 6,991 \text{ kJ/kg độ}$$

Từ bảng nước sôi và hơi bão hòa khô với $p_2 = 2 \text{ bar}$ có:

$$v'_2 = 0,0010605 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v''_2 = 8,8854 \text{ m}^3/\text{kg}$$



Hình 5.5

tìm được: $i_1 = 3229 \text{ kJ/kg}$

$$s_1 = 6,916 \text{ kJ/kg độ}$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p_2 = 0,04 \text{ bar}$ có:

$$i'_2 = 121,42 \text{ kJ/kg}; \quad i''_2 = 2554 \text{ kJ/kg}$$

$$s'_2 = 0,4225 \text{ kJ/kg độ}; \quad s''_2 = 8,473 \text{ kJ/kg độ}; \quad s_2 = s_1 = 6,916 < s''_2 = 8,473$$

nên hơi ở trạng thái hai là hơi ẩm.

$$s_2 = s'_2 + x_2(s''_2 - s'_2)$$

$$x_2 = \frac{s_1 - s'_2}{s''_2 - s'_2} = \frac{6,916 - 0,4225}{8,473 - 0,4225} = 0,81$$

$$i_2 = 121,42 + 0,81(2554 - 121,42) = 2092 \text{ kJ/kg}$$

Công của chu trình:

$$l_o = 3229 - 2092 = 1137 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt cấp cho chu trình:

$$q_1 = i_1 - i'_2 = 3229 - 121,42 = 3107,6 \text{ kJ/kg}$$

Hiệu suất nhiệt:

$$\eta_t = \frac{l_o}{q_1} = \frac{1137}{3107,6} = 0,36 = 36,6\%$$

Nhiệt thải ra trong bình ngưng cần được nước làm mát tải đi:

$$q_2 = i_2 - i'_2 = 2092 - 121,4 = 1970,6 \text{ kJ/kg}$$

Lượng nước làm mát cần cho 1 kg hơi trong bình ngưng:

$$q_2 = q_n = G_n c_n \Delta t_n$$

$$G_n = \frac{q_2}{c_2 \Delta t_n} = \frac{1970,6}{4,18 \times 10} = 47,14 \text{ kg nước/kg hơi}$$

5.23. Chu trình Rankine của nhà máy nhiệt điện như bài 5.22, nếu cho biết hiệu suất tương đối của tua bin $\eta_{oiT} = 0,9$, hiệu suất lò hơi $\eta_l = 0,85$, hiệu suất ống dẫn hơi η_o , hiệu suất cơ khí η_{ck} và hiệu suất máy phát điện:

$$\eta_o = \eta_{ck} = \eta_d = 0,98$$

Công suất của máy phát điện $N = 10 \text{ Mw}$, nhiệt trị của nhiên liệu $Q_t = 25 \text{ MJ/kg}$. Hãy xác định hiệu suất của nhà máy nhiệt điện, lượng hơi sản sinh từ lò, lượng nhiên liệu, suất tiêu hao nhiên liệu và lượng nước cần làm mát bình ngưng.

Giải:

Hiệu suất nhà máy nhiệt điện được tính:

$$\begin{aligned}\eta_N &= \eta_t \cdot \eta_{ct} \cdot \eta_l \cdot \eta_o \cdot \eta_{ck} \cdot \eta_d \\ &= 0,366 \times 0,9 \times 0,85 \times 0,98 \times 0,98 \times 0,98 = 0,264 = 26,4\%\end{aligned}$$

Nhiệt do nhiên liệu cháy tỏa ra ứng với 1 kg hơi:

$$q_{nl} = \frac{q_l}{\eta_l \cdot \eta_o} = \frac{3107,6}{0,85 \times 0,98} = 3731 \text{ kJ/kg}$$

Công của nhà máy nhiệt điện:

$$\begin{aligned}\eta_N &= \frac{l_N}{q_{nh}} \\ l_N &= \eta_N \cdot q_{nl} = 0,264 \times 3731 = 985 \text{ kJ/kg hơi}\end{aligned}$$

Suất tiêu hao hơi:

$$d_N = \frac{1}{l_N} = \frac{1}{985} = 0,001015 \text{ kg hơi / kJ}$$

Lượng hơi mà lò hơi cần sản sinh:

$$D_N = d_N \times N \times 3600 = 0,001015 \times 10 \cdot 10^3 \times 3600 = 36548 \text{ kg hơi/h}$$

Lượng nhiệt do nhiên liệu cung cấp:

$$Q_n = q_{nl} \times D_n = 3731 \times 36548 = 136,36 \cdot 10^6 \text{ kJ/kg}$$

Lượng nhiên liệu tiêu hao:

$$B_N = \frac{Q_N}{Q_t} = \frac{136,36 \cdot 10^6}{25 \cdot 10^3} = 0,5454 \text{ kg NL/h}$$

Suất tiêu hao nhiên liệu:

$$b_N = \frac{B_N}{N} = \frac{5454}{10 \cdot 10^3} = 0,5454 \text{ kg NL/ kWh}$$

Lượng nước làm mát của bình ngưng:

$$G'_n = G_n \times D_n = 47,14 \times 36548 = 1723 \text{ T/h}$$

5.24. Hãy xác định công của 1 kg hơi nước thực hiện và hiệu suất nhiệt của chu trình Rankine. Nếu biết $p_1 = 100 \text{ bar}$, $t_1 = 550^\circ\text{C}$, $p_2 = 0,04 \text{ bar}$.

Đáp số: $l_o = 1465 \text{ kJ/kg}$; $\eta_t = 43,4\%$.

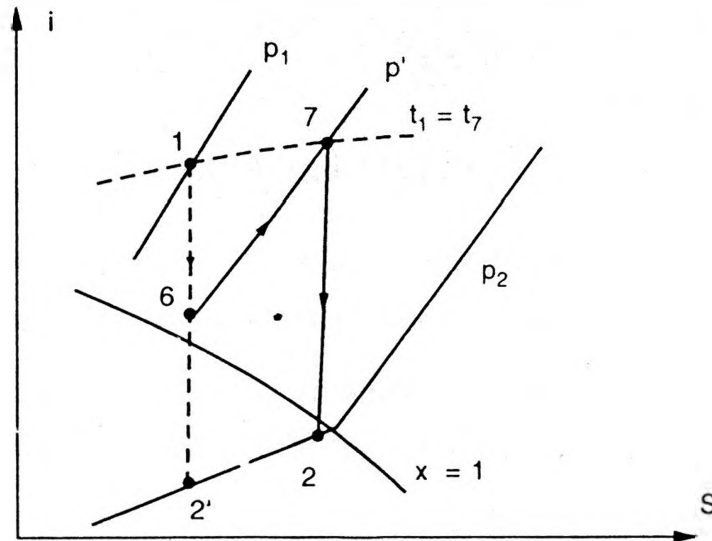
5.25. Chu trình Rankine với $p_1 = 100 \text{ bar}$, $t_1 = 550^\circ\text{C}$, $p_2 = 0,04 \text{ bar}$. Hãy xác định độ khô của hơi sau khi ra khỏi tua bin nếu hiệu suất tương đối của tua bin $\eta_{oit} = 0,84$.

Đáp số: $x_2 = 0,882$

5.26. Nhà máy nhiệt điện đốt than có nhiệt trị $Q_t = 25 \text{ MJ/kg}$. Xác định suất tiêu hao chất đốt cho 1 kWh nếu biết: $\eta_t = 0,4$, $\eta_{oit} = 0,82$, $\eta_l = 0,8$, $\eta_o = 0,97$, $\eta_{ck} = 0,98$, $\eta_d = 0,97$

Đáp số: $b_N = 0,594 \text{ kg/kwh}$.

5.27. Chu trình Renkin có quá nhiệt trung gian với các thông số sau: $p_1 = 110 \text{ bar}$, $t_1 = 500^\circ\text{C}$, $p_2 = 0,04 \text{ bar}$, áp suất sau giãn nở lần thứ nhất $p' = 30 \text{ bar}$ (áp suất trong bộ quá nhiệt trung gian), nhiệt độ hơi khi ra khỏi bộ quá nhiệt trung gian $t_7 = t_1 = 500^\circ\text{C}$. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình Renkin khi không có quá nhiệt trung gian và khi có quá nhiệt trung gian (H.5.7).



Hình 5.7

Giải

Từ đồ thị $i - s$ ta tìm được các thông số:

$$i_1 = 3360 \text{ kJ/kg}; \quad i_6 = 2996 \text{ kJ/kg}; \quad i_7 = 3456 \text{ kJ/kg}$$

$$i_2 = 2476 \text{ kJ/kg}; \quad x_2 = 0,935$$

$$i_2' = 2250 \text{ kJ/kg}; \quad x_2' = 0,835$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa (hoặc từ đồ thị $i - s$) theo $p = 0,04 \text{ bar}$,
 $i_2' = 121,4 \text{ kJ/kg}$

Hiệu suất nhiệt của chu trình Renkin:

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2'} = \frac{3360 - 2250}{3360 - 121,4} = 0,343 = 34,3\%$$

Hiệu suất của nhiệt chu trình Renkin có quá nhiệt trung gian:

$$\eta_t = \frac{(i_1 - i_6) + (i_7 - i_2)}{(i_1 - i_2') + (i_7 - i_6)} = \frac{(3360 - 2996) + (3456 - 2476)}{(3360 - 121,4) + (3456 - 2996)} = 0,363 = 36,3\%$$

Kết quả do có quá nhiệt trung gian hiệu suất nhiệt tăng thêm được 2% và độ khô x_2 cũng tăng lên.

5.28. Xác định hiệu suất của chu trình Rankin có quá nhiệt trung gian làm việc với các thông số $p_1 = 130 \text{ bar}$, $t_1 = 600^\circ\text{C}$, $p_2 = 0,04 \text{ bar}$. Hơi vào bộ quá nhiệt trung gian được xem như hơi bão hòa khô, nhiệt độ hơi ra khỏi bộ quá nhiệt trung gian là 500°C , nhiệt độ nước cấp vào lò hơi $t_{nc} = 180^\circ\text{C}$. Biểu diễn chu trình trên đồ thị $T - S$ và $i - s$.

Đáp số: $p_1 = 130 \text{ bar}$, $t_1 = 600^\circ\text{C}$, $i_1 = 3294 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 6,758 \text{ kJ/kg độ}$

$p_{tg} = 6 \text{ bar}$, $i_a = 2757 \text{ kJ/kg}$; $s_a = s_1 = 6,758 \text{ kJ/kg độ}$

$x_a = 1$; $p_b = p_{tg} = 6 \text{ bar}$; $t_b = 500^\circ\text{C}$; $i_2 = 3483 \text{ kJ/kg}$

$S_1 = 8,001 \text{ kJ/kg}$; $p_2 = 0,04 \text{ bar}$, $x_2 = 0,94$; $i_2 = 2408,4 \text{ kJ/kg}$;

$S_2 = 8,001 \text{ kJ/kg độ}$; $t_{nc} = 180^\circ\text{C}$; $i_{nc} = 736,1 \text{ kJ/kg}$.

Công bơm $l_p = 13 \text{ kJ/kg}$; công tua bin $l_T = 1612 \text{ kJ/kg}$.

Nhiệt cấp $q_1 = 3257 \text{ kJ/kg}$.

Hiệu suất: $\eta_t = 49\%$.

5.29. Chu trình hơi nước hồi nhiệt với việc đôn nước ngưng từ các bình gia nhiệt về phía sau: cho áp suất và nhiệt độ vào tua bin $p_1 = 30 \text{ bar}$, $t_1 = 450^\circ\text{C}$, áp suất hơi vào bình ngưng $p_2 = 0,04 \text{ bar}$. Tua bin có ba cửa trích hơi a, b, c và ba bình gia nhiệt A, B, C. Biết lượng hơi trích tại các cửa như nhau: $g_a = g_b = g_c = 0,09$, áp suất tại các cửa trích $p_a = 10 \text{ bar}$,

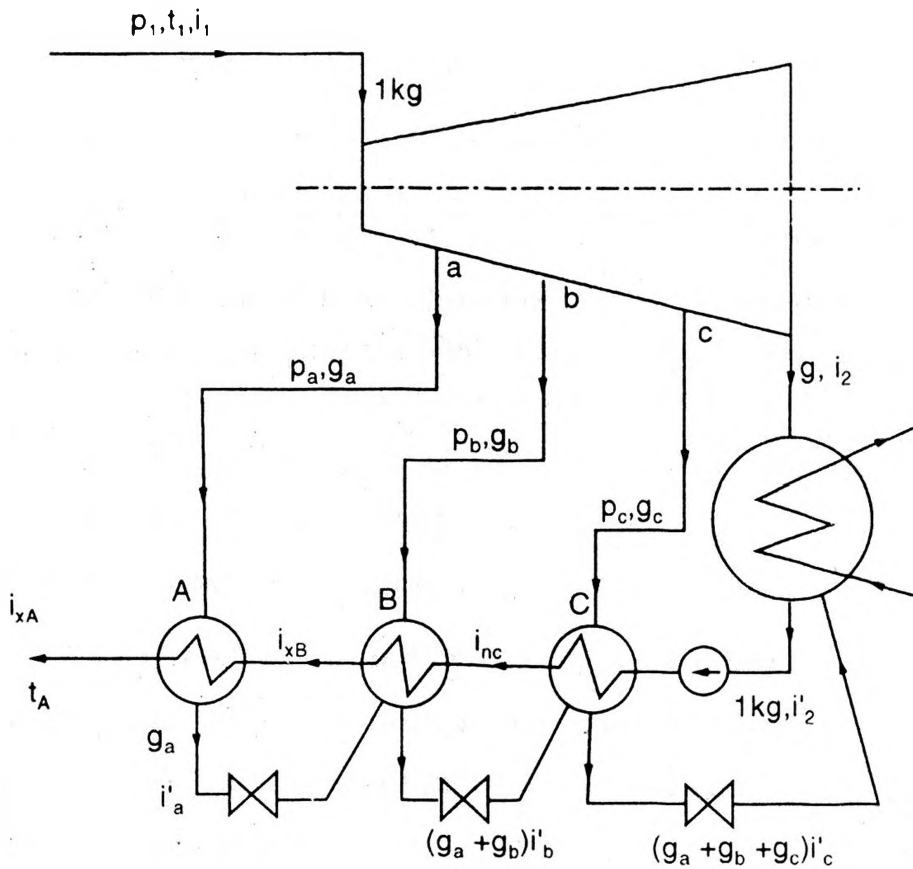
$p_b = 3 \text{ bar}$, $p_c = 0,5 \text{ bar}$.

Cho biết công suất của tua bin $N = 5 \text{ Mw}$. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình hồi nhiệt và so sánh với hiệu suất nhiệt của chu trình khi không có hồi nhiệt, nhiệt độ nước ra khỏi bình gia nhiệt A, lượng hơi mà lò hơi cần sản sinh lượng hơi trích từ các cửa trích.

Giải

Chu trình thiết bị hồi nhiệt thể hiện trên H.5.8.

Từ đồ thị $i - s$ của hơi nước ta tìm được



Hình 5.8

$i_1 = 3350 \text{ kJ/kg}; i_a = 3050 \text{ kJ/kg}; i_b = 2750; i_c = 2470; i_2 = 2140$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa theo áp suất ta có entanpi của nước ngưng ($x = 0$)

$p_a = 10 \text{ bar}; i'_a = 763 \text{ kJ/kg}$

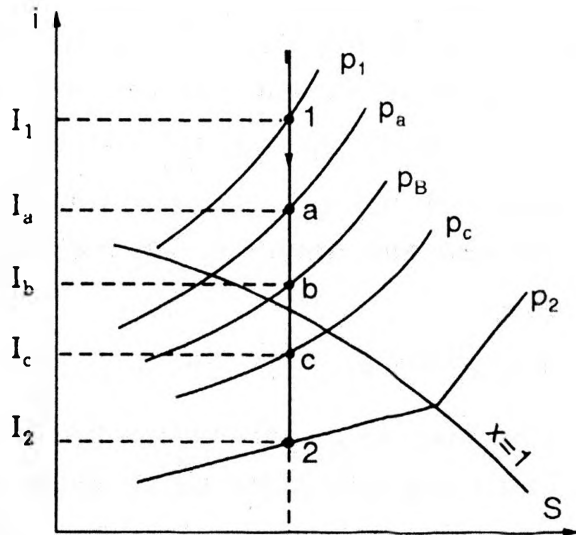
$p_b = 3 \text{ bar}; i'_b = 561 \text{ kJ/kg}$

$p_c = 0,5 \text{ bar}; i'_c = 341 \text{ kJ/kg}$

$p_2 = 0,04 \text{ bar}; i'_2 = 121 \text{ kJ/kg}$

Hiệu suất của chu trình hồi nhiệt được tính:

$$\eta_t = \frac{l_o}{q_1} = \frac{i_1 - i_a g_a - i_b g_b - i_c g_c - i_2 g}{i_1 - i_{ncap}}$$



ở đây: $g = 1 - (g_a + g_b + g_c) = 1 - 3 \times 0,09 = 0,73$

$i_{ncap} = i_{nA}$ - entanpi của nước ra khỏi bình gia nhiệt cuối để đưa vào lò hơi. Muốn tìm i_{nA} , ta phải tìm i_{nB} và i_{nC} . Chúng ta hãy viết phương trình cân bằng nhiệt cho các bình A, B, C (bỏ qua công tiêu hao của bơm và tổn

thất của van).

Bình C:

$$g_c i_c + 1 \times i'_2 + (g_a + g_b) i'_b = 1 \times i_{nc} + (g_a + g_b + g_c) i'_c$$

do đó:

$$\begin{aligned} i_{nc} &= g_c i_c + i'_2 + (g_a + g_b) i'_b - (g_a + g_b + g_c) i'_c \\ &= 0,09 \times 2470 + 121 + (0,09 + 0,09) \times 561 - 3 \times 0,09 \times 341 = 352 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Bình B:

$$\begin{aligned} g_b i_b + i_{nc} + g_a i'_a &= i_{nB} + (g_a + g_b) i'_b \\ i_{nB} &= g_b i_b + i_{nc} + g_a i'_a - (g_a + g_b) i'_b \\ &= 0,09 \times 2750 + 352 + 0,09 \times 763 - 2 \times 0,09 \times 561 = 567 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Bình A:

$$\begin{aligned} g_a i_a + i_{nB} &= i_{nA} + g_a i'_a \\ i_{nA} &= g_a i_a + i_{nB} - g_a i'_a \\ &= 0,09 \times 3050 + 567 - 0,09 \times 763 = 773 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt với $p = 30 \text{ bar}$, $i_{nA} = 773 \text{ kJ/kg}$ ta tìm được nhiệt độ $t_A = 182^\circ\text{C}$ (nhiệt độ sôi ứng với $p = 30 \text{ bar}$ là $t_s = 234^\circ\text{C}$).

Vậy:

$$\begin{aligned} l_o &= i_1 - i_a g_a - i_b g_b - i_c g_c - i_2 g \\ &= 3350 - 0,09 \times 3050 - 0,09 \times 2750 - 0,09 \times 2470 + 0,09 \times 2140 \\ &= 1043,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$q_1 = i_1 - i_{nA} = 3350 - 773 = 2577 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = \frac{1043,5}{2577} = 40,5\%$$

* Nếu không có hồi nhiệt:

$$\eta'_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i'_2} = \frac{3350 - 2140}{3350 - 121} = 37,5\%$$

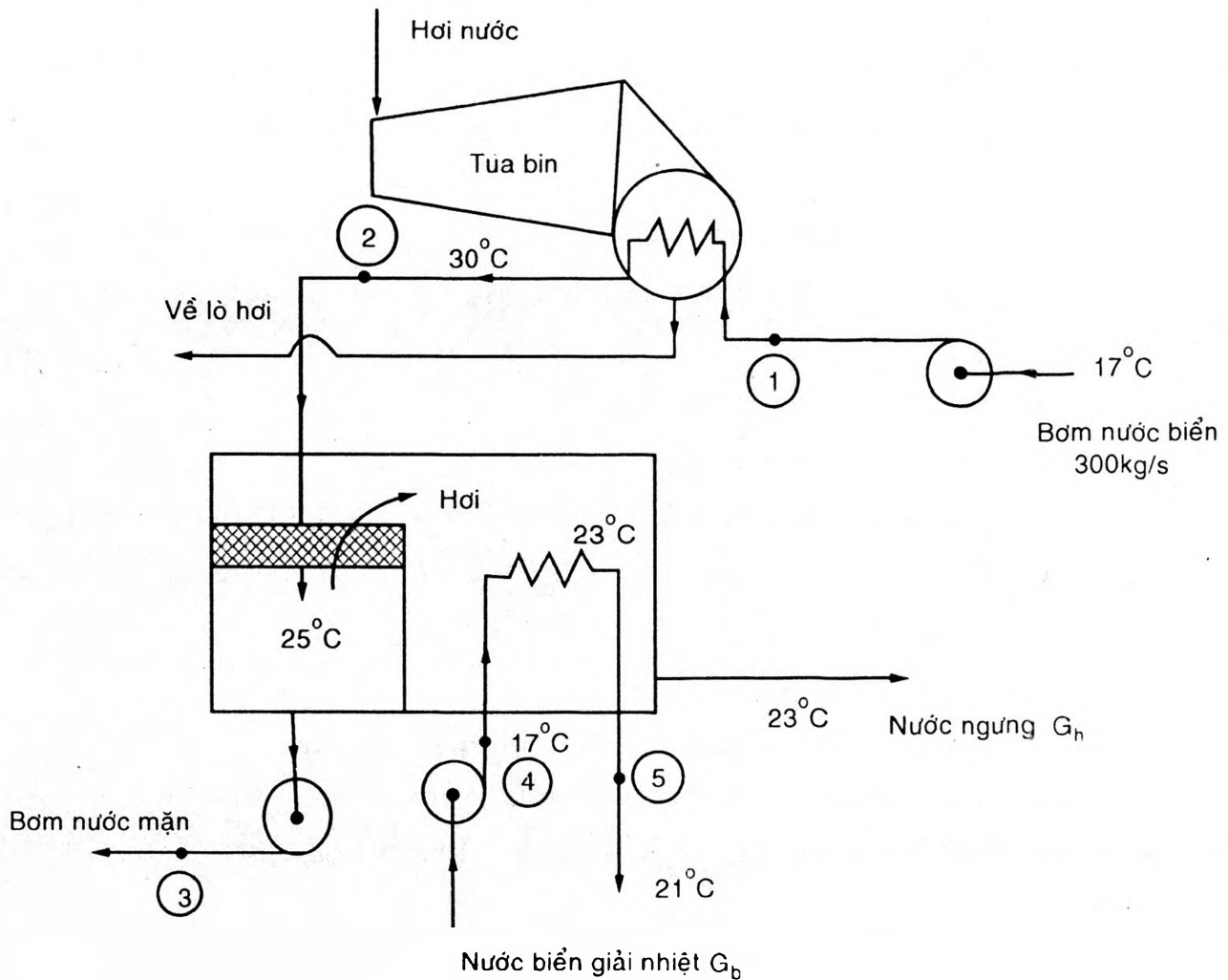
Lượng hơi mà lò hơi cần sản sinh:

$$G = \frac{N}{l_o} = \frac{5 \cdot 10^3}{1043,5} = 4,8 \text{ kg/s} = 17,28 \text{ T/h}$$

Lượng hơi trích từ các cửa trích:

$$G_a = G_b = G_c = 0,09 \quad G = 0,09 \times 17,28 = 1,56 \text{ T/h}$$

5.30. Một tua bin hơi được làm nguội bằng nước biển để vừa sản xuất điện và nước ngọt. Sơ đồ bố trí như H.5.9.



Hình 5.9

Lưu lượng nước biển giải nhiệt bình ngưng có các thông số sau:

Lưu lượng $G = 300 \text{ kg/s}$, nhiệt độ nước ngưng tăng từ 17°C khi bơm vào, sau khi ra khỏi bình ngưng có nhiệt độ 30°C được tưới vào bình chưng cất nước ngọt, ở đây áp suất sẽ giảm xuống tương ứng với nhiệt độ bão hòa trong buồng bốc hơi là 25°C .

Lượng hơi bốc ra chạy qua bình chưng cất, hơi được ngưng ở nhiệt độ 23°C nhờ bơm nước biển làm nguội, nhiệt độ vào 17°C và ra 21°C và nước ngọt ngưng tụ được đưa đi sử dụng.

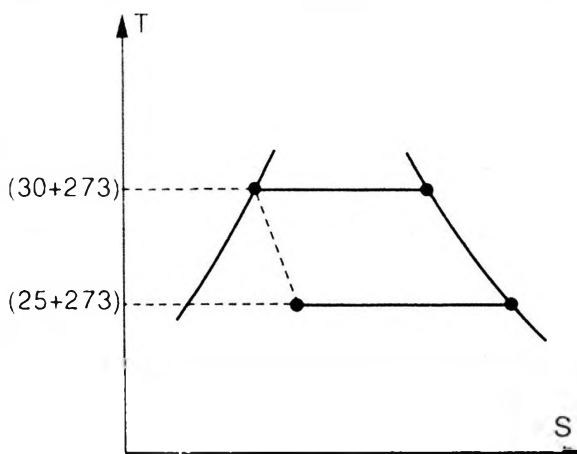
Tính:

a) Tính lượng nước ngọt sản xuất trong 1 giờ (giả thiết việc tách hơi là hoàn hảo và bỏ qua các tổn thất phụ).

b) Lượng nước làm mát qua bộ chưng cất nước. Khi tính toán sử dụng thông số của nước thường.

Giải

Quá trình tạo hơi ở bộ bốc hơi tưới phun là do sự tiết lưu của nước bão hòa ở 30°C (trạng thái 2) thành trạng thái hơi ẩm ở nhiệt độ bão hòa 25°C. Nguyên lý được biểu thị trên đồ thị T - S.



Ở $t = 30^\circ\text{C}$ tra bảng nước và hơi nước bão hòa tìm được:

$$i_2 = 125,71 \text{ kJ/kg}$$

$$p_2 = 0,03166 \text{ bar}$$

Ở nhiệt độ: $t_s = 25^\circ\text{C}$ cũng bảng trên tìm được:

$$i' = 104,81 \text{ kJ/kg}; \quad i'' = 2547 \text{ kJ/kg}$$

Vì qua tiết lưu: $i_2 = i_2'$ do đó tìm được:

$$x_2 = \frac{125,71 - 104,81}{2547 - 104,81} = \frac{20,9}{2442,2} = 0,00856$$

Lượng hơi nước tạo ra (cũng là lượng nước ngọt thu được khi ngưng tụ)

$$G_h = 0,00856 \times 300 = 2,568 \text{ kg/s} = 9244,8 \text{ kg/h.}$$

Bộ phận ngưng tụ nước ngọt có nhiệt độ bão hòa là 23°C , từ bảng nước và hơi bão hòa nội suy sẽ tìm được.

$$p_2 = 0,02337 + \frac{(0,03166 - 0,02337) \times 3}{5} = 0,028044 \text{ bar}$$

- Hơi bão hòa ở 23°C có ẩn nhiệt hóa hơi:

$$r = 2454 - \frac{(2454 - 2442)}{5} \times 3 = 2446,8 \text{ kJ/kg}$$

Lưu lượng nước giải nhiệt được tính theo phương trình cân bằng nhiệt:

$$G_b \times c_p (t'' - t') = r \times G_h$$

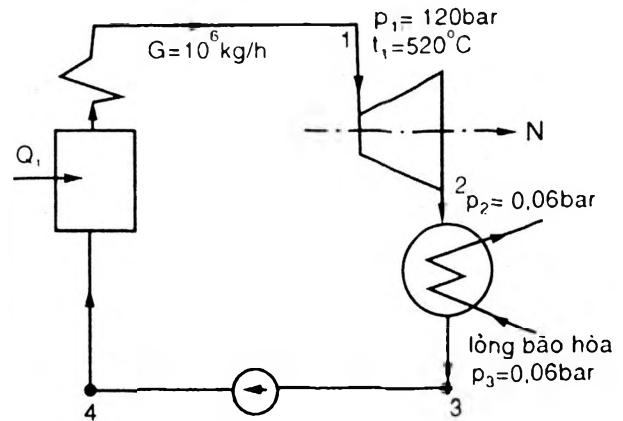
$$G_b = \frac{r G_h}{c_p (t'' - t')} = \frac{2446,8 \times 9244,8}{4,18(21 - 17)} = 901921 \text{ kg/h} = 901,921 \text{ T/h} \approx 901 \text{ m}^3 / \text{h}$$

5.31. Chu trình thiết bị động lực hơi nước hoạt động với các thông số như đã cho trong H.5.10.

Xác định:

- Công sinh ra của tua bin; công tiêu hao của bơm cấp, công suất của hệ thống thiết bị.

- Nhiệt cấp cho lò hơi, hiệu suất nhiệt của chu trình.

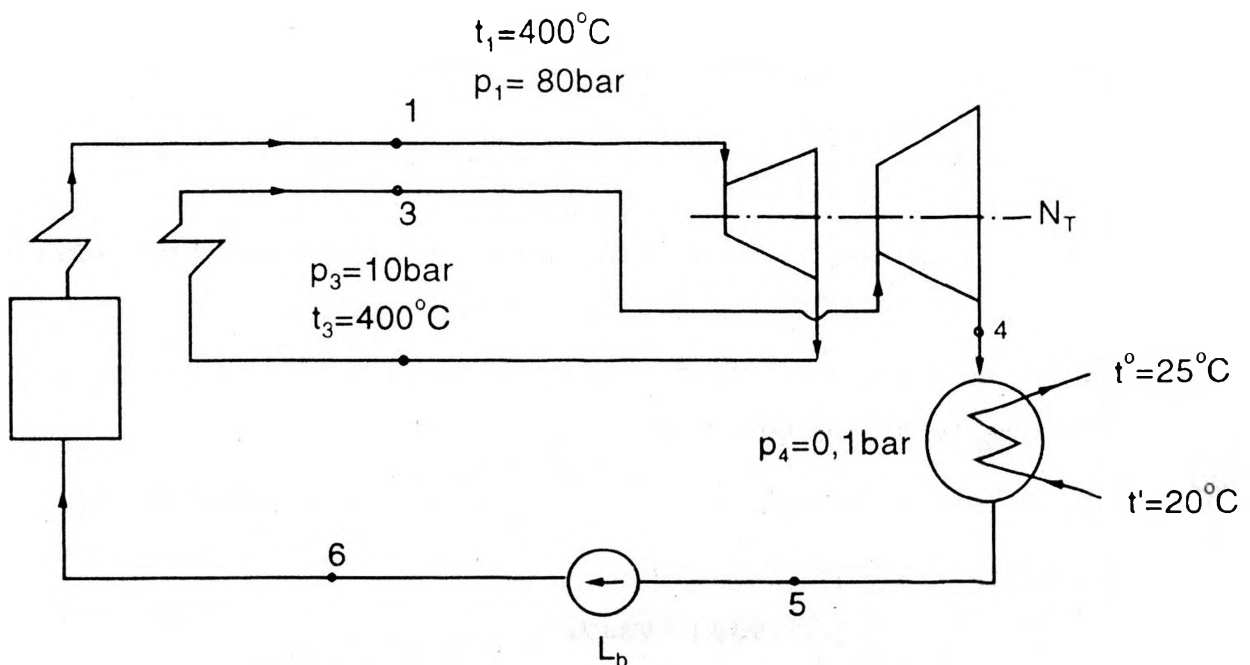


Hình 5.10

Đáp số: $l_T = 1383,5 \text{ kJ/kg}$; $l_b = 12,07 \text{ kJ/kg}$

$N = 381 \text{ Mw}$; $= 3238 \text{ kJ/kg}$; $= 42,4\%$

5.32. Chu trình quá nhiệt trung gian của nhà máy điện được biểu diễn như H.5.11:



Hình 5.11

- 1) Xác định thông số cơ bản của hơi tại các điểm đặc trưng 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- 2) Nhiệt lượng cấp cho lò Q_1 , nhiệt lượng thải qua bình ngưng Q_2 , bỏ qua công tiêu hao bơm cấp $s = \text{const}$, cho biết công sinh ra của tua bin $N_T = 160 \text{ Mw}$.
- 3) Tính lượng nước làm mát của bình ngưng, lượng dầu tiêu hao trong 1 giờ khi biết lò đốt dầu FO có nhiệt trị $Q_T = 10.000 \text{ kcal/h}$ và hiệu suất lò $\eta_l = 0,9$.

4) Biểu diễn chu trình trên đồ thị $T - s$ và $i - s$.

Đáp số:

Trạng thái 1: $v_1 = 0,03438 \text{ m}^3/\text{kg}$, $i_1 = 3135 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 6,358 \text{ kJ/kg độ}$

Trạng thái 2: $s_1 = s_2 = 6,358 \text{ kJ/kg độ}$, $x_2 = 0,95$, $i_2 = 2677 \text{ kJ/kg}$

Trạng thái 3: $p_3 = p_2 = 10 \text{ bar}$; $t_3 = 400\text{C}$; $v_3 = 0,3065$

$i_3 = 3263 \text{ kJ/kg}$, $s_3 = 7,461$

Trạng thái 4: $s_4 = s_3 = 7,461 \text{ kJ/kg}$; $x_4 = 0,91$, $i_4 = 2364 \text{ kJ/kg}$

Trạng thái 5: $x_5 = 0$; $i_5 = 191,9 \text{ kJ/kg}$; $s_5 = 0,6492 \text{ kJ/kg độ}$

Trạng thái 6: Vì bỏ qua công tiêu hao của bơm cấp nên có thể xem

$p_6 = 80 \text{ bar}$; $i_5 \approx i_6$; $s_5 \approx s_6$

Hiệu suất nhiệt của chu trình: $\eta_T = 38,5\%$

Lưu lượng hơi là cung cấp: $G_h = 424,5 \text{ T/h}$.

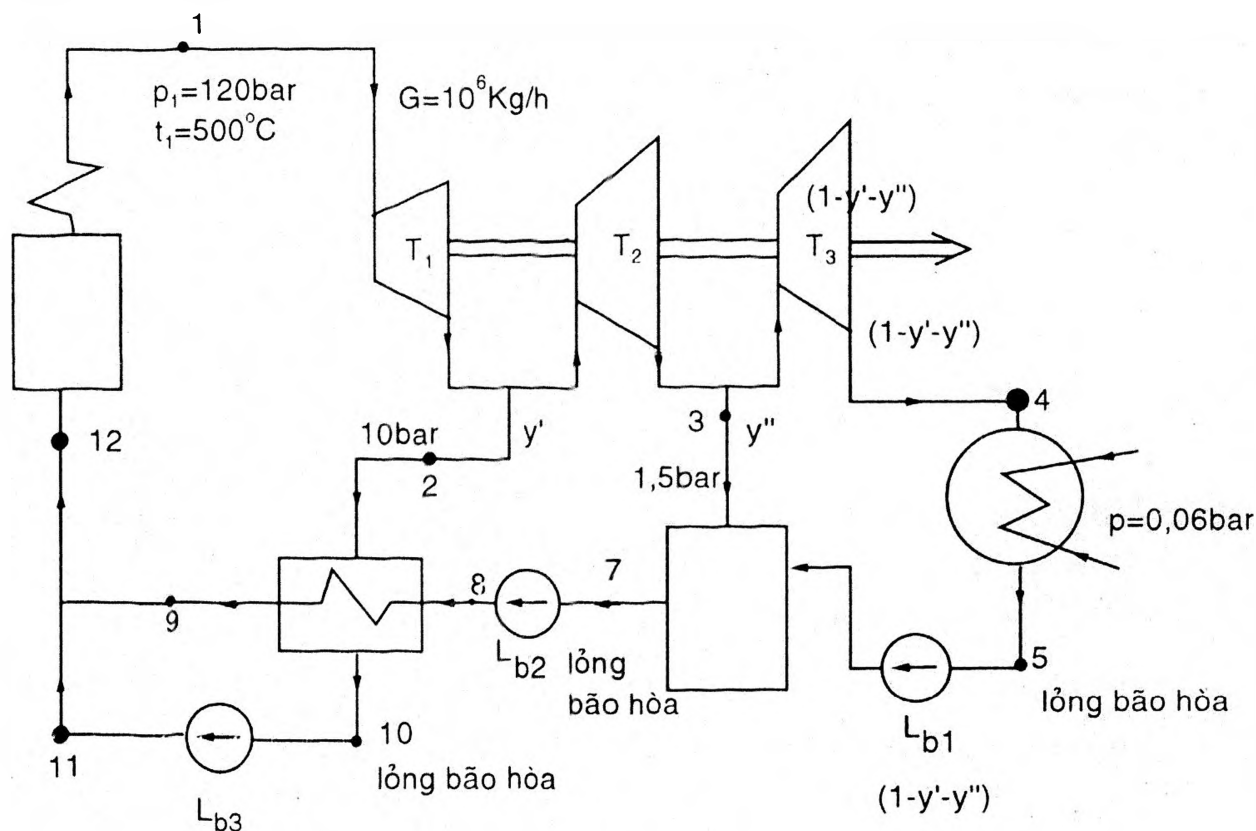
Lượng nhiệt thải qua bình ngưng: $Q_2 = 256079 \text{ kJ/s}$

Lưu lượng nước làm mát bình ngưng: $G_n = 44,109 \text{ T/h}$

Lượng nhiệt cung cấp cho lò để sinh hơi: $Q_1 = 1496,3 \text{ kJ/h}$

Lượng dầu tiêu hao: $G_d = 39,775 \text{ T/h}$.

5.33. Sơ đồ nguyên lý hoạt động và các thông số của chu trình hồi nhiệt được ghi trên H.5.12.



Hình 5.12

Xác định:

- Thông số tại các điểm đặc trưng 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.
- Công sinh ra của tua bin ứng với 1 kg, công tiêu hao của bơm ứng với 1 kg, nhiệt cấp vào cho lò hơi ứng với 1 kg hơi tuần hoàn.
- Hiệu suất thực của chu trình và công suất của nhà máy sinh ra.
- Biểu diễn trên đồ thị T – S.

