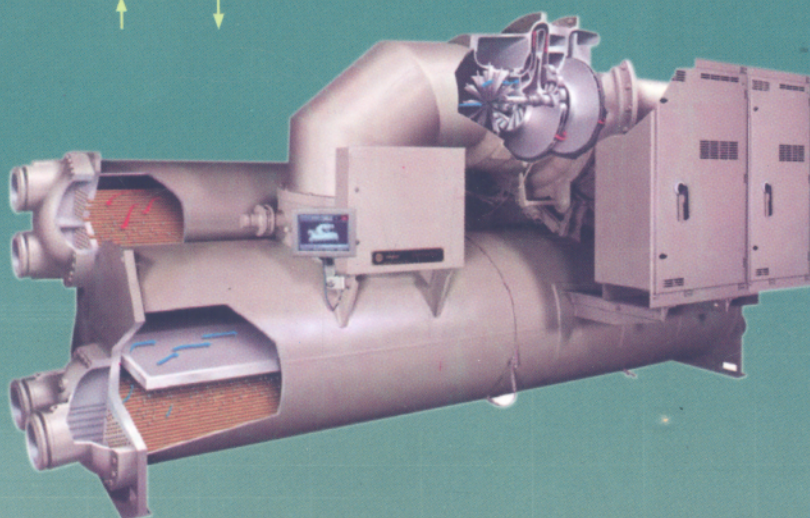
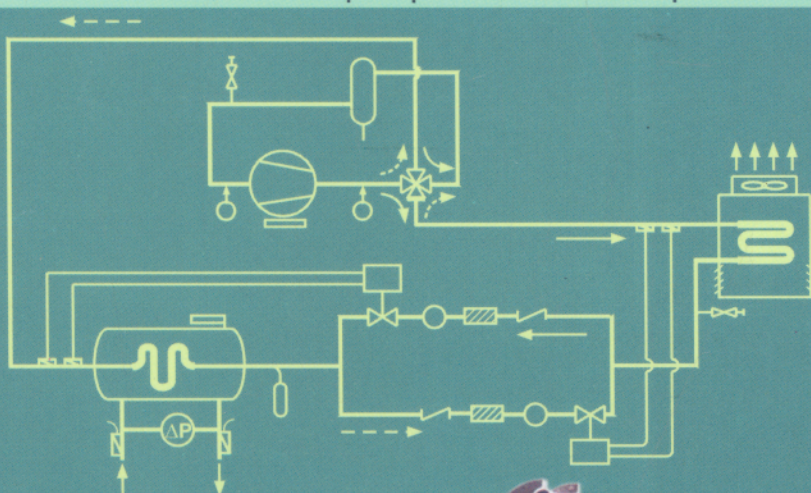


TS. LÊ NGUYỄN MINH

BÀI TẬP NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHỐI KỸ THUẬT CÔNG TRÌNH



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

TS. LÊ NGUYỄN MINH

BÀI TẬP
NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

(Dùng cho các trường Đại học khối Kỹ thuật Công trình)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

Công ty Cổ phần sách Đại học - Dạy nghề – Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam giữ quyền công bố tác phẩm.

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	5
Chương 1 NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN CỦA NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT	7
A. TÓM TẮT LÝ THUYẾT	7
1. Nhiệt độ	7
2. Độ giãn nở dài của vật rắn. Δl khi nhiệt độ thay đổi từ t_1 đến t_2	7
3. Độ giãn nở thể tích ΔV khi nhiệt độ thay đổi từ t_1 đến t_2	7
4. Áp suất	7
5. Nhiệt dung riêng	8
6. Nhiệt và công	8
Bảng 1.1. Đổi đơn vị hệ SI – hệ Anh/Mỹ	9
Bảng 1.2. Đổi nhiệt độ $^{\circ}\text{F} \leftrightarrow ^{\circ}\text{C}$	12
Bảng 1.3. Hệ số giãn nở dài của vật rắn	13
Bảng 1.4. Hệ số giãn nở thể tích β của chất lỏng ở áp suất 1 bar, nhiệt độ 20°C	14
Bảng 1.5. Nhiệt dung riêng và số mũ đoạn nhiệt của khí lý tưởng	14
Bảng 1.6. Nhiệt dung riêng trung bình phụ thuộc vào nhiệt độ (trong khoảng $0^{\circ}\text{C} + 1500^{\circ}\text{C}$)	15
Bảng 1.7. Thông số kỹ thuật bộ dẫn nở DHEJ-5000	16
Bảng 1.8. Thông số kỹ thuật bộ dẫn nở XF	17
Bảng 1.9. Thông số kỹ thuật bộ dẫn nở thể tích	19
Bảng 1.10. Thông số vật lý của không khí khô theo nhiệt độ ($p = 760 \text{ mmHg}$)	19
B. BÀI TẬP	20
C. BÀI GIẢI VÍ DỤ	21
Chương 2 QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CỦA KHÍ VÀ HƠI	24
A. TÓM TẮT LÝ THUYẾT	24
1. Bảng công thức các quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng	24
2. Máy nén piston	25
3. Các quá trình lưu động của khí và hơi	25
B. BÀI TẬP	27
C. BÀI GIẢI VÍ DỤ	31
Chương 3 CHU TRÌNH CỦA CHẤT KHÍ	38
A. TÓM TẮT LÝ THUYẾT	38
1. Công và nhiệt trong chu trình	38
2. Hàm trạng thái entropi	39
3. Công thức tính toán các chu trình động cơ đốt trong	39
B. BÀI TẬP	40
C. BÀI GIẢI VÍ DỤ	43
Chương 4 CHU TRÌNH THUẬN CHIỀU CỦA KHÍ THỰC	51
A. TÓM TẮT LÝ THUYẾT	51
1. Nhiệt cung cấp cho quá trình hoá hơi đẳng áp	51
2. Thông số của hơi bão hoà ẩm	51
3. Chu trình Rankine	51
4. Bảng số và đồ thị của hơi nước	52
Đồ thị $i - s$ của hơi nước	57
B. BÀI TẬP	58
C. BÀI GIẢI VÍ DỤ	60
Chương 5 CHU TRÌNH THIẾT BỊ LÀM LẠNH	62
A. TÓM TẮT LÝ THUYẾT	62
1. Chu trình máy lạnh kiểu máy nén hơi một cấp	62

2.	Chỉ số hiệu quả năng lượng lý thuyết của máy lạnh	63
3.	Chu trình bơm nhiệt	64
4.	Sơ đồ kỹ thuật máy lạnh – bơm nhiệt	64
5.	Chu trình máy lạnh hấp thụ	65
	Các đồ thị lgp – i của các môi chất lạnh	68
B.	BÀI TẬP	75
C.	BÀI GIẢI VÍ DỤ	77
Chương 6	KHÔNG KHÍ ẨM	80
A.	TÓM TẮT LÝ THUYẾT	80
1.	Đồ thị i – d của không khí ẩm	80
2.	Các công thức xác định thông số không khí ẩm	80
3.	Công thức quá trình hòa trộn	80
	Đồ thị i – d của không khí ẩm ($t = 0^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$)	81
	Đồ thị i – d Mollier của không khí ẩm	82
B.	BÀI TẬP	84
C.	BÀI GIẢI VÍ DỤ	86
Chương 7	TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG TRONG CÔNG TRÌNH	91
A.	TÓM TẮT LÝ THUYẾT	91
1.	Hiệu suất toàn bộ quá trình biến đổi từ nguồn năng lượng sơ cấp đến dạng năng lượng năng lượng cuối cùng	91
2.	Chỉ số hiệu quả năng lượng thực của máy lạnh	91
3.	Chỉ số tiêu thụ điện năng tải tích hợp năm của chiller theo ARI 550/590 2003 (Hoa Kỳ)	92
4.	Công thức xác định tiêu thụ điện của hệ thống điều hoà không khí	93
5.	Tiêu thụ điện của hệ thống điều hoà không khí sử dụng Chiller	93
6.	Tiêu thụ điện của hệ thống điều hoà không khí sử dụng máy làm lạnh trực tiếp	94
	Phụ lục 7.1. Mức phụ tải nhiệt cho sinh hoạt	95
	Phụ lục 7.2. Hệ số sử dụng đồng thời k	95
	Phụ lục 7.3. Dây công suất động cơ	95
	Phụ lục 7.4. Thông số kỹ thuật bình đun nước nóng bằng điện của 1 số hãng	95
	Phụ lục 7.5. Thông số kỹ thuật của 1 số loại bình đun nước nóng bằng gas	96
	Phụ lục 7.6. Thông số cơ bản của lò hơi đốt than	96
	Phụ lục 7.7. Thông số cơ bản của loại lò hơi trực lưu	97
	Phụ lục 7.8. Thông số kỹ thuật của bơm nhiệt dân dụng cung cấp nước nóng	97
	Phụ lục 7.9. Công suất các loại bơm nhiệt công nghiệp THR 040–100, 50Hz	98
	Phụ lục 7.10 a. Thông số kỹ thuật máy làm lạnh nước – bơm nhiệt công nghiệp (Chiller – Heatpump) cung cấp nước lạnh 7°C hoặc nước nóng 45°C	101
	Phụ lục 7.10b. Thông số vận hành máy làm lạnh nước – bơm nhiệt khi chạy ở chế độ làm lạnh	102
	Phụ lục 7.10c. Thông số vận hành máy làm lạnh nước – bơm nhiệt khi chạy ở chế độ bơm nhiệt	104
	Phụ lục 7.11a. Thông số kỹ thuật của máy làm lạnh nước giải nhiệt gió (Air cooled chiller)	106
	Phụ lục 7.11b. Thông số vận hành của máy làm lạnh nước giải nhiệt gió	107
	Phụ lục 7.12 Thông số kỹ thuật máy làm lạnh nước giải nhiệt nước (Water cooled chiller) cung cấp nước lạnh 7°C	109
	Phụ lục 7.13. Thông số kỹ thuật của tháp giải nhiệt	111
	Phụ lục 7.14. Biểu đồ giá điện trong ngày	113
	Phụ lục 7.15. Đặc tính nhiệt của 1m^3 bình tích lạnh	113
B.	BÀI TẬP	114
C.	BÀI GIẢI VÍ DỤ	116
	TÀI LIỆU THAM KHẢO	143

LỜI NÓI ĐẦU

Cuốn *“Bài tập nhiệt động kỹ thuật”* được biên soạn dựa trên nội dung giáo trình *“Nhiệt động kỹ thuật”* do Nhà xuất bản Giáo dục xuất bản tháng 5 – 2008, đang được sử dụng trong chương trình đào tạo kỹ sư ở Trường Đại học Xây dựng của các ngành: Xây dựng, Hệ thống thiết bị công trình, Năng lượng và môi trường, Cấp thoát nước, Công nghệ vật liệu xây dựng...

Để đáp ứng được yêu cầu học tập của sinh viên và đổi mới nội dung đào tạo hệ Đại học, sách có cấu trúc các chương tương ứng với cuốn lý thuyết nhằm góp phần tăng cường hiệu quả trong việc trang bị các kiến thức nhiệt động kỹ thuật. Ngoài ra, nội dung sách còn có phần tóm tắt lý thuyết, tài liệu tra cứu và các bài tập có giải sẵn để sinh viên có thể làm bài tập một cách dễ dàng hơn. Sinh viên có thể sử dụng cuốn bài tập này làm tài liệu trong khi thi, từ đó có thể nâng cao và mở rộng nội dung phần lý thuyết. Các số liệu trong bài tập đã được lựa chọn phù hợp với các tài liệu kỹ thuật giúp sinh viên có thể làm quen với những tính toán tiết kiệm năng lượng của môn Nhiệt động kỹ thuật.