Đáp số:

Trạng thái (1) $v_1 = 0,02861 \text{ m}^3/\text{kg}$; $i_1 = 3347 \text{ kJ/kg}$; $s_1 = 6,487 \text{ kJ/kgđộ}$
 $p_1 = 120 \text{ bar}$; $t_1 = 500\text{C}$

(2) $p_2 = 1,5 \text{ bar}$; $s_1 = s_2 = 6,487 \text{ kJ/kg độ}$, $x_3 = 0,977$; $i_2 = 2731,4 \text{ kJ/kg}$

(3) $p_3 = 1,5 \text{ bar}$; $s_4 = s_1 = 6,487 \text{ kJ/kg độ}$, $x_3 = 0,873$; $i_3 = 2410,2 \text{ kJ/kg}$

(4) $p_4 = 0,06 \text{ bar}$; $s_4 = s_1 = 6,487 \text{ kJ/kg độ}$, $x_4 = 0,764$, $i_4 = 1997 \text{ kJ/kg}$

(5) $p_5 = 0,06 \text{ bar}$, lỏng bão hòa, $i_5 = 151,5 \text{ kJ/kg}$

(6) $i_6 = i_5 + v_5(p_6 - p_5) = 151,67 \text{ kJ/kg}$

(7) $p_7 = 1,5 \text{ bar}$, lỏng bão hòa, $i_5 = 467,2 \text{ kJ/kg}$

(8) $i_8 = i_7 + v_7(p_8 - p_7) = 479,59 \text{ kJ/kg}$

(9) $p_9 = 120 \text{ bar}$; $t_9 = 170\text{C}$. Nội suy từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt tìm được $i_9 = 725,86 \text{ kJ/kg}$

(10) $p_{10} = 10 \text{ bar}$, lỏng bão hòa, $i_{10} = 762,7 \text{ kJ/kg}$

(11) $i_{11} = i_{10} + v_{10}(p_{11} - p_{10}) = 775,21 \text{ kJ/kg}$

(12) Cân bằng nhiệt và chất cho bình gia nhiệt thứ 2 sẽ tìm được dòng hơi trích đầu tiên:

$$y' = \frac{i_9 - i_8}{i_2 - i_{10} + i_9 + i_8} = 0,1069$$

Dòng 12 là hỗn hợp của dòng 10 và dòng 11, từ phương trình cân bằng năng lượng tìm được:

$$0 = (1 - y')i_9 + y'i_{11} - i_{12}$$

$$i_{12} = (1 - y')i_9 + y'i_{11} = 731,27 \text{ kJ/kg}$$

Cân bằng nhiệt cho bình gia nhiệt thứ nhất:

$$0 = y''i_3 + (1 - y' - y'')i_6 - (1 - y')i_7$$

$$y'' = 0,1220$$

Công sinh ra của tua bin ứng với kg môi chất:

$$l_T = (i_1 - i_2) + (1 - y')(i_2 - i_3) + (1 - y' - y'')(i_3 - i_4) = 1250,3 \text{ kJ/kg}$$

Công tiêu hao của bơm ứng với 1 kg môi chất

$$l_b = y'(i_{11} - i_{10}) + (1 - y')(i_8 - i_7) + (1 - y' - y'') = 12,58 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt cấp vào cho lò hơi:

$$q_1 = i_1 - i_2 = 2670,5 \text{ kJ/kg}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_1 = \frac{l_T - l_b}{q_1} = 0,463 = 46,3\%$$

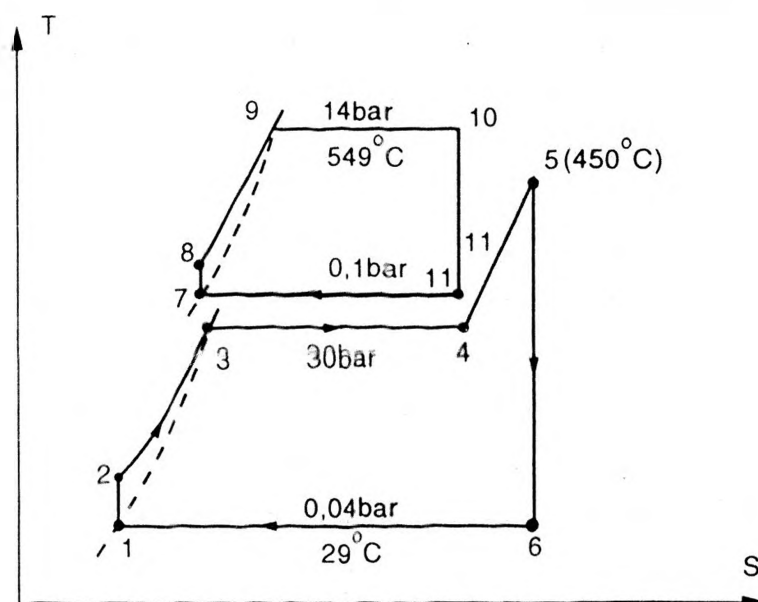
Công suất của nhà máy thực hiện:

$$W = G[l_T - l_b] = 344 \text{ Mw}$$

5.34. Tính hiệu suất nhiệt của chu trình ghép H₂O - Hg. Chu trình hơi nước vận hành với thông số hơi vào tua bin: áp suất 30 bar, nhiệt độ quá nhiệt 450°C, áp suất ngưng hơi 0,04 bar. Chu trình hơi thủy ngân bão hòa Hg hoạt động trong phạm vi áp suất 14 bar và 0,1 bar.

Giải

Để tính toán chung ta xây dựng chu trình ghép trên đồ thị T-S như H.5.13, sau đó lần lượt tính toán các thông số cho từng loại chu trình.



Hình 5.13

a) Xét chu trình hơi nước:

Trong bình trao đổi nhiệt Hg - H₂O:

$$q_{34} = i_4 - i_3 \text{ kJ/kg}$$

Từ bảng hơi bão hòa và nước sôi, với $p = 30 \text{ bar}$ tìm được:

$$i_3 = i' = 1008 \text{ kJ/kg} \quad i_4 = i'' = 2804 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{34} = 2804 - 1008 = 1976 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt cấp từ nguồn nhiệt bên ngoài:

$$q_{23} + q_{45} = (i_3 - i_2) + (i_5 - i_4) = (1008 - 121) + (3343 - 2803) = 1427 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt thải trong bình ngưng:

$$q_{61} = (i_1 - i_6) = (121 - 2133) = 2012 \text{ kJ/kg}$$

Công sinh ra của tua bin hơi nước:

$$l_{56} = (i_5 - i_6) = (3343 - 2133) = 1210 \text{ kJ/kg}$$

b) Chu trình hơi thủy ngân:

Nhiệt từ lò hơi Hg cấp cho chu trình:

$$q_{810} = (i_{10} - i_8)$$

Sử dụng bảng thông số nhiệt động của Hg trên đường bão hòa tương tự bảng hơi nước chúng ta sẽ tìm được các thông số như sau:

$$q_{8.10} = (i_{10} - i_8) = (362,55 - 34,33) = 328,22 \text{ kJ/kg}$$

Sau khi giãn nở đoạn nhiệt trong tua bin thủy ngân ta tìm được:

$$x_{11} = 0,7286, \quad \text{và: } i_{11} = 248,93 \text{ kJ/kg}$$

Công sinh ra của tua bin thủy ngân:

$$l_{10.11} = (i_{10} - i_{11}) = 113,62 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt thải trong quá trình ngưng hơi Hg:

$$q_{711} = (i_{11} - i_7) = -214,6 \text{ kJ/kg}$$

Bội số tuần hoàn của thủy ngân:

$$m(i_7 - i_{11}) + 1(i_4 - i_3) = 0$$

$$m = \frac{1795}{214,6} = 8,364$$

Nhiệt lượng cấp cho chu trình ghép:

$$Q_A = mq_{8.10} + 1(q_{23} + q_{45}) = 2745 + 1427 = 4172 \text{ kJ/kg}$$

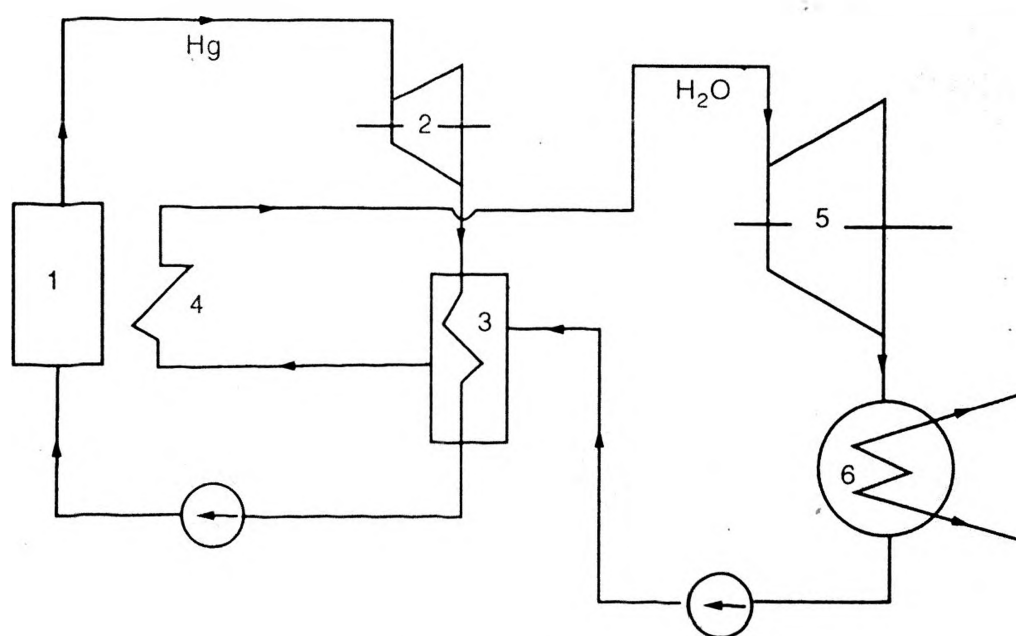
Công sinh ra của chu trình ghép (bỏ qua công tiêu hao của bơm cấp) :

$$L = ml_{10.11} + l_{5.6} = 950 + 1210 = 2160 \text{ kJ/kg}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = \frac{L}{Q_A} = \frac{2160}{4172} = 0,518 = 51,8\%$$

5.35. Tua bin hơi thủy ngân công suất $N_{\text{Hg}} = 10 \text{ MW}$ làm việc với hơi Hg bão hòa khô ở áp suất $p_{1\text{Hg}} = 8 \text{ at}$. Sau khi giãn nở đoạn nhiệt trong tua bin hơi ẩm Hg ở áp suất $p_{2\text{Hg}} = 0,1 \text{ at}$, hơi này được chuyển vào bình ngưng hơi Hg 3 và đồng thời lại là bình bốc hơi của nước. Hơi nước bão hòa khô ở bình ngưng- bình bốc hơi 3 đi vào bộ quá nhiệt 4, ở đây hơi được quá nhiệt đến nhiệt độ 450°C , tiếp theo hơi quá nhiệt vào tua bin hơi. Sau khi giãn nở đoạn nhiệt tua bin, hơi có áp suất $0,04 \text{ at}$ đi vào bình ngưng để ngưng tụ thành nước bão hòa và được bơm về bộ trao đổi nhiệt.



Hình 5.14

Xác định:

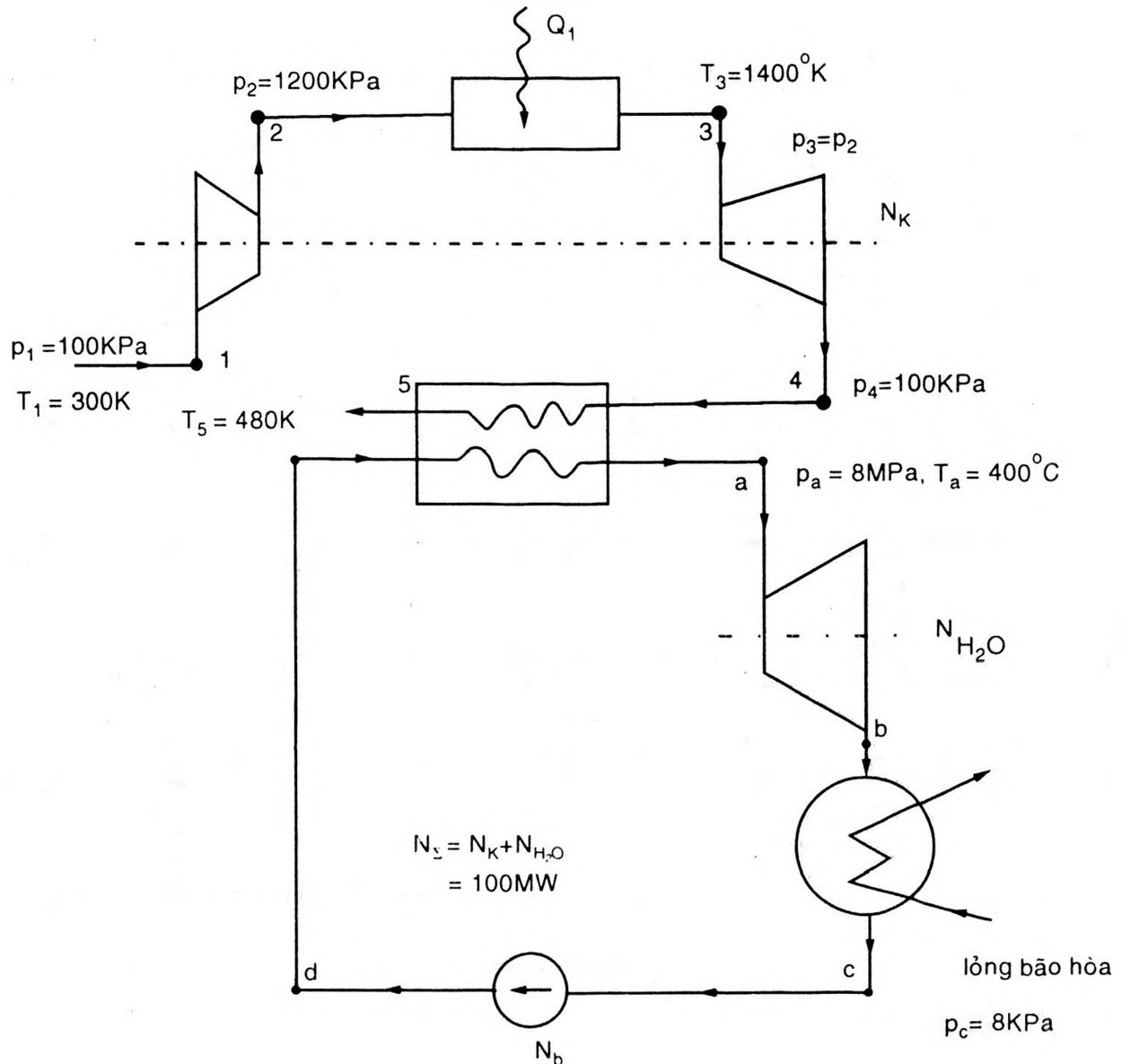
- Hiệu suất của chu trình ghép
- Hiệu suất của chu trình hơi nước làm việc khi không có chu trình hơi Hg.
- Công suất của tua bin hơi nước và của toàn bộ thiết bị. Khi tính toán bỏ qua công tiêu hao của bơm cấp.

Đáp án: a) $\eta_{\text{tHg.H}_2\text{O}} = 55,3\%$

b) $\eta_{\text{t.H}_2\text{O}} = 38,5\%$

c) $N_{\text{H}_2\text{O}} = 10,3 \text{ Mw}$; $N_{\text{Hg.H}_2\text{O}} = 20,3 \text{ Mw}$

5.36. Nhà máy điện chạy theo chu trình hỗn hợp khí hơi với sơ đồ hoạt động và các thông số đã cho trên H.5.15. Công suất của nhà máy $N = 100 \text{ MW}$.



Hình 5.15

Xác định:

- Công sinh ra của chu trình tua bin khí
- Công sinh ra của chu trình tua bin hơi
- Hiệu suất nhiệt của chu trình tua bin khí, hiệu suất nhiệt của chu trình tua bin khí hỗn hợp.

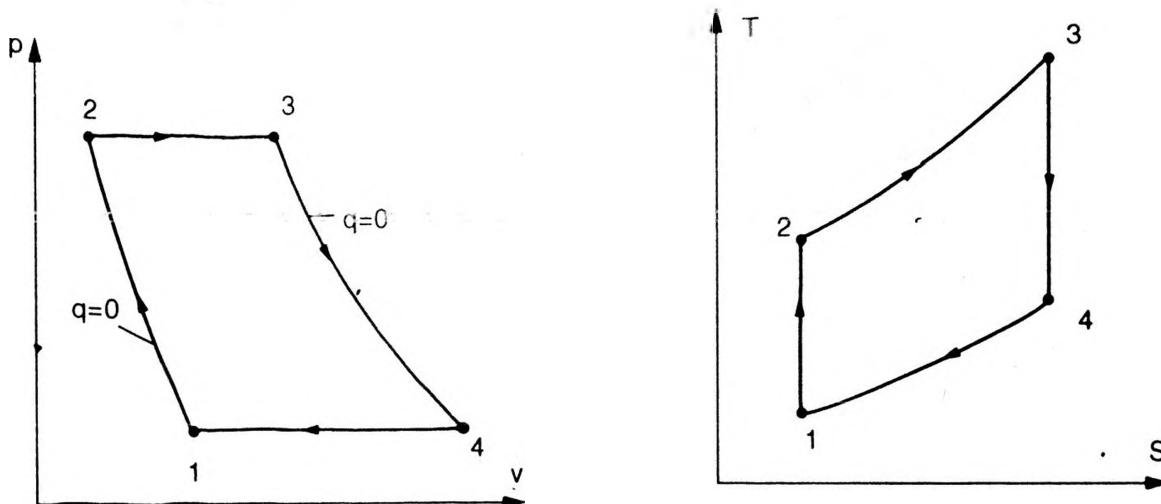
Khi tính toán xem môi chất chu trình khí như không khí, nhiệt dung riêng xem là hằng số, bỏ qua sự biến đổi động năng, xem các quá trình trong chu trình là thuận nghịch).

Giải

1) Chu trình tua bin khí:

Thông số tại các điểm đặc trưng:

Điểm 1: $p_1 = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$



$$p_1 v_1 = RT_1 \rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \times 300}{1 \cdot 10^5} = 0,83 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Điểm 2: $p_2 = 1200 \text{ KPa} = 12 \text{ bar}$

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k \rightarrow v_2 = v_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/k} = v_1 \left(\frac{1}{12} \right)^{1/1.4}$$

$$v_2 = v_1 (0,083)^{0,714} = 0,169 v_1 = 0,145 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{R} = \frac{(12 \cdot 10^5) \times 0,145}{287} = 606,3 \text{ }^\circ\text{K}$$

Điểm 3: $T_3 = 1400 \text{ }^\circ\text{K}$, $p_3 = p_2 = 12 \text{ bar}$

$$v_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{287 \times 1400}{12 \cdot 10^5} = 0,3348 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Điểm 4: $p_4 = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$

$$p_3 v_3^k = p_4 v_4^k \rightarrow v_4 = v_3 \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{1/k} = v_3 (12)^{0,714}$$

$$v_4 = 5,895 v_3 = 1,973 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_4 = \frac{p_4 v_4}{R} = \frac{(1 \cdot 10^5) \times 1,973}{287} = 687,8 \text{ }^\circ\text{K}$$

Điểm 5: $p_5 = p_4 = 1 \text{ bar}$, $T_5 = 480 \text{ }^\circ\text{K}$

Công tiêu hao của máy nén:

$$l_{mn} = \frac{k}{k-1} R (T_1 - T_2) = \frac{1,4}{1,4-1} \times 287 (300 - 606) = 307,4 \text{ kJ/kg}$$

Công sinh ra của tua bin khí:

$$l_{TK} = \frac{k}{k-1} R(T_3 - T_4) = 715,6 \text{ kJ/kg}$$

Công của chu trình khí thực hiện:

$$l_k = l_{TK} - |l_{mn}| = 715,6 - 307,4 = 408 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt cấp vào chu trình:

$$|q_1| = c_p(T_3 - T_2) = 1 \times (1400 - 606) = 794 \text{ kJ/kg}$$

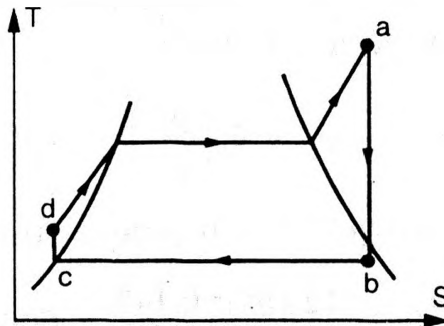
Nhiệt thải của chu trình:

$$|q_2| = c_p(T_4 - T_1) = 1 \times (687,8 - 300) = 387 \text{ kJ/kg}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình khí:

$$\eta_{tk} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{387}{794} \approx 51,2\%$$

2) Chu trình hơi nước khai thác phần nhiệt lượng thải của chu trình khí phía trước:



Điểm a: $T_a = 400 \text{ C}$; $p_a = 80 \text{ bar}$

Tra bảng hơi nước quá nhiệt ta tìm được các thông số:

$$i_a = 3135 \text{ kJ/kg}; \quad v_a = 0,0348 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad s_a = 6,358 \text{ kJ/kg độ}$$

Điểm b: $s_b = s_a = 6,358 \text{ kJ/kg độ}$

$$p_b = 8 \text{ kPa} = 0,08 \text{ bar}$$

Tra bảng hơi nước bão hòa được:

$$i' = 173,9 \text{ kJ/kg}; \quad i'' = 2576 \text{ kJ/kg}; \quad r = 2402 \text{ kJ/kg}$$

$$s' = 0,5927 \text{ kJ/kg độ}; \quad s'' = 8,227 \text{ kJ/kg độ}$$

$$x_b = \frac{s_b - s'}{s'' - s'} = \frac{6,358 - 0,5927}{8,227 - 0,5927} = 0,755$$

$$i_b = i' + r x_b = 173,9 + 2402 \cdot 0,755 = 1987,4 \text{ kJ/kg}$$

Điểm c: $i_c = i' = 173,9 \text{ kJ/kg}$

$$s_c = s' = 0,5927 \text{ kJ/kg độ}$$

Điểm d: $s_d = s_c = 0,5927 \text{ kJ/kg độ}$

Vì nước là chất lỏng không chịu nén nên công tiêu hao của bơm cấp được tính:

$$l_b = v(p_d - p_c) = 0,001(80 - 0,08) \cdot 10^5 = 7992 \text{ kJ/kg} = 7,992 \text{ kJ/kg} \approx 8 \text{ kJ/kg}$$

Công sinh ra của tua bin hơi:

$$l_{TH} = i_a - i_b = 3135 - 1987 = 1148 \text{ kJ/kg}$$

Công sinh ra của chu trình hơi:

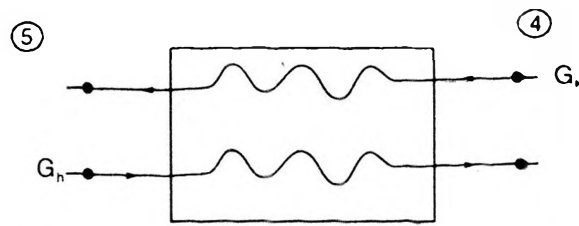
$$l_H = l_{TH} - |l_b| = 1148 - 8 = 1140 \text{ kJ/kg}$$

Nhiệt thải của chu trình hơi nước:

$$q_{2H} = i_b - i_c = 1987 - 174 = 1813 \text{ kJ/kg}$$

Chúng ta cần phải tìm tỷ lệ lưu lượng giữa hơi G_h khí G_k trong thiết bị hồi nhiệt, để giải quyết vấn đề này cần phải viết phương trình cân bằng năng lượng cho thiết bị trao đổi nhiệt này.

Nếu xét ứng với $G_h = 1 \text{ kg}$ thì:



$$\textcircled{d} \quad G_k c_{pk} (T_4 - T_5) = G_h (i_a - i_d) = (i_a - i_d)$$

$$\frac{G_k}{G_h} = \frac{i_a - i_d}{c_{pk} (T_4 - T_5)} = \frac{3135 - 182}{1 \times (687,5 - 480)} = \frac{2953}{207,5} = 14,23; \quad \frac{G_h}{G_k} = 0,0702$$

Vì xem khí cháy như không khí nên gần đúng xem $= 1 \text{ kJ/kg độ}$. Trong chu trình tua bin khí hỗn hợp, chu trình hơi là để tận dụng nhiệt lượng thải của chu trình khí, do đó công sinh ra của chu trình hỗn hợp được tính:

$$N_{hh} = G_k \left(408,28 + \frac{G_h}{G_k} \times 1140 \right) = G_k (408,28 + 0,0702 \times 1140) = 488 G_k$$

Công suất của thiết bị là:

$$N_{hh} = 100 \text{ MW} = 100 \cdot 10^6 \text{ J/s} = 100 \cdot 10^3 \text{ kJ/s} = 10^5 \text{ kW}$$

Do đó từ đây tính được lưu lượng khí G_k trong chu trình khí:

$$G_k = \frac{10^5}{488} = 204,9 \text{ kg/s}; \quad G_h = 0,07 \times 204,9 = 14,35 \text{ kg/s} = 51,7 \text{ T/h}$$

Công sinh ra của phần tua bin hơi:

$$N_{TH} = 14,35 \times 1140 = 16359 \text{ kW}$$

Công sinh ra của tua bin khí:

$$N_{TK} = 204,9 \times 408 = 83599 \text{ kW}$$

Nhiệt cấp cho chu trình hỗn hợp:

$$Q_{1hh} = G_k \times q_1 = 204,9 \times 794 = 159594 \text{ kW}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình hỗn hợp:

$$\eta_{thh} = \frac{N_{hh}}{Q_{1hh}} = \frac{100.000}{159.594} = 0,626 = 62,6\%$$

5.37. Chu trình tuabin khí cấp nhiệt đẳng áp lý tưởng (air standard Brayton cycle) hoạt động với các thông số sau:

Không khí hút vào máy nén $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$, $T_1 = 300^\circ\text{K}$; áp suất ra khỏi máy nén $p_2 = 0,6 \text{ MPa}$, nhiệt độ cực đại của chu trình $T_{\max} = 1200^\circ\text{K}$.

a) Xác định thông số p , v , T tại các điểm đặc trưng và tính hiệu suất nhiệt của chu trình.

b) Nếu động cơ tuabin khí hoạt động theo chu trình thực (actual Brayton cycle) với các thông số p_{\max} , p_{\min} , T_{\max} vẫn như câu a nhưng hiệu suất của tuabin $\eta_T = 0,85$, hiệu suất của máy nén $\eta_c = 0,8$, giáng áp giữa máy nén và tuabin là 15 kPa , áp suất thải của tuabin cao hơn áp suất môi trường là 10 kPa . Nếu tuabin có công suất quay máy phát điện $N_x = 100 \text{ MW}$, dầu đốt có nhiệt trị là 10.000 kcal/kg thì hiệu suất nhiệt của thiết bị là bao nhiêu, công suất của máy nén (công suất tự dùng) là bao nhiêu. Xác định lượng nhiên liệu (dầu) cần cung cấp cho tổ máy tua bin khí G_d [tấn/h]. Chất môi giới xem như không khí $\mu = 29$; $k = 1,4$, nhiệt dung riêng xem là hằng số.

Đáp số:

$$\text{a) } T_2 = 500,5^\circ\text{K}; \quad T_4 = 719,2^\circ\text{K}; \quad \eta_t = 40,3\%$$

$$\text{b) } \eta'_t = 21\%; \quad G_d = 40,9 \text{ T/h}$$

LƯU ĐỘNG VÀ TIẾT LƯU

6.1 LƯU ĐỘNG

6.1.1. Khái niệm

Lưu động là sự chuyển động của dòng môi chất, ở đây ta chủ yếu nghiên cứu sự chuyển động của dòng khí hoặc hơi. Chúng ta chỉ nghiên cứu dòng lưu động đoạn nhiệt (không trao đổi nhiệt với môi trường) của môi chất khí không thực hiện công với môi trường.

- Tốc độ âm thanh ký hiệu a , là tốc độ của sự lan truyền các chấn động trong môi trường.

- Số Mach ký hiệu M , là tỷ số giữa tốc độ của dòng khí (hoặc hơi) và tốc độ âm thanh trong dòng khí đó:

$$M = \omega/a$$

- Ống tăng tốc là ống mà khi dòng môi chất lưu động qua tốc độ sẽ tăng lên và áp suất giảm xuống. Có ba loại ống tăng tốc : ống tăng tốc nhỏ dần (có tiết diện nhỏ dần), ống tăng tốc lớn dần (có tiết diện lớn dần) và ống tăng tốc hỗn hợp hay Lavan (gồm phần đầu là ống nhỏ dần, phần sau là ống lớn dần).

- Ống tăng áp là ống mà khi dòng môi chất lưu động qua tốc độ giảm và áp suất tăng. Ống tăng áp cũng có ba loại giống như ống tăng tốc.

- Gọi $\beta = p_2/p_1$ là tỷ số áp suất giữa áp suất tại cửa ra của ống p_2 và áp suất tại cửa vào p_1 . Dòng khí chuyển động trong ống, tại một nơi nào đó của ống mà tốc độ của dòng khí bằng tốc độ âm thanh $\omega = a$, lúc này dòng khí đạt tới trạng thái tới hạn. Các thông số của dòng khí đạt tới trạng thái tới hạn. Các thông số của dòng khí tại trạng thái tới hạn gọi là thông số tới hạn ví dụ tốc độ tới hạn ω_k , áp suất tới hạn p_k , tỷ số áp suất tới hạn $\beta_k = p_k/p_1$. Với khí hai nguyên tử, giá trị tỷ số áp suất tới hạn $\beta_k = 0,528$, với hơi nước quá nhiệt $\beta_k = 0,55$.

6.1.2. Xác định tốc độ và lưu lượng

1- Tốc độ tại cửa ra của ống tăng tốc

Với khí xem như khí lý tưởng thường được tính theo công thức:

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_1 [1 - \beta^{k-1/k}]}, \text{ m/s} \quad (6.1)$$

ở đây: R (J/kg $^\circ$ K) - hằng số chất khí; T_1 ($^\circ$ K) - nhiệt độ khi dòng vào ống

k - số mũ đoạn nhiệt ($k = 1,4$ với khí 2 nguyên tử như O_2, N_2 ... không khí)

$\beta = p_2/p_1$ - tỷ số áp suất.

Với hơi nước thường tính theo công thức:

$$\omega_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2)}, \text{ m/s} \quad (6.2)$$

ở đây: i_1 - entanpi của hơi khi vào ống (xác định theo bảng và đồ thị hơi)

i_2 - entanpi của hơi sau khi lưu động đoạn nhiệt qua ống.

2- Tốc độ tới hạn

Với khí lý tưởng:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_1 [1 - \beta_k^{k-1/k}]}, \text{ m/s} \quad (6.3)$$

$\beta_k = p_k/p_1$ - tỷ số áp suất tới hạn.

Với hơi nước:

$$\omega_k = \sqrt{2(i_1 - i_k)}, \text{ m/s} \quad (6.4)$$

i_k (J/kg) - entanpi trạng thái tới hạn (tại nơi có áp suất $p_k = p_1 \beta_k$) được xác định từ đồ thị $i - s$ hoặc từ bảng hơi nước khi biết p_k và $s_1 = s_k$.

3- Lưu lượng

Lưu lượng xác định từ phương trình liên tục: $G = \frac{\omega f}{v} = \text{const.}$

Nếu ta viết phương trình liên tục tại tiết diện ra của ống tăng tốc:

$$G = f_2 \omega_2 / v_2, \text{ kg/s} \quad (6.5)$$

ở đây: f_2 (m^2) - tiết diện ra của ống; ω_2 (m/s) - tốc độ; v_2 (m^3/kg) - thể tích riêng

Trong công thức trên nếu cho f_2 thì tính G và ngược lại. Thông số v_2 được xác định từ đồ thị $i - s$ hoặc phải giải bài toán quá trình đoạn nhiệt 1 - 2 khi biết p_1, v_1, p_2 và $S_1 = S_2$.

4- Lưu lượng lớn nhất

Tại trạng thái tới hạn, lưu lượng của dòng môi chất đạt giá trị lớn nhất G_{max} .

Với ống tăng tốc nhỏ dần lưu lượng lớn nhất được tính:

$$G_{\max} = \frac{f_2 g \omega_k}{v_k}, \text{ kg/s} \quad (6.6)$$

Với ống tăng tốc hỗn hợp (ống Lavan):

$$G_{\max} = f_{\min} \cdot \omega_k / v_k, \text{ kg/s} \quad (6.7)$$

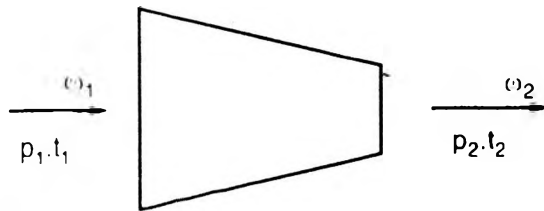
Trong các công thức trên: $f_2 (m^2)$ - tiết diện cửa ra của ống;

$f_{\min} (m^2)$ - tiết diện tại nơi hẹp nhất của ống hỗn hợp; $\omega_k (m/s)$ - tốc độ tới hạn; (m^3/kg) $v_k (m^3/kg)$ - thể tích riêng tới hạn. Thể tích riêng v_k - được xác định từ điểm K (trên đồ thị $i - s$ là giao điểm của và $S_1 = S_2$) hoặc từ việc giải quá trình đoạn nhiệt 1 - K.

6.1.3. Ống tăng tốc

1- Ống tăng tốc nhỏ dần

Tốc độ ra của ống tăng tốc nhỏ dần luôn luôn nhỏ hơn hoặc bằng tốc độ âm thanh ($M = 1$). Vậy khi tính toán phải so sánh tỷ số áp suất $\beta = p_2 / p_1$ và β_k



Hình 6.1

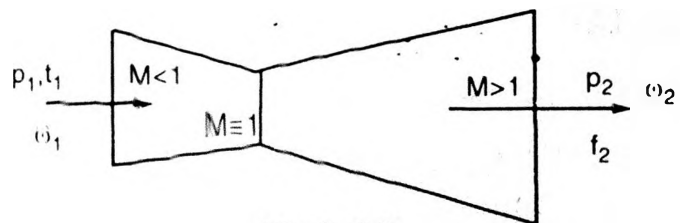
- Nếu $\beta > \beta_k$ thì $\omega_2 < \omega_k$; $G_2 < G_{\max}$

và ω_k tính theo (6.1) hoặc (6.2), tính G theo (6.5).

- Nếu $\beta \leq \beta_k$, lúc này $\omega_2 = \omega_k$, $G_2 = G_{\max}$ và ω_k tính theo (6.3) hoặc (6.4), G_{\max} tính theo (6.6)

2- Ống tăng tốc hỗn hợp

Mục đích của ống tăng tốc hỗn hợp là nhằm tạo ra tốc độ ra ω_2 lớn hơn tốc độ âm thanh ($M > 1$) trong khi tốc độ vào nhỏ hơn tốc độ âm thanh ($M < 1$). Vậy khi



Hình 6.2

thiết kế cũng như vận hành phải bảo đảm điều kiện $\beta < \beta_k$ và khi đó tại tiết diện tốc độ bằng tốc độ tới hạn ω_k , tại tiết diện ra f_2 (H.6.2) tốc độ ω_2 lớn hơn tốc độ âm thanh. ω_k tính theo (6.3) hoặc (6.2) lưu lượng luôn luôn bằng lưu lượng lớn nhất $G = G_{\max}$ và tính theo (6.7) hoặc (6.5).

6.2 QUÁ TRÌNH TIẾT LƯU

- Tiết lưu là quá trình giảm áp suất của dòng môi chất chuyển động trong ống khi gặp trở ngại đột ngột do đặt các van ..., ta có $p_2 < p_1$.

p_1 - áp suất của dòng môi chất trước khi tiết lưu

p_2 - áp suất của dòng môi chất sau khi tiết lưu.

- Tính chất của dòng môi chất tiết lưu đoạn nhiệt (không trao đổi nhiệt với bên ngoài) là entanpi trước khi tiết lưu i_1 bằng entanpi sau khi tiết lưu i_2 : $i_1 = i_2$

- Nghiên cứu sự thay đổi nhiệt độ của khí thực người ta rút ra những kết quả sau: ứng với mỗi giá trị của áp suất một môi chất có hai giá trị nhiệt độ chuyển biến là nhiệt độ chuyển biến của pha hơi T_{cb}^h và pha lỏng T_{Cb}^l ($T_{Cb}^h > T_{Cb}^l$). Nếu chất khí (hoặc hơi) ở điều kiện p_1 , T_l và T_1 nhỏ hơn nhiệt độ chuyển biến của pha hơi ($T_1 < T_{Cb}^h$) thì khi tiết lưu nhiệt độ của môi chất sẽ giảm ($T_2 < T_1$). Ngược lại với chất lỏng ở p_1 , $T_l > T_{Cb}^l$ thì sau tiết lưu nhiệt độ của chất lỏng cũng giảm.

- Tiết lưu của chất lỏng ở nhiệt độ bão hòa (nhiệt độ sôi): Khi tiết lưu do áp suất giảm nên kéo theo sự giảm mạnh của nhiệt độ sôi, ví dụ chất lỏng NH_3 ở áp suất $p_1 = 5$ at, nhiệt độ sôi tương ứng $t_{s1} = 3,6^\circ C$, nhưng sau khi tiết lưu áp suất $p_2 = 1$ at thì nhiệt độ sôi tương ứng $t_{s2} = 34^\circ C$. Hiện tượng này được ứng dụng trong các máy lạnh thông thường.

BÀI TẬP

6.1. Khí oxy có áp suất $p_1 = 60$ at, nhiệt độ $t_1 = 100^\circ C$ lưu động qua ống tăng tốc nhỏ dần vào môi trường có $p_2 = 36$ at. Xác định tốc độ của dòng khí tại cửa ra của ống và lưu lượng nếu biết tiết diện khi ra của ống $f_2 = 20$.

Giải

Oxy là khí hai nguyên tử nên $p_k = 0,528$.

Ở đây $\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{36}{60} = 0,6$ lớn hơn β_k , vậy tốc độ của dòng khí $\omega_2 <$

ω_k và lưu lượng $G < G_{max}$.

Tốc độ của dòng khí ω_2 theo (6.1):

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_1 (1 - \beta^{k-1/k})} = \sqrt{\frac{2 \times 1,4}{1,4-1} \frac{8314}{32} (100 + 273) \left[1 - \left(\frac{36}{60} \right)^{0,2857} \right]} = 304 \text{ m/s}$$

Lưu lượng của dòng khí tính theo (6.5):

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

Vì 1-2 là quá trình đoạn nhiệt nên:

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/k} = \beta^{1/k} = 0,6^{1/1,4} = 0,694$$

$$v_2 = v_1 / 0,694$$

$$v_1 \frac{RT_1}{p_1} = \frac{8314 \times 373}{32 \times 60 \times 0,98 \times 10^5} = 0,165 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = \frac{0,0165}{0,694} = 0,02378 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Vậy lưu lượng của dòng khí:

$$G = \frac{20 \times 10^{-6} \times 304}{0,02378} = 0,250 \text{ kg/s}$$

6.2. Không khí từ bình chứa có áp suất $p_1 = 100 \text{ bar}$, nhiệt độ $t_1 = 15^\circ\text{C}$ chảy ra ngoài trời qua ống tăng tốc nhỏ dần có đường kính trong cửa ra là $d_2 = 10 \text{ mm}$. Xác định tốc độ của dòng khí tại cửa ra của ống và lưu lượng không khí nếu áp suất ngoài trời là 1 bar .

Giải

Không khí được xem là khí hai nguyên tử có $k = 1,4$ và $\beta_k = 0,528$.

Ở đây: $\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{100} < \beta_k$, vậy tốc độ $\omega_2 = \omega_k$ và $G = G_{\max}$.

Tốc độ ω_k được xác định theo (6.3):

$$\omega_k = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_1 (1 - \beta^{k-1/k})} = \frac{k-1}{k} = \frac{1,4-1}{1,4} = \frac{0,4}{1,4} = 0,2857$$

$$T_1 = 15 + 273 = 288^\circ\text{K}; \quad R = 287$$

$$\omega_k = \sqrt{\frac{2 \times 1,4}{1,4-1} \times 287 \times 288 (1 - 0,528^{0,2857})} = 310 \text{ m/s}$$

Lưu lượng lớn nhất xác định theo (6.6)

$$G_{\max} = \frac{f_2 \omega_k}{v_k}$$

$$v_i = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \times 288}{100 \cdot 10^5} = 0,00827 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\frac{v_1}{v_k} = \beta_k^{1/k} = 0,52^{1/1,4} = 0,634$$

$$v_k = \frac{v_1}{0,634} = \frac{0,00827}{0,634} = 0,013 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$f_2 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,01^2}{4} = 0,0000785 \text{ m}^2$$

$$\text{Vậy: } G_{\max} = \frac{0,0000785 \times 310}{0,013} = 1,872 \text{ kg/s}$$

6.3. Khí hai nguyên tử có $R = 294,3 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$ trước khi vào ống phun nhỏ dần (tăng tốc nhỏ dần) có $p_1 = 63,7 \text{ bar}$, $T_1 = 300^\circ\text{K}$, chảy vào môi trường có $p_2 = 35,4 \text{ bar}$. Xác định tốc độ và lưu lượng nếu biết đường kính trong của ống ở cửa ra $d_2 = 5 \text{ mm}$.

Đáp số: $\omega_2 = 310 \text{ m/s}$; $G = 0,257 \text{ kg/s}$

6.4. Không khí được nén tới $p_1 = 50 \text{ bar}$, $t_1 = 27^\circ\text{C}$ được phun vào trong xi lanh lạnh động cơ đốt trong diesel qua vòi phun. Áp suất bên trong xi lanh $p_2 = 35 \text{ bar}$.

Xác định tốc độ của không khí tại cửa ra của vòi phun.

Đáp số: $\omega_2 = 241 \text{ m/s}$

6.5. Không khí có áp suất $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 15^\circ\text{C}$ từ bình A chảy vào bình B có áp suất p_2 qua vòi phun.

Xác định trị số áp suất p_2 để tốc độ không khí ở cửa ra vòi phun bằng tốc độ âm thanh và giá trị tốc độ này là bao nhiêu.

Đáp số: $p_2 = p_k = 0,528 \text{ bar}$; $\omega_2 = \omega_k = 310 \text{ m/s}$

6.6. Hơi nước có áp suất $p_1 = 18 \text{ bar}$, $t_1 = 400^\circ\text{C}$ chảy qua ống tăng tốc nhỏ dần vào môi trường có $p_2 = 1 \text{ bar}$.

Xác định tốc độ tại cửa ra của ống và lưu lượng hơi nếu biết đường kính trong của ống $d_2 = 20 \text{ mm}$.

Giải

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p_1 = 18 \text{ bar}$ ta có $t_s = 207^\circ\text{C}$ ở đây $t_1 = 400^\circ\text{C} > t_s$, vậy hơi ban đầu là hơi quá nhiệt. Với hơi quá nhiệt

$\beta_k = 0,55$, ở đây $\beta = \frac{1}{18} < \beta_k$ do đó tốc độ hơi ở cửa ra $\omega_2 = \omega_k$, lưu lượng $G = G_{max}$.

Giải bằng đồ thị:

Dùng đồ thị $i - s$ để giải rất đơn giản. Điểm 1 là giao điểm của đường $p_1 = 18 \text{ bar}$ và đường $t_1 = 400^\circ\text{C}$, từ đây sẽ tìm được i_1 .

Điểm K là giao điểm của $p_k = \beta_k = 0,55 \times 18 \approx 10 \text{ bar}$ và đường $S_1 = S_k = \text{const}$.

Từ đó tìm được i_k, v_k trên đồ thị.

Nếu giải bằng bảng hơi nước:

Từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt với $p_1 = 18 \text{ bar}, t_1 = 400^\circ\text{C}$ tìm được:

$$i_1 = 3249 \text{ kJ/kg}; S_1 = 7,175 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Bây giờ ta phải xét xem ở trạng thái điểm K hơi nước là hơi gì, muốn vậy từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $p = 10 \text{ bar}$ ta tìm được $S'' = 6,587 < S_1 = S_k$ nên hơi ra là hơi quá nhiệt. Từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt theo $p_k = 10 \text{ bar}$ tới cột có $s = 7,116 \text{ kJ/kg}$ độ ứng với nhiệt $t = 300^\circ\text{C}$, gần đúng có thể xem k ở trạng thái này, ta có:

$$i_k = 3107 \text{ kJ/kg} \quad v_k = 0,27 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\omega_k = \sqrt{2(i_1 - i_k)} = 2(3249 - 3107) \cdot 10^3 = 533 \text{ m/s}$$

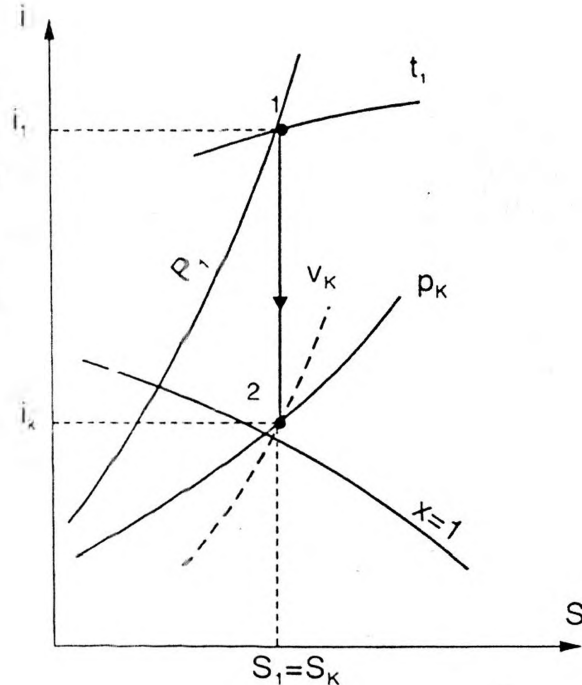
Lưu lượng G_{max} :

$$G_{max} = \frac{f_2 \omega_k}{v_k} = \frac{(3.14 \times 0,02)^3 \times 533}{4 \times 0,27} = 0,62 \text{ kg/s}$$

6.7. Hơi nước có áp suất $p_1 = 10 \text{ bar}, t_1 = 300^\circ\text{C}$ chảy qua ống tăng tốc nhỏ dần vào môi trường với hai trường hợp sau:

- 1) $p_2 = 6 \text{ bar}$
- 2) $p_2 = 2 \text{ bar}$

Xác định tốc độ lưu động và lưu lượng trong hai trường hợp trên nếu biết



Hình 6.3

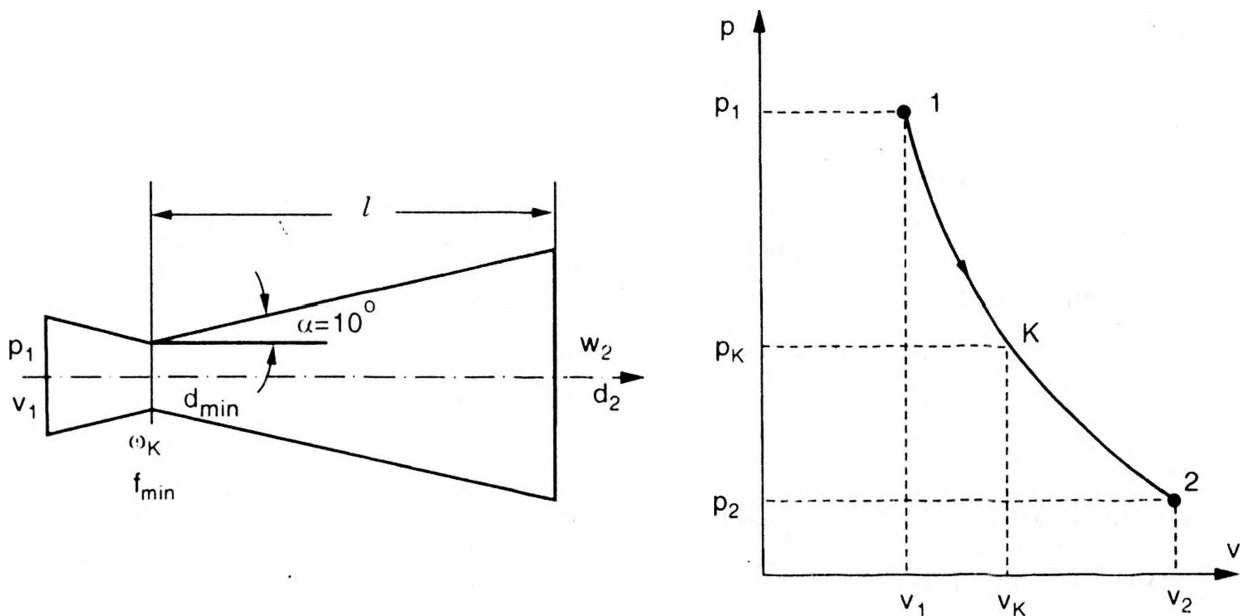
tiết diện ra của ống $f_2 = 30 \text{ cm}^2$.

Đáp số: 1) $\omega_2 = 502 \text{ m/s}$; $G = 3,85 \text{ kg/s}$

2) $\omega_k = 543 \text{ m/s}$; $G_{\max} = 3,88 \text{ kg/s}$

6.8. Không khí có áp suất $p_1 = 10 \text{ at}$, $t_1 = 300^\circ\text{C}$ chảy vào môi trường có $p_2 = 1 \text{ at}$ qua ống tăng tốc Lavan, lưu lượng của dòng khí bằng 4 kg/s .

Xác định tốc độ ω_k , ω_2 , tiết diện f_{\min} , f_2 và chiều dài phần ống lớn dần nếu chọn góc hình nón của phần lớn dần $\alpha = 10^\circ$ (H.6.4).



Hình 6.4

Giải

Tỷ số áp suất $\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{10} = 0,1 < \beta_k = 0,528$, vậy ống làm việc đúng điều kiện và tại f_{\min} tốc độ bằng tốc độ tới hạn ω_k , tại f_2 tốc độ $\omega_2 > \omega_k$, lưu lượng $G = G_{\max}$. Tốc độ tới hạn ω_k tính theo (6.3).

$$\omega_k = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_1 (1 - \beta_k^{k-1/k})} = \sqrt{\frac{2 \times 1,4}{1,4-1} \times 287 \times 573 [1 - 0,528^{0,2857}]} = 438 \text{ m/s}$$

Tốc độ tính theo (6.1):

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_1 (1 - \beta^{k-1/k})} = \sqrt{\frac{2 \times 1,4}{1,4-1} \times 287 \times 573 [1 - 0,528^{0,2857}]} = 745 \text{ m/s}$$

Lưu lượng:

$$G = \frac{f_{\min} \omega_k}{v_k} = \frac{f_2 \omega_2}{v_2}; \quad f_{\min} = \frac{G \cdot v_k}{\omega_k}; \quad f_2 = \frac{G \cdot v_2}{\omega_2}$$

Từ quá trình đoạn nhiệt 1 – K:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \times 573}{10 \times 0.98 \cdot 10^5} = 0.168 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_k = v_1 / \beta_k^{1/k} = \frac{0.168}{0.528^{1/1.4}} = 0.265 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Từ quá trình đoạn nhiệt 1 - 2:

$$v_2 = v_1 / \beta^{1/k} = \frac{0.168}{0.1^{0.7143}} = 0.87 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Vậy ta có: $f_{\min} = \frac{4 \times 0.265}{438} = 0.00242 \text{ m}^2$

$$f_2 = \frac{4 \times 0.87}{745} = 0.00467 \text{ m}^2$$

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4f_{\min}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.00242}{3.14}} = 0.0555 \text{ m} = 5.55 \text{ cm}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4f_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.00467}{3.14}} = 0.0771 \text{ m} = 7.71 \text{ cm}$$

Chiều dài phần ống lớn dần l :

$$l = \frac{d_2 - d_{\min}}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{7.71 - 5.55}{2 \operatorname{tg} \frac{10}{2}} = 12.34 \text{ cm}$$

6.9. Hơi nước quá nhiệt có áp suất $p_1 = 18 \text{ bar}$, $t_1 = 400^\circ\text{C}$ giãn nở đoạn nhiệt trong ống tăng tốc Lavan đến $p_2 = 1 \text{ bar}$. Biết lưu lượng qua ống là 4.5 kg/s . Xác định f_{\min} , f_2 , ω_k , ω_2 .

Giải. Ở đây $\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{18} < \beta_k = 0.55$ vậy tại f_{\min}

Tốc độ là tốc độ tới hạn ω_k , tại f_2 tốc độ $\omega_2 > \omega_k$.

Tốc độ tới hạn: $\omega_k = \sqrt{2(i_1 - i_k)}$

Trạng thái điểm K ứng với áp suất $p_k = \beta_k \cdot p_1 = 0.55 \times 18 = 10 \text{ bar}$ là hơi quá nhiệt (xem bài 6.6), từ đây tìm được:

$$i_k = 3107 \text{ kJ/kg}; \quad v_k = 0.27 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt với $p_1 = 18 \text{ bar}$, $t_1 = 400^\circ\text{C}$ tìm được $i_1 = 3249 \text{ kJ/kg}$, do đó:

$$\omega_k = \sqrt{2(i_1 - i_k)} = \sqrt{2(3249 - 3107)} = 533 \text{ m/s}$$

Ở đây nếu coi hơi quá nhiệt như khí lý tưởng hai nguyên tử với $k = 1.3$, $R = \frac{8314}{18} = 462 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$, $\beta_k = 0.55$, ta có thể dùng (6.3) tính gần đúng tốc độ ω_k .

$$\omega_k = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_1 [1 - \beta_k^{k-1/k}]} = \sqrt{\frac{2 \times 1,3}{1,3-1} \times 462 \times 673 [1 - 0,55^{0,231}]} = 589 \text{ m/s}$$

$$\text{Tiết diện bé nhất } f_{\min}: f_{\min} = \frac{G \cdot v_k}{\omega_k} = \frac{4,5 \times 0,27}{533} = 0,00228 \text{ m}^2$$

Trạng thái điểm hai là hơi bão hòa ẩm:

$$S_1 = S_2 = S'_2 + x_2(S''_2 - S'_2); \quad x_2 = \frac{S_1 - S'_2}{S''_2 - S'_2}$$

Từ bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt theo $p_1 = 18 \text{ bar}$ và $t_1 = 400^\circ\text{C}$ tìm được:

$$S_1 = 7,175 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

Từ bảng nước và hơi bão hòa với $p_2 = 1 \text{ bar}$ tìm được:

$$v''_2 = 1,694 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad i''_2 = 417,4 \text{ kJ/kg}, \quad r_2 = 2258 \text{ kJ/kg}$$

$$S'_2 = 1,3026 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}, \quad S''_2 = 7,36 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$x_2 = \frac{7,175 - 1,3026}{7,36 - 1,3026} = 0,97$$

$$v_2 = v'_2 + x_2(v''_2 - v'_2) \approx x_2 v''_2 = 0,97 \times 1,694 = 1,643 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$i_2 = i'_2 + x_2 r_2 = 417,4 + 0,97 \times 2258 = 2608 \text{ kJ/kg}$$

$$\omega_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2)} = 2(3249 - 2608) \cdot 10^3 = 1132 \text{ m/s}$$

$$f_2 = \frac{G \cdot v_2}{\omega_2} = \frac{4,5 \times 1,643}{1132} = 0,00653 \text{ m}^3$$

6.10. Tìm tốc độ lưu động tại cửa ra của ống phun Lavan và kích thước đặc trưng nếu biết lưu lượng của dòng không khí trong ống là $2,9 \text{ kg/s}$, áp suất và nhiệt độ khí ở cửa vào $p_1 = 8 \text{ at}$, $t_1 = 127^\circ\text{C}$. Áp suất môi trường $p_2 = 1 \text{ at}$, góc hình nón của ống $\alpha = 12$.

$$\text{Đáp số: } d_{\min} = 48 \text{ mm}; \quad d_2 = 63 \text{ mm}$$

$$l = 70 \text{ mm}; \quad \omega_2 = 600 \text{ m/s}$$

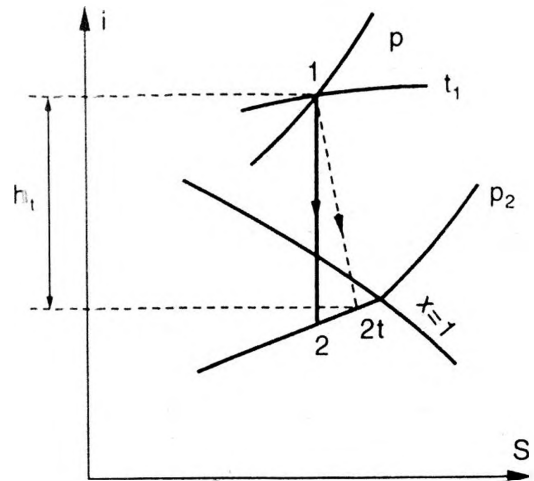
6.11. Hơi nước có $p_1 = 20 \text{ bar}$, $t_1 = 400^\circ\text{C}$ giãn nở đoạn nhiệt trong ống tăng tốc Lavan đến áp suất $p_2 = 2 \text{ bar}$.

Xác định tốc độ ω_k , ω_2 , tiết diện f_{\min} , f_2 của ống nếu biết lưu lượng dòng chảy trong ống $G = 4 \text{ kg/s}$

$$\text{Đáp số: } f_{\min} = 16 \text{ cm}^2; \quad f_2 = 32 \text{ cm}^2$$

$$\omega_k = 580 \text{ m/s}; \quad \omega_2 = 1050 \text{ m/s}$$

6.12. Hơi nước có $p_1 = 50 \text{ bar}$, $t_1 = 400^\circ\text{C}$ chảy qua ống tăng tốc hỗn hợp vào môi trường có $p_2 = 1 \text{ bar}$. Biết lưu lượng của dòng chảy trong ống là $G = 3 \text{ kg/s}$. Xác định tốc độ thực tế tại cửa ra ω_{2t} , tiết diện thực f_{2t} và độ khô x_{2t} nếu biết dòng chảy có ma sát với hệ số tốc độ $\varphi = 0,95$.



Hình 6.5

Giải

Hệ số tốc độ được định nghĩa:

$$\varphi = \frac{\omega_{2t}}{\omega_2}; \quad \omega_{2t} = \varphi \omega_2$$

ở đây: ω_2 - tốc độ lý thuyết khi bỏ qua ma sát (hoặc khi $\varphi = 1$)

ω_{2t} - tốc độ thực tế khi dòng chảy qua ống có ma sát.

$$\omega_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2)}$$

Từ đồ thị $i - s$ (hoặc sử dụng bảng hơi nước) ta tìm được:

$$i_1 = 3200 \text{ kJ/kg}; \quad i_2 = 2420 \text{ kJ/kg}$$

$$\omega_2 = 2(3200 - 2420) \cdot 10^3 = 1249 \text{ m/s}$$

$$\omega_{2t} = \varphi \omega_2 = 0,95 \times 1249 = 1187 \text{ m/s}$$

Tìm trạng thái điểm 2t:

$$\varphi = \frac{\omega_{2t}}{\omega_2} = \frac{\sqrt{2(i_1 - i_{2t})}}{\sqrt{2(i_1 - i_2)}} = \frac{\sqrt{i_1 - i_{2t}}}{\sqrt{i_1 - i_2}} = \frac{\sqrt{h_t}}{\sqrt{h}}$$

$$h_t = \varphi^2 \cdot h = 0,95^2 (3200 - 2420) = 704 \text{ kJ/kg}$$

$$h_t = i_1 - i_{2t} = 704 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{2t} = i_1 - 704 = 3200 - 704 = 2496 \text{ kJ/kg}$$

Từ đồ thị $i - s$ với $i_{2t} = 2496 \text{ kJ/kg}$ và $p_2 = 1 \text{ bar}$, ta xác định được điểm 2t có $x_{2t} = 0,92$; $v_{2t} = 1,6 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Tại cửa ra của ống tăng tốc ta có: $G = \frac{\omega_{2t} f_{2t}}{v_{2t}}$

$$\text{Do đó: } f_{2t} = \frac{G \cdot v_{2t}}{\omega_{2t}} = \frac{3 \times 1,6}{1187} = 0,004 \text{ m}^2$$

6.13. Chất lỏng NH_3 từ bình ngưng tụ của máy lạnh có áp suất $p_1 = 16 \text{ at}$ chảy qua van tiết lưu áp suất giảm xuống còn $p_2 = p_2 = 1 \text{ at}$. Xác định nhiệt độ và độ khô của NH_3 sau khi tiết lưu.

Giải

Từ đồ thị lgp - i của NH_3

Ta có:

Điểm 1 được xác định bởi giao điểm của đường $p_1 = 16 \text{ at}$ và đường giới hạn dưới $x_1 = 0$.

Điểm 2 được xác định bởi đường $p_2 = 1 \text{ at}$ và đường $i_2 = i_1$ (đường kẻ thẳng đứng).

Từ đồ thị này đường $x_2 = \text{const}$ nào đi qua điểm 2 ta sẽ đọc được giá trị x_2 , đồng thời tại giao điểm của đường $x = 1$ và đường $p_2 = 1 \text{ at}$ sẽ tìm được nhiệt độ t_2 .

Nếu dùng bảng thông số nhiệt động của hơi NH_3 (tương tự cách dùng bảng hơi nước), từ bảng NH_3 ở trạng thái bão hòa (theo áp suất) với:

$$p_1 = 16 \text{ at} \quad \text{ta có} \quad i'_1 = i_1 = 146 \text{ kcal/kg}$$

$$p_2 = 1 \text{ at} \quad i'_2 = 63,1 \text{ kcal/kg}; \quad r_2 = 327,87 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{Do đó:} \quad i_2 = i'_2 + x_2(i''_2 - i'_2) = i'_2 + x_2 r_2; \quad x_2 = \frac{i_2 - i'_2}{r_2} = \frac{i_1 - i'_2}{r_2}$$

(Vì qua tiết lưu $i_1 = i_2$)

$$x_2 = \frac{146 - 63,1}{327,87} = 0,253$$

6.14. Chất lỏng Frêon 22 từ bình ngưng tụ có nhiệt độ $t_1 = 20^\circ\text{C}$, sau khi qua van tiết lưu là hơi ẩm có $t_2 = 5^\circ\text{C}$.

Xác định entanpi i_2 , độ khô x_2 của Frêon sau tiết lưu.

$$\text{Đáp số: } i_1 = i_2 = 524,05 \text{ kJ/kg}$$

$$x_2 = 0,144$$

KHÔNG KHÍ ẨM

7.1. KHÔNG KHÍ ẨM

7.1.1. Tính chất của không khí ẩm

- Không khí ẩm là hỗn hợp của không khí khô và hơi nước. Vì phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm nhỏ nên hơi nước ở đây có thể xem như là khí lý tưởng.

- Áp suất của không khí ẩm p (là áp suất khí trời) bằng tổng phân áp suất của không khí khô p_k và hơi nước p_h :

$$p = p_k + p_h$$

- Nhiệt độ của không khí ẩm bằng nhiệt độ của không khí khô t_k , 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 và của hơi nước:

$$V = V_h = V_k$$

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

$$G = G_k + G_h$$

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

$$G \approx G_k$$

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

Cho không khí khô: $p_k V = G_k R_k T$

$$R_k = 287 \text{ J/kg độ}$$

Cho hơi nước: $p_h V = G_h R_h T$

$$R_h = \frac{8314}{18} = 462 \text{ J/kg độ}$$

7.1.2. Các loại không khí ẩm

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

- Không khí ẩm bão hòa là không khí ẩm trong đó không thể nhận thêm một lượng hơi nước nào 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 hòa và còn chứa thêm một lượng nước nhất định ví dụ sương mù là không khí quá bão hòa.

7.1.3. Các thông số của không khí ẩm

1- Độ ẩm tuyệt đối ρ_h

Là khối lượng của hơi nước trong 1 m³ không khí ẩm.

$$\rho_h = \frac{G_h}{V}, \text{ kg/ m}^3 \quad (7.1)$$

2- Độ ẩm tương đối φ

Là tỷ số giữa độ ẩm tuyệt đối của không khí ẩm chưa bão hòa ρ_h và của không khí ẩm bão hòa $\rho_{h\max}$ ở cùng nhiệt độ.

$$\varphi = \frac{\rho_h}{\rho_{h\max}} = \frac{P_h}{P_{h\max}} \quad (7.2)$$

ở đây: p_h - phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm chưa bão hòa

$p_{h\max}$ - phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm bão hòa.

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

3- Độ chứa hơi d (dung ẩm)

Độ chứa hơi d là lượng hơi nước chứa trong không khí ẩm ứng với 1 kg không khí khô.

$$d = \frac{G_h}{G_k} = 0,622 \frac{P_h}{p - p_h}, \text{ kg/kg không khí khô} \quad (7.3)$$

Độ chứa hơi trong không khí ẩm bão hòa gọi là độ chứa hơi lớn nhất d_{\max} (khi $p_h = P_{h\max}$):

$$d_{\max} = 0,622 \frac{P_{h\max}}{P - P_{h\max}}, \text{ kg/kg kk} \quad (7.4)$$

4- Entanpi của không khí ẩm I

Entanpi của không khí ẩm: là tổng entanpi của 1 kg không khí khô và d kg hơi nước.

$$I = t + d (2500 + 1,93 t), \text{ kJ/kg kk} \quad (7.5)$$

ở đây: t (°C) - nhiệt độ của không khí ẩm.

5- Nhiệt độ bão hòa đoạn nhiệt

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

6- Nhiệt độ đọng sương t_s

Nhiệt độ đọng sương t_s là nhiệt độ tại đó không khí ẩm chưa bão hòa trở thành không khí ẩm bão hòa trong điều kiện phân áp suất của hơi nước không đổi $p_h = \text{const}$, khi biết p_h ta tìm được nhiệt độ đọng sương t_s (từ bảng nước và hơi nước bão hòa).

7.1.4. Đồ thị không khí ẩm (psychrometric chart)

Đồ thị không khí ẩm thường sử dụng nhất có hai loại:

Đồ thị I - d (đồ thị Mollier)

Đồ thị t - d (đồ thị Carrier)

1- Đồ thị I - d

Các đường biểu diễn trên đồ thị:

Đường $d = \text{const}$ là đường thẳng đứng, đơn vị là g/kgkk.

Đường $I = \text{const}$ là đường nghiêng góc 135° , đơn vị là kJ/kgkk hoặc kcal/kgkk.

Đường $t = \text{const}$ là đường thẳng hơi chéch lên phía trên, đơn vị °C.

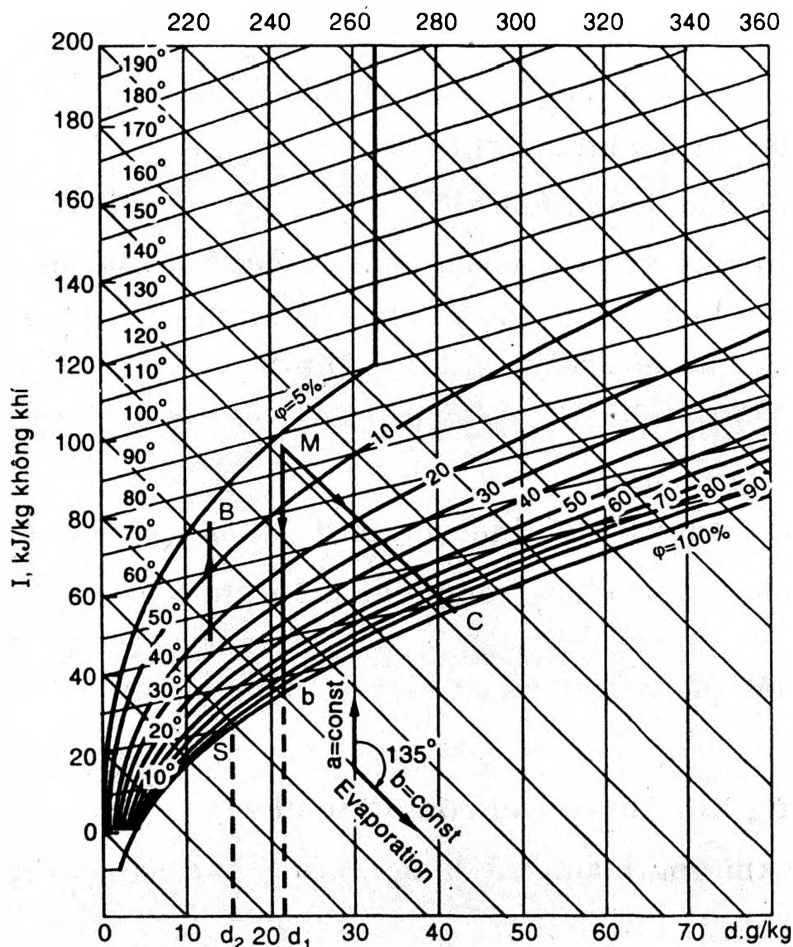
Đường $\varphi = \text{const}$ là đường cong đi lên khi gặp đường nhiệt độ $t = 100^\circ\text{C}$ sẽ là đường thẳng đứng.

Đường $p_h = \text{const}$ là đường phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm, đơn vị mm Hg.

Cách sử dụng đồ thị I - d:

Ví dụ không khí ẩm ở trạng thái A có độ ẩm φ_A và nhiệt độ t_A , cần xác định các thông số còn lại của không khí ẩm ở trạng thái này.

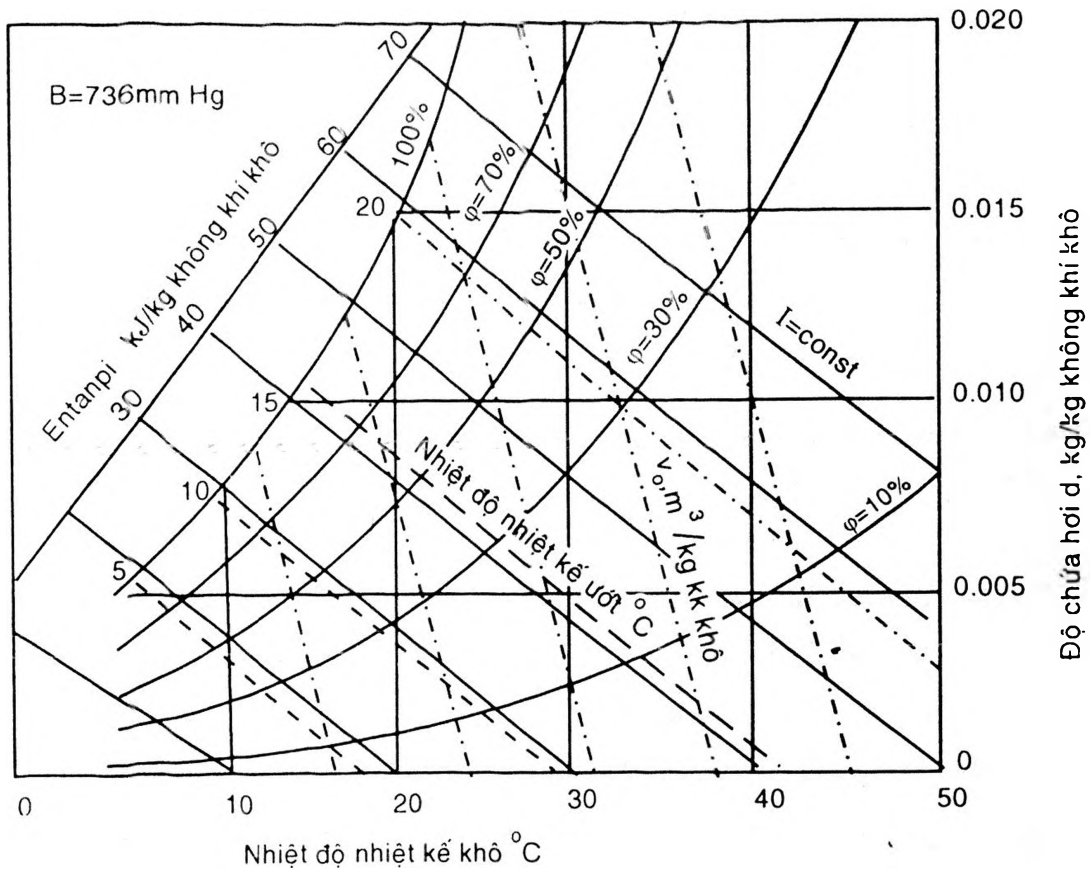
Trên đồ thị I - d điểm A được xác định bởi giao điểm của 2 đường $\varphi_A = \text{const}$ và $t_A = \text{const}$. Cách xác định các thông số khác được thể hiện trên H.7.1.



Hình 7.1. Đồ thị I - d

2- Đồ thị t - d

Cấu trúc của đồ thị t - d cũng gần tương tự đồ thị I - d, các đường đặc trưng được thể hiện trên đồ thị dưới đây. Đồ thị t - d rất thường được sử dụng trong tính toán điều hòa nhiệt độ và điều tiết không khí. Cách sử dụng giống như đồ thị I - d.



Hình 7.2. Đồ thị $t - d$

7.2 QUÁ TRÌNH SẤY

Sấy là quá trình lấy bớt nước trong vật cần sấy bằng cách làm bay hơi nước (ví dụ sấy nông sản, sấy thực phẩm ... nhằm để bảo quản được lâu dài). Đa số các trường hợp người ta dùng không khí ẩm chưa bão hòa làm chất trung gian (còn gọi là tác nhân sấy) để tải ẩm (nước) thoát ra ngoài sản phẩm sấy. Để làm tác nhân sấy tốt (tải ẩm tốt) không khí cần có độ ẩm nhỏ, muốn vậy ta có phương pháp sau:

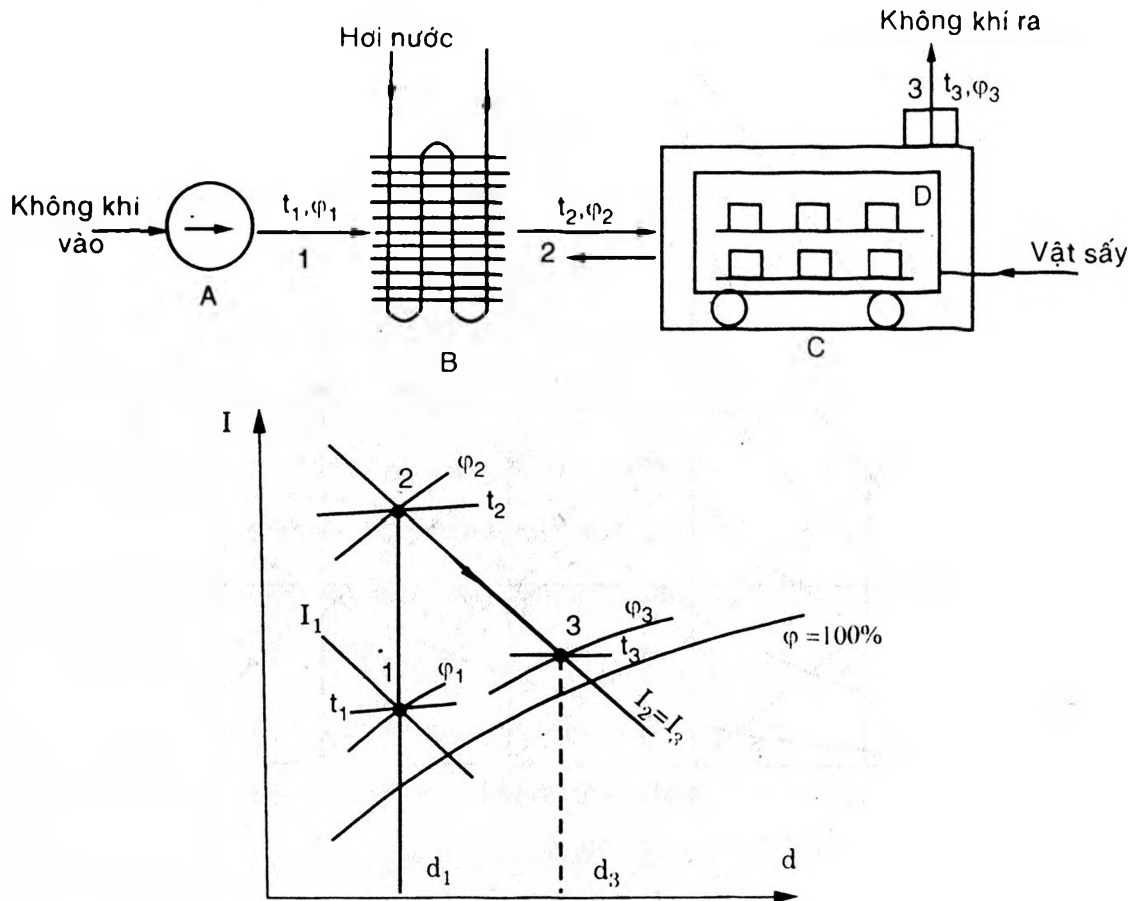
7.2.1. Phương pháp thứ nhất

Đầu tiên không khí ngoài trời được đốt nóng trong thiết bị gia nhiệt (thường gọi là calorifer), trong quá trình này $d = \text{const}$ và nhiệt độ t tăng lên, độ ẩm ϕ giảm xuống. Sau đó không khí nóng được thổi qua vật sấy (trong buồng sấy), vật sấy bốc ẩm vào không khí đi qua và khô dần. Phương pháp này thường được gọi là sấy nóng.

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống sấy như sau:

Quá trình sấy gồm hai giai đoạn:

1 - 2 là giai đoạn đốt nóng không khí trong calorifer, trong giai đoạn này độ chứa hơi không khí không thay đổi $d_1 = d_2$, nhiệt độ từ t_1 tăng lên t_2 , độ ẩm tương đối giảm từ ϕ_1 đến ϕ_2 .



Hình 7.3. Sơ đồ nguyên lý thiết bị sấy

A. Quạt B. Calorifer C. Buồng sấy

2 – 3 là giai đoạn sấy trong buồng sấy, không khí sau khi đốt nóng được đưa vào buồng sấy, trong buồng sấy không khí nóng truyền nhiệt cho vật sấy làm nước trong vật sấy bay hơi vào không khí. Nếu bỏ qua các tổn thất nhiệt (sấy lý thuyết), nhiệt độ không khí giảm dần từ t_2 xuống t_3 , độ ẩm không khí tăng dần từ φ_2 đến φ_3 và trong quá trình này xem $I_2 = I_3$.

Ở đây cần xác định lưu lượng không khí (âm) G (kg/h) cung cấp cho buồng sấy để chọn hoặc thiết kế quạt, ngoài ra cần xác định lượng nhiệt cần cung cấp trong 1 giờ Q (kJ/h) để thiết kế calorifer.

1- Xác định lưu lượng không khí G (lưu lượng quạt)

Nếu sản phẩm sấy ban đầu có khối lượng G_d (kg), sau khi sấy còn lại G_c (kg) thì lượng nước bay hơi trong 1 giờ (thời gian sấy là τ (h)):

$$G_n = \frac{G_d - G_c}{\tau}, \text{ kg/h}$$

Lượng không khí cần thiết do quạt thổi vào buồng sấy:

$$G = \frac{(1+d_1)G_n}{\Delta d} \approx \frac{G_n}{\Delta d} = \frac{G_n}{d_3 - d_1}, \text{ kgkk/h} \tag{7.6}$$

Nếu không khí ở nhiệt độ ban đầu t_1 có khối lượng riêng ρ_1 , thì lưu lượng thể tích không khí cần thiết (hay năng suất quạt) V là:

$$V = \frac{G}{\rho_1}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (7.7)$$

2- Xác định lượng nhiệt cần thiết Q

$$Q = \frac{I_2 - I_1}{\Delta d} G_n = \frac{I_2 - I_1}{d_3 - d_1} G_n, \text{ kJ/h} \quad (7.8)$$

ở đây: I_1, I_2 - entanpi của không khí ở trạng thái vào và ra khỏi calorifer, được xác định theo công thức (7.5) hoặc theo đồ thị $I - d$.

Nếu calorifer được gia nhiệt bằng hơi nước cung cấp từ lò hơi, thì lượng hơi lò cần cung cấp cho calorifer sẽ là:

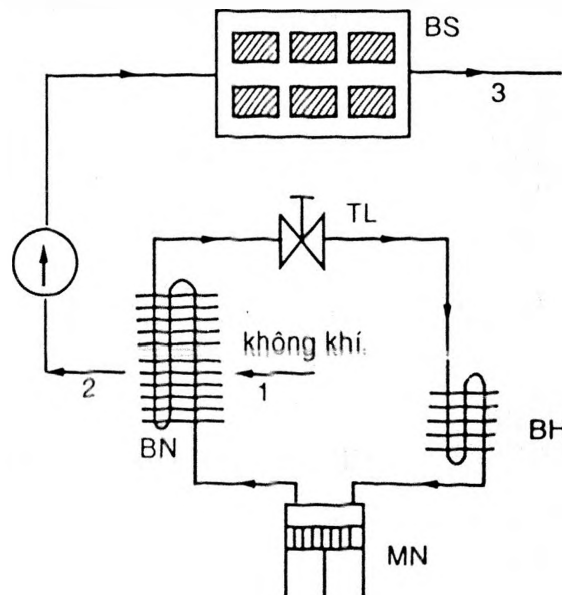
$$G_h = \frac{Q}{r}, \text{ kg/h} \quad (7.9)$$

ở đây: r - ẩn nhiệt hóa hơi ở áp suất p tại calorifer.