Tác giả xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ của bộ môn Năng lượng và môi trường để có thể hoàn thành cuốn sách này.

Trong quá trình biên soạn không tránh khỏi những sai sót, rất mong nhận được sự góp ý của bạn đọc. Những ý kiến góp ý xin gửi về địa chỉ email: nhattrung@fpt.vn, hoặc Công ty Cổ phần Sách Đại học – Dạy nghề, 25 Hàn Thuyên, Hà Nội.

TÁC GIẢ

Chương 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN CỦA NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

A — TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1. Nhiệt độ

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15 \approx t(^{\circ}C) + 273$$

T (K) – Nhiệt độ tuyệt đối

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

t (^{\circ}C) – Nhiệt độ Celsius

T (^{\circ}F) – Nhiệt độ Fahrenheit

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

2. Độ giãn nở dài của vật rắn Δl khi nhiệt độ thay đổi từ t_1 đến t_2

$$\Delta l \approx l_1 \alpha_{tb} \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) \quad (m)$$

l_1 – Chiều dài vật rắn ở t_1

$\alpha_{tb} \Big|_{t_1}^{t_2}$ – Hệ số giãn nở dài của vật rắn trong khoảng nhiệt độ $t_1 \rightarrow t_2$ được xác định như sau:

$$\alpha_{tb} \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{\alpha_{tb} \Big|_0^{t_2} t_2 - \alpha_{tb} \Big|_0^{t_1} t_1}{t_2 - t_1} \quad (1/K)$$

3. Độ giãn nở thể tích ΔV khi nhiệt độ thay đổi từ t_1 đến t_2

$$\Delta V \approx V_1 \beta_{tb} \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) \quad (m^3)$$

V_1 – Thể tích chất lỏng ở t_1

$\beta_{tb} \Big|_{t_1}^{t_2}$ – Hệ số giãn nở thể tích trung bình trong khoảng nhiệt độ $t_1 \rightarrow t_2$ được xác định như sau:

$$\beta_{tb} \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{\beta_{tb} \Big|_0^{t_2} t_2 - \beta_{tb} \Big|_0^{t_1} t_1}{t_2 - t_1} \quad (1/K)$$

4. Áp suất

$$p = p_{kq} + p_d$$

$$p = p_{kq} - p_{ck}$$

p – Áp suất tuyệt đối của chất khí; p_{kq} – Áp suất khí quyển;

p_d – Áp suất dư;

p_{ck} – Độ chân không.

Khi sử dụng các công thức thiết lập theo phương trình trạng thái khí lý tưởng thì áp suất được tính bằng (N/m^2 – pascal).

5. Nhiệt dung riêng

Nhiệt dung riêng thực: $C = \frac{dq}{dt}$

Nhiệt dung riêng trung bình trong khoảng nhiệt độ $t_1 \rightarrow t_2$: $C_{t_1 \rightarrow t_2} = \frac{1}{\Delta t} (C_{0 \rightarrow t_2} \cdot t_2 - C_{0 \rightarrow t_1} \cdot t_1)$

$C_{0 \rightarrow t_1}$, $C_{0 \rightarrow t_2}$ là nhiệt dung riêng trung bình trong khoảng nhiệt độ từ $0 \rightarrow t_1$ và $0 \rightarrow t_2$.

Đối với khí lý tưởng: $\frac{C_p}{C_v} = k$ C_p – Nhiệt dung riêng đẳng áp.

$C_v = \frac{R}{k-1}$ C_v – Nhiệt dung riêng đẳng tích.

Đơn vị của nhiệt dung riêng: nhiệt dung riêng khối lượng (J/kg.K), nhiệt dung riêng thể tích (J/m³.K), nhiệt dung riêng kilômol (J/kmol.K).

6. Nhiệt và công

Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng:

$$Q = G.C.\Delta t = V_{tc}.C'.\Delta t = M.C_{\mu}.\Delta t$$

Trong đó:

Q : Nhiệt lượng (J)

C : Nhiệt dung riêng khối lượng (J/kg.K).

C' : Nhiệt dung riêng thể tích (J/ m³.K).

C_{μ} : Nhiệt dung riêng kilômol (J/kmol.K).

G : Khối lượng chất khí (kg).

V_{tc} : Thể tích ở điều kiện tiêu chuẩn ($t_0 = 0^\circ\text{C}$, $p_0 = 760 \text{ mmHg}$) (m³);

M : Số kilômol.

$\Delta t = t_2 - t_1$: Sự thay đổi nhiệt độ ($^\circ\text{C}$).

– Công thay đổi thể tích của chất khí: $l = \int_1^2 p dv = \int_1^2 p dv \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$

– Công kỹ thuật: $l_{kt} = \int_1^2 -v dp \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$

– Quy ước dấu của nhiệt lượng và công thay đổi thể tích như sau:

- CMG nhận nhiệt: $Q > 0$
- CMG nhả nhiệt: $Q < 0$
- CMG dẫn nở (sinh công): $L > 0$
- CMG bị nén (nhận công): $L < 0$

Bảng 1.1. Đổi đơn vị hệ SI – hệ Anh / Mỹ

CHIỀU DÀI					
1 cm	= 0,3937	in (inch)	1 in (inch)	= 2,5400	cm
1 m	= 3,2808	ft	1 Ft = 12 in	= 0,3048	m
	= 1,0936	yard	1 Yard = 3 ft	= 0,9144	m
1 km	= 0,6214	mile(statute)	1 mile(statute)	= 1,60934	km
	= 0,5396	Seemeile	1 Seemeile	= 1,85318	km
DIỆN TÍCH					
1 cm ²	= 0,1550	sq in	1 sq in	= 6,4516	cm ²
1 m ²	= 10,7639	sq ft	1 Sq ft	= 0,0929	m ²
THỂ TÍCH					
1 cm ³	= 0,06102	cu in	1 cu in	= 16,387	cm ³
1 dm ³	= 61,024	cu in	1 cu ft	= 28,317	dm ³
1 /	= 0,03531	cu ft	1 cu yard	= 0,7646	m ³
	= 61,026	cu in	1 gal (brit.)	= 4,546	/
	= 0,21998	gal (brit.)	1 gal (am.)	= 3,785	/
	= 0,26428	gal (USA)			
KHỐI LƯỢNG					
1 g	= 0,03527	oz	1 grain	= 0,0648	g
	= 15,432	grain	1 oz	= 28,35	g
1 kg	= 2,2046	lb (av)	1 lb	= 16	oz
				= 0,4536	kg
				= 7000	grains
1 t	= 0,984	long tons	1 long tons (brit)	= 1016	kg
	= 1,102	short tons	1 short ton (USA)	= 2000 lb= 907, 2kg	
1 kg/m ³	= 0,06243	lb/cu ft	1 lb/cu ft	= 16,0185	kg/m ³
1 g/kg	= 7,0	grain/lb	1 grain/lb	= 0,1426	g/kg
1 g/m ³	= 0,437	grain/ cu ft	1 grain/ cu ft	= 2,2884	g/m ³
1 g/m ²	= 2,855	ton/ sq mile	1 ton/ sq mile	= 0,3503	g/m ²
TỐC ĐỘ VÀ LƯU LƯỢNG					
1 m/s	= 196.85	ft/min	1 ft/min	= 0,508	cm/s
1 km/h	= 0,6214	mph	1 mph	= 1,60934	km/h
1 m ³ /h	= 4,403	gal/min(am.)	1 gal/min(am.) (gpm)	= 0,227	m ³ /h
	= 3,666	gal/min(brit.)	1 gal/min(brit.) (gpm)	= 0,273	m ³ /h
1 m ³ /h	= 0,5886	cu ft/min-(cfm)	1 cu ft/min-(cfm)	= 28,317	/min
				= 1,700	m ³ /h
1 kg/h	= 0,0367	lb/min	1 lb/min	= 27,216	kg/h

ÁP SUẤT VÀ LỰC

1 N (Newton)	=	0,2248	lb(f)	1 lb(force)	=	4,448	N
1 (N/m ²) (Pascal)	=	0,0209	lb/ft ²	1 lb/in ² (psi)	=	6895	N/m ²
					=	68,95	mbar
					=	703,1	mmH ₂ O
1 bar	=	100000	Pa	1 lb/ft ²	=	47,88	N/m ²
	=	14,504	psi		=	0,4788	mbar
	=	29,530	in Hg		=	0,0470	mmH ₂ O
	=	0,987	atm	1 in H ₂ O	=	249,08	N/m ²
1 mbar(100Pa)	=	0,0145	psi		=	2,4908	mbar
	=	0,0295	in Hg		=	25,4	mmH ₂ O
	=	0,4019	in H ₂ O	1 in Hg	=	33,864	mbar
	=	2,089	lb/ft ²	1 ft H ₂ O	=	29,89	mbar
1 mm H ₂ O	=	0,0394	in H ₂ O				
1 atm	=	14,696	psi = 760 mmHg				
	=	1,01325	bar				

NĂNG LƯỢNG

1 J	=	0,948.10 ⁻³	BTU	1 BTU	=	1,055	kJ
1 kJ	=	0,948	BTU	1 ft lb (force)	=	1,356	J
1 kWh	=	3414,5	BTU	1 HPh	=	2685	kJ
1 mWh	=	34,1297	therms	1 therm (100 000 BTU)	=	0,1055	GJ
1 kCal	=	4,187	kJ		=	29,288	kWh

CÔNG SUẤT

1 W	=	3,4120	BTU/h	1 BTU/h	=	0,2931	W
1 kW	=	3412	BTU/h	1 HP	=	0,7457	kW
1 kW	=	860	kCal/h	1 RT = 3,516 kW	=	12000	Btu/h

ENTANPI VÀ ENTROPY

1 kJ/m ³	=	0,0268	BTU/ft ³	1 BTU/ft ³	=	37,26	kJ/m ³
1 kJ/kg	=	0,43021	BTU/lb	1 BTU/lb	=	2,3244	kJ/kg
1 kJ/K	=	0,5266	BTU/F	1 BTU/F	=	1,899	kJ/K

NHIỆT DUNG RIÊNG

1 kJ/kgK	=	0,2388	BTU/lb F	1 BTU/lb F	=	4,187	kJ/kgK
1 kJ/m ³ K	=	0,0149	BTU/ft ³ F	1 BTU/ft ³ F	=	67,07	kJ/m ³ K

NHIỆT

1	kJ/m ²	= 0,0881	BTU/ft ²	1	BTU/ft ²	= 11,357	kJ/m ²
1	W/m ²	= 0,3170	BTU/h ft ²	1	BTU/h ft ²	= 3,155	W/m ²
1	W/m ² K	= 0,1761	BTU/h ft ² F	1	BTU/h ft ² F	= 5,678	W/m ² K
1	W/m K	= 0,5780	BTU/h ft F	1	BTU/h ft F	= 1,7296	W/m K
		= 6,9348	BTU.in/h ft ² F	1	BTU. in/h ft ² F	= 0,1442	W/m K
1	m ² K/W	= 5,6786	h ft ² F/BTU	1	h ft ² F/BTU	= 0,1761	m ² K/W
1	mK/W	= 1,7296	h ft F/BTU	1	h ft F/BTU	= 0,5782	mK/W
		= 0,1442	h ft ² F/BTU in	1	h ft ² F/BTU in	= 6,934	mK/W

LANH

1	kW	= 0,2843	tons of refrigeration	1	ton of refrigeration	= 3,517	kWW
---	----	----------	-----------------------	---	----------------------	---------	-----