7.2.2. Phương pháp thứ hai (dùng bơm nhiệt)

Nguyên lý hoạt động của bơm nhiệt xem ở chương chu trình thiết bị lạnh.

Sơ đồ nguyên lý hoạt động của thiết bị sấy loại này có dạng sau:



Hình 7.4. Sơ đồ nguyên lý thiết bị sấy sử dụng bơm nhiệt

Không khí ngoài trời được quạt đẩy qua bình ngưng tụ của bơm nhiệt (thường là dạng ống có cánh) BN nhận nhiệt lượng q_1 và không khí nóng lên từ t_1 đến t_2 sau đó được đưa vào buồng sấy. Chúng ta thấy phương pháp sấy ở đây hoàn toàn giống như phương pháp thứ nhất chỉ khác là nhiệt lượng dùng để gia nhiệt không khí là do dàn ngưng tụ của bơm nhiệt cung cấp.

$$Q = \psi \cdot N = G \cdot q_1 = G(i_2 - i_3), \text{ kw} \tag{7.9}$$

ở đây: ψ - hệ số bơm nhiệt $\psi = \frac{|q_1|}{|l_0|}$

N - công suất máy nén của bơm nhiệt, kw

G - lưu lượng lạnh chất trong bơm nhiệt, kg/s

i_2 - entanpi của hơi lạnh chất trước khi vào bình ngưng, kJ/kg

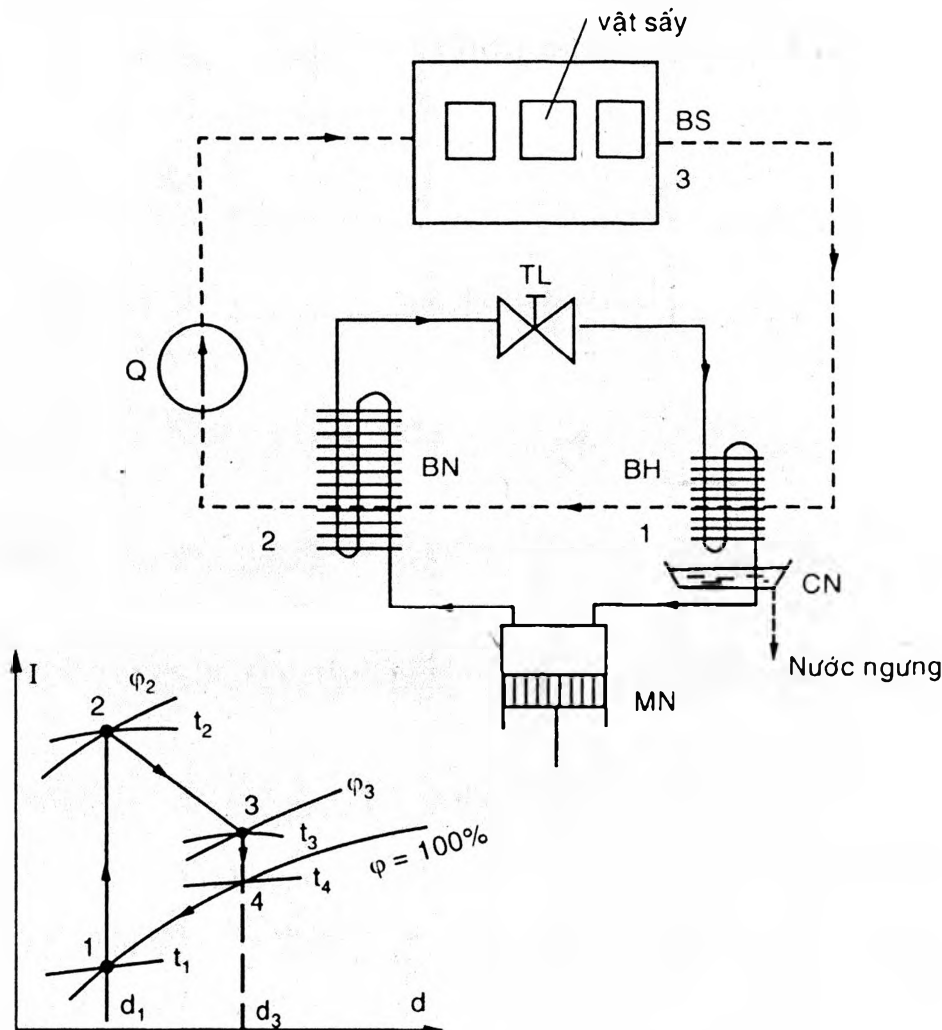
i_3 - entanpi của lạnh chất sau khi ngưng, kJ/kg.

$$|l_0| = i_2 - i_1; \quad |q_1| = i_2 - i_3$$

7.2.3. Phương pháp thứ ba (sấy dộ)

Ở đây sử dụng máy hút ẩm, vì tận dụng nguồn lạnh ngưng tụ bột hơi nước trong dòng không khí (dàn lạnh) sau đó không khí được sấy nóng nhờ nhờ dàn ngưng tụ và đưa vào buồng sấy.

Sơ đồ nguyên lý hoạt động của thiết bị như sau:



Hình 7.5. Sơ đồ nguyên lý thiết bị sấy dộ

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Các quá trình trên đồ thị $I - d$

Tương tự như các trường hợp trước ta có:

- Lượng không khí cần thiết do quạt cung cấp trong 1 giờ:

$$G = \frac{G_n}{\Delta d} = \frac{G_n}{d_3 - d_1}, \text{ kgkk/h} \quad (7.10)$$

$G_n = \frac{G_d - G_c}{\tau}$, kg/h - lượng nước cần bay hơi khỏi vật sấy trong 1 giờ.

Lưu lượng không khí cần ở nhiệt độ t_2 :

$$V = G/\rho_2$$

(ρ_2 - khối lượng riêng không khí ở t_2)

- Lượng nhiệt không khí nhận ở bình ngưng tụ:

$$Q = \frac{I_2 - I_1}{d_3 - d_1} G_n, \text{ kJ/h} \quad (7.11)$$

- Nếu xem quá trình sấy là $I = \text{const}$, thì nhiệt lượng cần của dàn lạnh Q_0 để làm lạnh không khí và rút ẩm sẽ là:

$$q_0 = G(I_3 - I_1)$$

7.3 QUÁ TRÌNH ĐIỀU TIẾT KHÔNG KHÍ

7.3.1. Khái niệm

1- Định nghĩa

Điều tiết không khí là quá trình tạo ra và duy trì không khí cho phù hợp điều kiện tiện nghi của con người, phù hợp với một công nghệ sản xuất chế biến nào đó. Ở đây chúng ta cần phải khống chế: nhiệt độ, độ ẩm, sự lưu thông và tuần hoàn không khí, khử bụi và các khí độc hại có trong không khí. Chúng ta thường dùng các khái niệm sau:

- Thông gió là quá trình đưa không khí từ ngoài trời (không có xử lý về nhiệt độ và độ ẩm) vào trong nhà (hoặc phân xưởng) để thải nhiệt, thải ẩm và các chất độc hại của không khí trong nhà.

- Điều tiết không khí thường dùng cho một công nghệ sản xuất nào đó trong công nghiệp.

- Điều hòa không khí là quá trình xử lý không khí cho đời sống tiện nghi của con người. Nếu nói theo nghĩa rộng thì hệ thống phải xử lý: nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ luân chuyển của không khí, lọc bụi, thải khí bẩn và cung cấp khí tươi để đảm bảo vệ sinh và thoải mái của con người.

2- Ứng dụng trong công nghiệp và đời sống con người

- *Ứng dụng trong công nghiệp:* điều tiết không khí cần cho nhiều ngành kinh tế như: công nghiệp dệt, thuốc lá, chè, giấy, xưởng in, kỹ thuật thông tin vô tuyến điện tử, máy tính, quang học, sinh học ... Độ ẩm và nhiệt độ không khí là hai thông số quan trọng trong các xưởng sản xuất. Trong các xí nghiệp hóa chất thì việc khử nhiệt và chất độc hại đóng vai trò quan trọng, còn đối với các ngành quang học, điện tử, máy tính, phim ảnh, cơ khí chính xác ngoài việc phải xử lý không khí về nhiệt độ và độ ẩm còn cần xử lý về bụi trong không khí.

- *Ứng dụng cho đời sống con người:* con người luôn thải nhiệt q (Kcal/h) và thải ẩm W (g/h) vào không khí xung quanh. Bảng 7.1 cho trị số của q và W trung bình của một người trong trạng thái khác nhau ở nhiệt độ trong phòng $t = 20 \div 35^\circ\text{C}$. Qua nghiên cứu người ta thấy con người sống dễ chịu trong các điều kiện:

Điều kiện mùa hè:

$$\varphi = 35 \div 70\%$$

$$t = 24 \div 27^\circ\text{C}$$

Điều kiện mùa đông:

$$t = 20 \div 23^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 35 \div 40\%$$

Bảng 7.1. Lượng nhiệt và ẩm tỏa ra của cơ thể người làm việc

Tính chất hoạt động	q (Kcal/h)	W (g/h)
Nghỉ ngơi, làm việc bàn giấy	80 ÷ 100	75 ÷ 115
Lao động nhẹ	150 ÷ 200	85 ÷ 200
Lao động trung bình	200 ÷ 250	140 ÷ 280
Lao động nặng	250 ÷ 400	240 ÷ 415

Ngoài ra tốc độ chuyển động không khí trong phòng ω cũng phải ở trong khoảng giới hạn nhất định (bảng 7.2).

Đối với điều tiết không khí lượng gió mới (gió tươi) cấp cho 1 người trong 1 giờ và bội số tuần hoàn không khí trong phòng (là tỷ số gió thổi vào phòng trên thể tích phòng) được cho ở bảng 7.3.

Bảng 7.2. Tốc độ gió luôn chuyên cần thiết trong phòng

Nhiệt độ trong phòng (°C)	Tốc độ tối thiểu (m/s)	Tốc độ tối đa (m/s)
20	0,04	0,12
22	0,05	0,17
24	0,09	0,26
26	0,16	0,4
28		1,0
30		1,3

Bảng 7.3. Lượng nhiệt và ẩm tỏa ra của cơ thể người làm việc

Tên phòng	Lượng gió tươi (m ³ /h người)	Bội số tuần hoàn ($\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^3 \text{ phòng}} $)
Cửa hàng ăn uống	30 ÷ 50	8
Phòng làm việc		3 ÷ 8
Rạp hát, rạp chiếu phim	20 ÷ 30	5 ÷ 6
Thư viện, kho		4 ÷ 8
Bệnh viện (phòng bệnh nhân)	60	5 ÷ 8
Bếp khách sạn		10 ÷ 20
Phòng phun sơn		20 ÷ 25

7.3.2. Các quá trình xử lý không khí

1- Hòa trộn

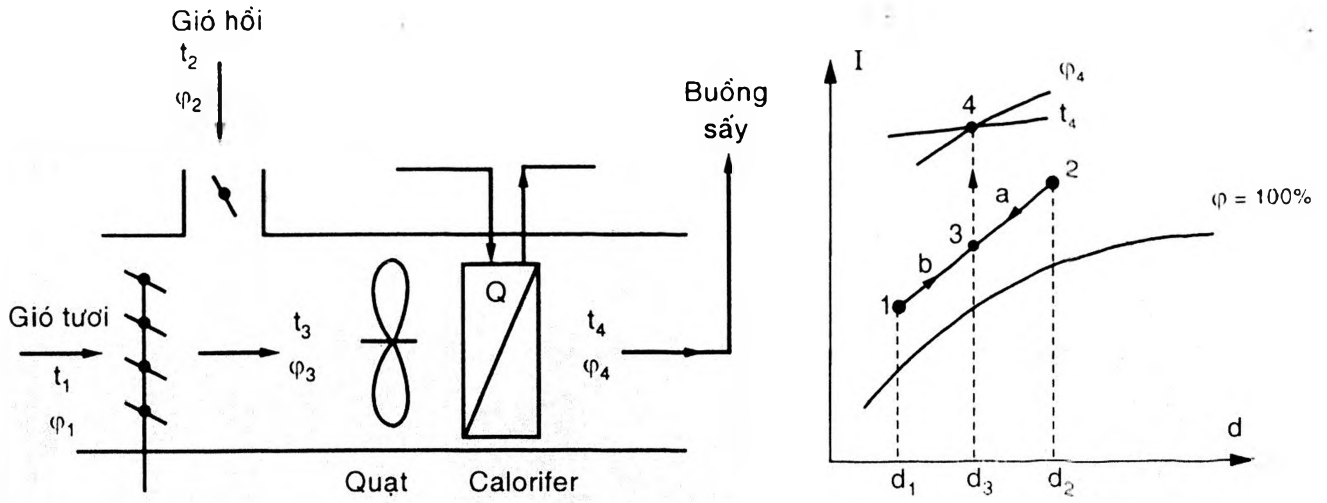
Dòng không khí tươi từ ngoài trời (dòng 1) trước khi thổi vào phòng thường được hòa trộn với dòng không khí tái tuần hoàn rút từ phòng về (dòng 2). Quá trình 1 – 2 được biểu diễn trên đồ thị H.7.6. Điểm 3 là điểm hòa trộn thỏa mãn đẳng thức:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a}{b}$$

ở đây: m_1 (kg) - lượng không khí của dòng 1 (coi lượng không khí ẩm bằng lượng không khí khô)

m_2 (kg) - lượng không khí của dòng 2

Điểm hòa trộn 3 có khối lượng $m_3 = m_1 + m_2$

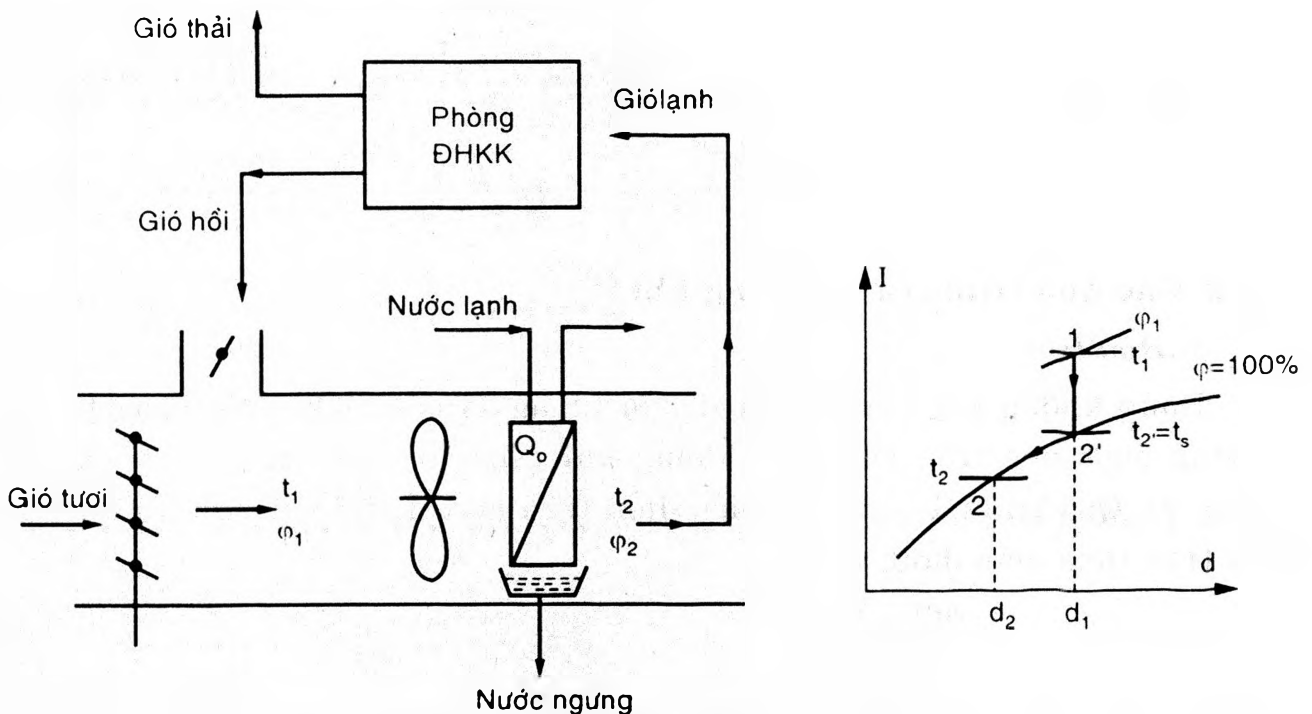


Hình 7.6

2- Đốt nóng

Không khí sau khi đã được hòa trộn (điểm 3) có thể được đốt nóng tới điểm 4 có t_4 , φ_4 và đưa vào phòng (ví dụ quá trình sưởi ấm). Trong quá trình đốt nóng vì hơi nước chứa trong không khí không thay đổi nên quá trình này $d = \text{const}$, độ ẩm φ giảm xuống và nhiệt độ t tăng lên.

3- Làm lạnh và giảm ẩm



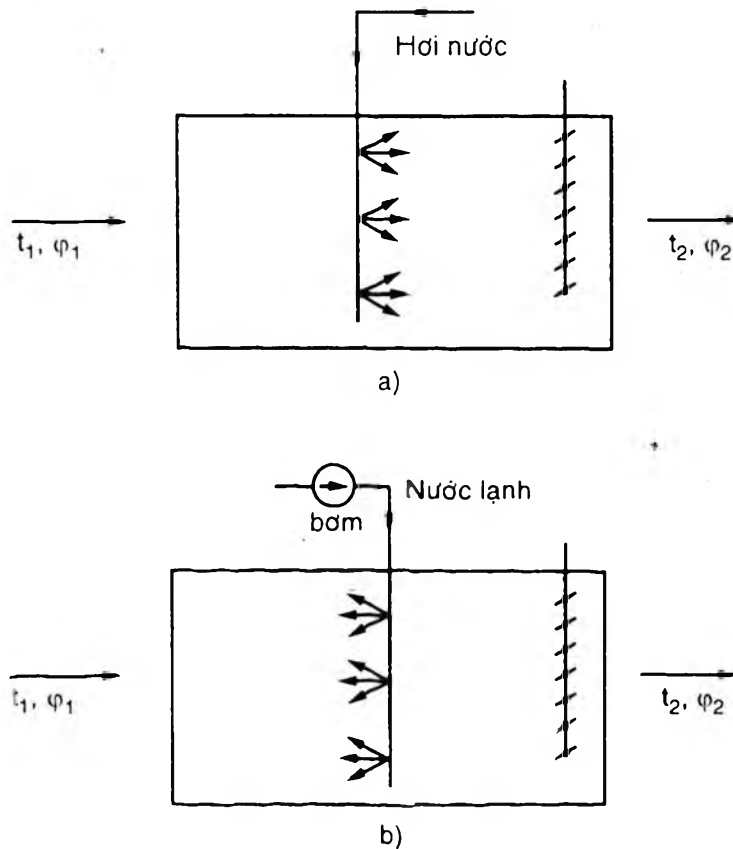
Hình 7.7

Không khí sau khi hòa trộn được làm lạnh và giảm ẩm (giảm độ chứa hơi) trong buồng xử lý (buồng điều không) (H.7.7). Làm lạnh và giảm ẩm được thực hiện bởi việc phun nước lạnh (nước được làm lạnh trong bình bốc hơi của máy lạnh) hoặc đi qua dàn bốc hơi có cánh của máy lạnh (máy điều hòa nhiệt độ, máy hút ẩm).

Không khí ở trạng thái 1 (t_1, φ_1) trước tiên được làm lạnh đến nhiệt độ đọng sương t_s ($d = \text{const}$, φ tăng lên và t giảm xuống). Sau đó là quá trình ngưng tụ của hơi nước trong không khí khi làm lạnh dưới nhiệt độ đọng sương, quá trình 2 - 2'. Kết quả không khí đi ra ở điểm 2 có nhiệt độ t_2 và đã tách được lượng nước $\Delta d = d_1 - d_2$.

4. Tăng ẩm

Khi cần tăng ẩm (độ chứa hơi) cho không khí người ta phun nước hoặc hơi nước vào không khí trong buồng xử lý. Nếu nhiệt độ nước phun nhỏ hơn nhiệt độ không khí ta có quá trình tăng ẩm và làm lạnh, ngược lại nếu nhiệt độ nước phun lớn hơn nhiệt độ không khí ta có quá trình tăng ẩm và đốt nóng không khí.



Hình 7.8

a) Tăng nhiệt độ và độ ẩm; b) Giảm nhiệt độ và giảm độ ẩm

BÀI TẬP

7.1. Không khí ẩm ở áp suất $p = 1 \text{ bar}$ có nhiệt độ $t_1 = 25^\circ\text{C}$, độ ẩm tương đối $\varphi_1 = 0,6$.

Xác định phân áp suất hơi nước p_h , nhiệt độ đọng sương t_{ds} , độ chứa hơi d , entanpi I của không khí ẩm, nhiệt độ nhiệt kế ướt t_u .

Giải

a) Phương pháp 1:

$$\varphi = \frac{p_h}{p_{h\max}} \quad \text{vậy: } p_h = \varphi p_{h\max}$$

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa với $t_h = t_1 = 25^\circ\text{C}$ tìm được áp suất bão hòa tương ứng $p_{h\max} = 0,03166 \text{ bar}$.

Vậy phân áp suất của hơi.

$$p_h = 0,6 \times 0,03166 = 0,018996 \text{ bar} \approx 0,019 \text{ bar}$$

Từ phân áp suất $p_h = 0,019 \text{ bar}$ tra bảng nước sôi và hơi bão hòa tìm được nhiệt độ bão hòa tương ứng là:

$$t_s = 17^\circ\text{C} = t_{ds}$$

Độ chứa hơi d được tính theo công thức:

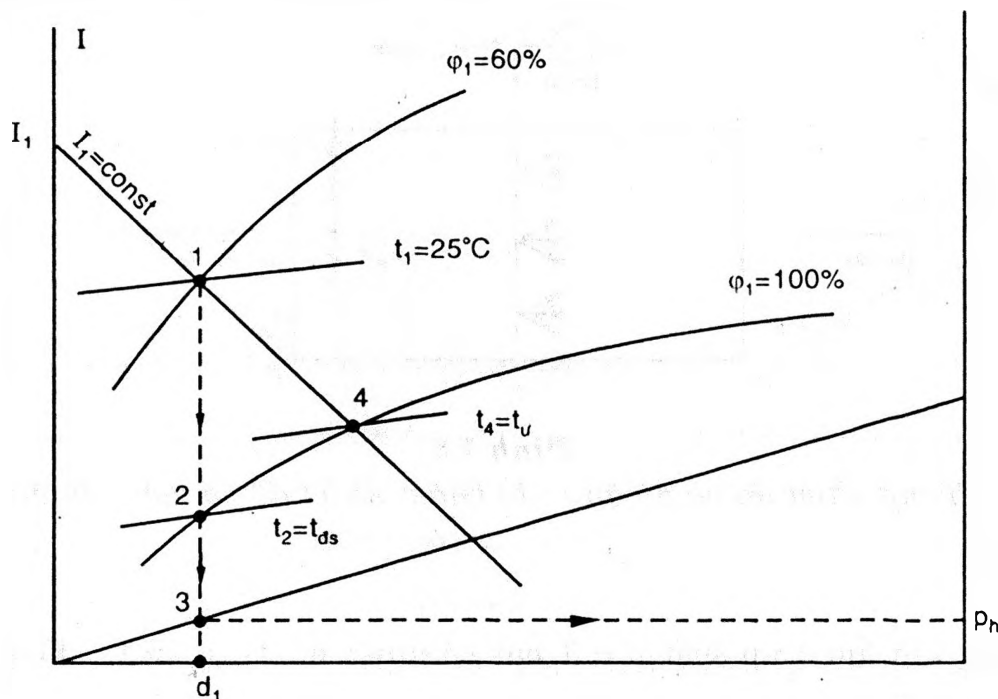
$$d = 622 \frac{p_h}{p - p_h} = 622 \frac{0,019}{1 - 0,019} = 12 \text{ g/kgkk} = 0,012 \text{ kg/kgkk}$$

Entanpi được tính:

$$I = t + d (2500 + 1,93 t) = 25 + 0,012 (2500 + 1,93 \times 25) = 56,6 \text{ kJ/kgkk}$$

b) Phương pháp 2:

Sử dụng đồ thị $I - d$ hoặc $t - d$.



Từ đồ thị $I - d$ điểm 1 được xác định bởi giao điểm của đường $t_1 = 25^\circ\text{C}$ với đường $\varphi = 0,6$.

Đường $I = \text{const}$ nào đi qua điểm 1 ta đọc được giá trị của I_1 trên trục tung.

Từ điểm 1 giống thẳng đứng ($d = \text{const}$) xuống gặp đường $\varphi = 100\%$ cho ta điểm 2, đường $t = \text{const}$ nào đi qua điểm 2 ta đọc được $t_2 = t_{ds}$. Nếu kéo thẳng đường thẳng đứng nào xuống gặp đường p_h được điểm 3 giống ngang sang phải sẽ tìm được phân áp suất của hơi nước (giá trị cho theo mm Hg), tiếp tục kéo thẳng xuống trục hoành sẽ tìm được độ chứa hơi d_1 .

Để tìm nhiệt độ nhiệt kế ướt t_u , từ điểm 1 kéo theo đường $I_1 = \text{const}$ cho đến khi cắt đường $\varphi = 100\%$ ta xác định được điểm 4, đường $t = \text{const}$ nào đi qua điểm 4 ta đọc được $t_4 = t_u$.

7.2. 10m^3 không khí ẩm ở áp suất $p = 1 \text{ bar}$ có nhiệt độ $t = 20^\circ\text{C}$, nhiệt độ đọng sương $t_s = 10^\circ\text{C}$.

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 .

Giải

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

Từ bảng nước và hơi nước bão hòa theo:

$$t = 20^\circ\text{C} \text{ ta tìm được } p_{h\max} = 0,0234 \text{ bar}$$

$$t = 10^\circ\text{C}; \quad p_h = 0,0123 \text{ bar}$$

$$\text{Vậy: } \varphi = \frac{0,0123}{0,0234} = 0,53 = 53\%$$

Theo (7.3) ta có:

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

Entanpi được tính theo (7.5):

$$I = t + d (2500 + 1,93 \times 20) = 39,67 \text{ kJ/kgkk}$$

Lượng không khí ẩm:

$$G = G_h + G_k$$

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

$$G_h = \frac{p_h V}{R_h T} = \frac{0,0123 \cdot 10^5 \times 10}{\frac{8314}{18} (20 + 273)} = 0,09 \text{ kg hơi nước}$$

$$G_k = \frac{p_k V}{R_k T} = \frac{(1 - 0,0123) \cdot 10^5 \times 10}{(287 \times 293)} = 11,75 \text{ kgkk}$$

$$G = 0,09 + 11,75 = 11,84 \text{ kg}$$

Khối lượng riêng của không khí ẩm:

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

7.3. 1 kg không khí ẩm ở áp suất $p = 1 \text{ bar}$, nhiệt độ $t = 15^\circ\text{C}$, phân áp suất của hơi nước $p_h = 1270 \text{ N/m}^2$. Xác định độ ẩm tương đối, nhiệt độ đọng sương t_{ds} , độ chứa hơi d , entanpi I và khối lượng riêng của không khí ẩm.

$$\text{Đáp số: } \varphi = 0,746 ; t_{ds} = 10,5^\circ\text{C}$$

$$d = 8 \text{ g/kgkk}, I = 35,1 \text{ kJ/kgkk}, \rho = 1,21 \text{ kg/m}^3$$

7.4. 100m^3 không khí ẩm ở áp suất $p = 1 \text{ bar}$, nhiệt độ $t = 35^\circ\text{C}$, độ ẩm $\varphi = 70\%$.

Xác định độ chứa hơi d , nhiệt độ đọng sương t_{ds} , khối lượng không khí khô G_k , khối lượng hơi nước G_h có trong không khí ẩm.

$$\text{Đáp số: } d = 25,5 \text{ g/kgkk}; t_{ds} = 29^\circ\text{C}$$

$$G_k = 109 \text{ kg}; G_h = 2,78 \text{ kg}$$

7.5. Không khí ẩm ở $p = 1 \text{ bar}$, nhiệt độ $t = 30^\circ\text{C}$, độ chứa hơi $d = 18 \text{ g/kgkk}$.

Xác định độ ẩm φ , nhiệt độ đọng sương t_{ds} , entanpi I , độ chứa hơi lớn nhất $d_{h\max}$.

$$\text{Đáp số: } \varphi = 0,66, t_{ds} = 22,5^\circ\text{C}$$

$$I = 76 \text{ kJ/kgkk}, d_{h\max} = 27,5\text{g/kgkk}$$

7.6. Cho biết khối lượng ban đầu của vật cần sấy $G_d = 300 \text{ kg}$, khối lượng sau khi sấy $G_c = 250 \text{ kg}$, thời gian sấy $\tau = 10 \text{ giờ}$. Không khí được dùng làm tác nhân sấy có $t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 60\%$, sau khi được calorifer đốt nóng có nhiệt độ $t_2 = 95^\circ\text{C}$. Không khí sau khi qua buồng sấy được thải ở nhiệt độ $t_3 = 35^\circ\text{C}$.

Xác định lượng không khí cần thiết để sấy, lượng nhiệt và lượng nước cần thiết cấp cho calorifer nếu hơi có áp suất $p = 1,5 \text{ bar}$.

Giải

a) Phương pháp 1 (sử dụng đồ thị $I - d$)

Từ đồ thị I - d (H.7.14) xác định được các thông số đặc trưng sau:

Điểm 1: là giao điểm của đường $\varphi = 60\%$ và $t_1 = 20^\circ\text{C}$, ta tìm được:

$$d_1 = 0,009 \text{ kg/kgkk}$$

$$I_1 = 42 \text{ kJ/kgkk}$$

Điểm 2: là giao điểm của đường $d_1 = d_2 = \text{const}$ và đường $t_2 = 95^\circ\text{C}$, ta tìm được:

$$I_2 = 119 \text{ kJ/kgkk}$$

$$\varphi_2 = 3\%$$

Điểm 3: là giao điểm của hai đường $I_2 = \text{const}$ và đường $t_3 = 35^\circ\text{C}$, do đó tìm được:

$$\varphi_3 = 90\% ; d_3 = 0,033 \text{ kg/kgkk}^2$$

b) Phương pháp 2 (dùng công thức tính toán)

Từ bảng nước và hơi bão hòa ứng với $t_1 = 20^\circ\text{C}$, ta có $p_{h\max} = 0,0234 \text{ bar}$, vậy phân áp suất của hơi nước trong không khí ẩm:

$$p_h = \varphi p_{h\max} = 0,6 \times 0,0234 = 0,014 \text{ bar}$$

$$d_1 = 0,622 \frac{p_h}{p - p_h} = 0,622 \frac{0,014}{1 - 0,014} = 0,0088 \text{ kg/kgkk}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= t_1 + d_1(2500 + 1,93t_1) \\ &= 20 + 0,0088(2500 + 1,93 \times 20) = 42,34 \text{ kJ/kgkk} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= t_2 + d_2(2500 + 1,93t_2) \text{ với } d_2 = d_1 \\ &= 95 + 0,0088(2500 + 1,93 \times 95) = 118,6 \text{ kJ/kgkk} \end{aligned}$$

Nhiệt lượng cung cấp cho 1 kg không khí khô qua calorifer là:

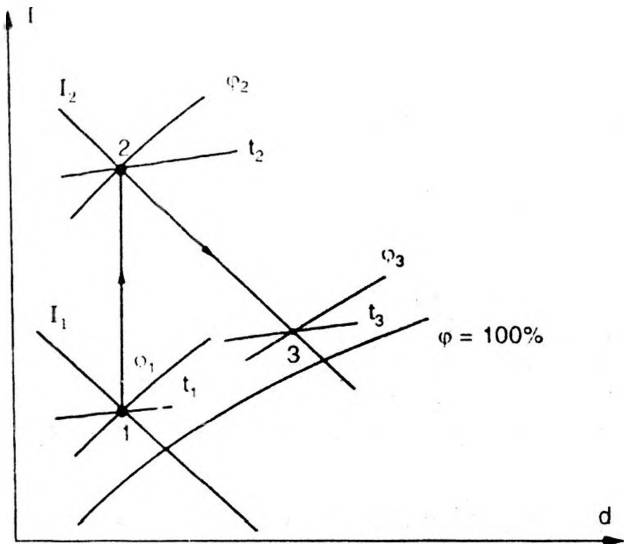
$$q = I_2 - I_1 = 118,6 - 42,34 = 76,26 \text{ kJ/kgkk}$$

Vì quá trình sấy lý thuyết có $I_2 = I_3 = \text{const}$, vậy:

$$\begin{aligned} I_2 &= I_3 = t_3 + d_3(2500 + 1,93t_3) \\ d_3 &= \frac{I_2 - t_3}{2500 + 1,93t_3} = \frac{118,6 - 35}{2500 + 1,93 \times 35} = 0,0326 \text{ kg/kgkk} \end{aligned}$$

Lượng ẩm lấy đi được từ buồng sấy ứng với 1 kg không khí khô sẽ là:

$$\Delta d = d_3 - d_1 = 0,0326 - 0,0088 = 0,0238 \text{ kg/kgkk}$$



Hình 7.14

Lượng nước cần lấy đi từ vật sấy trong 1 giờ:

$$G_n = \frac{G_d - G_c}{\tau} = \frac{300 - 250}{10} = 5 \text{ kg/h}$$

Lượng không khí cần thiết:

$$G \approx \frac{G_n}{\Delta d} = \frac{5}{0,0238} = 210 \text{ kgkk/h}$$

Lưu lượng không khí cần thiết:

$$V = \frac{G}{\rho_1} = \frac{210}{1,2} = 175 \text{ m}^3/\text{h}$$

Lượng nhiệt cần khi tính chính xác theo (7.8):

$$Q = (I_2 - I_1) \frac{G_n}{\Delta d} \\ = 75,66 = 15.895 \text{ kJ/h}$$

Tính gần đúng theo (7.9):

$$Q \approx \frac{t_2 - t_1}{d_3 - d_1} \times G_n = \frac{95 - 20}{0,0238} \times 5 = 15.760 \text{ kJ/k}$$

$$\text{Sai số gặp phải: } \frac{15895 - 15760}{15895} = 0,9\%$$

Tính toán sơ bộ theo (7.10)

$$Q \approx 2500 \times G_n = 2500 \times 5 = 12500 \text{ kJ/h}$$

Sai số gặp phải khoảng 21%.

Hoặc tính:

$$Q \approx \Delta I \times G = 75,66 \times 210 = 15888,6 \text{ kJ/h}$$

Sai số gặp phải 0,04%.

Lượng hơi nước cung cấp cho calorifer theo (7.11):

$$G_h = \frac{Q}{r}$$

Từ bảng nước và hơi bão hòa theo $p = 1,5 \text{ bar}$ ta có $r = 2.226 \text{ kJ/kg}$, vậy:

$$G_h = \frac{15895}{2226} = 7,14 \text{ kg hơi/h}$$

7.7. Một thiết bị sử dụng bơm nhiệt để sấy sản phẩm có các điều kiện như sau: Không khí vào dàn ngưng của bơm nhiệt có $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 80\%$, sau khi qua dàn ngưng không khí được đốt nóng đến $\varphi_2 = 92^\circ\text{C}$ rồi đưa vào buồng sấy. Không khí sau khi ra khỏi buồng

sấy có độ ẩm $\varphi_3 = 80\%$. Khối lượng tươi của vật sấy là 550 kg, sau thời gian sấy 4 giờ sản phẩm khô còn lại 450 kg. Xác định:

a) Lượng không khí và lượng nhiệt cần cho quá trình sấy.

b) Xác định công suất máy nén của bơm nhiệt nếu biết hệ số bơm nhiệt $\psi = 4$.

c) Xác định lượng không khí cần cấp cho dàn bốc hơi của bơm nhiệt nếu nhiệt độ không khí vào là 30°C và ra khỏi dàn bốc hơi là 20°C .

Giải

Sử dụng đồ thị I - d (H.7.14) ta có:

- Điểm 1: là giao điểm của 2 đường $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,8$.

Từ đồ thị tìm được $d_1 = 22\text{g/kgkk}$, $I_1 = 21\text{kcal/kgkk}$.

- Điểm 2: là giao điểm của đường $d_1 = d_2 = \text{const}$ với đường $t_2 = 92^\circ\text{C}$, từ đó tìm được $I_2 = 35\text{ kcal/kgkk}$.

- Điểm 3: là giao điểm của đường $I_3 = I_2 = \text{const}$ với đường $\varphi_3 = 80\%$, từ đó tìm được $d_3 = 41\text{g/kgkk}$.

a) Lượng nước cần bốc hơi của vật sấy trong 1 giờ:

$$G_n = \frac{550 - 450}{4} = 25\text{ kg/h}$$

Lượng không khí cần:

$$G = \frac{G_n}{\Delta d} = 1316\text{ kg/h}$$

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{1316}{1,2} = 1097\text{ m}^3/\text{h}$$

Lượng nhiệt cần cho quá trình sấy:

$$Q = \frac{I_2 - I_1}{d_3 - d_1} G_n = \frac{35 - 21}{0,041 - 0,022} \times 25 = 18425\text{ kcal/h} = 21,4\text{ kw}$$

b) Công suất của máy nén:

$$\psi = \frac{Q}{N} \rightarrow N = \frac{Q}{\psi} = \frac{21,4}{4} = 5,35\text{ kw}$$

c) Nhiệt dàn bốc hơi của bơm nhiệt nhận nhiệt từ không khí:

$$Q_2 = Q - N = 21,4 - 5,35 = 16,05\text{ kw}$$

Lượng không khí cần cho dàn bốc hơi:

$$Q_2 = G_k c_{pk} \cdot \Delta t_k$$

$$G_k = \frac{Q_2}{c_{pk} \times \Delta t_k} = \frac{16,05}{1,01 \times 10} = 1,59 \text{ kg/s} = 5.721 \text{ kg/h.}$$

$$V_k = \frac{G_k}{\rho} = \frac{5721}{1,2} = 4.768 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.8. Không khí ở trạng thái đầu có $t_1 = 20^\circ\text{C}$, độ ẩm $\varphi_1 = 40\%$ được đốt nóng tới $t_2 = 80^\circ\text{C}$ rồi đưa vào buồng sấy. Không khí ra khỏi buồng sấy có nhiệt độ $t_3 = 35^\circ\text{C}$. Xác định độ chứa hơi và độ ẩm của không khí sau khi sấy, nhiệt cần thiết để bốc hơi 1 kg nước trong vật cần sấy trong 1 giờ.

Đáp số: $d_3 = 24\text{g/kgkk}$, $\varphi_3 = 66\%$

$Q = 3400 \text{ kJ/kgkk.}$

7.9. Vật cần sấy có khối lượng ban đầu $G_d = 300 \text{ kg}$, sau khi sấy khô còn lại $G_c = 260 \text{ kg}$, thời gian sấy $\tau = 8$ giờ. Không khí ở trạng thái đầu có $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,7$, sau khi được đốt nóng trong calorifer nhiệt độ không khí ra = 90°C và được đưa vào buồng sấy. Nhiệt độ không khí ra khỏi buồng sấy $t_2 = 40^\circ\text{C}$. Áp suất khí quyển $p = 1 \text{ bar}$. Bằng phương pháp tính toán (không sử dụng đồ thị I-d) xác định lượng không khí cần thiết, lượng nhiệt cần thiết, độ ẩm tương đối của không khí sau khi sấy.

Đáp số: $G = 250 \text{ kg/h}$, $V = 208 \text{ m}^3/\text{h}$

$Q = 15.550 \text{ kJ/h}$, $\varphi_3 = 70\%$.

7.10. Không khí ẩm ở trạng thái ban đầu có áp suất $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 10^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 60\%$. Không khí ẩm này sau đó được nén theo quá trình đa biến với $n = 1,25$ đến trạng thái 2 có $t_2 = 60^\circ\text{C}$. Xem không khí ẩm như khí lý tưởng để xử lý trong quá trình nén.

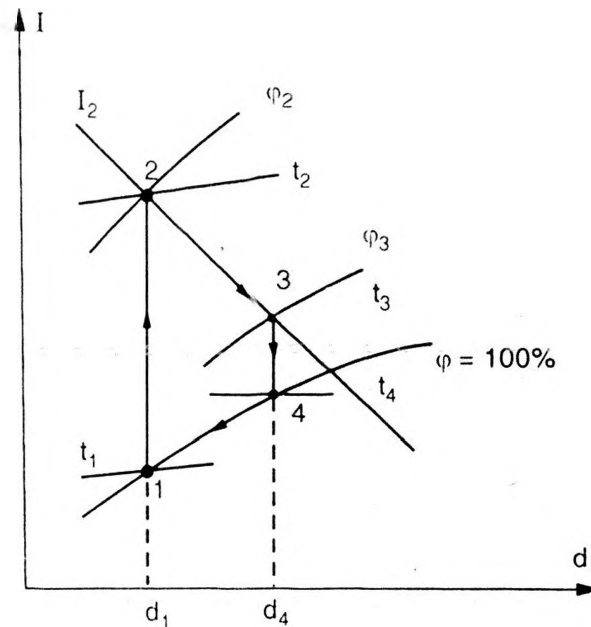
a) Xác định áp suất p_2 .

b) Xác định độ ẩm tương đối của không khí φ_2 .

Đáp số: $p_2 = 2,2557 \text{ bar}$; b) $\varphi_2 \approx 13\%$

7.11. Dùng máy hút ẩm để sấy (quá trình sấy dạn), cho biết công suất của máy nén $N = 0,5 \text{ kw}$, hệ số làm lạnh của máy $\varepsilon = 5$. Nhiệt độ không khí bão hòa khi qua dàn bốc hơi $t_1 = 25^\circ\text{C}$, sau khi đốt nóng trong dàn ngưng tụ không khí có $t_2 = 75^\circ\text{C}$, lượng nước bốc hơi khỏi vật sấy $G_n = 2,5 \text{ kg/h}$. Xác định năng suất lạnh Q_0 của máy, lượng nhiệt đốt nóng không khí trong dàn ngưng Q , nhiệt độ và độ ẩm của φ_3 không

khí sau khi sấy, lượng không khí cần G (lưu lượng quạt), lượng nước



ngưng tụ ở dàn bốc hơi trong 1 giờ.

Giải

Dùng đồ thị I - d:

Điểm 1 là giao điểm của $t_1 = 25^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 100\%$. Từ đó tìm được:

$$d_1 = 0,02 \text{ kg/kgkk} \text{ và } I = 17,5 \text{ kgkk} = 73,15 \text{ kJ/kgkk}$$

Điểm 2 là giao điểm của đường $t_2 = 75^\circ\text{C}$ và $d_2 = d_1 = 0,02 \text{ kg/kgkk}$.

tìm được $I_2 = 31 \text{ kcal/kgkk}$

Năng suất lạnh Q_0 của máy lạnh được xác định:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{N}$$

$$Q_0 = \varepsilon N = 5 \times 0,5 = 2,5 \text{ kw}$$

Nhiệt lượng do dàn ngưng tụ tỏa ra Q_N được xác định:

$$Q_N = Q_0 + N = 2,5 + 0,5 = 3 \text{ kw}$$

Khi bỏ qua tổn thất nhiệt thì nhiệt lượng dùng làm lạnh không khí và tác ẩm chính là Q_0 :

$$\begin{aligned} Q_0 &= \varepsilon N = 2,5 \text{ kw} \\ &= 2,5 \times 3600 = 9000 \text{ kJ/h.} \end{aligned}$$

Mặt khác ta có:

$$Q_0 = G_k (I_3 - I_1)$$

G_k - lưu lượng khối lượng không khí qua dàn lạnh

Lưu lượng nước ngưng tụ G_{ng} được tính:

$$G_{ng} = G_k \Delta d = G_k (d_3 - d_1)$$

Do đó:

$$G_k = \frac{G_{ng}}{d_3 - d_1} \text{ và } Q_o = \frac{I_3 - I_1}{d_3 - d_1} G_{ng}$$

Vì độ chứa hơi d của không khí ẩm rất nhỏ nên tính gần đúng có thể xem $I \approx c_{pk}$, mặt khác nhiệt dung riêng của không khí xem $c_{pk} \approx 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ nên:

$$Q_o \approx \frac{t_2 - t_1}{d_3 - d_1} G_{ng}$$

Thay các trị số đã biết vào ta tìm được:

$$d_3 = 0,02 + \frac{(75 - 25)}{9000} = 0,034 \text{ kJ/kgkk}$$

Từ đồ thị $I - d$, điểm 3 được xác định theo điều kiện $d_3 = 0,034 \text{ kJ/kgkk}$ và $I_3 = I_2 = 129,6 \text{ kJ/kgkk}$, kết quả tìm được $t_3 \approx 40^\circ\text{C}$, $\varphi_3 \approx 70\%$

Lưu lượng không khí cần thiết (lưu lượng quạt) G_k :

$$G_k \approx \frac{G_{ng}}{\Delta d} = \frac{25}{0,034 - 0,02} = 178,6 \text{ kg/h}$$

$$V_k = \frac{G_k}{\rho} = \frac{178,6}{1,2} = 149 \text{ m}^3/\text{h}$$

Lượng nước bốc hơi từ vật sấy cũng chính là lượng nước ngưng tụ của dàn lạnh: $G_{nn} = G_{ng} = 2,5 \text{ kg/h}$

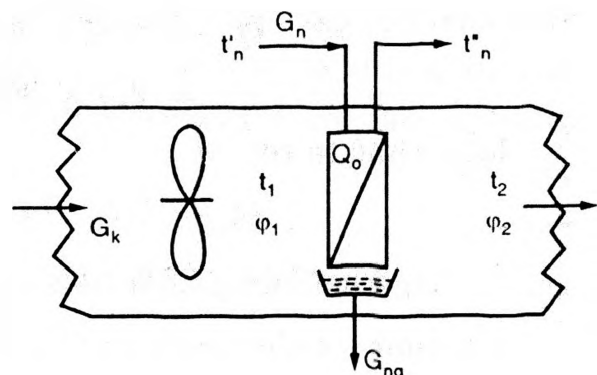
7.12. Trong quá trình sấy dụn, cho công suất của máy hút ẩm $N = 1 \text{ kw}$, hệ số làm lạnh $\varepsilon = 3$. Nhiệt độ không khí bão hòa qua dàn bốc hơi $t_1 = 25^\circ\text{C}$, nhiệt độ không khí sau khi đốt nóng trong dàn ngưng $t_2 = 80^\circ\text{C}$. Lượng nước bốc hơi khỏi vật sấy $G_n = 3 \text{ kg/h}$.

Xác định năng suất lạnh Q_o của máy, lượng nhiệt cần đốt nóng không khí trong dàn ngưng Q , nhiệt độ t_3 , độ ẩm φ_3 của không khí khi ra khỏi buồng sấy, nhiệt độ đọng sương t_4 , lượng không khí G cần thiết.

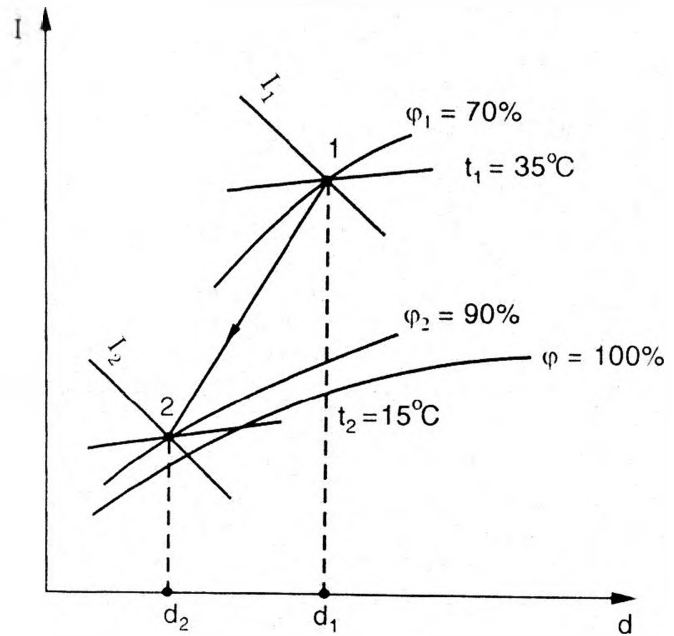
Đáp số: $Q_o = 10.800 \text{ kJ/h}$; $Q = 10.800 \text{ kJ/h}$
 $t_3 = 43^\circ\text{C}$, $\varphi_3 = 60\%$, $t_4 = 37^\circ\text{C}$, $G = 200 \text{ kg/h}$.

7.13. Bài toán cho như bài 7.12, xác định lượng nhiệt không khí nhả ra khi đi qua dàn bốc hơi theo công thức 7.16, xét sai số gặp phải.

Đáp số: $Q = 11546 \text{ kJ/h}$, sai số 7%.



7.14. Một dàn làm lạnh không khí tươi trong hệ thống điều hòa không khí cần làm lạnh lượng không khí $G_k = 10000$ kg/h, kết quả đo được: Nhiệt độ không khí vào dàn lạnh $t_1 = 35^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 70\%$, nhiệt độ không khí ra ngoài dàn lạnh $t_2 = 15^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 90\%$. Dàn lạnh sử dụng nước làm lạnh vào $t'_n = 6^\circ\text{C}$ và nhiệt độ nước lạnh ra $t''_n = 11^\circ\text{C}$.



Xác định:

- Năng suất lạnh của dàn lạnh Q_0 (kw).
- Lưu lượng nước lạnh qua dàn lạnh qua dàn G_n (kg/h).
- Lưu lượng nước ngưng tụ G_{ng} .

Giải

Từ đồ thị I - d tìm được:

- Điểm 1: Với $t_1 = 35^\circ\text{C}$; $\varphi_1 = 70\%$ tìm được

$$I_1 = 24 \text{ kcal/kgkk} = 100,3 \text{ kg/kgkk}$$

$$d_1 = 25 \text{ g/kgkk} = 0,025 \text{ kg/kgkk}$$

- Điểm 2: Với $t_2 = 15^\circ\text{C}$; $\varphi_2 = 90\%$ tìm được

$$I_2 = 24 \text{ kcal/kgkk} = 35,9 \text{ kJ/kgkk}$$

$$d_2 = 9,5 \text{ g/kgkk} = 0,0095 \text{ kg/kgkk}$$

a) Năng suất làm lạnh của dàn lạnh Q_0 :

$$Q_0 = G_k(I_1 - I_2) = \frac{10000}{3600}(100,3 - 35,9) = 178,9 \text{ kw}$$

b) Lưu lượng nước lạnh G_n được xác định từ điều kiện cân bằng nhiệt (nhiệt dung dịch riêng của nước $c_{pn} = 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. Khối lượng riêng của nước $\rho_n \approx 1000 \text{ kg/m}^3$):

$$Q_0 = G_k(I_1 - I_2) = G_n c_{pn}(t''_n - t'_n)$$

$$G_n = \frac{Q_u}{c_{pn}(t''_n - t'_n)} = \frac{178,9}{4,18(11-6)} = 8,56 \text{ kg/s} = 30815 \text{ kg/h}$$

$$V_n = 30,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.15. Trong một thiết bị của hệ thống điều tiết không khí có 2 dòng không khí hòa trộn với nhau: dòng 1 có thông số $t_1 = 31^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 80\%$, $G_1 = 600 \text{ kg/h}$, dòng không khí thứ 2: $t_2 = 22^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 60\%$, $G_2 = 150 \text{ kg/h}$. Áp suất khí trời $B = 1 \text{ bar}$

Xác định thông số trạng thái của hỗn hợp khí.

Giải

Từ đồ thị I - d tìm được:

Trạng thái 1:

$$\begin{array}{l} t_1 = 31^\circ\text{C} \\ \varphi_1 = 80\% \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} I_1 = 90 \text{ kJ/kgkk} \\ d_1 = 23 \text{ g/kgkk} \end{array}$$

Trạng thái 2:

$$\begin{array}{l} t_2 = 22^\circ\text{C} \\ \varphi_2 = 60\% \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} I_2 = 36 \text{ kJ/kgkk} \\ d_2 = 10,5 \text{ g/kgkk} \end{array}$$

Nếu gọi lưu lượng không khí khô là G_{1kk} và không khí ẩm là G_1 thì ta có quan hệ:

$$G_{1kk} = \frac{G_1}{1+0,001d_1} = \frac{600}{1+0,023} = 585,6 \text{ kg/h}$$

$$G_{2kk} = \frac{G_2}{1+0,001d_2} = \frac{150}{1+0,0098} = 148,5 \text{ kg/h}$$

Sau khi hỗn hợp ta có:

$$I_3 = \frac{G_{1kk}I_1 + G_{2kk}I_2}{G_{1kk} + G_{2kk}} = \frac{585,6 \times 90 + 148,5 \times 36}{585,6 + 148,5} = 71,5 \text{ kJ/kgkk}$$

$$d_3 = \frac{G_{1kk}d_1 + G_{2kk}d_2}{G_{1kk} + G_{2kk}} = \frac{585,6 \times 23 + 148,5 \times 10,5}{585,6 + 148,5} = 18,3 \text{ g/kgkk}$$

Biết I_3 và d_3 từ đồ thị I - d tìm được:

$$t_3 = 29,1^\circ\text{C}; \quad \varphi_3 = 80\%; \quad t_{ur} = 26,3^\circ\text{C}; \quad t_{ds} = 25,3^\circ\text{C}$$

Cũng có thể tính gần đúng như sau: Điểm 3 nằm trong đoạn thẳng nối điểm 1 và 2 trên đồ thị I - d.

$$\frac{13}{32} = \frac{G_{2kk}}{G_{1kk}} = \frac{148,5}{586,5} = \frac{1}{3,95} = \frac{1}{4}$$

Trên đồ I - d đem đoạn $\overline{12}$ chia thành 5 đoạn nhỏ ta sẽ xác định được điểm hỗn hợp 3. Đồng thời từ đồ thị tìm được:

$$I_3 = 81,3 \text{ kJ/kgkk} \quad d_3 = 20,3 \text{ g/kgkk} \quad t_3 = 29,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\varphi_3 = 80\% \quad t_{ur} = 26,3 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_{ds} = 25,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

7.16. Một hệ thống máy lạnh có bình ngưng tụ được giải nhiệt bằng không khí. Không khí ẩm trước khi vào dàn lạnh có thông số $t_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ $\varphi_1 = 70\%$, không khí ra khỏi dàn lạnh là không khí ẩm bão hòa có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ không khí vào $5 \text{ }^\circ\text{C}$. lưu lượng quạt gió dàn lạnh $G_1 = 2000 \text{ kg/h}$. Hệ số làm lạnh của máy lạnh $\varepsilon = 4$. Áp suất khí trời $B = 1 \text{ bar}$.

Tính nhiệt độ và độ ẩm không khí ra khỏi dàn nóng (dàn ngưng tụ) biết không khí vào dàn nóng có $t_3 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_3 = 70\%$ lưu lượng quạt $G_3 = 5000 \text{ kg/h}$ (sử dụng phương pháp tính toán có kiểm tra lại bằng đồ thị I - d).

$$\text{Đáp số: } t_4 = 31,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad \varphi_4 = 63,5\% \quad I_4 = 80,2 \text{ kJ/kgkk.}$$

7.17. Trong một phòng điều hòa không khí, ẩm kế khô - ướt đo được nhiệt độ nhiệt kế khô $t_k = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ và nhiệt kế ướt $t_{ur} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

a) Dùng phương pháp tính toán xác định các thông số I, φ , d, t_{ds} .

b) Biểu diễn trên đồ thị I - d và bằng phương pháp đồ thị kiểm tra lại kết quả tính toán. Áp suất khí trời $B = 1 \text{ bar}$.

$$\text{Đáp số: } I_k = 76 \text{ kJ/kgkk} \quad \varphi_k \approx 30\%$$

$$d_k = 0,014 \text{ kg/kgkk} \quad t_{ds} \approx 19,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

7.18. Không khí ẩm ở trạng thái 1 có thông số như sau: Nhiệt độ $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ $\varphi_1 = 20\%$, nếu việc phun nước vào dòng khí để hạ nhiệt độ xuống (xem như quá trình có entanpi không đổi) đến trạng thái 2.

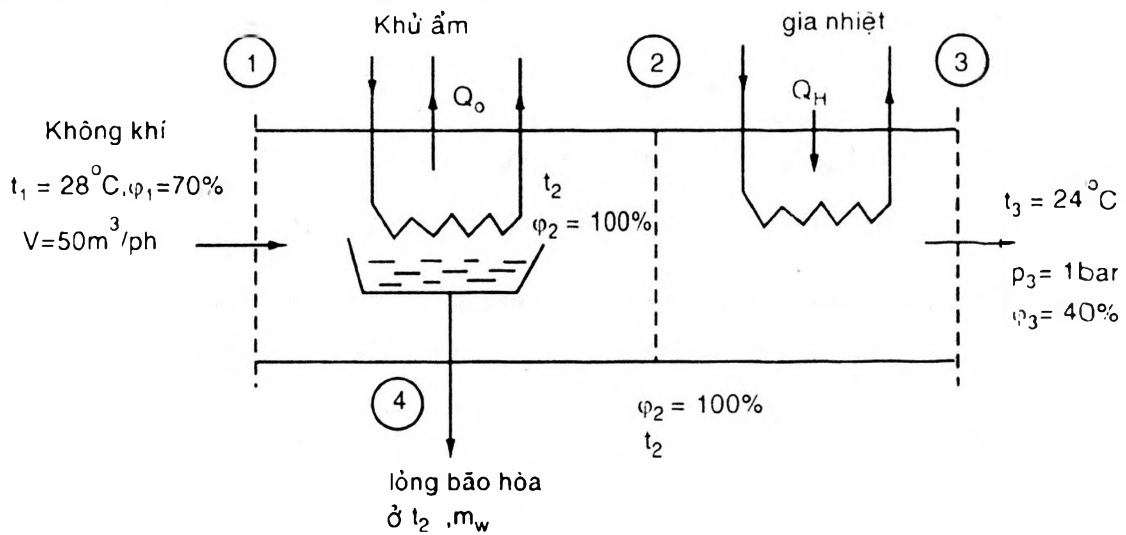
a) Dùng đồ I - d xác định nhiệt độ thấp nhất có thể đạt được $t_{2\min}$ của dòng không khí ra.

b) Nếu không khí ở trạng thái $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ và độ ẩm $\varphi = 80\%$, bằng phương pháp phun ẩm nhiệt độ tối thiểu có thể đạt được là bao nhiêu? Có nhận xét gì?

$$\text{Đáp số: } a) t_{2\min} = t_{ur} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$b) t_{\min} \approx 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

7.19. Sơ đồ thiết bị xử lý không khí ẩm và các thông số cho trên hình vẽ.



Xác định:

Nhiệt độ không khí ẩm sau khi khử ẩm.

Lượng nước ngưng

Năng suất lạnh để khử ẩm và nhiệt lượng cấp của bộ gia nhiệt.

Giải

Gọi lưu lượng khối lượng không khí khô là m_a và lưu lượng khối lượng của nước ngưng là m_w và của hơi nước là m_v ta có:

$$m_{a1} = m_{a2} = m_a$$

$$m_{v1} = m_w + m_{v2}$$

$$m_{v2} = m_a d_2 \text{ và ta có } d_2 = d_3 \text{ nên:}$$

Lưu lượng của không khí khô (coi như khí lý tưởng) được tính:

$$m_a = \frac{(p_1 - p_{v1})V_1}{R_a T_1}$$

$t_1 = 28^\circ\text{C}$ tra bảng các tính chất nhiệt động của nước và hơi nước trên đường bão hòa tìm được $p_{h\max} = 0,03811 \text{ bar}$

$$p_{h1} = \varphi_1 p_{h\max} = 0,7 \times 0,03811 = 0,02667 \text{ bar}$$

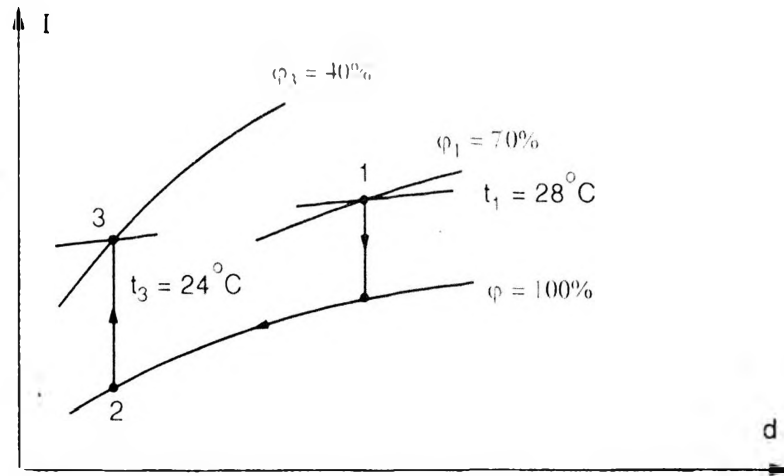
Áp suất riêng của không khí khô:

$$p_{a1} = 1 - p_{h1} = 0,9733 \text{ bar}$$

$$d_1 = 0,622 \frac{0,02667}{0,9733} = 0,01699 \text{ kg/kgkk}$$

$$I_1 = t_1 + (2500 + 2t_1)d_1 = 28 + (2500 + 56) 0,01699 = 71,42 \text{ kJ/kgkk}$$

Trạng thái 3 có $t_3 = 24^\circ\text{C}$, $\varphi_3 = 40\%$ tra bảng hơi nước tìm được:



$$t_3 = t_s = 24^\circ\text{C} \rightarrow p_{3h\max} = 0,03 \text{ bar}$$

$$p_{3h} = 1 - p_{h3} = 0,4 \times 0,03 = 0,012 \text{ bar}$$

$$I_3 = t_3 + (2500 + 2t_3)d_3 = 24 + (2500 + 48) 0,0075 = 43,27 \text{ kJ/kgkk}$$

Trạng thái 2 là không khí ẩm bão hòa nên $\varphi_2 = 100\%$ và $d_2 = d_3 = 0,0075 \text{ kJ/kgkk}$, từ đây ta có:

$$0,062 \frac{p_{h2}}{1 - p_{h2}} = 0,622 \frac{p_{h3}}{1 - p_{h3}}$$

suy ra: $p_{h2} = p_{h3}$

Với: $p_{h3} = p_{h3\max} = p_{h2} = 0,012 \text{ bar}$ (vì $\varphi_2 = 100\%$) tra bảng hơi nước tìm được $t_2 = 9,6^\circ\text{C}$

$$I_2 = t_2 + (2500 + 2t_2)d_2 = 9,6 + (2500 + 19,2) 0,00755 = 28,61 \text{ kJ/kgkk.}$$

$$m_a = \frac{p_{a1} \times V_1}{R_a T_1} = \frac{(0,9733 \cdot 10^5)(50)}{287 \times 301} = 56,34 \text{ kgkk/ph}$$

$$m_{v1} = d_1 \times m_a = 0,1699 \times 56,34 = 0,9572 \text{ kg/kgkk}$$

Năng suất làm lạnh :

$$\begin{aligned} Q_o &= m_a(I_1 - I_2) + m_w c_{pm} t_4 \\ &= 56,34 (71,42 - 28,61) + 0,5319 \times 4,18 \times 9,6 \\ &= 2412,3 + 21,3 = 2433,6 \text{ kJ/ph} \end{aligned}$$

ở đây:

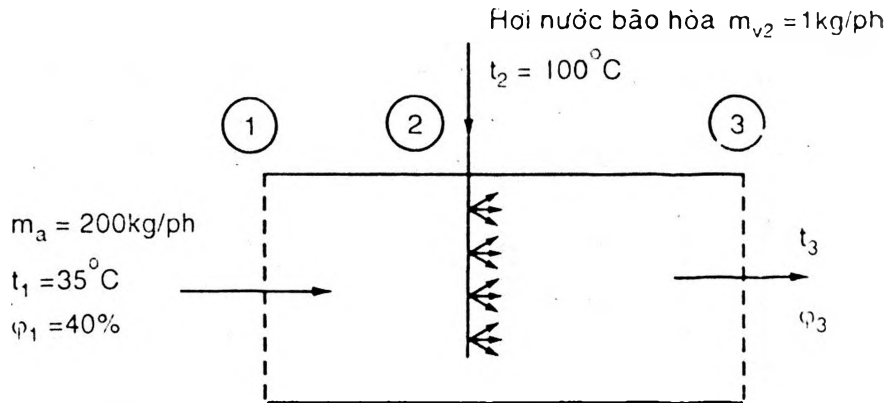
$$\begin{aligned} m_w &= m_a(d_1 - d_2) = m_a(d_1 - d_3) \\ &= 56,35 (0,01699 - 0,00755) = 0,5319 \text{ kg/ph} \end{aligned}$$

Năng suất gia nhiệt Q_H :

$$Q_H = m_a(I_3 - I_2) = 56,35 (43,27 - 28,61) = 826,1 \text{ kJ/ph}$$

7.20. Sơ đồ thiết bị điều ẩm và các thông số như hình vẽ

- Xác định nhiệt độ không khí ra t_3 và độ ẩm φ_3



- Nếu lượng hơi $m_{v2} = 5 \text{ kg/ph}$ và 6 kg/ph thì nhiệt độ và độ ẩm dòng không khí ra là bao nhiêu.

Giải

Trạng thái 1: $t_1 = 35^\circ\text{C}$ tra bảng hơi nước bão hòa tìm được

$$p_{1h\max} = 0,05622 \text{ bar}$$

$$p_{1h} = \phi_1 p_{1h\max} = 0,4 \times 0,05622 = 0,0225 \text{ bar}$$

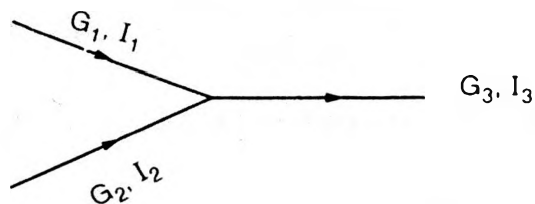
$$p_{1a} = 1 - p_{1h} = 0,9775 \text{ bar}$$

$$d_1 = 0,622 \frac{0,0225}{0,9775} = 0,0149 \text{ kg/kgkk}$$

$$I_1 = t_1 + (2500 + 2t_1)d_1 = 35 + (2500 + 70)0,0149 = 73,29 \text{ kJ/kgkk}$$

Với thông số ở trạng thái 1 ta có:

$$m_{v1} = d_1 \times m_a = 0,0149 \times 200 = 2,98 \text{ kg/ph}$$



Hơi phun vào ở trạng thái 2 có $p = 1 \text{ bar}$ và $m_{v2} = 1 \text{ kg/ph}$ ta có:

$$i''_2 = 2676 \text{ kJ/kg}; \quad r_2 = 2257 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{v3} = m_{v1} + m_{v2} = 2,98 + 1 = 3,98 \text{ kg/ph}$$

trong đó: m_a - lưu lượng của không khí khô; m_v - lưu lượng của hơi nước

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = 14658 + 2676 = 17334 \text{ kJ/ph}$$

$$d_3 = \frac{m_{v3}}{m_a} \text{ (vì } m_{a1} = m_{a2} = m_a \text{)}$$

$$d_3 = \frac{3,98}{200} = 0,0199 \text{ kg/kgkk}$$

$$I_3 = \frac{Q_3}{m_1} = \frac{17334}{200} = 86,7 \text{ kJ/kgkk}$$

$$I_3 = t_3 + (2500 + 2t_3)d_3 = 86,7 = t_3 + (2500 + 2t_3)0,0199$$

Ta tìm được: $t_3 = \frac{36,95}{1,0398} = 35,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Với: $t_3 = 35,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ta tìm được $p_{3hmax} = 0,06 \text{ bar}$

$$d_3 = 0,622 \frac{p_{3h}}{1 - p_{3h}} = 0,0198 \text{ kg/kgkk}$$

Do đó: $p_{3h} = 0,0308 \text{ bar}$

$$\varphi_3 = \frac{p_{3h}}{p_{3hmax}} = \frac{0,308}{0,06} = 51,3\%$$

Tính toán tương tự nếu phun 5 kg hơi/ph ta có:

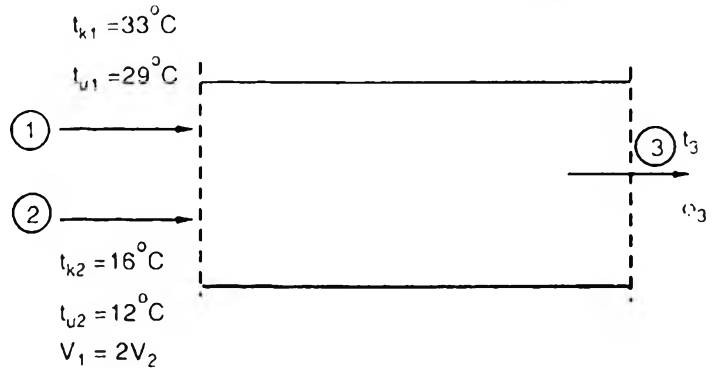
$$t'_3 = 36,9; \quad \varphi'_3 = 93,8\%$$

Nếu phun 6 kg hơi/ph ta có:

$$t''_3 = 39^\circ\text{C}; \quad \varphi''_3 = 96\%$$

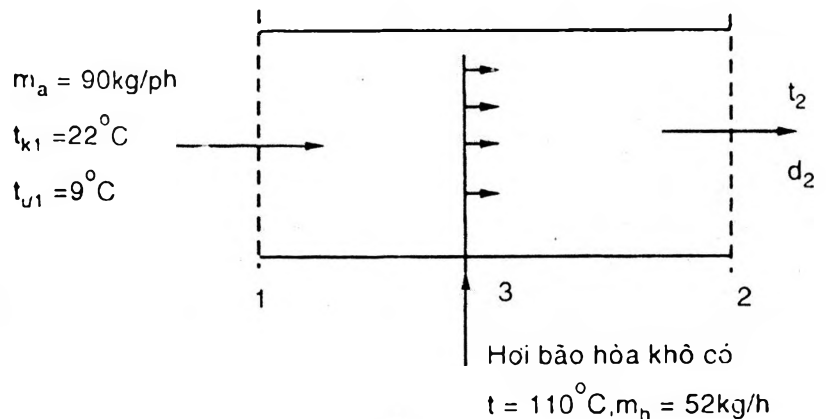
Từ đây chúng ta nhận thấy khi dùng hơi nước để làm tăng ẩm nhiệt độ dòng không khí tăng không đáng kể trong khi đó độ ẩm của hơi tăng rõ rệt.

7.21. Thiết bị hòa trộn hai dòng không khí ẩm bố trí như hình vẽ, lưu lượng dòng thứ hai gấp đôi dòng thứ nhất, các thông số cần thiết cho trên hình. Xác định nhiệt độ và độ ẩm φ_3



Đáp án: $t_3 = 21,17^\circ\text{C}$ $\varphi_3 = 78,8\%$

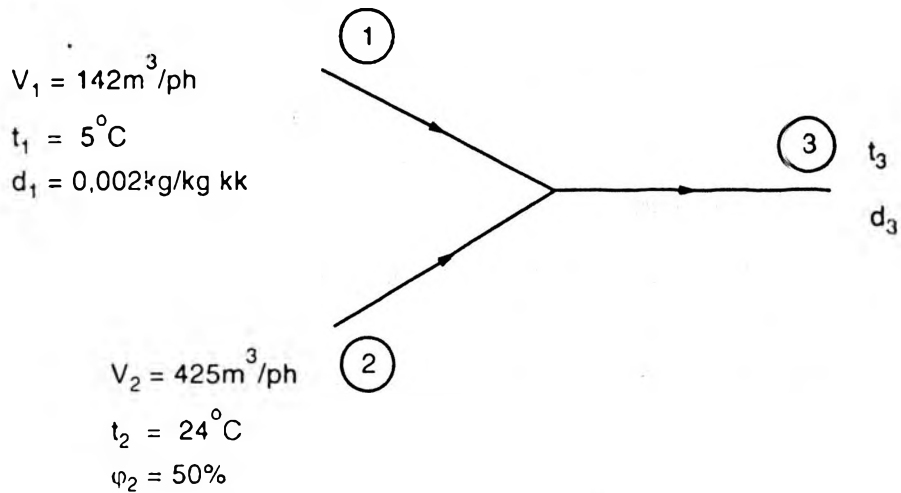
7.22. Cho một thiết bị phun ẩm bố trí như hình vẽ. Trong đó không khí vào có nhiệt độ nhiệt kế khô $t_{k1} = 22^\circ\text{C}$ và nhiệt độ nhiệt kế ướt $t_{u1} = 9^\circ\text{C}$, các thông số còn lại cho trên hình.



Xác định: t_2 và φ_2

Đáp số: $t_2 = 24^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 61,5\%$

7.23. Cho hai dòng không khí ẩm hòa trộn để tạo dòng thứ 3, sơ đồ bố trí và thông số như hình vẽ.

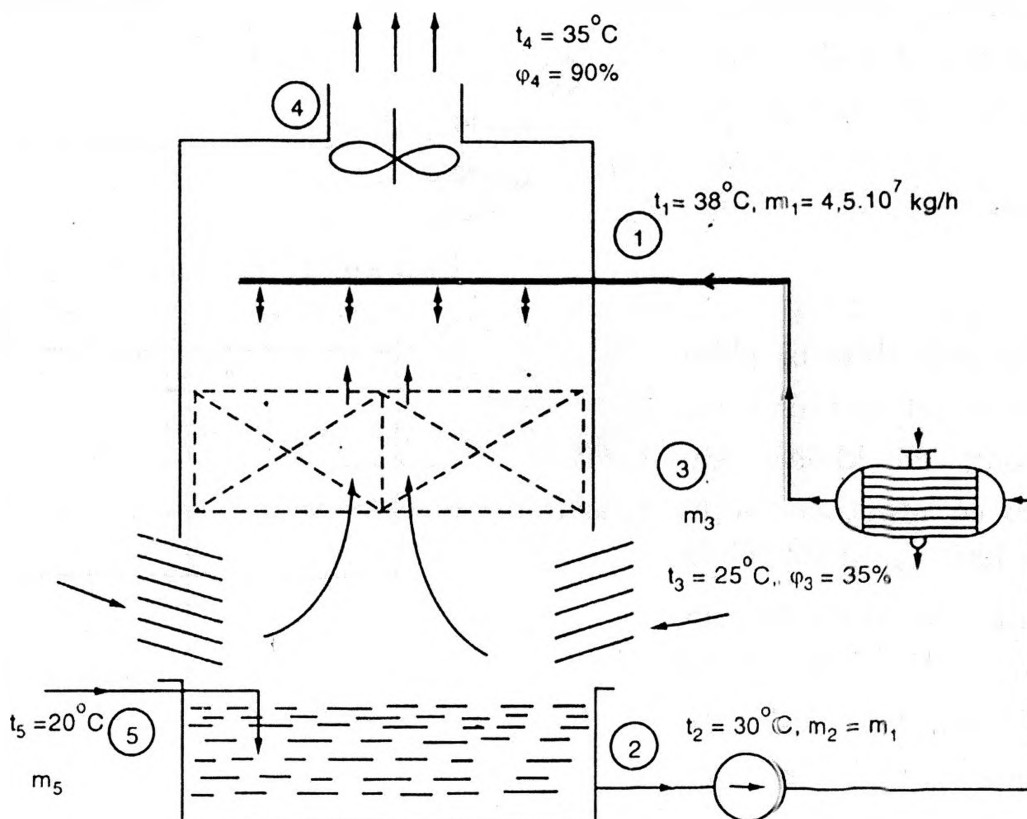


Xác định t_3 và d_3

Đáp số: $t_3 \approx 19^\circ\text{C}$

$d_3 \approx 0,0074\text{ kg/kgkk}$

7.24. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của một tháp giải nhiệt và các thông số cần như hình vẽ.



Xác định lưu lượng không khí cần thiết qua tháp và lượng nước bổ sung cho tháp.

Giải

Từ phương trình cân bằng khối lượng lưu, lượng các dòng chất lỏng trong tháp như sau:

$$m_{a3} = m_{a4}$$

$$m_1 + m_5 + m_{v3} = m_2 + m_{v4}$$

vì: $m_1 = m_2$ nên $m_5 = m_{v4} - m_{v3}$

trong đó: m_a - lưu lượng dòng không khí khô (do quạt hút qua tháp)

m_1 và m_2 - lưu lượng dòng nước qua bơm và hình ngưng.

m_v - lưu lượng dòng hơi nước chứa trong không khí ẩm.

m_5 - lưu lượng nước bổ sung.

$$m_{v3} = d_3 m_a, m_{v4} = d_4 m_a$$

Do đó: $m_5 = m_a (d_4 - d_3)$

Ở trạng thái 4: $t_4 = 35^\circ\text{C}$ ta tìm được $p_{4h\max} = 0,05622$ bar

$$p_{4h} = \varphi_4 p_{4h\max} = 0,9 \times 0,05622 = 0,0506 \text{ bar}$$

và: $p_{4a} = 1 - p_{4h} = 0,9494$ bar

$$d_4 = 0,622 \frac{0,0506}{0,9494} = 0,03315 \text{ kg/kgkk}$$

Ở trạng thái 3: $t_3 = 25^\circ\text{C}$ ta có $p_{3h\max} = 0,03166$ bar

$$p_{3h} = 0,35 \times 0,03166 = 0,03315 \text{ kg/kgkk}$$

$$p_{3a} = 0,9889 \text{ bar}$$

$$d_3 = 0,622 \frac{0,01108}{0,9889} = 0,00697 \text{ kg/kgkk}$$

Viết phương trình cân bằng năng lượng cho tháp giải nhiệt ta có:

$$m_a I_3 + m_1 c_p t_1 + m_5 c_{p5} t_5 = m_a I_4 + m_2 c_{p2} t_2 \quad (\text{a})$$

Nếu xem nhiệt dung riêng của nước $c_p = 4,18$ kJ/kg độ, phương trình

(a) có thể viết lại như sau:

$$m_a I_3 + m_1 c_p t_1 + m_a (d_4 - d_3) c_p t_5 = m_a I_4 + m_1 c_p t_2$$

trong đó:

$$I_3 = t_3 + (2500 + 2t_3) d_3 = 25 + (2500 + 50) 0,00697 = 42,7735 \text{ kJ/kgkk}$$

$$I_4 = t_4 + (2500 + 2t_4) d_4 = 35 + (2500 + 70) 0,03315 = 120,19 \text{ kJ/kgkk}$$

Do đó:

$$m_a \times 42,77 + (4,5 \cdot 10^7) 4,18 \times 38 - m_a (0,03315 - 0,00697) \times 4,18 \times 20$$

$$= m_a \times 120,19 + (4,5 \cdot 10^7) 4,18 \times 30$$

$$75,237 m_a = 150,48 \cdot 10^7$$

$$m_a = 2.0 \cdot 10^7 \text{ kgkk/h}$$

Lưu lượng không khí ẩm do quạt hút qua tháp giải nhiệt là:

$$\begin{aligned} m &= m_a + d_4 m_a = m_a (1 + d_4) \\ &= 1,00697 \times 2,0 \cdot 10^7 = 2,01394 \cdot 10^7 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Lưu lượng nước bổ sung:

$$\begin{aligned} m_5 &= m_a (d_4 - d_3) = 0,02618 \times 2,0 \cdot 10^7 \\ \frac{m_5}{m_1} &= \frac{0,05236 \cdot 10^7}{2,0 \cdot 10^7} = 0,02618 = 2,62\% \end{aligned}$$

7.25. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của thiết bị tương tự bài 7.24 nhưng các thông số thay đổi như sau:

$$t_4 = 30^\circ \text{C} \quad \varphi_4 = 85\%$$

$$t_1 = 35^\circ \text{C} \quad m_1 = 250.000 \text{ kg/h}$$

$$t_2 = 17,5^\circ \text{C}$$

$$t_3 = 15^\circ \text{C} \quad \varphi_3 = 30\%$$

Xác định lưu lượng không khí qua tháp giải nhiệt và lượng nước bổ sung.