CÔNG SUẤT NHIỆT

1	kW	= 0,1019	HP (lò hơi)	1	HP (lò hơi)	= 9,809	kW
						= (33475 BTU)	
1	kW	= 14,22	EDR (hơi)	1	EDR (Bức xạ trực tiếp tương đương)		
		= 22,74	EDR (nước)		Hơi	= 70,34	W
		= 3412	BTU/h		Nước	= 43,97	W

Bảng 1.2. Đổi nhiệt độ °F ↔ °C

°C	F/C	°F	°C	F/C	°F	°C	F/C	°F
-20,0	-4	24,8	2,2	36	96,8	24,4	76	168,8
-19,4	-3	26,6	2,8	37	98,6	25,0	77	170,6
-18,9	-2	28,4	3,3	38	100,4	25,6	78	172,4
-18,3	-1	30,2	3,9	39	102,2	26,1	79	174,2
-17,8	0	32,0	4,4	40	104,0	26,7	80	176,0
-17,2	1	33,8	5,0	41	105,8	27,2	81	177,8
-16,7	2	35,6	5,6	42	107,6	27,8	82	179,6
-16,1	3	37,4	6,1	43	109,4	28,3	83	181,4
-15,6	4	39,2	6,7	44	111,2	28,9	84	183,2
-15,0	5	41,0	7,2	45	113,0	29,4	85	185,0
-14,4	6	42,8	7,8	46	114,8	30,0	86	186,8
-13,9	7	44,6	8,3	47	116,6	30,6	87	188,6
-13,3	8	46,4	8,9	48	118,4	31,1	88	190,4
-12,8	9	48,2	9,4	49	120,2	31,7	89	192,2
-12,2	10	50,0	10,0	50	122,0	32,2	90	194,0
-11,7	11	51,8	10,6	51	123,8	32,8	91	195,8
-11,1	12	53,6	11,1	52	125,6	33,3	92	197,6
-10,6	13	55,4	11,7	53	127,4	33,9	93	199,4
-10,0	14	57,2	12,2	54	129,2	34,4	94	201,2
-9,4	15	59,0	12,8	55	131,0	35,0	95	203,0
-8,9	16	60,8	13,3	56	132,8	35,6	96	204,8
-8,3	17	62,6	13,9	57	134,6	36,1	97	206,6
-7,8	18	64,4	14,4	58	136,4	36,7	98	208,4
-7,2	19	66,2	15,0	59	138,2	37,2	99	210,2
-6,7	20	68,0	15,6	60	140,0	37,8	100	212,0
-6,1	21	69,8	16,1	61	141,8	38,3	101	213,8
-5,6	22	71,6	16,7	62	143,6	38,9	102	215,6
-5,0	23	73,4	17,2	63	145,4	39,4	103	217,4
-4,4	24	75,2	17,8	64	147,2	40,0	104	219,2
-3,9	25	77,0	18,3	65	149,0	40,6	105	221,0
-3,3	26	78,8	18,9	66	150,8	41,1	106	222,8
-2,8	27	80,6	19,4	67	152,6	41,7	107	224,6
-2,2	28	82,4	20,0	68	154,4	42,2	108	226,4
-1,7	29	84,2	20,6	69	156,2	42,8	109	228,2
-1,1	30	86,0	21,1	70	158,0	43,3	110	230,0
-0,6	31	87,8	21,7	71	159,8	43,9	111	231,8
0,0	32	89,6	22,2	72	161,6	44,4	112	233,6
0,6	33	91,4	22,8	73	163,4	45,0	113	235,4
1,1	34	93,2	23,3	74	165,2	45,6	114	237,2
1,7	35	95,0	23,9	75	167,0	46,1	115	239,0

Bảng 1.3. Hệ số dẫn nhiệt của vật rắn

Vật liệu (0°C ÷ 100°C)	α (1/K)	Vật liệu (0°C ÷ 100°C)	α (1/K)
Nhôm	$2,38 \cdot 10^{-5}$	Magie	$2,60 \cdot 10^{-5}$
Bê tông	$(1,1 \div 1,2) \cdot 10^{-5}$	Mangan	$1,75 \cdot 10^{-5}$
Bê tông xỉ	$(0,58 \div 0,66) \cdot 10^{-5}$	Đá cẩm thạch	$(0,2 \div 2,0) \cdot 10^{-5}$
Chì	$2,90 \cdot 10^{-5}$	Đồng thau	$1,84 \cdot 10^{-5}$
Bakelit	$(2,1 \div 3,6) \cdot 10^{-5}$	Vữa xây	$(0,73 \div 0,89) \cdot 10^{-5}$
Đồng đỏ	$1,75 \cdot 10^{-5}$	Vữa xi măng	$(0,85 \div 1,35) \cdot 10^{-5}$
Crôm	$0,70 \cdot 10^{-5}$	Nicken	$1,30 \cdot 10^{-5}$
Thép Crôm	$(1,0 \div 1,4) \cdot 10^{-5}$	Platin	$0,90 \cdot 10^{-5}$
Nhôm Dura	$2,35 \cdot 10^{-5}$	Platin- Iridium	$0,83 \cdot 10^{-5}$
Sắt	$1,23 \cdot 10^{-5}$	Nhựa PU	$7,0 \cdot 10^{-6}$
Gang	$1,04 \cdot 10^{-5}$	Nhựa PVC	$7,0 \cdot 10^{-6}$
Thạch cao	$2,5 \cdot 10^{-5}$	Nhựa PE	$(15 \div 23) \cdot 10^{-5}$
Thủy tinh III 16	$0,81 \cdot 10^{-5}$	Thủy tinh thạch anh	$0,051 \cdot 10^{-5}$
Thủy tinh III 59	$0,59 \cdot 10^{-5}$	Bạc	$1,90 \cdot 10^{-5}$
Thủy tinh III 1565	$0,35 \cdot 10^{-5}$	Thép	$1,15 \cdot 10^{-5}$
Mica	$1,35 \cdot 10^{-5}$	Gỗ cứng	$1,70 \cdot 10^{-5}$
Vàng	$1,42 \cdot 10^{-5}$	Styropor	$8,5 \cdot 10^{-6}$
Granit	$(0,80 \div 1,18) \cdot 10^{-5}$	Titan	$0,94 \cdot 10^{-5}$
Cao su cứng	$(1,70 \div 2,80) \cdot 10^{-5}$	Vonfram	$0,45 \cdot 10^{-5}$
Gỗ sồi (dọc thớ)	$0,76 \cdot 10^{-5}$	Xi măng poclan	$1,40 \cdot 10^{-5}$
Gỗ sồi (ngang thớ)	$5,44 \cdot 10^{-5}$	Gạch	$(0,36 \div 0,58) \cdot 10^{-5}$
Gỗ thông (dọc thớ)	$0,30 \cdot 10^{-5}$	Kẽm (Zn)	$2,90 \cdot 10^{-5}$
Gỗ thông (ngang thớ)	$5,80 \cdot 10^{-5}$	Thiếc (Sn)	$2,67 \cdot 10^{-5}$
Iridium	$0,65 \cdot 10^{-5}$		
Đá vôi	$0,7 \cdot 10^{-5}$		
Đá vôi sạn	$0,78 \cdot 10^{-5}$		
Constantan	$1,52 \cdot 10^{-5}$		
Clinke	$(0,28 \div 0,48) \cdot 10^{-5}$		
Đồng	$1,65 \cdot 10^{-5}$		

Bảng 1.4. Hệ số giãn nở thể tích β của chất lỏng ở áp suất 1 bar, nhiệt độ 20°C

Chất lỏng	β (1/K)	Chất lỏng	β (1/K)
Axeton	$1,49 \cdot 10^{-3}$	Dầu khoáng	$(0,75 \div 0,95) \cdot 10^{-3}$
Xăng	$1,20 \cdot 10^{-3}$	Dầu parafin	$0,97 \cdot 10^{-3}$
Benzen	$1,23 \cdot 10^{-3}$	Dầu oliu	$0,75 \cdot 10^{-3}$
CFC R12	$2,59 \cdot 10^{-3}$	Dầu mỡ	$(0,92 \div 1,00) \cdot 10^{-3}$
CFC R114	$2,01 \cdot 10^{-3}$	Thủy ngân	$0,1819 \cdot 10^{-3}$
Etanol	$1,10 \cdot 10^{-3}$	H ₂ SO ₄ 100%	$0,57 \cdot 10^{-3}$
Glyxerin	$0,47 \cdot 10^{-3}$	Dầu thông	$0,97 \cdot 10^{-3}$
Dầu đốt	$0,70 \cdot 10^{-3}$	Toluel	$1,11 \cdot 10^{-3}$
Metanol	$1,20 \cdot 10^{-3}$	Nước 20 ÷ 70°C	$(0,21 \div 0,58) \cdot 10^{-3}$
		Nước đá -5 ÷ -20°C	$(-0,17 \div -0,66) \cdot 10^{-3}$

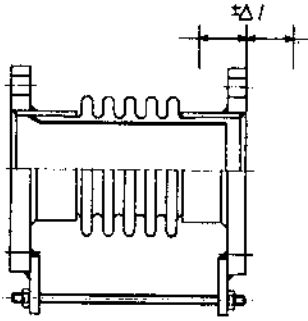
Bảng 1.5. Nhiệt dung riêng và số mũ đoạn nhiệt của khí lý tưởng

Loại khí	Trị số k	kcal/kmol.K		kJ/kmol.K	
		$C_{\mu v}$	$C_{\mu p}$	$C_{\mu v}$	$C_{\mu p}$
Một nguyên tử	1,6	3	5	12,6	20,9
Hai nguyên tử	1,4	5	7	20,9	29,3
Ba và nhiều nguyên tử	1,3	7	9	29,3	37,7

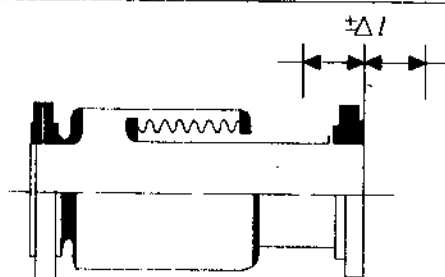
Bảng 1.6. Nhiệt dung riêng trung bình phụ thuộc vào nhiệt độ (trong khoảng 0°C ÷ 1500°C)

Khí	Nhiệt dung riêng khối lượng (kcal/kgK)	Nhiệt dung riêng thể tích (kcal/m ³ K)	Nhiệt dung riêng khối lượng (kJ/kgK)	Nhiệt dung riêng thể tích (kJ/m ³ K)
O ₂	$C_{p,ab} = 0,2198 + 0,00002544t$ $C_{v,ab} = 0,1577 + 0,00002544t$	$C'_{p,ab} = 0,3138 + 0,00003766t$ $C'_{v,ab} = 0,2252 + 0,00003766t$	$C_{p,ab} = 0,9203 + 0,0001065t$ $C_{v,ab} = 0,6603 + 0,0001065t$	$C'_{p,ab} = 1,3138 + 0,0001577t$ $C'_{v,ab} = 0,9429 + 0,0001577t$
N ₂	$C_{p,ab} = 0,2446 + 0,00002115t$ $C_{v,ab} = 0,1737 + 0,00002115t$	$C'_{p,ab} = 0,3057 + 0,00002643t$ $C'_{v,ab} = 0,2171 + 0,00002643t$	$C_{p,ab} = 1,024 + 0,00008855t$ $C_{v,ab} = 0,7272 + 0,00008855t$	$C'_{p,ab} = 1,2799 + 0,0001107t$ $C'_{v,ab} = 0,9089 + 0,0001107t$
Không khí	$C_{p,ab} = 0,2378 + 0,00002221t$ $C_{v,ab} = 0,1693 + 0,00002221t$	$C'_{p,ab} = 0,3073 + 0,00002869t$ $C'_{v,ab} = 0,2187 + 0,00002869t$	$C_{p,ab} = 0,9956 + 0,00009299t$ $C_{v,ab} = 0,7088 + 0,00009299t$	$C'_{p,ab} = 1,2866 + 0,0001201t$ $C'_{v,ab} = 0,9757 + 0,0001201t$
H ₂ O	$C_{p,ab} = 0,4379 + 0,0000713t$ $C_{v,ab} = 0,3276 + 0,0000713t$	$C'_{p,ab} = 0,3519 + 0,00005967t$ $C'_{v,ab} = 0,2633 + 0,00005967t$	$C_{p,ab} = 1,833 + 0,0003111t$ $C_{v,ab} = 1,3716 + 0,0003111t$	$C'_{p,ab} = 1,4733 + 0,0002498t$ $C'_{v,ab} = 1,1024 + 0,0002498t$
CO ₂	$C_{p,ab} = 0,2067 + 0,00005836t$ $C_{v,ab} = 0,1616 + 0,00005836t$	$C'_{p,ab} = 0,4058 + 0,0001146t$ $C'_{v,ab} = 0,3172 + 0,0001146t$	$C_{p,ab} = 0,8654 + 0,0002443t$ $C_{v,ab} = 0,6764 + 0,0002443t$	$C'_{p,ab} = 1,6990 + 0,0004798t$ $C'_{v,ab} = 1,3281 + 0,0004798t$