Đáp số: $m_a = 276.512 \text{ kgkk/h}$

$$m_5 = 5531,3 \text{ kg/h (2,2\%)}$$

CHU TRÌNH THIẾT BỊ LẠNH

Thiết bị lạnh là thiết bị thực hiện theo nguyên lý Carnot, nhận nhiệt từ nguồn lạnh, thải nhiệt cho nguồn nóng và tiêu hao công. Thiết bị lạnh nhằm tạo ra nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ môi trường xung quanh để phục vụ cho các quá trình công nghệ và điều tiết không khí. Để đánh giá mức độ hoàn thiện của chu trình người ta dùng tỷ số giữa lượng nhiệt lấy được từ buồng lạnh và công tiêu hao của chu trình gọi là hệ số làm lạnh ε :

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_0} = \frac{|q_0|}{q_1 - |q_0|}$$

ở đây: q_1 - là nhiệt lượng chất môi giới thải cho nguồn nóng.

q_0 - nhiệt lượng chất môi giới lấy từ nguồn lạnh

Chu trình lý tưởng của thiết bị lạnh là chu trình Carnot ngược xóa và hệ số làm lạnh của nó được tính:

$$\varepsilon = \frac{T_0}{T - T_0}$$

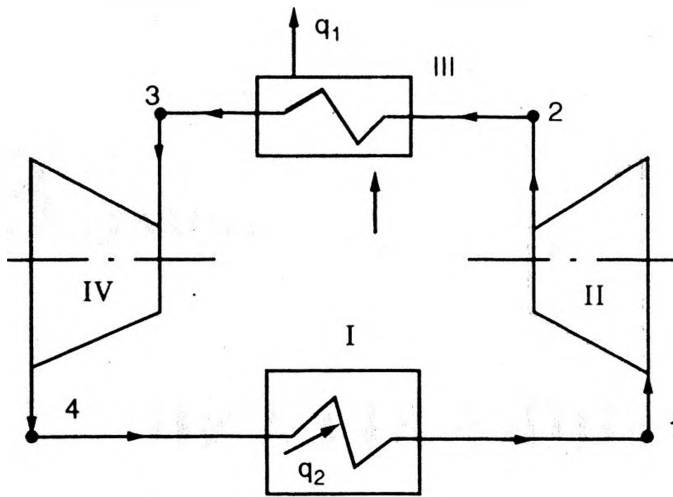
trong đó: T - nhiệt độ của nguồn nóng ($^{\circ}\text{K}$)

T_0 - nhiệt độ của nguồn lạnh ($^{\circ}\text{K}$)

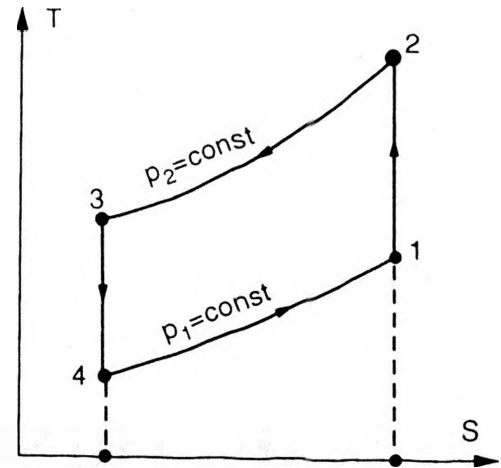
Để phục vụ cho nhiều loại công nghệ khác nhau nên thiết bị lạnh có cấu tạo rất đa dạng, trong phần này chúng ta chỉ đề cập đến những dạng tương đối phổ cập.

8.1. CHU TRÌNH MÁY LẠNH DÙNG KHÔNG KHÍ

Sơ đồ thiết bị lạnh dùng không khí và chu trình của nó được thể hiện trên H.8.1 và H.8.2.



Hình 8.1



Hình 8.2

Không khí từ buồng làm lạnh I hút vào máy nén II, sau đó được nén lên với áp suất và nhiệt độ cao. Không khí này được đẩy sang buồng làm mát III, ở đây không khí thải ra nguồn nóng một nhiệt lượng q_1 và được hút vào xy lanh giãn nở IV để giãn nở và nhiệt độ giảm xuống thấp. Không khí có nhiệt độ thấp này được đẩy qua buồng làm lạnh, hấp thu lượng nhiệt từ nguồn lạnh q_2 , không khí sẽ nóng dần lên và được tiếp tục đưa về máy nén, chu trình được lặp lại:

$$q_o = i_1 - i_4 = c_p(T_1 - T_4) \quad (8.1)$$

Công tiêu hao của máy nén:

$$l_{mn} = i_2 - i_1 = c_p(T_2 - T_1) \quad (8.2)$$

Công nhận được từ xy lanh giãn nở:

$$l_x = i_3 - i_4 = c_p(T_3 - T_4) \quad (8.3)$$

Công tiêu hao của chu trình:

$$l_o = l_{mn} - l_x \quad (8.4)$$

Đơn vị của q_o và l_o là kJ/kg hoặc kcal/kg. Tùy theo năng suất lạnh yêu cầu là Q_o - kJ/s hoặc kcal/h mà tìm được lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất trong thiết bị:

$$G = \frac{Q_o}{q_o} \text{ kg/h} \quad (8.5)$$

Hệ số làm lạnh trong trường hợp quá trình nén và giãn nở là quá trình đoạn nhiệt ($S = \text{const}$):

$$\varepsilon = \frac{|q_o|}{q_1 - |q_o|} = \frac{|q_o|}{l_o} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{T_4}{T_3 - T_4} \quad (8.6)$$

Công suất lý thuyết của động cơ:

$$N_{lt} = G \cdot l_0, \text{ kw} \quad (8.7)$$

nếu l_0 - kJ/kg và G - kg/s

8.2 CHU TRÌNH THIẾT BỊ LẠNH DÙNG HƠI CÓ MÁY NÉN

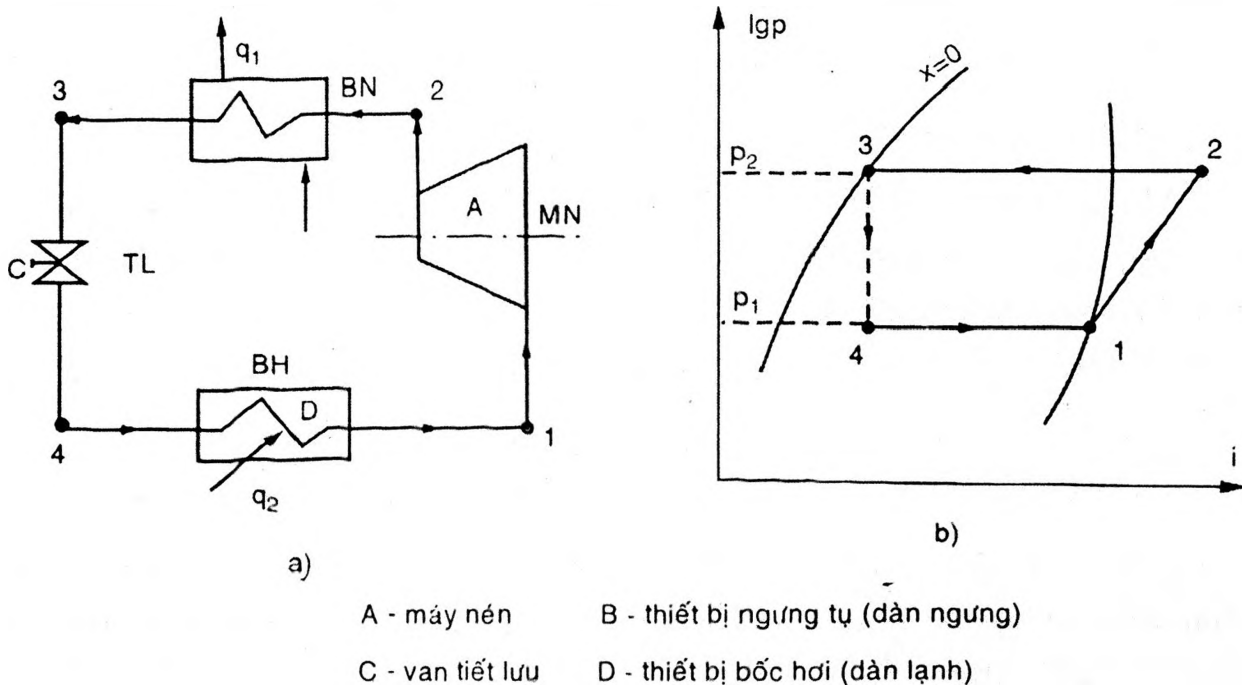
Máy lạnh dùng hơi hiện nay được sử dụng rất phổ cập, tùy theo yêu cầu công nghệ và kỹ thuật ... nên máy có nhiều dạng khác nhau.

Lãnh chất được sử dụng phổ cập hiện nay là Amoniác NH_3 , Freon (ký hiệu là R hoặc F) như R_{11} , R_{12} , R_{22} nhưng trong tương lai các lãnh chất này sẽ bị cấm vì ảnh hưởng đến môi trường, lãnh chất có thể thay thế dần sẽ là R - 134a, R - 123

1- Chu trình máy lạnh một cấp

Sơ đồ nguyên lý máy lạnh dùng hơi thể hiện trên H.8.3 a

Trong máy lạnh dùng hơi, van tiết lưu 3 được sử dụng để thay thế cho xy lanh giãn nở.



Hình 8.3

Hơi lãnh chất sau khi ra khỏi dàn lạnh (thường là hơi bão hòa khô hoặc hơi quá nhiệt) ở trạng thái 1 được hút vào máy nén ở áp suất p_1 , sau đó hơi được nén đoạn nhiệt đến áp suất p_2 (điểm 2). Ra khỏi máy nén hơi đi vào bình ngưng tụ, trong quá trình ngưng tụ $p_2 = \text{const}$ hơi sẽ thải nhiệt cho môi trường xung quanh và biến thành lỏng bão hòa (điểm 3). Chất lỏng ngưng tụ khi ra khỏi bình ngưng qua van tiết lưu, áp suất giảm từ p_2 đến

p_1 , nhiệt độ sôi của môi chất cũng giảm theo, chất lỏng khi ra khỏi van tiết lưu là hơi bão hòa ẩm (điểm 4) có entanpi $i_4 = i_3$. Hơi bão hòa ẩm đi vào bình bốc hơi nhận nhiệt của vật cần làm lạnh ở áp suất $p_1 = \text{const}$ và biến thành hơi bão hòa khô (hoặc hơi quá nhiệt), sau đó được hút về máy nén. Chu trình được thể hiện trên đồ thị lgp-i như H.8.3b.

Đối với chu trình:

$$q_1 = i_2 - i_3, \text{ kJ/kg} \quad (8.8)$$

$$|q_2| = i_1 - i_4, \text{ kJ/kg (trong đó } i_4 = i_3) \quad (8.9)$$

$$|l_0| = i_2 - i_1, \text{ kJ/kg} \quad (8.10)$$

Năng suất lạnh của máy

$$Q_o = G \cdot q_2 \quad (8.11)$$

G (kg/s) - Lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất.

Công suất của máy nén:

$$N = G \cdot |l_0|, \text{ kw} \quad (8.12)$$

Hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{N} = \frac{q_2}{|l_0|} \quad (8.13)$$

Thông thường hơi được hút từ buồng lạnh về máy nén là hơi quá nhiệt (tùy theo loại máy nén mà độ quá nhiệt có yêu cầu khác nhau), ngoài ra quá trình tiết lưu là quá trình có tổn thất, để giảm tổn thất này trong các thiết bị lạnh thực tế có bố trí thêm bộ phận hồi nhiệt. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị loại này được biểu diễn trên H.8.6.

Hơi sau khi ra khỏi dàn bốc hơi (dàn lạnh) ở trạng thái 1 có nhiệt độ và áp suất thấp đi vào bình hồi nhiệt HN (bình này xét về phía hơi người ta gọi là bình quá nhiệt, xét về phía lỏng còn gọi là bình quá lạnh), nó nhận nhiệt của chất lỏng từ bình ngưng (làm nhiệt độ của chất lỏng ngưng giảm từ t_3 đến t_3') và quá nhiệt hơi bão hòa ở trạng thái 1 thành hơi quá nhiệt ở trạng thái 1' rồi được hút về máy nén, quá trình tiếp lặp lại như cũ.

Chu trình này được biểu diễn trên đồ thị T - S và lgp - i như H.8.4 và H.8.5

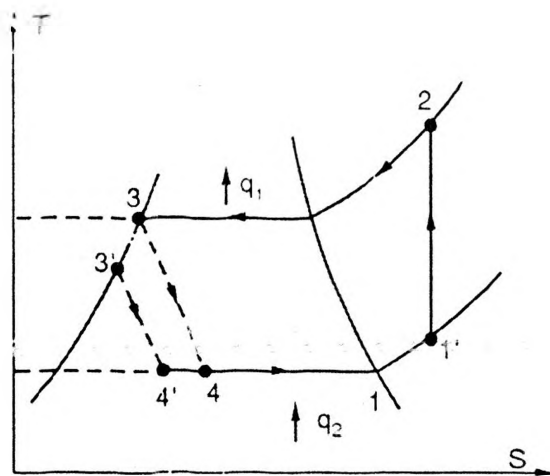
Trong trường hợp này được tính:

$$Q_o = Gq_2 = (i_1 - i_4), \text{ kw} \quad (8.14)$$

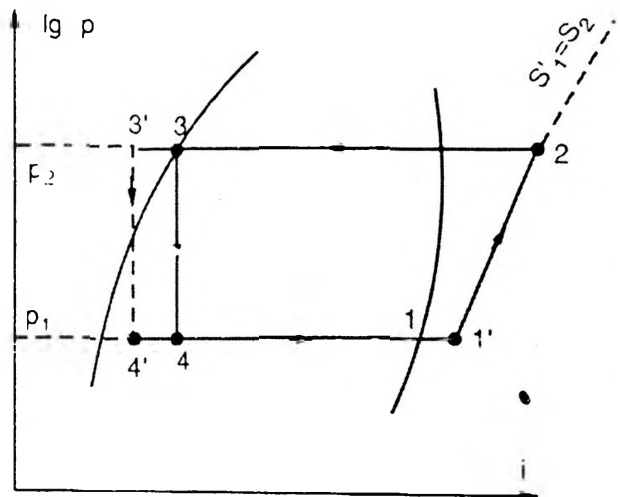
$$N = G|l_0| = G(i_2 - i_1), \text{ kw} \quad (8.15)$$

Nhiệt trao đổi trong bình hồi nhiệt Q_h :

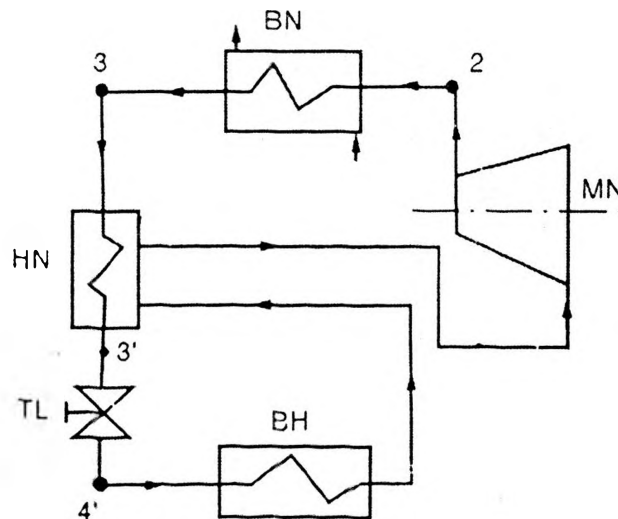
$$Q_h = G \cdot q_h = G(i_1 - i_4) \cdot kw \tag{8.16}$$



Hình 8.4



Hình 8.5

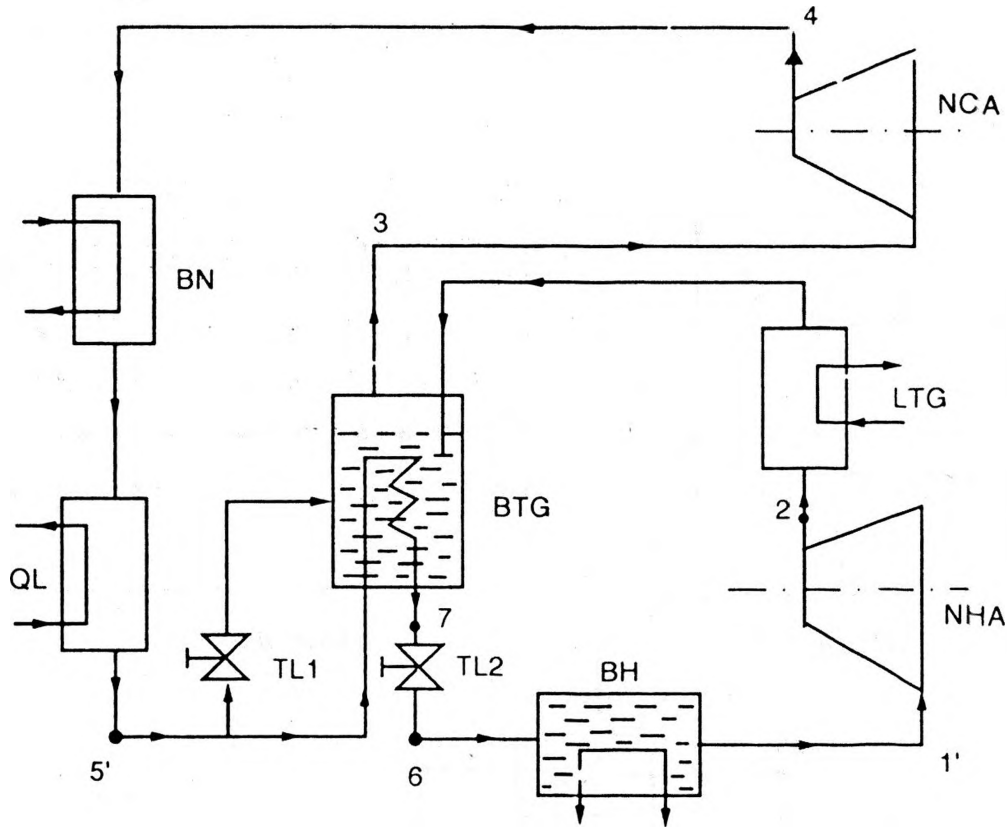


Hình 8.6

Chúng ta nhận thấy do có quá lạnh chất lỏng ngưng (trong bình hồi nhiệt) nên $q_2 = i_1 - i_{4'}$, là lớn hơn $q_2 = i_1 - i_4$ của chu trình không có quá lạnh.

2- Chu trình máy lạnh hai cấp (hoặc nhiều cấp)

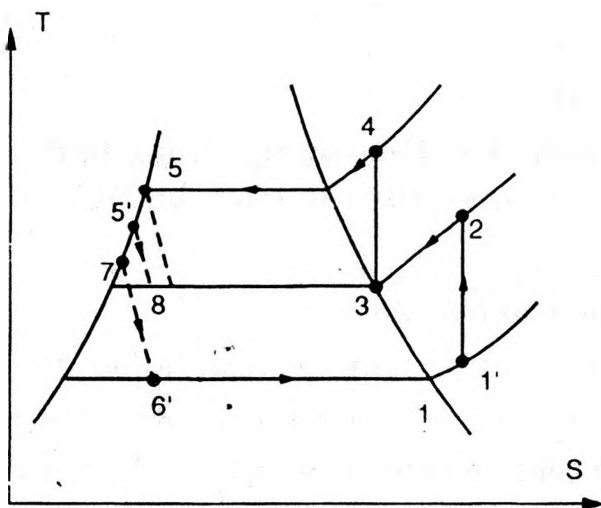
Trong trường hợp hệ thống máy lạnh có độ lạnh quá sâu (nhiệt độ bốc hơi quá thấp so với nhiệt độ môi trường), tỷ số nén tăng cao dẫn đến tổn thất công nén, tiết lưu và các tổn thất phụ khác tăng, năng suất lạnh riêng giảm nếu dùng máy nén 1 cấp. Để khắc phục điều này thường dùng máy nén nhiều cấp, có nhiều loại sơ đồ nguyên lý khác nhau, mỗi loại có ưu điểm riêng. Sau đây chúng ta chỉ xét 1 loại sơ đồ tương đối phổ cập để hiểu về phương pháp tính toán (H.8.7).



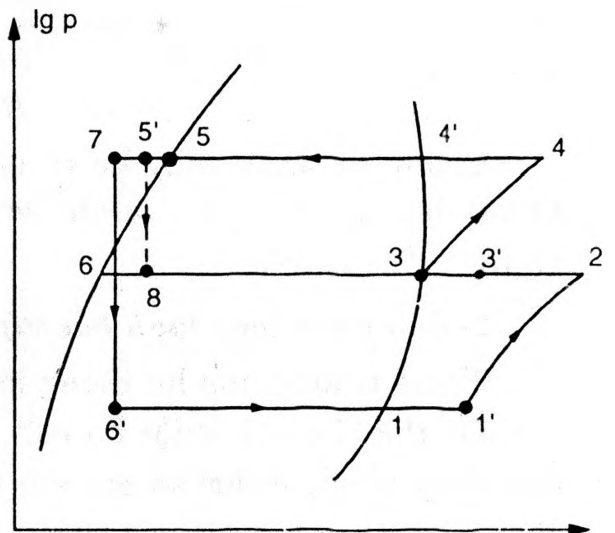
NCA - Nén cao cấp ; BN - Bình ngưng tự; TL1 - Van tiết lưu 1
 BTG - Bình trung gian; LTG - Bình làm mát trung gian
 NHA - Nén hạ áp; BH - Bình bốc hơi; TL2 - Van tiết lưu 2

Hình 8.7. Sơ đồ nguyên lý máy nén hai cấp

Đồ thị T-S và lg p được biểu diễn trên H.8.8 và H.8.9.



Hình 8.8



Hình 8.9

Các quá trình nhiệt động thực hiện như sau:

1'-2. Quá trình nén đoạn nhiệt trong máy nén hạ áp NHA

2-3. Quá trình làm mát $p = \text{const}$ trong bình làm mát trung gian LTG

2'-3'. Làm mát hơi trong bình trung gian BTG

3-4. Nén đoạn nhiệt trong máy nén cao áp NCA

4-5. Ngưng tụ =const trong bình ngưng BN

5.5'. Chất lỏng ngưng tụ được quá lạnh trong bình quá lạnh QL

5'.8. Một phần lỏng đã quá lạnh được tiết lưu qua TL1 để làm mát bình trung gian, hơi tạo thành là hơi bão hòa ẩm (điểm 8) ở áp suất trong bình trung gian p_2 , hơi ẩm này tách ra thành chất lỏng ngưng ở trong bình (điểm 6) và hơi bão hòa khô ra khỏi bình vào máy nén cao áp NCA (điểm 3).

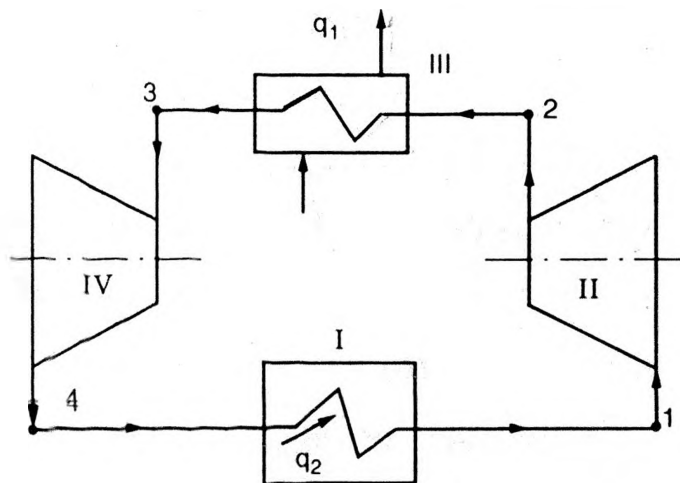
5'.7. Quá trình quá lạnh phần lớn chất lỏng ngưng từ bình QL trong ống xoắn đặt trong bình trung gian (BTG).

7.6'. Quá trình tiết lưu chất lỏng trong van tiết lưu 2, TL2 (thông thường nhiệt độ ở điểm 7 cao hơn nhiệt độ trong bình trung gian ($2 \div 3^\circ\text{C}$)).

6'-1. Quá trình bốc hơi nhận nhiệt của vật cần làm lạnh trong bình bốc hơi BH ở áp suất.

BÀI TẬP

8.1. Chu trình thiết bị lạnh dùng không khí như H.8.10, không khí từ buồng làm lạnh 1 đi vào máy nén II có nhiệt độ $t_1 = -5^\circ\text{C}$. Sau khi nén đoạn nhiệt trong máy nén, không khí có áp suất $p_2 = 5 \text{ bar}$ và được đẩy vào bình làm mát III. Qua bình làm mát nhiệt độ không khí hạ xuống $t_3 = 15^\circ\text{C}$ trong điều kiện áp suất không đổi.



Hình 8.10

Sau đó không khí được chuyển vào xylanh giãn nở IV và cuối cùng được đẩy qua buồng làm lạnh I. Hãy xác định công của chu trình l_o , năng suất lạnh q_o , hệ số làm lạnh ϵ và ϵ_k .

Đáp số: $l_o = 51,5 \text{ kJ/kg}$, $q_o = 89,9 \text{ kJ/kg}$

$\epsilon = 1,69$; $\epsilon_k = 13,4$

8.2. Thiết bị lạnh dùng không khí như H.8.12 có năng suất lạnh $Q_o = 200.000 \text{ kJ/h}$. Không khí khi vào máy nén có áp suất $p_1 = 1 \text{ bar}$, nhiệt độ $t_1 = 10^\circ\text{C}$. Áp suất không khí sau khi nén $p_2 = 5 \text{ bar}$. Nhiệt độ không khí vào xy lanh giãn nở $t_3 = 20^\circ\text{C}$. Hãy xác định công suất lý thuyết của máy phát cần cho thiết bị lạnh đó, hệ số làm lạnh, lượng nhiệt truyền cho nước ở buồng làm mát.

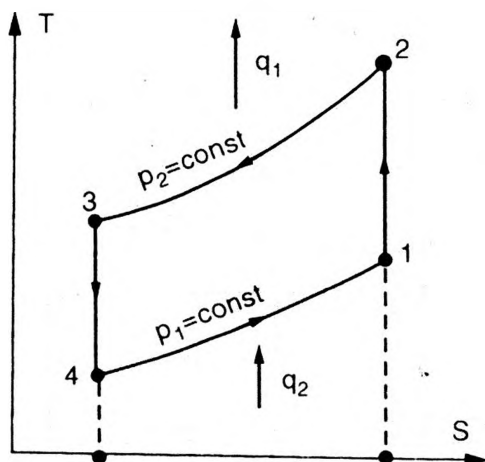
Giải

Chu trình thiết bị lạnh được thể hiện trên đồ thị $p - v$ và $T - s$ như H.8.11 và H.8.12.

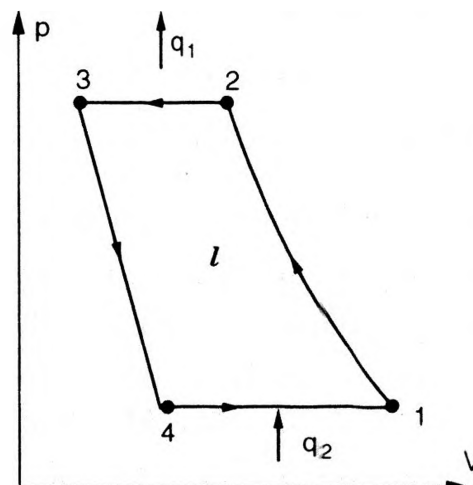
Các thông số đặc trưng của chu trình được tính toán như sau:

1 - 2 là quá trình nén đoạn nhiệt:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{k-1/k} = 263 \times 5^{0.286} = 416^\circ\text{K}$$



Hình 8.11



Hình 8.12

3 - 4 là quá trình giãn nở đoạn nhiệt, ta có:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{k-1/k} = 5^{0.286} = 1,583$$

$$T_4 = \frac{T_3}{1,583} = \frac{293}{1,583} = 185^\circ\text{K} = -88^\circ\text{C}$$

$$l_{mn} = c_p(T_2 - T_1) = 1,01(416 - 263) = 154,5 \text{ kJ/kg}$$

$$l_x = c_p(T_3 - T_4) = 1,01(293 - 185) = 109 \text{ kJ/kg}$$

$$l_o = l_{mn} - l_x = 154,5 - 109 = 45,5 \text{ kJ/kg}$$

$$q_o = c_p(T_1 - T_4) = 1,01(263 - 185) = 78,7 \text{ kJ/kg}$$

Lưu lượng không khí cần:

$$G = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{200.000}{78,7 \times 3600} = 0,705 \text{ kg/s}$$

Công suất lý thuyết của máy phát:

$$N_{lt} = G l_0 = 0,705 \times 45,5 = 32,1 \text{ Kw}$$

Hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_0} = 1,73$$

Lượng nhiệt truyền cho nước ở thiết bị giải nhiệt (làm mát):

$$q = q_0 + l_0 = 78,7 + 45,5 = 124,2 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = G \cdot q = 0,705 \times 3600 \times 124,2 = 3,14 \cdot 10^5 \text{ kJ/h}$$

8.3. Thiết bị lạnh dùng không khí có năng suất lạnh $Q_0 = 200.000 \text{ kcal/h}$. Thông số của không khí vào máy nén $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$, $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Áp suất không khí ra máy nén $p_2 = 0,5 \text{ MPa}$, sau đó không khí được làm nguội đến $t_3 = 32^\circ\text{C}$. Hãy xác định công suất lý thuyết của máy phát và hệ số làm lạnh.

Đáp số: $N_{lt} = 135,2 \text{ kw}$, $\varepsilon = 1,718$

8.4. Một nhà máy nước đá cây có năng suất lạnh $Q_0 = 600 \text{ kw}$ hoạt động với thông số như sau:

- Nhiệt độ sôi của lạnh chất NH_3 là $t_0 = -15^\circ\text{C}$, hơi hút về máy nén là hơi bão hòa khô.

- Áp suất ngưng tụ $p_N = 14 \text{ at}$, lỏng trước van tiết lưu là lỏng bão hòa.

- Bình ngưng giải nhiệt bằng nước, nhiệt độ nước vào $t'_n = 26^\circ\text{C}$ và nhiệt độ nước ra $t''_n = 31^\circ\text{C}$.

1) Thiết lập sơ đồ nguyên lý và đồ thị T - S của chu trình.

2) Tính: năng suất nhiệt bình ngưng $Q_N [\text{kw}]$, công suất của máy nén $N [\text{kw}]$, hệ số làm lạnh ε .

3) Tính lưu lượng bơm nước giải nhiệt bình ngưng tụ $G_n [\text{m}^3/\text{kg}]$. Khi tính toán xem NDR của nước $c_{pn} = 4,18 \text{ kJ/kg độ}$, $\rho_n = 1000 \text{ kg/m}^3$.

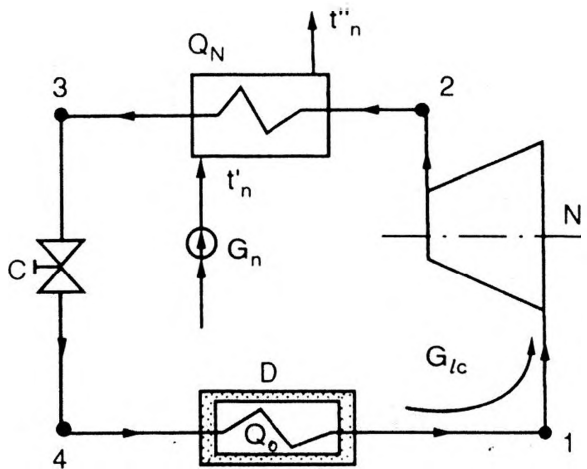
Giải

Trạng thái 1 được xác định từ 2 thông số $t_0 = -15^\circ\text{C} = t_1$; $x_1 = 1$.

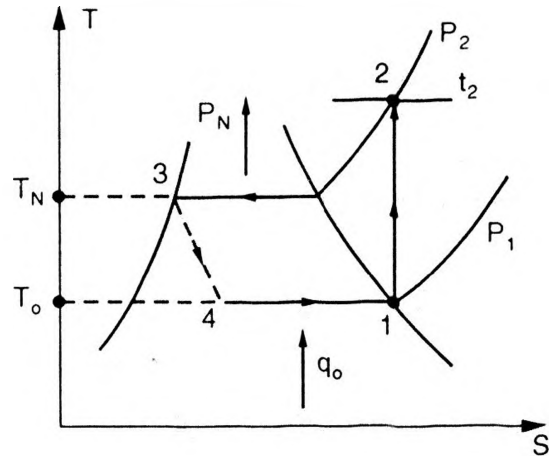
1) Từ bảng thông số nhiệt động của NH_3 (R717) ở trạng thái bão hòa ta có $t_0 = -15^\circ\text{C} \rightarrow p_0 = 2,10 \text{ at}$ $i'_0 = 83,59 \text{ kcal/kg}$, $i''_0 = 397,12 \text{ kcal/kg}$

$r_0 = 313,5 \text{ kcal/kg}$ $S'_0 = 0,9385 \text{ kcal/kg độ}$ $S''_0 = 2,1532 \text{ kcal/kg độ}$

$$i_1 = i''_o = 397,12 \text{ kcal/kg} \quad s_1 = s''_o = 2,1532 \text{ kcal/kg độ}$$



Hình 8.13



Hình 8.14

2) Xác định bởi $p_2 = 14 \text{ at}$; $S_2 = S_1 = 2,1532 \text{ kcal/kg độ}$

Từ bảng thông số nhiệt động của NH_3 ở trạng thái hơi quá nhiệt ta tìm được:

$$i_2 = 458,08 \text{ kcal/kg} \quad v_2 = 0,1283 \text{ m}^3/\text{kg} \quad t_2 = 110^\circ\text{C}$$

3) Xác định bởi $p_3 = p_2 = 14 \text{ bar}$; $x_3 = 0$ (lỏng bão hòa) ta có:

$$i_3 = i'_3 = 140,39 \text{ kcal/kg.}$$

4) Sau tiết lưu $i_4 = i_3 = 140,39 \text{ kcal/kg}$

Năng suất lạnh riêng q_o :

$$q_o = i_1 - i_4 = 397,12 - 140,39 = 256,73 \text{ kcal/kg}$$

$$= 256,7 \times 4,18 = 1073,1 \text{ kJ/kg}$$

$$q_N = i_2 - i_3 = 458,08 - 140,39 = 317,69 \text{ kcal/kg} = 1329,94 \text{ kJ/kg}$$

$$l = i_2 - i_1 = 458,08 - 379,12 = 60,69 \text{ kcal/kg} = 254,8 \text{ kJ/kg}$$

Lưu lượng lạnh chất qua máy nén G_{lc} :

$$G_{lc} = \frac{Q_o}{q_o} = \frac{600}{256,73} = 2,34 \text{ kg/s}$$

$$Q_N = G_{lc} \times q_N = 2,34 \times 1073,13 = 2511,1 \text{ kw}$$

$$N_{mn} = G_{lc} \times l = 2,34 \times 254,8 = 596,2 \text{ kw}$$

$$\varepsilon = \frac{q_o}{l} = \frac{1073,13}{254,8} = 4,21$$

$$Q_N = G_{lc} \times q_N = G_n c_{pn} (t''_n - t'_n) = 2511,1 \text{ kw}$$

$$G_n = \frac{Q_N}{c_{pn} \times \Delta t_n} = \frac{2511,1}{4,18(31 - 26)} = 120,15 \text{ kg/s}$$

$$= 432534 \text{ kg/h}$$

$$V_n = \frac{G_n}{\rho_n} = \frac{532534}{1000} = 532,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

8.5. Một hệ thống thiết bị lạnh hoạt động với lạnh chất NH_3 , nhiệt độ sôi của chất $t_0 = -10^\circ\text{C}$, hơi hút về máy nén là hơi bão hòa khô, lỏng trước tiết lưu là lỏng bão hòa. Đồng hồ áp kế ở bình ngưng chỉ 13 at, bình ngưng giải nhiệt bằng không khí, người ta đo được nhiệt độ không khí vào $t_{k1} = 15^\circ\text{C}$; $\varphi_{k1} = 60\%$, nhiệt độ không khí ra khỏi dàn ngưng tụ $t_{k2} = 30^\circ\text{C}$. lưu lượng quạt $V_K = 12.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

1) Vẽ sơ đồ nguyên lý thiết bị lạnh.

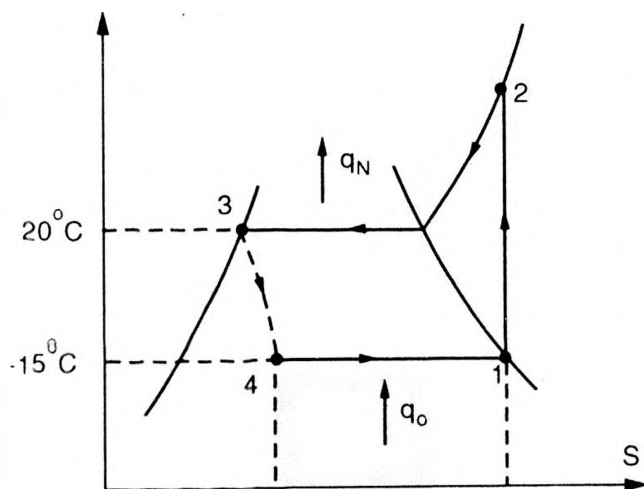
2) Biểu diễn chu trình trên đồ thị T-S và quá trình gia nhiệt không khí qua dàn ngưng trên đồ thị I - d (ghi rõ các thông số cơ bản).

3) Tính Q_N , Q_o , N , ϵ .

Khi tính bỏ qua các tổn thất phụ

Đáp số: $Q_N = 83,6 \text{ kw}$ $Q_o = 69,1 \text{ kw}$
 $N = 14,2 \text{ kw}$ $\epsilon = 4,8$

8.6. Cho thiết bị lạnh dùng hơi NH_3 , chu trình thể hiện trên đồ thị H.8.15. Thiết bị có các thông số như sau: Nhiệt độ trung bình bốc hơi $t_1 = -15^\circ\text{C}$, hơi ra khỏi dàn lạnh là hơi bão hòa khô $x_1 = 1$. Nhiệt độ ngưng tụ $t_3 = 20^\circ\text{C}$. Hãy xác định hệ số làm lạnh của thiết bị.



Hình 8.15

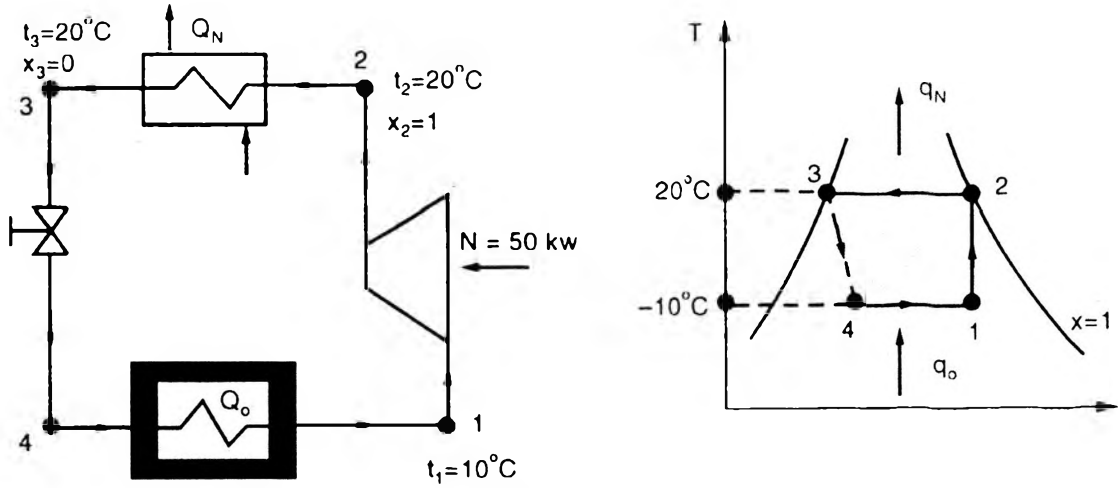
Đáp số: $\epsilon = 6,4$

8.7. Công suất lý thuyết của máy nén NH_3 của thiết bị lạnh là $N = 50 \text{ kw}$. Nhiệt độ bốc hơi của $t_1 = -10^\circ\text{C}$.

Hơi khi ra khỏi máy nén là hơi bão hòa khô ở $t_2 = 20^\circ\text{C}$

Hãy xác định

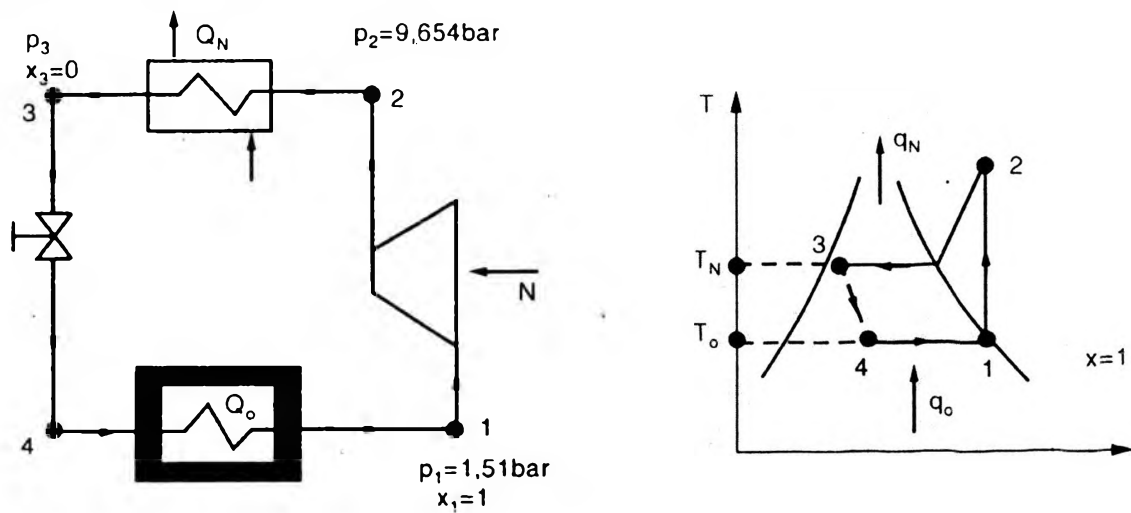
- a) Năng suất lạnh của thiết bị Q_o [kw]
- b) Năng suất giải nhiệt của bình ngưng Q_N [kw]
- c) Hệ số làm lạnh ϵ .



Hình 8.16

Đáp số: $Q_o = 391$ kw, $Q_N = 441$ kw $\epsilon = 7,82$

8.8. Một hệ thống máy lạnh hoạt động với lạnh chất Freon - 12, các thông số của thiết bị cho trên H.8.17.



Hình 8.17

Lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất là $G = 5$ kg/ph.

Xác định:

- a) Công suất của máy nén lý tưởng N [kw].
- b) Năng suất lạnh Q_o [kw]
- c) Hệ số làm lạnh ϵ

Giải

Trước tiên phải xác định thông số trạng thái tại các điểm đặc trưng của chu trình:

Điểm 1: Hơi bão hòa khô R - 12 có $p_1 = 1,51$ bar, tra bảng các tính chất nhiệt động của Freon 12 ở trạng thái bão hòa có:

$p_1 = p_2 = 1,51$ bar, nhiệt độ bão hòa tương ứng $t_s = -20^\circ\text{C}$, các thông số khác tìm được như sau:

$$i' = 117,21 \text{ kJ/kg} \quad i'' = 279,25 \text{ kJ/kg} \quad r = 162,04 \text{ kJ/kg}$$

$$S' = 1,7160 \text{ kJ/kg độ} \quad S'' = 2,3561 \text{ kJ/kg độ}$$

Do đó:

$$\text{Điểm 1: } t_1 = 20^\circ\text{C}; \quad i_1 = 279,25 \text{ kJ/kg}; \quad r = 162,04 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_1 = 2,3561 \text{ kJ/kg độ}$$

$$\text{Điểm 2: } s_2 = s_1 = 2,3561 \text{ kJ/kg độ}$$

$$p_2 = 9,654 \text{ bar}$$

Từ bảng hơi quá nhiệt của R - 12 ứng với p_2 và S_2 tìm được $t_2 \approx 50^\circ\text{C}$; $i_2 \approx 311,62 \text{ kJ/kg}$

Điểm 3: Là lỏng bão hòa ở $p_2 = p_3 = 9,654$ bar, tra bảng các tính chất nhiệt động của R - 12 ở trạng thái bão hòa, tìm được:

$$t_2 = 40^\circ\text{C} \quad i_3 = i' = 173,97 \text{ kJ/kg}$$

$$S_4 = S' = 1,9144 \text{ kJ/kg độ}$$

$$\text{Điểm 4: } 3-4 \text{ là quá trình tiết lưu nên } i_4 = i_3 = 173,97 \text{ kJ/kg}$$

Công suất của máy nén:

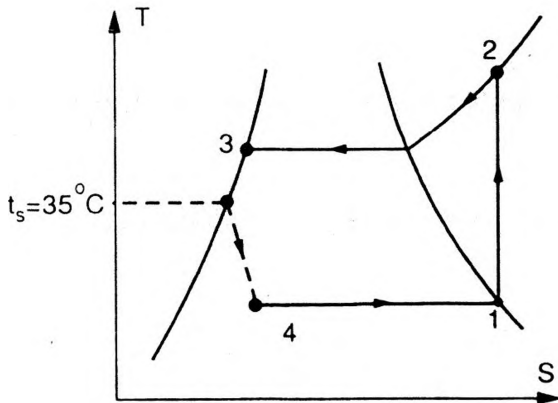
$$L_{mn} = G(i_2 - i_1) = \left(5 \frac{\text{kg}}{\text{ph}}\right) \left(\frac{1 \text{ ph}}{60 \text{ s}}\right) = (311,62 - 279,25) = 2,69 \text{ kw}$$

Năng suất lạnh:

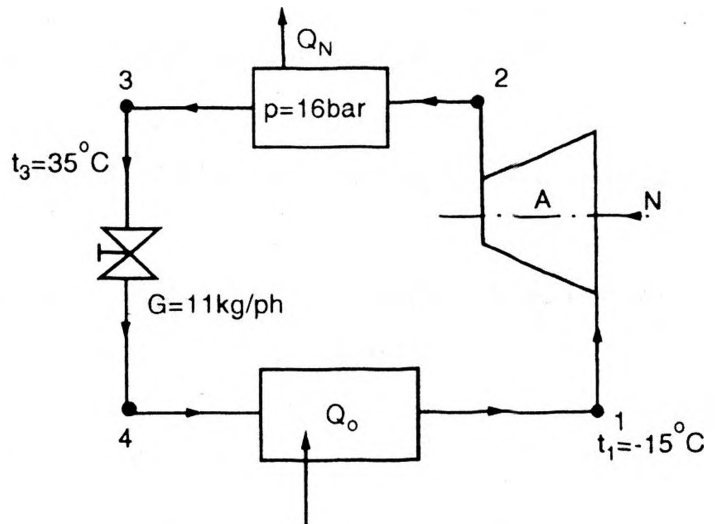
$$Q_o = G((i_1 - i_4)) = \left(\frac{5}{60}\right) (279,25 - 173,97) = 8,77 \text{ kw} = 7558,98 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Hệ số làm lạnh: } \varepsilon = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{105,28}{32,37} = 3,25$$

8.9. Máy lạnh sử dụng lạnh chất R - 22, các thông số và chu trình cho trên H.8.18 và H.8.19



Hình 8.18

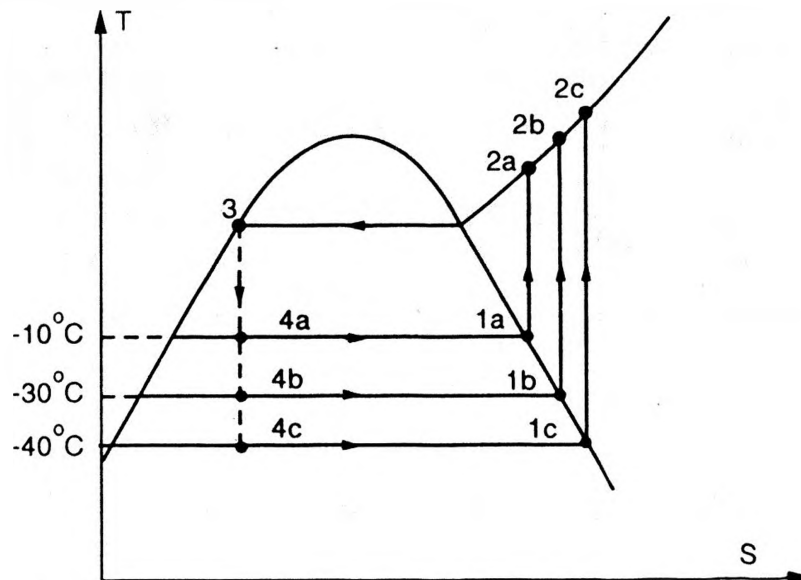


Hình 8.19

- Xác định:
- a) Công suất máy nén
 - b) Năng suất lạnh
 - c) Hệ số làm lạnh

Đáp số: a) $N = 7,88 \text{ kw}$
 b) $Q_o = 28,5 \text{ kw}$
 c) $\epsilon = 3,6$

8.10. Cho chu trình máy lạnh hoạt động với lạnh chất R - 12, áp suất ngưng hơi là $p_n = 9,654 \text{ bar}$, không có quá lạnh. Hơi ra khỏi dàn lạnh vào máy nén là hơi bão hòa khô (H.8.20).



Hình 8.20

Nhiệt độ bốc hơi thay đổi trong ba trường hợp sau:

$$t_o = -10^\circ\text{C}; \quad t'_o = -30^\circ\text{C} \quad \text{và} \quad t''_o = -40^\circ\text{C}$$

Xác định hệ số làm lạnh và năng suất lạnh của các trường hợp trên, cho biết lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất trong chu trình $G = 3\text{kg/ph}$.

Giải

Trạng thái 1: Xét ba trường hợp sau:

a) $t_o = -10^\circ\text{C}; \quad p = 2,1915 \text{ bar}; \quad i'' = i_{1a} = 283,85 \text{ kJ/kg}$

$$S_{1a} = S'' = 2,3497 \text{ kJ/kg độ}$$

b) $t'_o = -30^\circ\text{C}; \quad p = 1,0047 \text{ bar}; \quad i_{1b} = 274,56 \text{ kJ/kg}$

$$S_{1b} = 2,3640 \text{ kJ/kg độ}$$

c) $t''_o = -40^\circ\text{C}; \quad p = 0,64296 \text{ bar}; \quad i_{1c} = 269,82 \text{ kJ/kg}$

$$S_{1c} = 2,3738 \text{ kJ/kg độ}$$

Trạng thái 2: $p_2 = 9,654 \text{ bar}$ $S_1 = S_2$ do đó tìm được các thông số tương ứng từ bảng hơi quá nhiệt R - 12:

$$i_{2a} = 307,93 \text{ kJ/kg} \quad t \approx 45^\circ\text{C}$$

$$i_{2b} = 315,28 \text{ kJ/kg} \quad t \approx 55^\circ\text{C}$$

$$i_{2c} = 318,93 \text{ kJ/kg} \quad t \approx 60^\circ\text{C}$$

Trạng thái 3: là lỏng bão hòa ở áp suất $p = 9,654 \text{ bar}$

$$t_3 = 40^\circ\text{C} \quad i_3 = 173,97 \text{ kJ/kg}$$

$$S_3 = 1,9144 \text{ kJ/kg độ}$$

Trạng thái 4: 3-4 là quá trình tiết lưu nên $i_3 = i_4$

$$i_3 = i_{4a} = i_{4c} = 173,97 \text{ kJ/kg}$$

Năng suất lạnh được tính.

$$Q_o = (i_1 - i_4)$$

a) $Q_{oa} = \left(\frac{3}{60}\right) (283,85 - 173,97) = 5,49 \text{ kw}$

b) $Q_{ob} = \left(\frac{3}{60}\right) (274,56 - 173,97) = 5,02 \text{ kw}$

c) $Q_{oc} = \left(\frac{3}{60}\right) (269,82 - 173,97) = 4,79 \text{ kw}$

Hệ số làm lạnh:

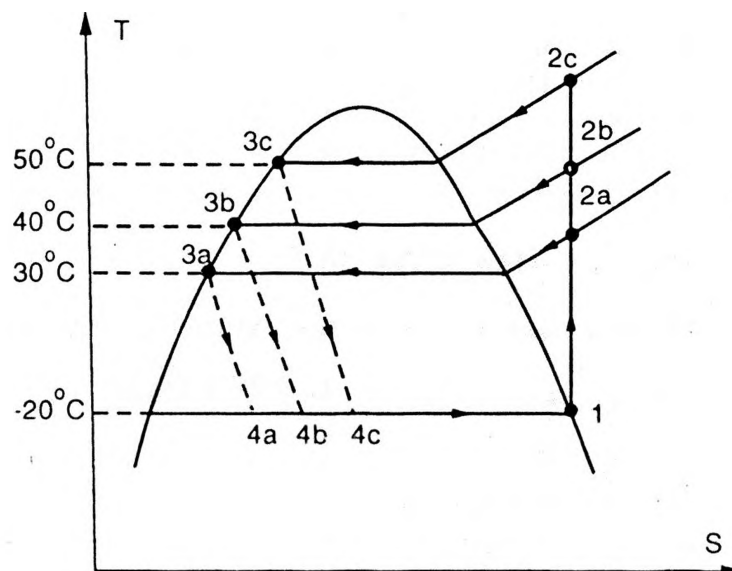
$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{a)} \quad \epsilon_a &= \frac{283,85 - 173,97}{307,93 - 283,85} = \frac{109,88}{24,08} = 4,56 \\
 \epsilon_b &= \frac{274,56 - 173,97}{315,28 - 274,56} = \frac{100,59}{40,72} = 2,47 \\
 \epsilon_c &= \frac{269,82 - 173,97}{318,93 - 269,82} = \frac{95,85}{49,11} = 1,95
 \end{aligned}$$

Từ đây ta có thể nhận thấy rằng, nếu áp suất ngưng tụ của máy lạnh giữ không đổi thì dẫn đến nếu áp suất sôi (áp suất bốc hơi) càng giảm năng suất lạnh và hệ số làm lạnh giảm.

8.11. Chu trình thiết bị lạnh lý tưởng tương tự bài 8.10, nếu nhiệt độ sôi không thay đổi $t_0 = -20^\circ\text{C}$, trạng thái hơi hút về máy nén là hơi bão hòa khô ($x_1 = 1$).

Xác định hệ số làm lạnh, năng suất lạnh khi nhiệt độ ngưng tụ thay đổi trong ba trường hợp sau: $t_N = 30^\circ\text{C}$, $t'_N = 40^\circ\text{C}$ và $t''_N = 50^\circ\text{C}$ (H.8.21)



Hình 8.21

Giải

Trạng thái 1: là hơi bão hòa khô R - 12 có nhiệt độ sôi $t_1 = 20^\circ\text{C}$.

Tương tự bài 8.10 ta tìm được:

$$p_s = 1,5093 \text{ bar} \quad i_1 = i'' = 279,25 \text{ kJ/kg}$$

$$S_1 = S'' = 2,3561 \text{ kJ/kg độ}$$

$$\text{Trạng thái 2: a)} \quad p = 7,4806 \text{ bar} \rightarrow i_{2a} = 307,7 \text{ kJ/kg}$$

$$S_1 = S_2 \quad \text{b) } p = 9,654 \text{ bar} \rightarrow i_{2b} = 311,62 \text{ kJ/kg}$$

$$\quad \quad \quad \text{c) } p = 12,258 \text{ bar} \rightarrow i_{2c} = 317,14 \text{ kJ/kg}$$

Trạng thái 3: là trạng thái lỏng bão hòa.

$$\text{a) } \quad \quad \quad p = 7,4906 \text{ bar} \rightarrow i_{3a} = 163,64 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{b) } \quad \quad \quad p = 9,6544 \text{ bar} \rightarrow i_{3b} = 173,97 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{c) } \quad \quad \quad p = 12,258 \text{ bar} \rightarrow i_{3c} = 184,77 \text{ kJ/kg}$$

Trạng thái 4: 3-4 là quá trình tiết lưu $i_3 = i_4$

$$\text{a) } \quad \quad \quad i_{4a} = i_{3a} = 163,64 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{b) } \quad \quad \quad i_{4b} = i_{3b} = 173,97 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{c) } \quad \quad \quad i_{4c} = i_{3c} = 184,77 \text{ kJ/kg}$$

Hệ số làm lạnh được tính:

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1}$$

$$\text{a) } \varepsilon_a = \frac{i_{1a} - i_{4a}}{i_{2a} - i_{1a}} = \frac{279,25 - 163,64}{30,7 - 279,25} = \frac{115,61}{28,45} = 4,06$$

$$\varepsilon_b = \frac{i_{1a} - i_{4b}}{i_{1b}} = \frac{279,25 - 173,97}{279,25 - 279,25} = \frac{105,28}{32,37} = 3,25$$

$$\varepsilon_c = \frac{i_{1c} - i_{4c}}{i_{2c} - i_{1c}} = \frac{279,25 - 184,77}{317,14 - 279,25} = \frac{94,48}{37,9} = 2,49$$

Năng suất lạnh:

$$Q_o = G(i_1 - i_4)$$

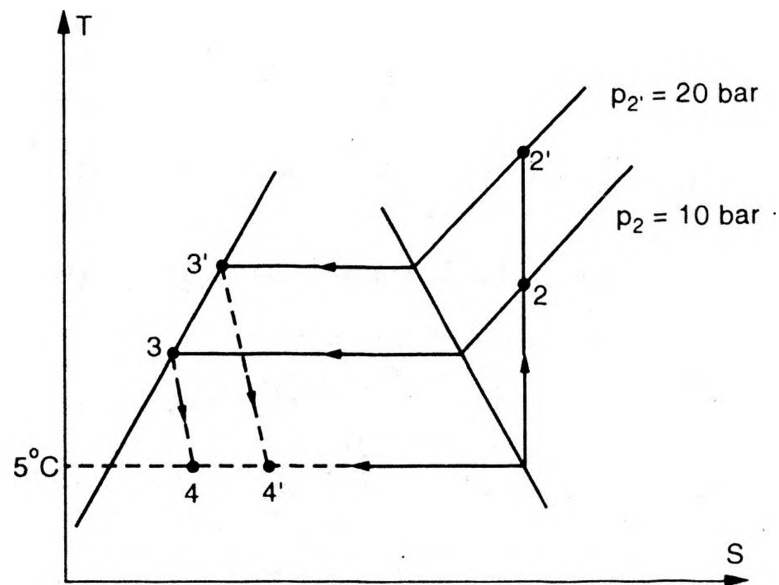
$$\text{a) } Q_{oa} = G(i_1 - i_{4a}) = \left(\frac{3}{60}\right) (279,25 - 163,64) = 5,78 \text{ kw}$$

$$\text{b) } Q_{ob} = G(i_1 - i_{4b}) = \left(\frac{3}{60}\right) (279,25 - 173,97) = 5,26 \text{ kw}$$

$$\text{c) } Q_{oc} = G(i_1 - i_{4c}) = \left(\frac{3}{60}\right) (279,25 - 184,77) = 4,72 \text{ kw}$$

Qua kết quả chúng ta có thể nhận thấy rằng khi áp suất ngưng tụ tăng (nhiệt độ ngưng tụ) thì hệ số làm lạnh giảm, năng suất lạnh cũng bị giảm.

8.12. Chu trình máy lạnh một cấp tương tự bài 8.11 hoạt động với lạnh chất R - 22, các thông số chu trình cho trên H.8.22



Hình 8.22

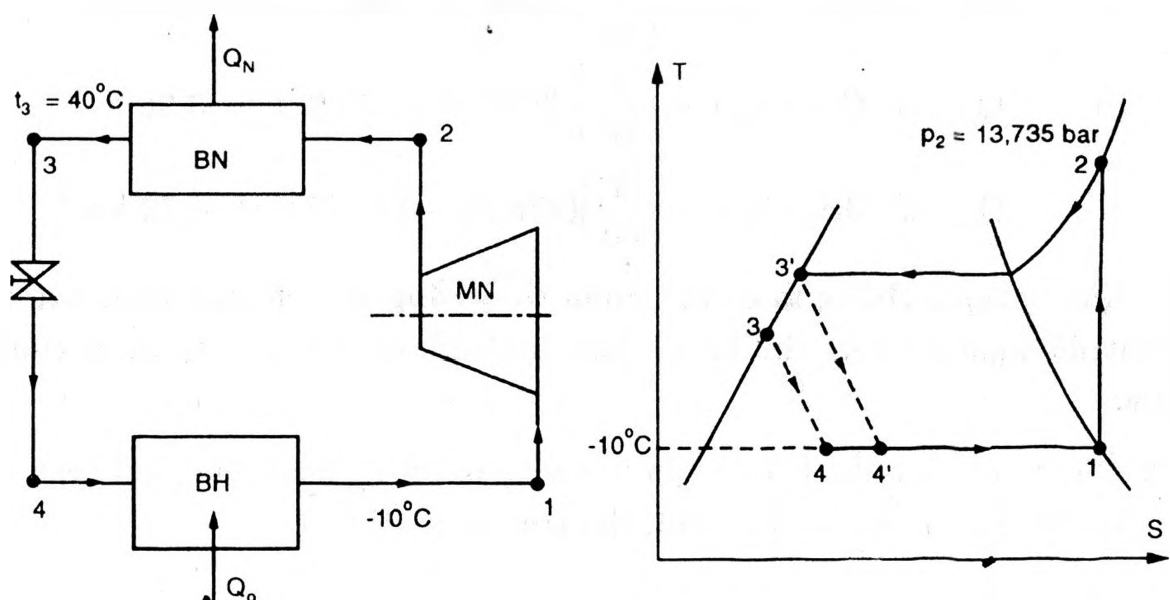
Xác định năng suất lạnh Q_o , hệ số làm lạnh, cho biết lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất $G = 0,5 \text{ kg/s}$

Đáp số: a) $p_2 = 10 \text{ bar}$; $Q_o = 88,5 \text{ kw}$; $\epsilon = 11,4$

b) $p_2 = 20 \text{ bar}$; $Q_o = 70,58 \text{ kw}$; $\epsilon = 4,83$

8.13. Chu trình máy lạnh lý tưởng hoạt động với lạnh chất R-12, các thông số hoạt động đã cho trên H.8.23. Lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất $G = 0,4 \text{ kg/s}$.

Xác định: a) Công suất máy nén
b) Năng suất lạnh
d) Năng suất giải nhiệt của bình ngưng



Hình 8.23

Giải

Trạng thái 1: Là hơi bão hòa khô ứng với nhiệt độ bốc hơi $t_1 = -10^\circ\text{C}$, tra bảng các tính chất nhiệt động của R-12 bão hòa ở phần phụ lục tìm được:

$$i_1 = i'' = 283,85 \text{ kJ/kg} \quad S_1 = S'' = 2,3497 \text{ kJ/kg độ},$$

Trạng thái 2: Là hơi quá nhiệt có $p_2 = 13,735 \text{ bar}$, tra bảng các tính chất nhiệt động của hơi quá nhiệt R -12 tìm được: Nhiệt độ bão hòa tương ứng $t_s = 55^\circ\text{C}$

$$t_2 = 65^\circ\text{C}; \quad v_2 = 13,46 \text{ lít/kg}; \quad i_2 = 316,84 \text{ kJ/kg}$$

$$S_2 = 2,3496 \text{ kJ/kg độ}$$

Trạng thái 3: có thể xem gần đúng như lỏng bão hòa có nhiệt độ tương ứng, $i_3 \approx i'$ (40°C), tra bảng các tính chất nhiệt động của R -12 bão hòa tìm được:

$$i_3 = 173,97 \text{ kJ/kg}$$

Trạng thái 4: 3 - 4 là quá trình tiết lưu nên:

$$i_4 = i_3 = 173,97 \text{ kJ/kg}$$

a) Công suất máy nén:

$$N = G(i_2 - i_1) = 0,5 (316,84 - 283,85) = 16,5 \text{ kw}$$

b) Năng suất lạnh:

$$Q_0 = G(i_1 - i_4) = 0,5 (283,85 - 173,97) = 54,94 \text{ kw}$$

c) Hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{283,85 - 173,88}{316,84 - 283,85} = \frac{109,88}{33} = 3,33$$

Nếu lỏng R -12 không được quá lạnh đến trạng thái 3 (40°C) mà là lỏng bão hòa ở trạng thái 3' (55°C) thì:

$$i_{3'} = 190,39 \text{ kJ/kg}$$

a) Công của máy nén:

$$N' = G(i_2 - i_1) = 0,5 (316,84 - 283,85) = 16,5 \text{ kw}$$

b) Năng suất lạnh:

$$Q'_0 = G(i_1 - i_{4'}) = 0,5 (283,85 - 190,39) = 46,73 \text{ kw}$$

c) Hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon' = \frac{i_1 - i_{4'}}{i_2 - i_1} = \frac{283,85 - 190,39}{316,84 - 283,85} = 2,83$$

Nhận xét:

Nếu lỏng vào van tiết lưu không được quá lạnh xuống đến 40°C thì hệ số làm lạnh giảm từ 3,33 xuống còn 2,83.

Năng suất lạnh bị giảm

$$\frac{Q_0 - Q'_0}{Q_0} = \frac{54,94 - 46,73}{54,44} = \frac{8,21}{54,94}$$

$$= 0,149 \approx 15\%$$

Về trị số tuyệt đối thì sụt

$$\Delta Q_0 = Q_0 - Q'_0 = 8,21 \text{ kw}$$

8.14. Sơ đồ nguyên lý thiết bị tương tự bài 8.13 nhưng máy vận hành với R - 22, áp suất $p_2 = 22 \text{ bar}$, các thông số khác vẫn giữ như cũ ($t_3 = 40^{\circ}\text{C}$, $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$).

Xác định: a) Công suất của máy nén

b) Năng suất lạnh và hệ số làm lạnh.

c) Năng suất giải nhiệt của bình ngưng.

Cho biết lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất R - 22 sẽ là $G = 1 \text{ kg/s}$

Đáp số: a) Công suất máy nén $N = 46,74 \text{ kw}$

b) Năng suất lạnh $Q_0 = 151 \text{ kw}$

c) Hệ số làm lạnh $\varepsilon = 3,23$

8.15. Sơ đồ nguyên lý thiết bị lạnh gián tiếp dùng hơi NH_3 thể hiện trên H.8.24. Hơi vào máy nén có nhiệt độ $t_1 = -15^{\circ}\text{C}$, sau khi nén đoạn nhiệt trong máy nén hơi ra là hơi bão hòa khô ($x_2 = 1$) có nhiệt độ $t_2 = -15^{\circ}\text{C}$ được đẩy vào bình ngưng tụ, hơi ngưng tụ thành lỏng bão hòa nhờ nước giải nhiệt bơm qua bình ngưng, nước giải nhiệt có nhiệt độ vào $t'_n = 9^{\circ}\text{C}$ và nhiệt độ ra $t''_n = 14^{\circ}\text{C}$. Lỏng bão hòa từ bình ngưng chảy qua van tiết lưu vào bình làm lạnh, nhiệt độ hạ xuống $t_1 = t_4 = -15^{\circ}\text{C}$. Chất tải lạnh ở bình làm lạnh là nước muối có nhiệt độ vào $t'_m = -2^{\circ}\text{C}$ và nhiệt độ ra $t''_m = -5^{\circ}\text{C}$.

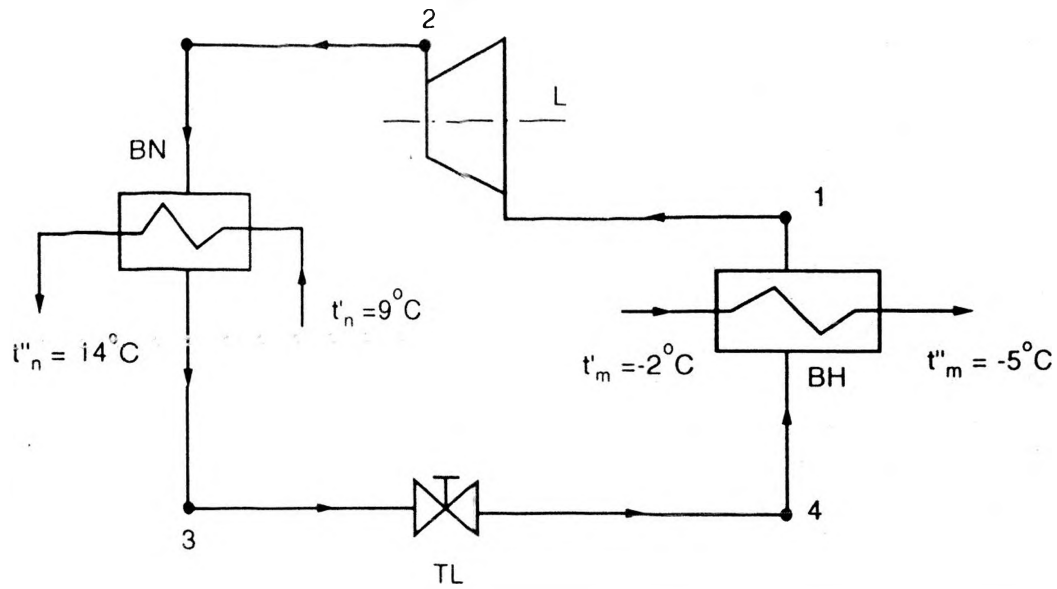
Hãy xác định:

a) Công lý thuyết của động cơ

b) Lưu lượng nước làm mát bình ngưng và chất tải lạnh.

Cho biết: Năng suất lạnh của thiết bị $Q_0 = 600 \text{ kw}$

Nhiệt dung riêng của nước muối $c_m = 4,19 \text{ kJ/kg độ}$



Hình 8.24

Giải

Công máy nén tiêu thụ:

$$l_{\text{mn}} = i_2 - i_1$$

Từ bảng các thông số nhiệt độ của NH_3 ở trạng thái bão hòa tìm được:

$$t_s = t_2 = t_3 = 15^\circ\text{C}$$

$$p_3 = p_2 = 7,427 \text{ at}$$

$$i_2 = i''_2 = 404,99 \text{ kcal/kg}$$

$$i_3 = i'_2 = 116,72 \text{ kcal/kg,}$$

$$r_2 = 288,27 \text{ kcal/kg}$$

$$S_2 = S'' = 2,0598 \text{ kcal/kg.độ}$$

Điều kiện trong bình bốc hơi:

$$t_1 = -15^\circ\text{C} \quad p_s = p_1 = 2,410 \text{ at,} \quad i'_1 = 83,59 \text{ kcal/kg}$$

$$i''_1 = 397,12 \text{ kcal/kg,} \quad r_1 = 313,53 \text{ kcal/kg}$$

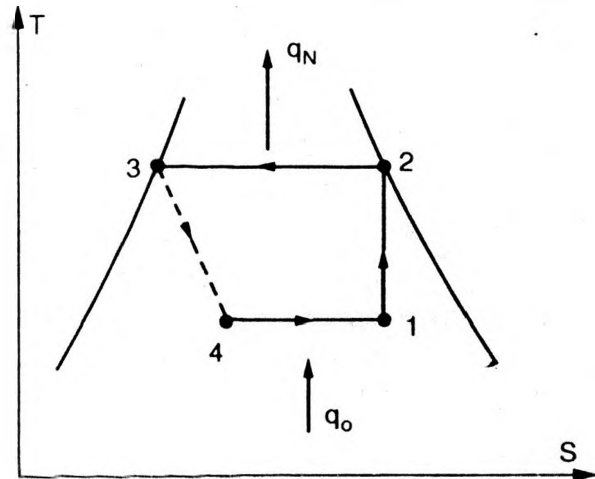
$$S'_1 = 0,9385 \text{ kcal/kgđộ,} \quad S''_1 = 2,1532 \text{ kcal/kgđộ}$$

Quá trình 3-4 là quá trình tiết lưu, do đó:

$$i_3 = i_4 = 116,72 \text{ kcal/kg}$$

Trạng thái 1 là hơi ẩm có $S_1 = S_2$, ta tìm được

$$x_1 = \frac{S_1 - S'}{S'' - S'_1} = \frac{2,0598 - 0,9385}{2,1532 - 0,9385} = \frac{1,1213}{1,2147} = 0,92$$



$$i_1 = i'_1 + r_1 x_1 = 83,59 + 313,53 \times 0,92 = 372 \text{ kcal/kg}$$

Do đó:

$$l_{mn} = 404,99 - 372 = 32,99 \text{ kcal/kg}$$

Năng suất lạnh q_0 :

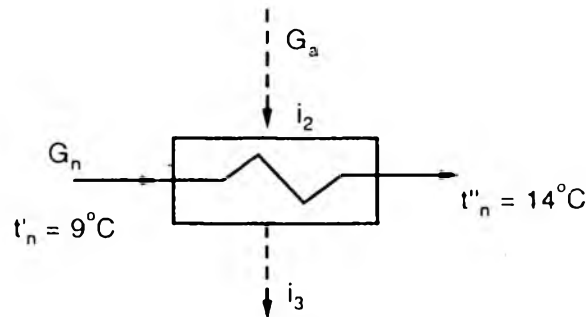
$$q_0 = i_1 - i_4 = 372 - 116,72 = 255,28 \text{ kcal/kg} = 1067 \text{ kJ/kg}$$

Lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất được tính:

$$G_a = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{600}{1067} = 0,562 \text{ kg/s}$$

Công suất lý thuyết của động cơ:

$$N_{lt} = G \times l_{mn} = 0,562 (32,99 \times 4,18) = 77,5 \text{ kw}$$



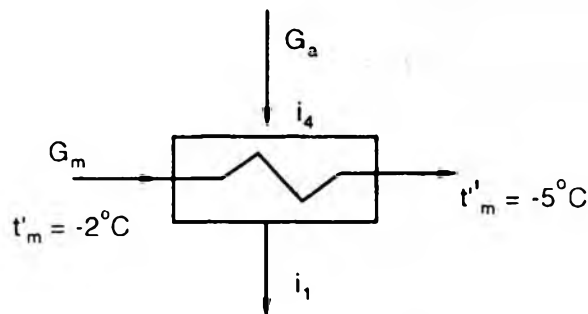
Xét cân bằng năng lượng của bình ngưng tụ:

$$\begin{aligned} Q_n &= G_n C_{pn} (t''_n - t'_n) = Q_N = G_a (i_1 - i_3) = G_a r_2 \\ &= 0,562 (288,27 \times 4,18) = 677,19 \text{ kw} \end{aligned}$$

Lưu lượng nước giải nhiệt của bình ngưng:

$$G_n = \frac{Q_n}{c_{pn} (t''_n - t'_n)} = \frac{677,19}{4,18(14 - 9)} = 32,4 \text{ kg/s}$$

Xét sự cân bằng năng lượng của bình bốc hơi



$$G_m = \frac{Q_0}{c_{pm} (t'_m - t''_m)} = \frac{600}{4,19[(-2) - (-5)]} = 47,7 \text{ kg/s}$$

8.16. Thiết bị lạnh có năng suất làm lạnh $Q_0 = 290 \text{ kw}$. Nhiệt độ bốc hơi $t_1 = -15^\circ\text{C}$, hơi khi vào máy nén là hơi bão hòa khô. Nhiệt độ ngưng

tự của hơi NH_3 là $t_3 = 25^\circ\text{C}$, nhiệt độ của lỏng NH_3 khi vào van tiết lưu có nhiệt độ $t' = 20^\circ\text{C}$. Xác định hệ số làm lạnh, công suất lý thuyết của động cơ và năng suất giải nhiệt của bình ngưng tự.