Bảng 1.7. Thông số kỹ thuật bộ dẫn nỡ DHEJ-5000*

							
Đường kính	Dày	Chiều dài bộ dẫn	Độ dẫn dài max	Đường kính	Dày	Chiều dài bộ dẫn	Độ dẫn dài max
(mm)	(mm)	(mm)	$\pm \Delta l$ (mm)	(mm)	(mm)	(mm)	$\pm \Delta l$ (mm)
50A	0,4	240	± 12	800A	1,5	400	± 24
65A	0,4	250	± 12			580	± 40
80A	0,4	250	± 12			600	± 48
100A	0,4	340	± 25	900A	1,5	400	± 24
		250	± 12			580	± 40
125A	0,6	360	± 25			640	± 48
		250	± 12	1000A	1,5	400	± 24
150A	0,8	360	± 30			580	± 40
		250	± 15			640	± 48
200A	0,8	440	± 30	1100A	1,5	400	± 24
		300	± 15			580	± 40
250A	1,0	440	± 32			640	± 48
		300	± 18	1200A	1,5	400	± 24
300A	1,0	440	± 32			580	± 40
		300	± 18			640	± 48
		440	± 30	1300A	1,5	400	± 24
350A	1,0	524	± 42			580	± 40
		300	± 23			640	± 48
		440	± 37	1400A	1,5	400	± 24
400A	1,0	524	± 45			580	± 40
		300	± 23			640	± 48
		475	± 37	1500A	1,5	400	± 24
450A	1,0	545	± 45			580	± 40
		300	± 23			640	± 48
		475	± 37	2000A	1,5	420	± 24
500A	1,0	545	± 45			600	± 40
		300	± 23			660	± 48
		475	± 37	2500A	2,0	460	± 18
600A	1,2	545	± 45			620	± 36
		300	± 16			700	± 45
		475	± 40	3000A	2,0	560	± 18
		300	± 49			720	± 36

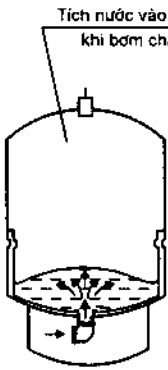
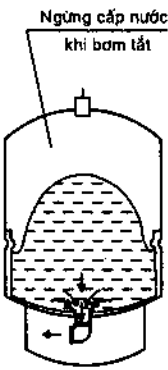
Bảng 1.8. Thông số kỹ thuật bộ dẫn nổ XF



Số hiệu	Đường kính tiêu chuẩn	Áp suất thiết kế	Độ dẫn dài	Lực đẩy khi dẫn nổ	Tổng chiều dài bộ dẫn nổ
	mm (in)	kPa	$\pm\Delta l$ / mm	N/mm	mm
100-350-6	100	345	16,0	110	80
100-350-12	(4)	345	32,0	55	132
100-350-20		345	52,0	33	204
100-1000-6		1034	16,0	110	82
100-1000-12		1034	32,0	55	134
100-1000-20		1034	29,0	129	220
100-2000-6		2068	10,0	400	108
100-2000-12		2068	20,0	200	167
100-2000-20		2068	23,0	252	256
125-350-6	125	345	15,0	141	80
125-350-12	(5)	345	30,0	71	134
125-350-20		345	50,0	42	206
125-1000-6		1034	15,0	141	82
125-1000-12		1034	30,0	71	136
125-1000-20		1034	28,0	161	222
125-2000-6		2068	9,0	498	116
125-2000-12		2068	18,0	249	175
125-2000-20		2068	28,0	161	265
150-350-6	150	345	27,0	86	95
150-350-12	(6)	345	54,0	43	164
150-350-24		345	67,0	78	321
150-1000-6		1034	27,0	86	103
150-1000-12		1034	30,0	163	181
150-1000-24		1034	46,0	172	343
150-2000-6		2068	12,0	848	135
150-2000-12		2068	24,0	424	212
150-2000-24		2068	34,0	452	386
200-350-6	200	345	26,0	112	95
200-350-12	(8)	345	52,0	56	164
200-350-24		345	64,0	102	321
200-1000-6		1034	26,0	112	107
200-1000-12		1034	29,0	214	185
200-1000-24		1034	45,0	225	347
200-2000-6		2068	11,0	810	143
200-2000-12		2068	22,0	455	218
200-2000-24		2068	38,0	499	394

250-350-4	250'	345	38,0	51	170
250-350-8	(10)	345	73,0	25	256
250-350-16		345	84,0	97	450
250-1000-4		1034	21,0	387	186
250-1000-8		1034	42,0	194	280
250-1000-16		1034	55,0	274	430
250-2000-4		2068	22,0	1069	170
250-2000-8		2068	15,0	534	261
250-2000-16		2068	43,0	510	472
300-350-6	300'	345	46,0	102	223
300-350-12	(12)	345	92,0	51	358
300-1000-6		345	29,0	310	240
300-1000-12		1034	58,0	155	380
300-2000-6		1034	22,0	594	226
300-2000-12		1034	44,0	287	370
350-350-6	350'	345	46,0	112	179
350-350-12	(14)	345	92,0	56	314
350-1000-6		1034	31,0	290	198
350-1000-12		1034	62,0	145	338
350-2000-6		2068	18,0	1250	247
350-2000-12		2068	38,0	625	398
400-350-6	400'	345	46,0	120	178
400-350-12	(16)	345	92,0	60	314
400-1000-6		1034	31,0	334	204
400-1000-12		1034	62,0	167	344
400-2000-6		2068	20,0	1216	259
400-2000-12		2068	40,0	608	410
450-350-6	450'	345	47,0	124	185
450-350-12	(18)	345	94,0	62	320
450-1000-6		1034	30,0	376	210
450-1000-12		1034	60,0	188	350
450-2000-6		2068	20,0	1372	271
450-2000-12		2068	40,0	686	422
500-350-6	500'	345	47,0	138	193
500-350-12	(20)	345	94,0	69	328
500-1000-6		1034	30,0	420	216
500-1000-12		1034	60,0	210	356
500-2000-6		2068	28,0	1376	292
500-2000-12		2068	56,0	688	450

Bảng 1.9. Thông số kỹ thuật bộ dẫn nở thể tích

 Tích nước vào bình khi bơm chạy  Ngừng cấp nước khi bơm tắt						
Model	Kích thước (mm)		Thể tích tổng (l)	Mức sụt áp		
	Đường kính	Cao		1,3/2,7 (bar)	2,0/3,3 (bar)	2,7/4,0 (bar)
AT- 421	762	1860	625	230,9	193,0	170,3
AT- 422	762	2310	833	306,6	257,4	223,3
AT- 423	914	2165	1040	386,1	321,7	280,1
AT- 424	914	2480	1230	454,2	382,3	333,1
AT- 426	1220	2080	1666	617,0	514,8	450,4
AT- 427	1220	2430	2082	772,2	647,3	564,0

Bảng 1.10. Thông số vật lý của không khí khô theo nhiệt độ ($p = 760 \text{ mmHg}$)

t (°C)	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg.độ	λ W/m.độ	t (°C)	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg.độ	λ W/m.độ
-50	1,584	1,013	2,04	120	0,898	1,909	3,34
-40	1,515	1,013	2,12	140	0,854	1,013	3,49
-30	1,453	1,013	2,2	160	0,815	1,017	3,64
-20	1,695	1,009	2,28	180	0,779	1,022	3,78
-10	1,342	1,009	2,36	200	0,746	1,026	3,93
0	1,293	1,005	2,44	250	0,674	1,038	4,27
10	1,247	1,005	2,51	300	0,615	1,047	4,6
20	1,205	1,005	2,59	350	0,566	1,059	4,91
30	1,165	1,005	2,67	400	0,524	1,068	5,21

t (°C)	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg.độ	λ W/m.độ	t (°C)	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg.độ	λ W/m.độ
40	1,128	1,005	2,76	500	0,456	1,093	5,74
50	1,093	1,005	2,83	600	0,404	1,114	6,22
60	1,06	1,005	2,9	700	0,362	1,135	6,71
70	1,029	1,005	2,96	800	0,329	1,156	7,18
80	1	1,005	3,05	900	0,301	1,172	7,63
90	0,972	1,005	3,13	1000	0,277	1,185	8,07
100	0,946	1,009	3,21	1100	0,257	1,197	8,5

B — BÀI TẬP

1.1. Trong 1 bình có thể tích 0,25 m³ chứa oxy ở áp suất tuyệt đối là 18 bar và nhiệt độ 28°C.

Xác định:

- Áp suất dư theo các đơn vị khác nhau: bar, N/m², mmHg, atm, mH₂O biết áp suất khí quyển bằng 760 mmHg ở 0°C.
- Nhiệt độ oxy tính theo độ Kenvin, Farenhet.
- Thể tích riêng và khối lượng riêng của oxy ở trạng thái trong bình.
- Khối lượng oxy chứa trong bình.
- Nếu khí trong bình được gia nhiệt tới 250°C. Tính nhiệt lượng cần thiết để gia nhiệt.

1.2. Đường ống dẫn nước lạnh của hệ thống điều hoà không khí đường kính – DN200 làm bằng thép có chiều dài 100 m lắp cố định 2 đầu. Xác định số lượng bộ dẫn nở cần thiết để đường ống không hư hỏng khi nhiệt độ thay đổi từ $t = (7 \div 40)^\circ\text{C}$, (hệ số dẫn nở dài trung bình của thép và của bộ dẫn nở tra bảng).

1.3. Đường ống nước lạnh của hệ thống điều hoà không khí có đường kính – DN200 làm bằng vật liệu Polyetylen (PE) có chiều dài 84 m lắp cố định 2 đầu. Xác định số lượng bộ dẫn nở cần thiết để đường ống không hư hỏng khi nhiệt độ thay đổi từ $t = (5 \div 40)^\circ\text{C}$, (hệ số dẫn nở dài trung bình của PE và của bộ dẫn nở tra bảng).

1.4. Đường ống nước giải nhiệt của hệ thống điều hoà không khí có đường kính – DN150 làm bằng Polypropylen (PPR) có chiều dài 60 m lắp cố định 2 đầu. Xác định số lượng bộ dẫn nở cần thiết để đường ống không bị hư hỏng khi nhiệt độ thay đổi từ $t = (10 \div 50)^\circ\text{C}$, (hệ số dẫn nở dài trung bình của ống PPR và của bộ dẫn nở tra bảng).