Đáp số: $\varepsilon = 5,4$ $N = 53,6$ kw

$Q_N = 343,6$ kw

8.17. Một máy điều hòa nhiệt độ làm việc với lạnh chất R - 22, các điều kiện làm việc cho như sau:

Nhiệt độ ngưng tụ: $t_N = 42^\circ\text{C}$

Nhiệt độ bốc hơi: $t_o = 0^\circ\text{C}$

Nhiệt độ quá lạnh: $t_4 = 35^\circ\text{C}$

Nhiệt độ quá nhiệt : $t_1 = 7^\circ\text{C}$

Thông số của máy nén:

Đường kính piston: $D = 75$ mm

Hành trình piston: $S = 62$ mm

Số piston: $Z = 8$

Số vòng quay của máy nén: $n = 1450$ vòng/ph

Xác định: a) Thông số tại các điểm đặc trưng của chu trình

b) Năng suất lạnh của máy Q_o

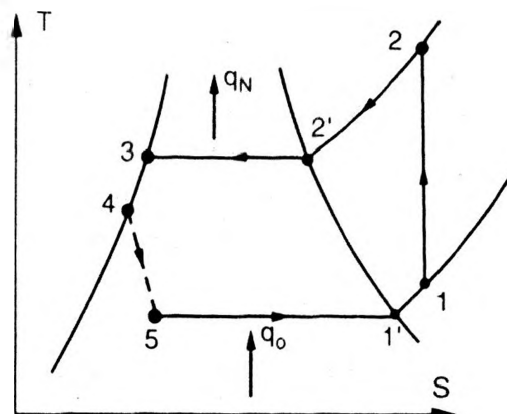
c) Năng suất giải nhiệt của bình ngưng Q_N

d) Công suất tiêu hao của máy nén N

e) Hệ số làm lạnh ε

Giải

Trên cơ sở các thông số nhiệt động đã cho chúng ta xây dựng đồ thị T - S của chu trình



Từ bảng các tính chất nhiệt động của R-22 tìm được thông số tại các điểm đặc trưng như sau:

Điểm	t (°C)	p (bar)	i (kJ/kg)	v (m ³ /kg)
1'	0	4,9	704,28	46,98 . 10 ⁻³
1	7	4,9	709,38	48,54 . 10 ⁻³
2	68	16,1	739,40	17,06 . 10 ⁻³
2'	42	16,1	715,89	14,32 . 10 ⁻³
3	42	16,1	551,98	0,89 . 10 ⁻³
4	35	16,1	542,88	0,866 . 10 ⁻³
5	0	4,9	542,88	

Thông thường trong các máy điều hòa nhiệt độ việc quá lạnh lỏng bão hòa được thực hiện bởi hơi lạnh ra khỏi dàn bốc hơi qua bình hồi nhiệt và sau đó vào máy nén (vì máy nén yêu cầu hơi vào là hơi quá nhiệt), do đó ta có:

$$q_o = i_1 - i_5 = 704,28 - 542,88 = 161,4 \text{ kJ/kg}$$

$$q_N = i_2 - i_4 = 739,4 - 542,88 = 196,52 \text{ kJ/kg}$$

$$l = i_2 - i_1 = 739,4 - 709,38 = 30,02 \text{ kJ/kg}$$

$$\epsilon_o = \frac{q_o}{l} = \frac{161,4}{30,02} = 5,349$$

Từ các thông số của máy nén đã cho ở trên tính được:

Thể tích quét của piston:

$$V_q = \frac{\pi D^2}{4} \times S \times Z \times \frac{n}{60} (\text{m}^3/\text{s}) = \frac{3,14(0,075)^2}{4} \times 0,062 \times 8 \times \frac{1450}{60} = 0,0529 \text{ /s}$$

Lưu lượng tác nhân hút vào máy nén tại điểm 1 là:

$$G_{lt} = \frac{V_q}{v_1} = \frac{0,0529}{0,04854} = 1,089 \text{ kg/s}$$

Năng suất lạnh lý thuyết Q_o :

$$Q_o = G_{lt} \times q_o = 1,089 \times 161,4 = 175,76 \text{ kw} = 151155,2 \text{ kcal/h}$$

Năng suất giải nhiệt của bình ngưng Q_N :

$$Q_N = G_{lt} \times q_N = 1089 \times 196,52 = 214,02 \text{ kw} = 184050,88 \text{ kcal/h}$$

Nếu bình ngưng là loại vỏ bọc chùm ống dòng nước để giải nhiệt với nhiệt độ nước vào $t'_n = 30^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước ra $t''_n = 35^\circ\text{C}$ thì lưu lượng bơm nước giải nhiệt của bình ngưng sẽ là:

$$Q_N = G_n c_{pn} (t''_n - t'_n)$$

trong đó: G_n - lưu lượng nước của bơm (kg/s)

c_{pn} - nhiệt dung riêng của nước ($c_{pn} = 4,18 \text{ kJ/kg độ}$)

$$G_n = \frac{Q_N}{c_{pn}(t''_n - t'_n)} = \frac{214,02}{4,18(35 - 30)} = 10,24 \text{ kg/s} = 36864,7 \text{ kg/h}$$

Nếu xem $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ thì:

$$V_n = \frac{36864,7}{1000} = 36,865 \text{ m}^3/\text{h}$$

Công suất lý thuyết của máy nén N_{lt} :

$$N_{lt} = G_{lt} = 1,089 \times 30,02 = 32,7 \text{ kw}$$

8.18. Một máy lạnh sử dụng lạnh chất R - 12. Nhiệt độ bốc hơi của lạnh chất ở dàn lạnh $t_o = -20^\circ\text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ của lạnh chất $t_N = 40^\circ\text{C}$. Lượng lạnh chất tuần hoàn của máy là $0,03 \text{ kg/s}$.

- Xác định:
- Năng suất lạnh của máy Q_o
 - Nhiệt thải của bình ngưng Q_k
 - Công tiêu hao của máy nén

Đáp số: $Q_o = 3,16 \text{ kw}$, $Q_N = 4,13 \text{ kw}$, $N_{mn} = 1 \text{ kw}$

8.19. Máy lạnh 1 cấp sử dụng lạnh chất vận hành trong các điều kiện sau:

Nhiệt độ ngưng tụ $t_N = 30^\circ\text{C}$ Nhiệt độ bốc hơi $t_o = -10^\circ\text{C}$

Nhiệt độ quá lạnh $t_{ql} = 25^\circ\text{C}$ Nhiệt độ quá nhiệt $t_{qn} = 0^\circ\text{C}$

- Xác định:
- Thông số tại các điểm đặc trưng
 - Năng suất lạnh riêng q_o
 - Năng suất giải nhiệt bình ngưng q_N
 - Công tiêu hao của máy nén l
 - Hệ số làm lạnh ε

Đáp số: $q_o = 1150 \text{ kJ/kg}$, $q_N = 1364 \text{ kJ/kg}$, $l = 214 \text{ kJ/kg}$, $\varepsilon = 5,4$

8.20. Máy lạnh 1 cấp sử dụng lạnh chất R - 12 với các thông số sau:

Nhiệt độ bốc hơi $t_o = -20^\circ\text{C}$

Nhiệt độ ngưng tụ $t_N = +25^\circ\text{C}$

Nhiệt độ quá nhiệt $t_{qn} = +10^\circ\text{C}$

Nhiệt lượng dùng để quá nhiệt hơi lạnh chất trước khi về máy nén là do lỏng của lạnh chất bị quá lạnh nhả ra.

Xác định:

- Thông số tại các điểm đặc trưng của chu trình.
- Năng suất lạnh riêng q_0
- Năng suất giải nhiệt của bình ngưng q_N
- Công suất tiêu hao của máy nén l .
- Hệ số làm lạnh ε
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị T - S và i - s.

Đáp số: $q_0 = 138 \text{ kJ/kg}$; $q_N = 166 \text{ kJ/kg}$, $l = 28 \text{ kJ/kg}$; $\varepsilon = 4,95$

8.21. Máy lạnh 1 cấp làm việc với lạnh chất NH_3 .

Các thông số thiết bị như sau:

Năng suất lạnh của máy $Q_0 = 273.000 \text{ w}$

Nhiệt độ bốc hơi $t_0 = -10^\circ\text{C}$

Nhiệt độ ngưng tụ $t_N = 30^\circ\text{C}$

Nhiệt độ quá lạnh $t_{ql} = + 25^\circ\text{C}$

Nhiệt độ quá nhiệt $q_{qn} = - 5^\circ\text{C}$

Xác định:

- Thông số tại các điểm đặc trưng.
- Tính lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất
- Năng suất giải nhiệt của bình ngưng.

Đáp số: $G = 0,238 \text{ kg/s}$, $Q_N = 315 \text{ kw}$

8.22. Máy nén lạnh có thông số như sau:

Đường kính xylanh $D = 63 \text{ mm}$

Hành trình piston $S = 50 \text{ mm}$

Số xylanh $Z = 6$

Tốc độ quay $n = 1450 \text{ vg/ph}$

Lạnh chất công tác là R - 12

Điều kiện làm việc của thiết bị như sau:

Nhiệt độ ngưng tụ $t_N = 40^\circ\text{C}$

Nhiệt độ bốc hơi $t_0 = -10^\circ\text{C}$

Nhiệt độ quá lạnh $t_{ql} = 30^\circ\text{C}$

Nhiệt độ quá nhiệt hơi lạnh chất $t_{qn} = 5^\circ\text{C}$

Xác định:

- Năng suất lạnh lý thuyết Q_0 [kcal/h]

- Năng suất giải nhiệt của bình ngưng Q_N [kcal/h]
- Công suất máy nén N [kw].
- Thông số tại các điểm đặc trưng

Đáp số: $Q_o = 29.000$ kcal/h, $Q_N = 35.000$ kcal/h; $N = 7$ kw

8.23. Vận máy nén lạnh có thông số như bài 8.22, các điều kiện hoạt động của chu trình vẫn như cũ nhưng lạnh chất R-12 được thay bằng lạnh chất R - 22 thì công suất động cơ, năng suất lạnh riêng và nhiệt thải qua bình ngưng thay đổi thế nào? Có nhận xét gì qua sự so sánh này.

Đáp số: Đối với R - 22; $q_o = 163,9$ kJ/kg

$q_N = 201,14$ kJ/kg; $l = 39,5$ kJ/kg

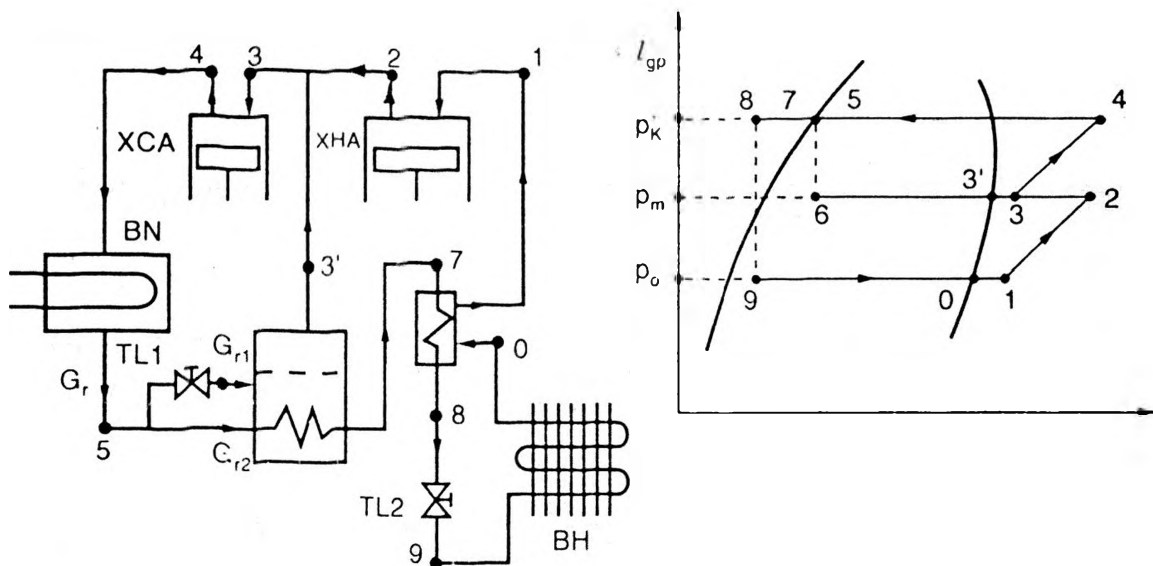
8.24. Một máy lạnh hai cấp làm lạnh trung gian không hoàn toàn hoạt động theo sơ đồ nguyên lý như hình vẽ, lạnh chất sử dụng là R-22. Các thông số cơ bản của thiết bị như sau:

- Nhiệt độ ngưng tụ $t_K = 40^\circ\text{C}$
- Nhiệt độ bốc hơi $t_o = -40^\circ\text{C}$

- Làm lạnh trung gian có độ chênh nhiệt độ $\Delta t = 6^\circ\text{C}$, độ quá nhiệt của hơi hút vào cấp nén hạ áp $\Delta t' = 30^\circ\text{C}$. Năng suất lạnh của thiết bị: $Q_o = 15$ kw

a) Tính công suất tiêu hao của máy nén N , năng suất giải nhiệt bình ngưng Q_k , hệ số làm lạnh ϵ .

b) Nếu dùng máy nén một cấp $t_K = 40^\circ\text{C}$, $t_o = -40^\circ\text{C}$, nhiệt độ quá lạnh $t_{ql} = 35^\circ\text{C}$, nhiệt độ quá nhiệt $t_{qn} = -10^\circ\text{C}$ thì các kết quả tiêu hao năng lượng thế nào.



Hình 4.25

Giải

1) Áp suất ngưng tụ p_K : Từ $t_K = 40^\circ\text{C}$ từ bảng tính chất nhiệt động của R-22 ở trạng thái bão hòa $\rightarrow p_K = 15,3 \text{ bar}$ (có thể dùng đồ thị $\lg p - i$)

$$\text{Áp suất bốc hơi } p_o: \quad t_o = -40^\circ \rightarrow p_o = 1,1 \text{ bar}$$

$$\text{Áp suất trung gian } p_m: \quad p_m = \sqrt{15,3 \times 1,1} = 4,1 \text{ bar}$$

$$\text{Nhiệt độ trung gian } t_6: \quad p_m = 4,1 \text{ bar} \rightarrow t_6 = -6^\circ\text{C}$$

$$t_7 = t_6 + \Delta t = -6 + 6 = 0^\circ\text{C}$$

$$t_1 = t_o + \Delta t' = (-40) + 30 = -10^\circ\text{C}$$

2) Căn cứ bảng tính chất nhiệt động hoặc đồ thị $\lg p - i$ của R-22

ta tìm được:

$$i_1 = 406 \text{ kJ/kg}; \quad v_1 = 0,23 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad i_2 = 437 \text{ kJ/kg}$$

$$i_5 = i_6 = 249 \text{ kJ/kg}; \quad i_3 = 402 \text{ kJ/kg}; \quad i_o = 388 \text{ kJ/kg}$$

$$i_7 = 200 \text{ kJ/kg}; \quad i_8 = i_9 = i_7 + i_o - i_1 = 200 + 388 - 406 = 182 \text{ kJ/kg}$$

3) Tính về nhiệt động học:

Lưu khối lượng dòng hơi q_a bình bốc hơi (BH):

$$G_{r2} = \frac{Q_o}{i_o - i_9} = \frac{15}{388 - 182} = 0,073 \text{ kg/s}$$

Lưu lượng khối lượng dòng hơi qua van tiết lưu 1 (TL1):

$$G_{r2}(i_5 - i_7) = G_{r1}(i_3 - i_6)$$

$$G_{r1} = G_{r2} \frac{i_5 - i_7}{i_3 - i_6} = 0,073 \frac{249 - 200}{402 - 249} = 0,023 \text{ kg/s}$$

Xét xylanh cao áp (XCA):

$$G_{r2}i_2 + G_{r1}i_3 = (G_{r1} + G_{r2})i_3 = G_r i_3$$

$$i_3 = \frac{G_{r2}i_2 + G_{r1}i_1}{G_r} = \frac{(0,073 \times 437) + (0,023 \times 402)}{0,073 + 0,021} = 428 \text{ kJ/kg}$$

Từ $p_m = 4,1 \text{ bar}$ và $i_3 = 428 \text{ kJ/kg} \rightarrow$ tìm được $v_3 = 0,068 \text{ m}^3/\text{kg}$

Từ p_K , $S_3 = S_4 \rightarrow$ tìm được $i_4 = 466 \text{ kJ/kg}$; $t_4 = 98^\circ\text{C}$

Năng suất giải nhiệt bình ngưng Q_K :

$$Q_K = (G_{r1} + G_{r2})(i_4 - i_5) = (0,023 + 0,073)(466 - 249) = 20,8 \text{ kw}$$

Lưu lượng thể tích dòng hơi hút vào xylanh hạ áp (XHA):

$$V_{r1} = G_{r2}v_1 = 0,073 \times 0,23 = 0,0168 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lưu lượng thể tích dòng hơi hút vào xylanh cao áp (XCA):

$$V_{r2} = (G_{r1} + G_{r2})v_3 = (0,023 + 0,073) \times 0,068 = 0,0065 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\frac{V_{r1}}{V_{r2}} = \frac{0,0168}{0,0065} = 2,58$$

Công suất tiêu hao cho xy lanh hạ áp (XHA) N_1 :

$$N_1 = G_{r2}(i_2 - i_1) = 0,073(437 - 406) = 2,26 \text{ kw}$$

Công suất tiêu hao cho xy lanh cao áp (XCA) N_2 :

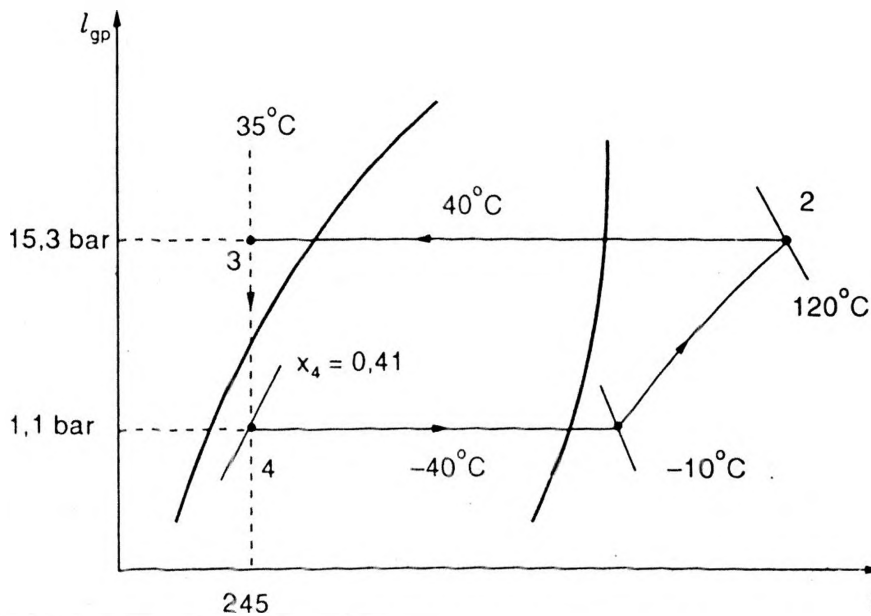
$$N_2 = (G_{r1} + G_{r2})(i_4 - i_3) = (0,023 + 0,073)(466 - 428) = 3,65 \text{ kw}$$

Hệ số làm lạnh ϵ :

$$\epsilon = \frac{Q_0}{N_1 + N_2} = \frac{15}{2,26 + 3,65} = 2,54$$

Thông qua điểm 9 ta có thể biết $x_9 = 0,11$.

4) Nếu dùng máy nén một cấp:



Từ đồ thị $lgp-i$ ta tìm được:

$$t_2 = 120^\circ\text{C} \quad x_4 = 0,41$$

$$\epsilon = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{406 - 245}{485 - 406} = \frac{Q_0}{N'} = 2,04$$

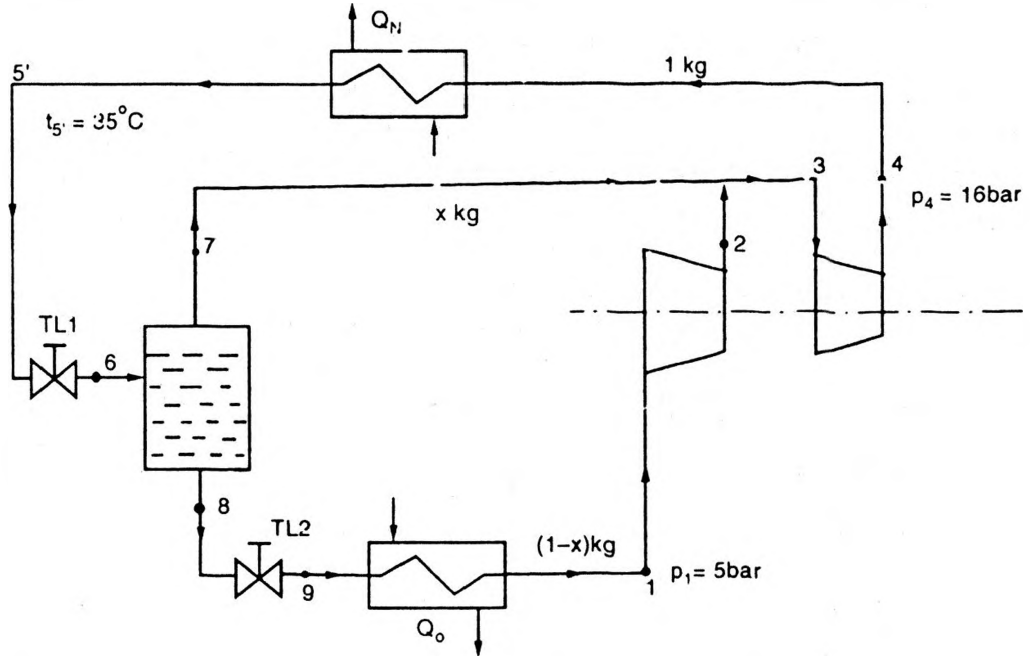
$$N' = \frac{Q_0}{\epsilon} = \frac{15}{2,04} = 7,35 \text{ kw}$$

Đối với máy lạnh hai cấp vừa tính ở trên ta có

$$N = N_1 + N_2 = 2,26 + 3,65 = 5,91 \text{ kw}$$

$$\frac{N}{N'} = \frac{5,91}{7,35} = 0,8$$

8.25. Máy lạnh điều hòa nhiệt độ sử dụng R - 22, năng suất lạnh của thiết bị $Q_o = 500$ tấn lạnh, sử dụng máy nén ly tâm hai cấp, hơi lạnh chất hút về máy nén là hơi bão hòa khô, quá trình nén xem như đoạn nhiệt, các thông số khác thể hiện trên H.8.26.



Hình 8.26

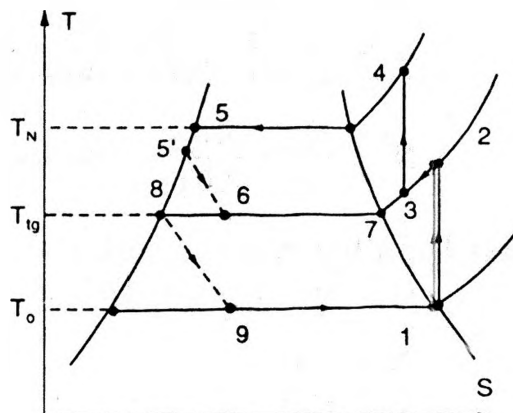
- Xác định:
- Thông số tại các điểm đặc trưng
 - Năng suất giải nhiệt của bình ngưng
 - Công tiêu hao của máy nén.
 - Hệ số làm lạnh

Giải

a) Với các thông số chính đã cho trên ta tính được áp suất của tầng trung gian của máy nén:

$$P_{tg} = \sqrt{p_N \cdot p_o} = \sqrt{16 \times 5} \approx 9 \text{ bar}$$

Đồ thị T - S có dạng sau:



Từ bảng các thông số nhiệt động của R - 22 ở trạng thái bão hòa tìm được:

Điểm 1: là hơi bão hòa khô có $p_0 = p_1 = 5 \text{ bar}$

$$t_1 \approx 0^\circ\text{C} \quad i_1 = 704,28 \text{ kJ/kg}$$

$$S_1 = 1,7479 \text{ kJ/kg độ}$$

Điểm 2: Quá trình nén 1 - 2 xem như nén đoạn nhiệt nên

$$S_2 = S_1 = 1,7479 \text{ kJ/kg độ}$$

Từ bảng các thông số nhiệt động R - 22 ở trạng thái bão hòa:

$p_{tg} = p_2 = 9 \text{ bar}$ tìm được:

$$i' = 524,05 \text{ kJ/kg} \quad i'' = 710,94 \text{ kJ/kg} \quad r = 186,89 \text{ kJ/kg}$$

$$S' = 1,0838 \text{ kJ/kg độ} \quad S'' = 1,7213 \text{ kJ/kg độ}$$

Trạng thái 2 là hơi quá nhiệt, từ bảng các thông số nhiệt động của hơi quá nhiệt R - 22 ta có:

$$S_2 = 1,7479 \text{ kJ/kg độ} \quad t_2 \approx 30^\circ\text{C} \quad i_2 = 719,33 \text{ kJ/kg}$$

Điểm 7: là hơi bão hòa khô, $i_7 = 719,33 \text{ kJ/kg}$

Điểm 8: là lỏng bão hòa, $i_8 = 524,05 \text{ kJ/kg}$

Điểm 9: Quá trình 8 - 9 là quá trình tiết lưu.

Điểm 5: Lỏng bão hòa $p_5 = 16 \text{ bar} \quad t_5 \approx 42^\circ\text{C}$

$$i_5 = i' = 551,98 \text{ kJ/kg} \quad i'' = 715,89 \text{ kJ/kg}$$

$$r = 163,91 \text{ kJ/kg} \quad S' = 1,1737 \text{ kJ/kg độ}$$

$$S'' = 1,6938 \text{ kJ/kg độ}$$

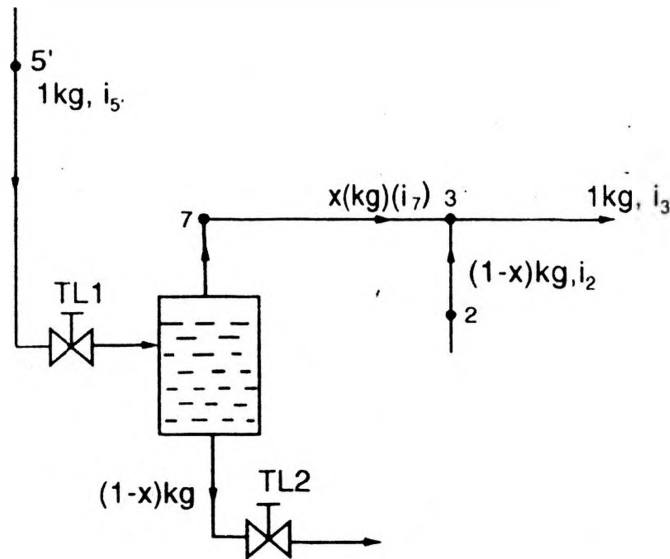
Điểm 5' (35°C): $i_5 = 542,88 \text{ kJ/kg độ}$

Điểm 6: $i_6 = i_5 = 542,88 \text{ kJ/kg}$

$$x_6 = \frac{i_6 - i_8}{i_7 - i_8} = \frac{542,88 - 524,05}{710,94 - 524,05} = \frac{18,83}{186,89} = 0,1$$

Điểm 3: Entanpi của điểm 3 được xác định bởi sự hòa trộn của 2 dòng hơi:

- Dòng lỏng 1 kg sau khi qua TL1 vào bình trung gian sẽ bị phân ly, phần hơi bão hòa x kg có entanpi i_7 được hút về hòa trộn với dòng hơi $(1 - x)$ kg ra khỏi phần nén thấp áp có entanpi i_2 để tạo thành hỗn hợp có entanpi i_3 đưa vào tầng nén cao áp.



Do đó: $i_3 = (1 - x) i_2 + x i_7 = 0,9 \times 719,33 + 0,1 \times 710,94 = 718,48 \text{ kJ/kg}$

Từ bảng hơi quá nhiệt với $p_{tg} = 9 \text{ bar}$ tìm được $t_3 \approx 29^\circ \text{C}$

$$S_3 \approx 1,748 \text{ kJ/kg độ}$$

Điểm 4: 3 - 4 là quá trình nén đoạn nhiệt:

$$S_3 \approx S_4 = 1,748 \text{ kJ/kg độ}$$

Từ bảng hơi quá nhiệt R-22 với $p = 16 \text{ bar}$ $S_4 = S_3$ tìm được

$$t_4 \approx 60^\circ \text{C}; \quad i_4 = 732,97 \text{ kJ/kg}$$

Năng suất lạnh riêng q_0 :

$$q_0 = (1 - x)(i_1 - i_9) = (1 - 0,1)(704,28 - 524,05) = 162,2 \text{ kJ/kg}$$

Công tiêu hao để nén:

$$\begin{aligned} l &= (1 - x)(i_2 - i_1) + (i_4 - i_3) \\ &= (1 - 0,1)(719,33 - 704,28) + (732,97 - 718,48) \\ &= 13,55 + 14,49 = 28,04 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất G (kg/s):

$$1 \text{ tấn lạnh Mỹ} = 3000 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ tấn lạnh Nhật Bản} = 3320 \text{ kcal/h}$$

$$Q_0 = G \cdot q_0 \rightarrow G = \frac{Q_0}{q_0}$$

$$G = \frac{500 \times (3000 \times 4,18)}{162,2 \times 3600} = 10,74 \text{ kg/s}$$

b) Năng suất giải nhiệt bình ngưng:

$$\begin{aligned} Q_N &= G(i_4 - i_5) = 10,74 (732,97 - 542,88) \\ &= 10,74 \times 190,09 = 2041,56 \text{ kw} \end{aligned}$$

c) Công suất nén lý thuyết:

$$N_{lt} = G \cdot l = 10,74 \times 28,04 = 301,15 \text{ kw}$$

d) Hệ số làm lạnh ϵ :

$$\epsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{162,2}{28,4} = 5,78$$

8.26. Thiết bị lạnh có thông số hoạt động tương tự bài 8.25 nhưng sử dụng máy nén một cấp và không có quá lạnh lỏng.

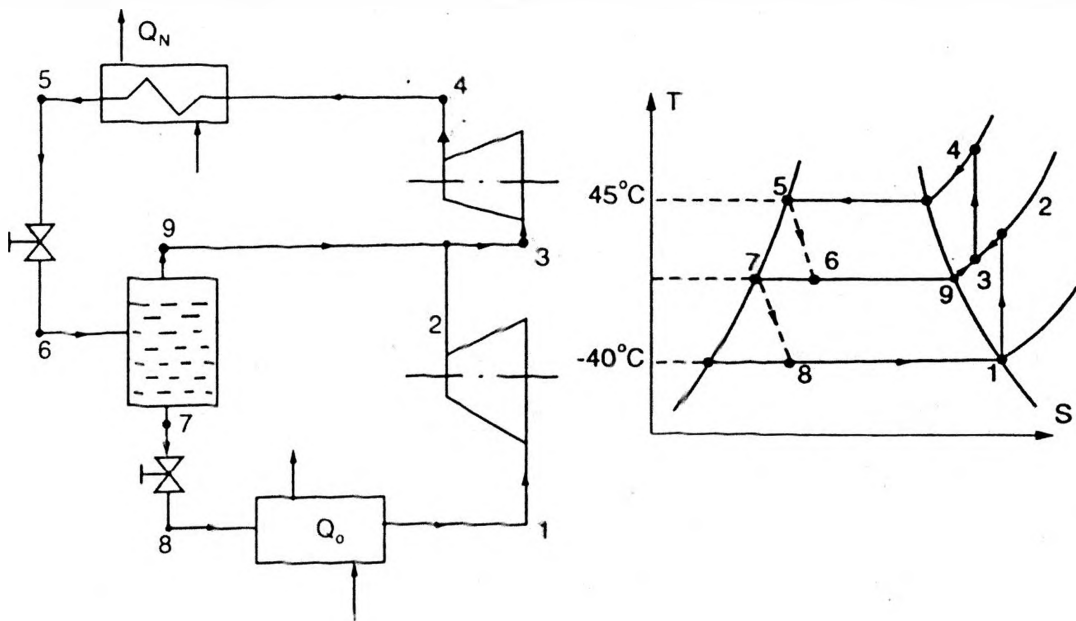
a) Xác định thông số tại các điểm đặc trưng.

b) Tính công suất của máy nén và hệ số làm lạnh.

Đáp số: N = 327,7 kw

$\epsilon = 5,32$

8.27. Máy lạnh hai cấp sử dụng R - 12, các thông số cần thiết cho trên H.8.28



Hình 8.28

Xác định: a) Năng suất lạnh của máy

b) Năng suất giải nhiệt của bình ngưng.

c) Công suất lý thuyết của máy nén.

Cho biết: Quá trình nén xem như đoạn nhiệt, lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất $G = 1,5 \text{ kg/s}$.

Đáp số: a) $Q_0 = 143,79 \text{ kw}$

b) $Q_N = 207 \text{ kw}$

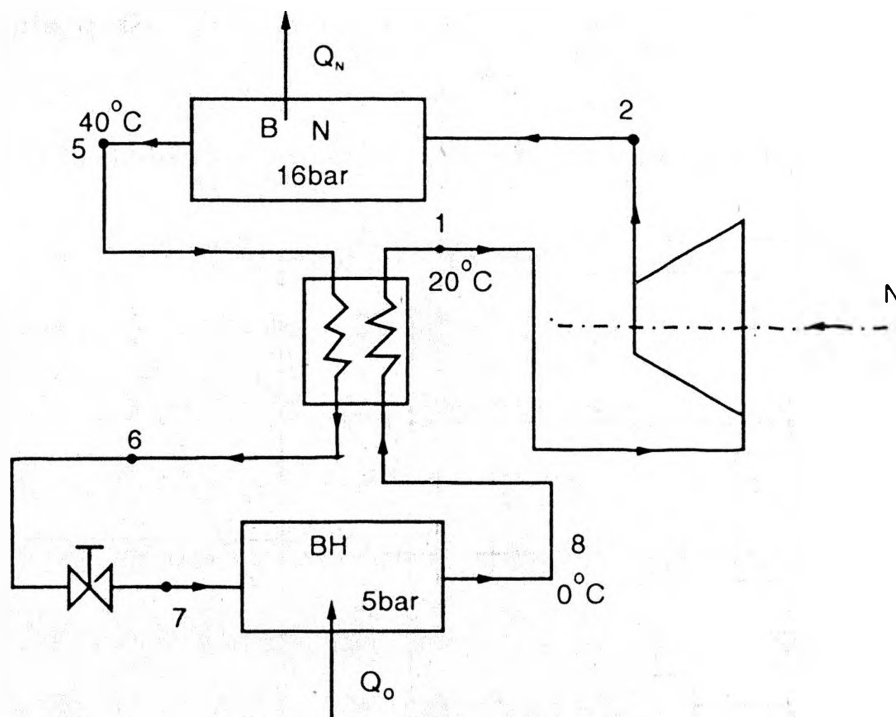
c) $N_{lt} = 63,37 \text{ kw}$

8.28. Cho chu trình thiết bị lạnh một cấp sử dụng R - 22, các thông số yêu cầu cho trên H.8.29

- Xác định: a) Năng suất lạnh của thiết bị
 b) Công suất lý thuyết của máy nén
 c) Năng suất giải nhiệt của bình ngưng
 d) Tính hệ số làm lạnh và vẽ đồ thị T - S

Cho biết lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất $G = 20 \text{ kg/ph.}$

Quá trình nén xem như đoạn nhiệt



Hình 8.29

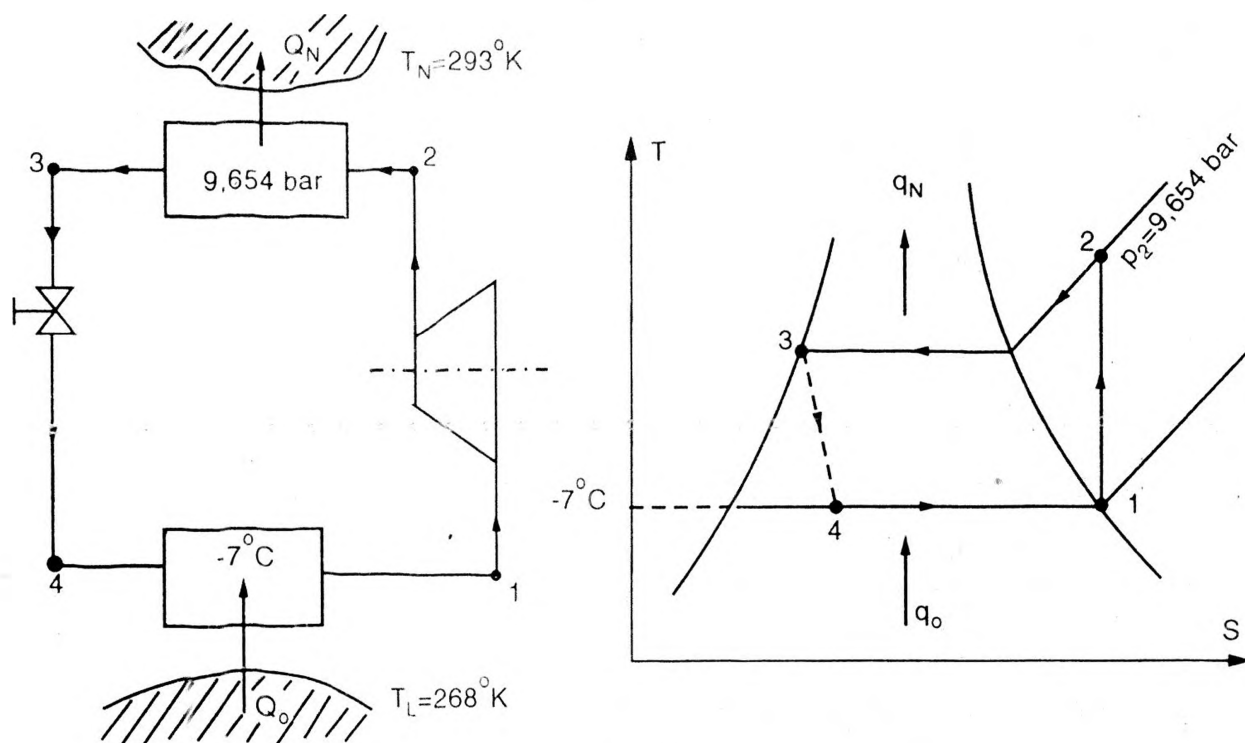
Đáp số: a) $Q_0 = 56,49 \text{ kw}$

b) $N_{lt} = 10,54 \text{ kw}$

c) $Q_N = 67 \text{ kw}$

d) $\epsilon = 5,36$

8.29. Chu trình bơm nhiệt hoạt động với môi chất R-12. Các thông số cần thiết cho trên H.8.30.



Hình 8.30

Xác định: a) Công suất lý thuyết của máy nén

b) Hệ số sử dụng năng lượng

Cho biết $Q_N = 200 \text{ kw}$

Giải

Điểm 1 là hơi bão hòa khô ở $t_1 = t_s = -7^\circ\text{C}$, từ bảng các tính chất nhiệt động của R - 12 ở trạng thái bão hòa tìm được:

$$p_1 = 2,4363 \text{ bar}; \quad i_1 = i'' = 285,21 \text{ kJ/kg}$$

$$S_1 = S'' = 2,3481 \text{ kJ/kg độ}$$

Điểm 2: Quá trình nén 1 - 2 xem là quá trình đoạn nhiệt lý tưởng nên $S_2 = S_1 = 2,3481 \text{ kJ/kg độ}$, $p_2 = 9,654 \text{ bar}$. Từ bảng các tính chất nhiệt động của hơi quá nhiệt R - 12 ta có:

$$t_2 = 48^\circ\text{C}; \quad i_2 = 309,78 \text{ kJ/kg}$$

Điểm 3 là trạng thái lỏng bão hòa $p_3 = 9,654 \text{ bar}$, và $i_3 = 173,97 \text{ kJ/kg}$

Điểm 4: Quá trình 3 - 4 là quá trình tiết lưu nên $i_4 = i_3 = 173,97 \text{ kJ/kg}$

Từ các số liệu trên tìm được:

$$q_0 = i_1 - i_4 = 285,21 - 173,97 = 111,24 \text{ kJ/kg}$$

$$q_N = i_2 - i_3 = 309,78 - 173,97 = 135,81 \text{ kJ/kg}$$

$$l = i_2 - i_1 = 309,78 - 285,21 = 24,57 \text{ kJ/kg}$$

Lưu lượng tuần hoàn của lạnh chất tìm được:

$$G = \frac{Q_N}{q_N} = \frac{200}{135,81} = 1,4726 \text{ kg/s}$$

a) Công suất lý thuyết của máy nén:

$$N_{lt} = G \times l = 36,18 \text{ kw}$$

b) Hệ số sử dụng năng lượng:

$$\xi = \frac{q_N}{l} = \frac{Q_N}{N_{lt}} = \frac{200}{36,18} = 5,52$$

8.30. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của bơm nhiệt tương tự bài 8.29, môi chất hoạt động của thiết bị vẫn là R - 12, $Q_N = 200 \text{ kw}$. nhưng cho máy hoạt động với thông số khác: $p_N = 8,5167 \text{ bar}$ và $t_o = 0^\circ \text{C}$

a) Xác định công suất tiêu hao của máy nén, hệ số sử dụng năng lượng.

b) Có nhận xét gì khi thay đổi thông số của chu trình so với bài 8.29 khi có cùng mục đích.

Đáp số: a) $N_{lt} = 17,77$; $\xi = 7,72$

b) So với trường hợp bài 8.29 công suất tiêu hao cho máy nén giảm 28,5% (10,31 kw).