- 1.5. Một đập bê tông có chiều dài 40 m, nhiệt độ khối bê tông sau khi đổ $t_1 = 50^\circ\text{C}$. Sau một thời gian nhiệt độ khối bê tông giảm xuống $t_2 = 30^\circ\text{C}$. Xác định độ giảm chiều dài đập bê tông là nguyên nhân gây hiện tượng nứt vỡ, (hệ số giãn nở dài trung bình của bê tông tra bảng).
- 1.6. Tổng thể tích nước lạnh trong hệ thống điều hoà không khí là 40 m^3 . Xác định độ thay đổi thể tích của khối nước trên khi nhiệt độ thay đổi từ $t = (20 \div 60)^\circ\text{C}$ để xác định thể tích bình giãn nở với khoảng áp suất làm việc của bình là 1,3/2,7 (bar), (hệ số giãn nở thể tích của nước tra bảng).
- 1.7. Một bình chứa xăng có dung tích 10 m^3 làm việc trong môi trường có nhiệt độ thay đổi $t = (10 \div 50)^\circ\text{C}$. Xác định thể tích xăng tối đa nên chứa trong bình để đảm bảo an toàn, (hệ số giãn nở thể tích của xăng tra bảng).
- 1.8. Một bình thép chứa không khí có thể tích $0,05\text{ m}^3$ ở áp suất tuyệt đối 9 bar được gia nhiệt từ nhiệt độ 25°C đến 400°C .
- Xác định nhiệt dung riêng trung bình của không khí trong khoảng từ 25°C đến 400°C theo bảng Nhiệt dung riêng 1.6.
 - Tính nhiệt lượng cần thiết cho quá trình gia nhiệt.
- 1.9. Một bình có thể tích $0,45\text{ m}^3$, chứa không khí ở áp suất dư 5 bar, nhiệt độ 25°C . Lượng không khí cần thoát ra khỏi bình là bao nhiêu để áp suất trong bình có độ chân không là 450 mmHg, trong điều kiện nhiệt độ không khí xem như không đổi. Biết áp suất khí quyển 760 mmHg.
- 1.10. Một khinh khí cầu có thể tích 1200 m^3 chứa hydro được thả vào khí quyển có áp suất 1 bar và nhiệt độ 27°C . Tính lực nâng khinh khí cầu, biết áp suất và nhiệt độ của H_2 trong khí cầu là 1 bar và 27°C .

C — BÀI GIẢI VÍ DỤ

1.1. Tóm tắt

Bình chứa O_2

$V = 0,25\text{ m}^3$

$p = 18\text{ bar}$

$t = 28^\circ\text{C}$

$p_{\text{kg}} = 760\text{ mmHg}$ ở 0°C

$t_2 = 250^\circ\text{C}$

Xác định:

a) p_d theo bar, N/m^2 , mmHg, atm, mH_2O

b) T (K), t ($^\circ\text{F}$)

c) v (m^3/kg), ρ (kg/m^3)

d) G (kg)

e) Q (kJ)

❖ **Tính toán :**

a) Áp suất dư:

$$p_d = p - p_{\text{kg}} = 18 - \frac{760}{750} = 16,987\text{ bar}$$

$$= 16,987 \cdot 10^5\text{ N/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 16,987.750 = 12740 \text{ mmHg} \\
 &= 16,987.0,987 = 16,766 \text{ atm} \\
 &= 16,987.10,2 = 173,267 \text{ mH}_2\text{O}
 \end{aligned}$$

b) Nhiệt độ của Oxy:

$$T = 28 + 273 = 301 \text{ K}$$

$$= \frac{9}{5} \cdot 28 + 32 = 82,4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

c) Áp dụng phương trình trạng thái cho 1kg khí lý tưởng: $p v = R T$

– Hằng số chất khí của khí O_2 : $R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{32} \text{ J/kg.K}$

– Ở điều kiện trong bình:

+ Thể tích riêng: $v = \frac{R T}{p} = \frac{\frac{8314}{32} \cdot 301}{18 \cdot 10^5} = 0,043 \text{ m}^3/\text{kg}$

+ Khối lượng riêng: $\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,043} = 23 \text{ kg/m}^3$

d) Khối lượng oxy chứa trong bình:

$$G = \frac{V}{v} = \frac{0,25}{0,043} = 5,754 \text{ kg}$$

e) Khối khí trong bình được gia nhiệt trong điều kiện $V = \text{const}$:

– Nhiệt lượng cần thiết để gia nhiệt:

$$Q = G C_v (t_2 - t_1) = G \frac{R}{k-1} (t_2 - t_1)$$

$$Q = 5,754 \cdot \frac{8314}{32(1,4-1)} \cdot (250 - 28) = 829703 \text{ J} = 829,703 \text{ kJ}$$

1.2. Tóm tắt

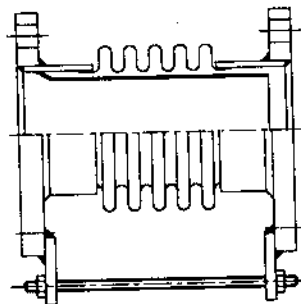
$$l_1 = 100 \text{ m}$$

$$\text{DN} = 200 \text{ mm}$$

$$t_1 = 7^\circ\text{C}$$

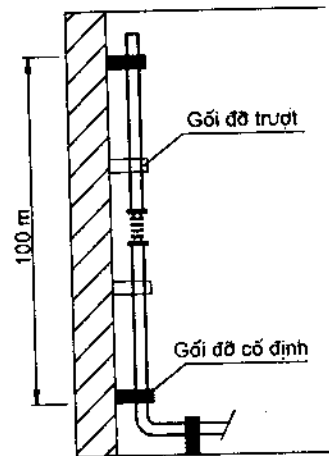
$$t_2 = 40^\circ\text{C}$$

Xác định: Số bộ dẫn nở.



Hình 1.1

a) Bộ dẫn nở



b) Cách lắp bộ dẫn nở

❖ **Tính toán:**

- Khi nhiệt độ thay đổi từ $7^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$, tra bảng 1.3 có hệ số giãn nở dài của thép là:

$$\alpha_{\text{th}} = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$$

- Độ tăng chiều dài của ống thép khi nhiệt độ thay đổi từ $7^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$ là:

$$\Delta l = l_1 \alpha_{\text{th}} (t_2 - t_1) = 100 \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} (40 - 7) = 0,03795 \text{ m}$$

Tra bảng với ống DN = 200, sử dụng bộ dẫn nở loại DHEJ –5000 (bảng 1.7) có chiều dài 440 mm và độ giãn nở dài của 1 bộ: $\Delta x = \pm 32 \text{ mm}$.

- Số bộ dẫn nở cần thiết để đường ống không bị hư hỏng khi nhiệt độ thay đổi từ $7^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$

$$n = \frac{\Delta l}{k \cdot \Delta x} = \frac{0,03795}{1,3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}} \approx 1. \text{ Vậy cần 1 bộ dẫn nở.}$$

k: Hệ số lựa chọn của thiết bị ($k = 1-1,5$).

1.5. Tóm tắt

$$l_1 = 40 \text{ m}$$

$$t_1 = 50^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 30^{\circ}\text{C}$$

Xác định:

$$- \Delta l \text{ (m)}$$

❖ **Tính toán:**

- Khi nhiệt độ thay đổi từ $50^{\circ}\text{C} \div 30^{\circ}\text{C}$, tra bảng 1.3 có hệ số giãn nở dài của bê tông là:

$$\alpha_{\text{bt}} = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$$

- Độ giảm chiều dài của khối bê tông khi nhiệt độ thay đổi từ $50^{\circ}\text{C} \div 30^{\circ}\text{C}$ là:

$$\Delta l = l_1 \alpha_{\text{bt}} (t_2 - t_1) = 40 \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} (30 - 50) = -0,0092 \text{ m}$$

1.6. Tóm tắt

$$V_1 = 40 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

$$t_1 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 60^{\circ}\text{C}$$

Xác định:

$$\Delta V (\text{m}^3)$$

❖ **Tính toán:**

- Khi nhiệt độ thay đổi từ $20^{\circ}\text{C} \div 60^{\circ}\text{C}$, tra bảng 1.4 có hệ số giãn nở thể tích của nước là:

$$\beta_{\text{th}} = 0,30 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$$

- Độ giãn nở thể tích của nước khi nhiệt độ thay đổi từ $20^{\circ}\text{C} \div 60^{\circ}\text{C}$ là:

$$\Delta V = V_1 \beta_{\text{th}} (t_2 - t_1) = 40 \cdot 0,30 \cdot 10^{-3} (60 - 20) = 0,48 \text{ m}^3$$

Để an toàn sử dụng bình có độ giãn nở là: $\Delta V \cdot k = 0,48 \cdot 1,2 = 0,576 \text{ m}^3$

k: Hệ số lựa chọn của thiết bị ($k = 1 \div 1,5$).

Với khoảng áp suất làm việc của bình là 1,3/2,7 (bar), tra bảng 1.9 có thể chọn bình dẫn nở có thể tích giãn nở 617,0 tức loại AT– 426.

CHƯƠNG 2

QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CỦA KHÍ VÀ HƠI

A — TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1. Bảng công thức các quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Bảng 2.1. Công thức các quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Quá trình					
	Đẳng tích $v = \text{const}$	Đẳng áp $p = \text{const}$	Đẳng nhiệt $T = \text{const}$	Đoạn nhiệt $pv^k = \text{const}$ $q = 0$	Đa biến $pv^n = \text{const}$ $C_n = \text{const}$
n	$\pm \infty$	0	1	k	n
C_n	C_v	C_p	$\pm \infty$	0	$C_v \frac{n-k}{n-1}$
$\frac{v_2}{v_1}$	1	$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{p_1}{p_2}$	$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{k-1}}$	$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$
$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{T_2}{T_1}$	1	$\frac{v_1}{v_2}$	$\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$	$\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}}$
$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{v_2}{v_1}$	1	$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}$	$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}$
l_{12}	0	$p_1(v_2 - v_1)$	$RT \ln \frac{p_1}{p_2}$	$\frac{RT_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$	$\frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$
q_{12}	$C_v(T_2 - T_1)$	$C_p(T_2 - T_1)$	$T(s_2 - s_1)$	0	$C_n(T_2 - T_1)$ $C_v(T_2 - T_1) + \int_{v_1}^{v_2} p dv$
l_{kt12}	$v(p_1 - p_2)$	0	l_{12}	kl_{12}	nl_{12}
$s_2 - s_1$	$C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$	$C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$	$R \ln \frac{p_1}{p_2}$	0	$C_n \ln \frac{T_2}{T_1}$

Đơn vị: p (N/m²); v (m³/kg); R (J/kg.K); T (K); C_v (J/kg.K); C_p (J/kg.K); C_n (J/kg.K); l (J/kg); q (J/kg); Δs (J/kg.K).

2. Máy nén piston

a) Máy nén piston 1 cấp lý tưởng

– Công tiêu tốn trong quá trình nén đa biến: $L_{mn} = L_{n12} = - \int_1^2 V dp = n L_{12} \text{ (W)}$

Trong đó: n – Số mũ đa biến

L_{12} – Công thay đổi thể tích của quá trình 1–2 (W).

$$L_{mn} = \frac{n}{n-1} G R T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \text{ (W)}$$

Trong đó: G : Khối lượng môi chất chịu nén (kg/s)

– Nhiệt trong quá trình nén: $q_n = C_n (T_2 - T_1) = C_n T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \text{ (J/kg)}$

C_n – Nhiệt dung riêng của quá trình đa biến (J/kg.K).

b) Máy nén piston m cấp

– Công của máy nén m cấp nén: $l_{mn} = m l_i = \frac{m n}{n-1} R T_1 \left(1 - \pi^{\frac{n-1}{n}} \right) \text{ (J/kg)}$

$$\text{Tỷ số nén: } \pi = \pi_1 = \pi_2 = \dots \pi_m = \sqrt[n]{\frac{p_c}{p_d}}$$

– Nhiệt toả ra trong các cấp nén: $q_{n1} = q_{n2} = \dots q_{nm} = C_n T_1 (\pi^{\frac{n-1}{n}} - 1) \text{ (J/kg)}$

– Nhiệt toả ra trong các bình làm mát trung gian: $q_b = q_{b1} = \dots = q_{b_m} = C_p (T_2 - T_1) \text{ (J/kg)}$

3. Các quá trình lưu động của khí và hơi

– Lưu lượng của dòng ổn định đoạn nhiệt:

$$G = \rho f v = \frac{\rho v}{v} = \text{const} \text{ (kg/s)}$$

Trong đó: ρ – Khối lượng riêng của chất khí (kg/m³).

v – Thể tích riêng của chất khí (m³/kg).

f – Diện tích tiết diện ống (m²).

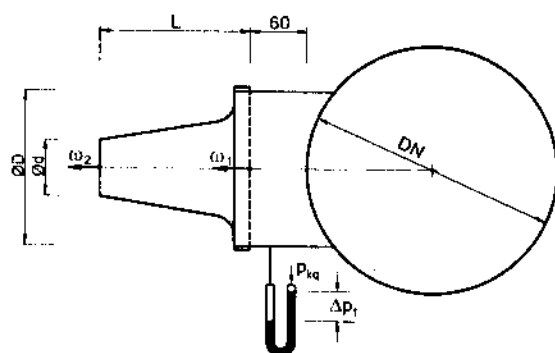
ω – Tốc độ dòng khí (m/s).

– Đối với khí lý tưởng, tốc độ dòng khí tại cửa ra ống tăng tốc:

$$\omega_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)} = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \text{ (m/s)}$$

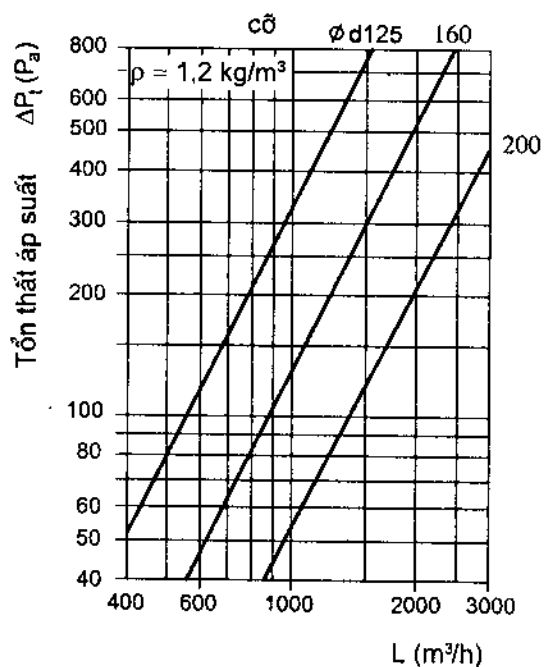
– Đối với khí thực có thể sử dụng đồ thị i - s để xác định i_1, i_2 ; từ đó ω_2 được tính theo công thức:

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



$\varnothing d$ (mm)	$\varnothing D$ (mm)	L (mm)
125	360	313
160	360	212
200	360	99

Hình 2.1. Ống tăng tốc nhỏ dẫn trong kỹ thuật thông gió



Hình 2.2. Tổn thất áp suất và lưu lượng qua ống tăng tốc nhỏ dẫn
Vận tốc ra khỏi ống tăng tốc $\omega = 10 \div 25 \text{ m/s}$

B — BÀI TẬP

2.1. Một bình kín có thể tích $V = 0,015 \text{ m}^3$ chứa không khí ở áp suất đầu $p_1 = 1,008 \text{ bar}$, nhiệt độ $t_1 = 30^\circ\text{C}$. Không khí được cấp nhiệt đẳng tích $Q = 16 \text{ kJ}$.

Xác định:

- Nhiệt độ cuối t_2 ($^\circ\text{C}$), áp suất cuối p_2 (bar) quá trình;
- Khối lượng không khí chứa trong bình G (kg);
- Tính độ biến thiên ΔU (kJ), ΔS (kJ/K);
- Biểu diễn các quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

2.2. Một bình kín có thể tích $0,12 \text{ m}^3$ chứa khí oxy có áp suất tuyệt đối 10 bar và nhiệt độ 50°C , được cấp nhiệt đẳng tích, nhiệt độ tăng đến 150°C .

Xác định:

- Khối lượng G (kg) và áp suất p_2 (bar);
- Nhiệt lượng cần cung cấp Q (kJ);
- Tính độ biến thiên ΔU (kJ), ΔS (kJ/K);
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

2.3. Xylinder có đường kính $d = 400 \text{ mm}$ chứa không khí có thể tích $0,08 \text{ m}^3$, áp suất $3,06 \text{ atm}$, nhiệt độ 15°C . Nếu không khí nhận nhiệt trong điều kiện piston chưa kịp dịch chuyển ($V = \text{const}$) và nhiệt độ không khí tăng tới 398°C .

Xác định:

- Lực tác dụng lên mặt trong của piston $F(\text{N})$;
- Khối lượng không khí có trong xylinder G (kg);
- Nhiệt lượng cung cấp Q (kJ);
- Lượng biến đổi ΔS (kJ/K);
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

2.4. Không khí trong xylinder giãn nở đẳng nhiệt ở nhiệt độ $t = 20^\circ\text{C}$, từ thể tích $V_1 = 4,5 \text{ m}^3$, áp suất $p_1 = 5 \text{ bar}$ đến thể tích $V_2 = 5,4 \text{ m}^3$.

Xác định:

- Thông số p_2 (bar);
- Lượng nhiệt cần cung cấp Q (kJ);
- Tính độ biến thiên ΔS (kJ/K) của không khí trong xylinder;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

- 2.5. Cho 5 kg không khí có thông số ban đầu $p_1 = 0,8 \text{ bar}$, $t_1 = 35^\circ\text{C}$, thực hiện quá trình nén đẳng nhiệt tới áp suất $p_2 = 6,2 \text{ bar}$.

Xác định:

- Các thông số $V_1 (\text{m}^3)$, $V_2 (\text{m}^3)$;
- Nhiệt lượng của quá trình $Q (\text{kJ})$;
- Công thay đổi thể tích $L (\text{kJ})$;
- Sự thay đổi entropi : $\Delta S (\text{kJ/K})$;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p - v$, $T - s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

- 2.6. Cho 0,05 kg không khí có nhiệt độ 350°C , áp suất tuyệt đối 28 bar, tiến hành quá trình gia nhiệt đẳng áp đến nhiệt độ 810°C .

Xác định:

- Thể tích đầu, cuối : $V_1 (\text{m}^3)$, $V_2 (\text{m}^3)$;
- Nhiệt lượng cấp vào $Q (\text{kJ})$;
- Công thay đổi thể tích $L (\text{kJ})$;
- Sự thay đổi nội năng: $\Delta U (\text{kJ})$ và thay đổi entropi : $\Delta S (\text{kJ/K})$;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p - v$ và $T - s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

- 2.7. Cho 0,004 kg không khí ở áp suất ban đầu $p_1 = 35 \text{ bar}$, nhiệt độ ban đầu $t_1 = 1000^\circ\text{C}$ giãn nở đoạn nhiệt đến áp suất $p_2 = 2 \text{ bar}$.

Xác định:

- Thể tích đầu, cuối : $V_1 (\text{m}^3)$, $V_2 (\text{m}^3)$;
- Nhiệt độ cuối của quá trình: $t_2 (^\circ\text{C})$;
- Công thay đổi thể tích $L (\text{kJ})$;
- Sự thay đổi nội năng $\Delta U (\text{kJ})$;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p - v$ và $T - s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

- 2.8. Cho 0,008 kg không khí có thông số ban đầu $V_1 = 0,003 \text{ m}^3$, $t_1 = 26^\circ\text{C}$ thực hiện quá trình nén đoạn nhiệt đến thể tích $V_2 = 0,0005 \text{ m}^3$.

Xác định:

- Áp suất đầu và cuối : p_1 , $p_2 (\text{bar})$;
- Nhiệt độ cuối: $t_2 (^\circ\text{C})$;
- Công thay đổi thể tích $L (\text{kJ})$;
- Sự thay đổi nội năng: $\Delta U (\text{kJ})$;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p - v$, $T - s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

2.9. Cho 4 kg không khí có thông số ban đầu $p_1 = 20 \text{ bar}$, $t_1 = 140^\circ\text{C}$ thực hiện quá trình giãn nở đoạn nhiệt thể tích tăng 6 lần.

Xác định:

- Thể tích đầu và cuối: $V_1, V_2 \text{ (m}^3\text{)}$;
- Nhiệt độ cuối và áp suất cuối: $t_2 \text{ (}^\circ\text{C)}$; $p_2 \text{ (bar)}$;
- Sự thay đổi nội năng: $\Delta U \text{ (kJ)}$;
- Công thay đổi thể tích $L \text{ (kJ)}$;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$.

2.10. 5 kg không khí được nén đa biến với số mũ đa biến $n = 1,2$ trong máy nén từ nhiệt độ $t_1 = 20^\circ\text{C}$, áp suất $p_1 = 0,981 \text{ bar}$ đến áp suất $p_2 = 7,845 \text{ bar}$.

Xác định:

- Các thông số trạng thái: $t_2 \text{ (}^\circ\text{C)}$, $V_1 \text{ (m}^3\text{)}$, $V_2 \text{ (m}^3\text{)}$;
- Lượng nhiệt toả ra $Q \text{ (kJ)}$;
- Lượng biến đổi nội năng $\Delta U \text{ (kJ)}$;
- Công thay đổi thể tích $L \text{ (kJ)}$;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$.

2.11. Cho 0,003 kg không khí với thông số ban đầu $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 27^\circ\text{C}$ được nén đa biến tới $p_2 = 20 \text{ bar}$, $t_2 = 217^\circ\text{C}$.

Xác định:

- Các thông số trạng thái: $V_1 \text{ (m}^3\text{)}$, $V_2 \text{ (m}^3\text{)}$;
- Số mũ đa biến: n ;
- Công thay đổi thể tích $L \text{ (kJ)}$;
- Nhiệt lượng $Q \text{ (kJ)}$;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$.

2.12. Cho 0,02 kg không khí với thông số ban đầu $p_1 = 32 \text{ bar}$, $t_1 = 927^\circ\text{C}$ được giãn nở đa biến với $n = 4/3$ đến thể tích tăng 14 lần.

Xác định:

- Các thông số trạng thái: $V_1 \text{ (m}^3\text{)}$, $V_2 \text{ (m}^3\text{)}$, $p_2 \text{ (bar)}$, $t_2 \text{ (}^\circ\text{C)}$;
- Công thay đổi thể tích $L \text{ (kJ)}$;
- Nhiệt lượng $Q \text{ (kJ)}$;
- Độ biến thiên $\Delta U \text{ (kJ)}$, $\Delta S \text{ (kJ/K)}$;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$.

2.13. Không khí trong xylinder có thể tích 1,25 lít và thông số ban đầu $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 27^\circ\text{C}$ được nén đa biến với $n = 1,2$ tới áp suất $p_2 = 7 \text{ bar}$.

Xác định:

- Các thông số trạng thái : V_2 (m^3), t_2 ($^{\circ}C$);
- Công thay đổi thể tích L (kJ);
- Nhiệt lượng Q (kJ);
- Độ biến thiên ΔU (kJ), ΔS (kJ/K);
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171$ kJ/kg.K ; $R = 287$ J/kg.K.

- 2.14. Máy nén khí lý tưởng một cấp có công suất 100 m^3/h . Không khí có áp suất $p_1 = 1$ atm, nhiệt độ $t_1 = 27^{\circ}C$ được nén đến áp suất $p_2 = 8$ atm theo quá trình đa biến với $n = 1,2$.

Xác định:

- Thể tích cuối và nhiệt độ cuối các quá trình nén;
- Công suất của máy nén;
- Lượng nhiệt toả ra trong quá trình nén;
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$ và $T-s$.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171$ kJ/kg.K ; $R = 287$ J/kg.K.

- 2.15. Máy nén không khí 2 cấp lý tưởng, áp suất đầu $p_d = 1$ atm, áp suất cuối $p_c = 9$ atm. Tiến hành nén đa biến $n = 1,2$, nhiệt độ đầu $t_1 = 27^{\circ}C$.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$ và $T-s$;
- Áp suất cuối và nhiệt độ cuối các quá trình nén;
- Công của máy nén và nhiệt toả trong các bình làm mát trung gian tương ứng với 1 kg không khí và 5 kg không khí.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171$ kJ/kg.K; $R = 287$ J/kg.K.

- 2.16. Không khí lưu động đoạn nhiệt qua ống tăng tốc nhỏ dần (vòi phun) có kích thước đầu vào/ra là : $d_1/d_2 = (360/160)$ mm.

Biết không khí có lưu lượng $V = 2000$ m^3/h , áp suất $p_1 = 1,06$ bar, nhiệt độ $t_1 = 22^{\circ}C$ thổi vào môi trường có áp suất $p_2 = 1$ bar.

Xác định:

- Tốc độ đầu vào và ra của ống tăng tốc.
- Công kỹ thuật.

Cho biết không khí có: $C_v = 0,7171$ kJ/kg.K ; $R = 287$ J/kg.K; $k = 1,4$.

- 2.17. Không khí lưu động qua vòi phun nhỏ dần có kích thước $d_1/d_2 = (100/30)$ mm. Biết lưu lượng qua vòi phun là 100 m^3/h , áp suất $p = 1,1$ bar, nhiệt độ $t_1 = 20^{\circ}C$ được thổi vào phòng có áp suất 1 bar.

Xác định:

- Tốc độ đầu vào và ra của ống tăng tốc;
- Công kỹ thuật.

- 2.18. Xác định tốc độ lưu động của không khí và kích thước mặt cắt cửa vào và ra của ống tăng tốc nhỏ dần.

Biết lưu lượng của dòng $G = 55,5$ l/s, áp suất và nhiệt độ ở cửa vào là 1,08 bar và $20^{\circ}C$, áp suất của môi trường sau ống tăng tốc bằng 1 bar.

C – BÀI GIẢI VÍ DỤ

2.1. Tóm tắt

$$V = 0,015 \text{ m}^3 = \text{const}$$

$$p_1 = 1,008 \text{ bar}$$

$$t_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 16 \text{ kJ}$$

$$C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}; R = 287 \text{ J/kg.K}; k = 1,4$$

Xác định:

$$t_2 (^\circ\text{C}), p_2 (\text{bar});$$

$$G (\text{kg});$$

$$\Delta U (\text{kJ}), \Delta S (\text{kJ/K});$$

Biểu diễn trên p-v, T-s.

❖ Tính toán:

Áp dụng phương trình trạng thái cho G kg khí lý tưởng: $pV = GRT$

Khối lượng không khí chứa trong bình:

$$G = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{1,008 \cdot 10^5 \cdot 0,015}{287(30 + 273)} = 0,017 \text{ kg}$$

Nhiệt độ cuối quá trình:

$$Q = GC_v(T_2 - T_1) \Rightarrow T_2 = \frac{Q}{GC_v} + T_1$$

$$T_2 = \frac{16}{0,017 \cdot 0,7171} + 303 = 1615 \text{ K}$$

$$t_2 = 1342^\circ\text{C}$$

Áp suất cuối quá trình:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 1,008 \cdot \frac{1615}{303} = 5,373 \text{ bar}$$

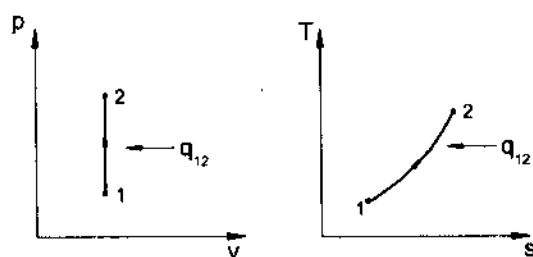
Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = Q = 16 \text{ kJ}$$

Độ biến thiên entropi:

$$\Delta S = GC_v \ln \frac{T_2}{T_1} = 0,017 \cdot 0,7171 \cdot \ln \frac{1615}{303} = 0,020 \text{ kJ/K}$$

❖ Biểu diễn quá trình trên đồ thị p-v, T-s:



2.4. Tóm tắt

$$t = 20^\circ\text{C} = \text{const}$$

$$V_1 = 4,5 \text{ m}^3$$

$$p_1 = 5 \text{ bar}$$

$$V_2 = 5,4 \text{ m}^3$$

$$C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}; R = 287 \text{ J/kg.K}; k = 1,4$$

Xác định:

$$p_2 \text{ (bar)}$$

$$Q \text{ (kJ);}$$

$$L \text{ (kJ);}$$

$$\Delta S \text{ (kJ/K).}$$

Biểu diễn trên p-v, T-s.

❖ **Tính toán:**

Áp dụng phương trình trạng thái cho G kg khí lý tưởng: $pV = GRT$, với $T = \text{const}$ có:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow p_2 = p_1 \frac{V_1}{V_2} = 5 \cdot \frac{4,5}{5,4} = 4,17 \text{ bar}$$

Khối lượng không khí có trong xylinde:

$$G = \frac{p_1 V_1}{R \cdot T} = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 4,5}{287 \cdot 293} = 26,757 \text{ kg}$$

Nhiệt lượng cần cung cấp:

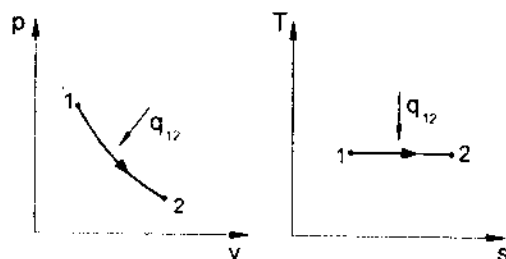
$$Q = GRT \ln \frac{p_1}{p_2} = 26,757 \cdot 287 \cdot 293 \ln \frac{5}{4,17} = 408428 \text{ J} = 408,428 \text{ kJ}$$

Công thay đổi thể tích:

$$L = Q = 408,428 \text{ kJ}$$

$$\text{Độ biến thiên entropi: } \Delta S = GR \ln \frac{p_1}{p_2} = 26,757 \cdot 287 \ln \frac{5}{4,17} = 1394 \text{ J/K} = 1,394 \text{ kJ/K}$$

❖ Biểu diễn quá trình trên đồ thị p-v, T-s:



2.6. Tóm tắt

$$G = 0,05 \text{ kg}$$

$$t_1 = 350^\circ\text{C}$$

$$p = 28 \text{ bar} = \text{const}$$

$$t_2 = 810^\circ\text{C}$$

$$C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}; R = 287 \text{ J/kg.K}; k = 1,4$$

Xác định:

$$V_1, V_2 \text{ (m}^3\text{);}$$

$$Q \text{ (kJ);}$$

$$L \text{ (kJ);}$$

$$\Delta U \text{ (kJ), } \Delta S \text{ (kJ/K).}$$

Biểu diễn trên p-v, T-s.

❖ **Tính toán:**

Áp dụng phương trình trạng thái cho G kg khí lý tưởng: $pV = GRT$

Thể tích đầu, thể tích cuối quá trình:

$$V_1 = \frac{GRT_1}{p} = \frac{0,05 \cdot 287 \cdot (350 + 273)}{28 \cdot 10^5} = 0,0032 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{GRT_2}{p} = \frac{0,05 \cdot 287 \cdot (810 + 273)}{28 \cdot 10^5} = 0,0056 \text{ m}^3$$

Nhiệt lượng cần cung cấp:

$$Q = GC_p(t_2 - t_1) = GkC_v(t_2 - t_1) = 0,05 \cdot 1,4 \cdot 0,7171(810 - 350) = 23,09 \text{ kJ}$$

Công thay đổi thể tích:

$$L = Gp(v_2 - v_1) = p(V_2 - V_1) = 28 \cdot 10^5(0,0056 - 0,0032) = 6601 \text{ J} = 6,601 \text{ kJ}$$

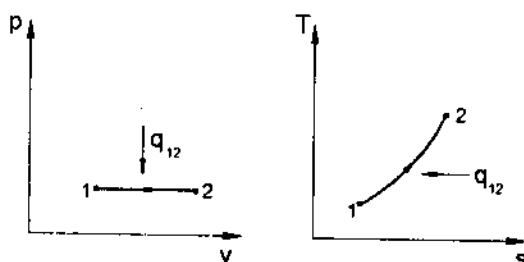
Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = GC_v(t_2 - t_1) = 0,05 \cdot 0,7171(810 - 350) = 16,493 \text{ kJ}$$

Độ biến thiên entropi:

$$\Delta S = GC_p \ln \frac{T_2}{T_1} = GkC_v \ln \frac{T_2}{T_1} = 0,05 \cdot 1,4 \cdot 0,7171 \ln \frac{810 + 273}{350 + 273} = 0,028 \text{ kJ/K}$$

❖ **Biểu diễn trên đồ thị p-v, T-s:**



2.7. Tóm tắt

$$G = 0,004 \text{ kg}$$

$$p_1 = 35 \text{ bar}$$

$$t_1 = 1000^\circ\text{C}$$

Dãn nở đoạn nhiệt

$$p_2 = 2 \text{ bar}$$

$$C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}; R = 287 \text{ J/kg.K}; k=1,4$$

Xác định:

$$V_1, V_2 (\text{m}^3);$$

$$t_2 (^\circ\text{C});$$

$$L (\text{kJ});$$

$$\Delta U (\text{kJ});$$

Biểu diễn trên p - v, T - s.

❖ **Tính toán:**

Áp dụng phương trình trạng thái cho G kg khí lý tưởng: $pV = GRT$

Thể tích đầu, thể tích cuối quá trình:

$$V_1 = \frac{GRT_1}{p_1} = \frac{0,004 \cdot 287 \cdot (1000 + 273)}{35 \cdot 10^5} = 0,0004 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{k}} \Rightarrow V_2 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{k}} = 0,0004 \left(\frac{35}{2}\right)^{\frac{1}{1,4}} = 0,0031 \text{ m}^3$$

Nhiệt độ cuối quá trình:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1273 \left(\frac{2}{35}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 562 \text{ K}$$

$$\Rightarrow t_2 = 289^\circ\text{C}$$

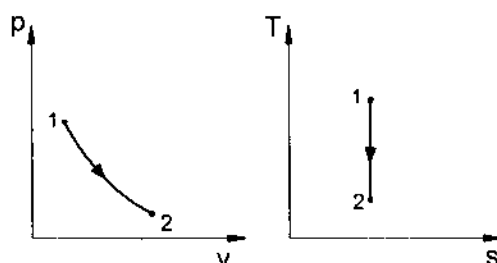
Công thay đổi thể tích:

$$L = \frac{GR}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{0,004 \cdot 287}{1,4-1} (1273 - 562) = 248 \text{ J} = 0,248 \text{ kJ}$$

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = G C_v (T_2 - T_1) = 0,004 \cdot 0,7171 (1273 - 562) = 2,039 \text{ kJ}$$

❖ Biểu diễn quá trình trên đồ thị p-v, T-s:



2.10. Tóm tắt:

G = 5 kg không khí

Nén đa biến với $n = 1,2$

$t_1 = 20^\circ\text{C}$

$p_1 = 0,981 \text{ bar}$

$p_2 = 7,845 \text{ bar}$

$C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k = 1,4$

Xác định:

$t_2 (^\circ\text{C})$; $V_1 (\text{m}^3)$, $V_2 (\text{m}^3)$;

Q (kJ);

$\Delta U (\text{kJ})$;

L (kJ);

Biểu diễn trên p - v, T - s.

❖ **Tính toán:**

Áp dụng phương trình của quá trình đa biến: $p v^n = \text{const}$ và phương trình trạng thái cho G kg khí lý tưởng: $p v = G R T$, có:

Nhiệt độ cuối quá trình:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = (20 + 273) \left(\frac{7,845}{0,981}\right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} = 414 \text{ K}$$

$$\Rightarrow t_2 = 141^\circ\text{C}$$

Thể tích đầu, thể tích cuối quá trình:

$$V_1 = \frac{G R T_1}{p_1} = \frac{5 \cdot 287 \cdot 293}{0,981 \cdot 10^5} = 4,286 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{GRT_2}{p_2} = \frac{5.287.414}{7.845.10^5} = 0,757 \text{ m}^3$$

Nhiệt lượng toả ra:

$$Q = GC_n(T_2 - T_1) = GC_v \frac{n-k}{n-1}(T_2 - T_1) = 5.0.7171. \frac{1,2-1,4}{1,2-1}(414 - 293) = -433,8 \text{ kJ}$$

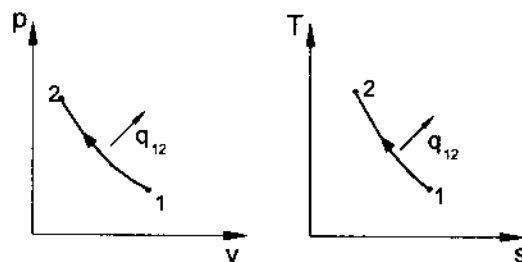
Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = GC_v(T_2 - T_1) = 5.0.7171.(414 - 293) = 433,8 \text{ kJ}$$

Công thay đổi thể tích:

$$L = G \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = 5. \frac{287.293}{1,2-1} \left[1 - \left(\frac{7,845}{0,981} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} \right] = -870601 \text{ J} = -870,601 \text{ kJ}.$$

❖ Biểu diễn trên đồ thị p-v, T-s:



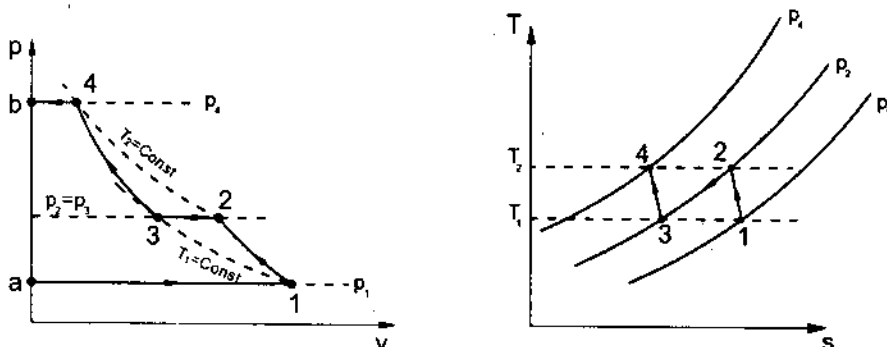
2.15. Tóm tắt

$p_d = 1 \text{ atm}$
 $p_c = 9 \text{ atm}$
 $m = 2$
 $n = 1,2$
 $t_1 = 27^\circ\text{C}$
 $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$; $R = 287 \text{ J/kg.K}$; $k=1,4$

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị p-v, T-s;
- p_2, t_2, p_4, t_4 ;
- L_{mn}, q_i với $G = 1 \text{ kg}$ và $G = 5 \text{ kg}$

❖ Biểu diễn trên đồ thị p-v, T-s:



❖ **Tính toán:**

Áp suất cuối và nhiệt độ cuối các quá trình nén:

$$\text{Tỷ số nén: } \pi = \sqrt[n]{\frac{p_4}{p_1}} = \sqrt[n]{\frac{p_c}{p_d}} = \sqrt[n]{\frac{9}{1}} = 3$$

$$p_2 = \pi p_1 = 3 \cdot 1 = 3 \text{ atm}$$

$$p_4 = \pi^2 p_1 = 3^2 \cdot 1 = 9 \text{ atm}$$

$$T_4 = T_2 = T_1 \pi^{\frac{n-1}{n}} = (27 + 273) \cdot 3^{\frac{1,2-1}{1,2}} = 360 \text{ K}$$

Với $G = 1 \text{ kg}$:

$$L_{mn} = G \frac{m \cdot n}{n-1} R T_1 \left(1 - \pi^{\frac{n-1}{n}} \right) = 1 \cdot \frac{2 \cdot 1,2}{1,2-1} \cdot 287 \cdot 300 \left(1 - 3^{\frac{1,2-1}{1,2}} \right) = -207608 \text{ J} = -207,608 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = Q_2 = -G C_p (T_2 - T_1) = -G \cdot k \cdot C_v (T_2 - T_1) = -1 \cdot 1,4 \cdot 0,72 (360 - 300) = -60,48 \text{ kJ}$$

Với $G = 5 \text{ kg}$

$$L_{mn} = G \frac{m \cdot n}{n-1} R T_1 \left(1 - \pi^{\frac{n-1}{n}} \right) = 5 \cdot \frac{2 \cdot 1,2}{1,2-1} \cdot 287 \cdot 300 \left(1 - 3^{\frac{1,2-1}{1,2}} \right) = -1038040 \text{ J} = -1038,04 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = Q_2 = -G C_p (T_2 - T_1) = -G \cdot k \cdot C_v (T_2 - T_1) = -5 \cdot \frac{29,3}{29} \cdot (360 - 300) = -302,4 \text{ kJ}$$

2.16. Tóm tắt

$$d_1 = 360 \text{ mm} = 0,36 \text{ m}$$

$$d_2 = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$$

$$V = 2000 \text{ m}^3/\text{h} = 0,556 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$p_1 = 1,06 \text{ bar}, t_1 = 22^\circ\text{C}$$

$$p_2 = 1 \text{ bar}$$

$$C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}; R = 287 \text{ J/kg.K}; k = 1,4$$

Xác định:

$$- \omega_1, \omega_2;$$

$$- L_{kl}.$$

❖ **Tính toán:**

Áp dụng phương trình trạng thái cho 1 kg khí lý tưởng: $p v = R T$

Thể tích riêng của không khí tại đầu vào của ống tăng tốc:

$$v_1 = \frac{R T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot (22 + 273)}{1,06 \cdot 10^5} = 0,799 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Lưu lượng khối lượng không khí:

$$G = \frac{V}{v_1} = \frac{0,556}{0,799} = 0,696 \text{ kg/s}$$

$$\text{Mặt khác: } G = \frac{f_1 \cdot \omega_1}{v_1} = \frac{f_2 \cdot \omega_2}{v_2}$$

Tốc độ không khí tại đầu vào của ống tăng tốc:

$$\omega_1 = \frac{G v_1}{f_1} = \frac{G v_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{4 \cdot 0,696 \cdot 0,799}{3,14 \cdot 0,36^2} = 5,466 \text{ m/s}$$

Thể tích riêng của không khí tại đầu ra của ống tăng tốc:

$$v_2 = v_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}} = 0,799 \left(\frac{1,06}{1} \right)^{\frac{1}{1,4}} = 0,833 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Tốc độ không khí tại đầu ra của ống tăng tốc:

$$\omega_2 = \frac{Gv_2}{f_2} = \frac{Gv_2}{\frac{\pi d_2^2}{4}} = \frac{4 \cdot 0,696 \cdot 0,833}{3,14 \cdot 0,16^2} = 28,850 \text{ m/s}$$

Công kỹ thuật của dòng khí:

$$L_{kt} = \frac{G(\omega_2^2 - \omega_1^2)}{2} = \frac{0,696(28,850^2 - 5,466^2)}{2} = 279,251 \text{ J/kg}$$

Chương 3

CHU TRÌNH CỦA CHẤT KHÍ

A — TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1. Công và nhiệt trong chu trình

1.1. Hiệu suất nhiệt

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

1.2. Công sinh ra trong chu trình thuận

$$l_o = q_1 - q_2 > 0$$

Trong đó:

l_o – Công sinh ra trong một chu trình.

q_1 – Nhiệt lượng cấp vào.

q_2 – Nhiệt lượng nhả vào môi trường.

1.3. Chỉ số hiệu quả làm lạnh

$$COP = \frac{q_2}{l_o} \left(\frac{kW_q}{kW_e} \right)$$

$$\text{hoặc } PIC = \frac{l_o}{q_2} \left(\frac{kWe}{RT} \right), \left(\frac{kW_e}{kW_q} \right)$$

Ký hiệu: q – Năng lượng nhiệt; e – Công sinh ra từ động cơ điện.

Khi sử dụng cùng đơn vị thì: $PIC = \frac{1}{COP}$

$$1 RT = 3,516 kW_q = 12000 Btu/h.$$

1.4. Công tiêu tốn trong chu trình ngược

$$l_o = q_2 - q_1 < 0$$

l_o – Công tiêu tốn trong một chu trình.

q_1 – Nhiệt lượng nhả cho môi trường

q_2 – Nhiệt lượng nhận từ vật cần làm lạnh
(Năng suất lạnh).

1.5. Chỉ số hiệu quả bơm nhiệt

$$\varphi = \frac{q_1}{l_o} = 1 + \frac{q_2}{l_o} = 1 + COP \left(\frac{kW_q}{kW_e} \right)$$

Trong đó:

φ : Chỉ số hiệu quả bơm nhiệt.

q_1 : Nhiệt lượng cấp cho vật cần sấy nóng, (kW_q).

q_2 : Nhiệt lượng thu từ môi trường, (kW_q).

I_0 : Công tiêu thụ, (kW_o).

2. Hàm trạng thái Entropi

$$ds = \frac{dq}{T}$$

Trong đó:

dq – Vi phân nhiệt lượng.

s – Hàm Entropi (J/kgK).

T – Nhiệt độ tuyệt đối.

– Độ biến thiên Entropi: $\Delta s = \int_1^2 \frac{dq}{T} \left(\frac{J}{kgK} \right)$

– Tính nhiệt lượng theo Entropi: $q = \int_1^2 Tds \left(\frac{J}{kg} \right)$

3. Công thức tính toán các chu trình động cơ đốt trong

	Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích	Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng áp	Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp	Chu trình tuabin khí cấp nhiệt đẳng áp
T_2	$T_1 \varepsilon^{\kappa}$	$T_1 \varepsilon^{\kappa-1}$	$T_1 \varepsilon^{\kappa-1}$	$T_1 \beta^{\kappa-1}$
v_2	$v_1 \varepsilon^{-1}$	$v_1 \varepsilon^{-1}$	$v_1 \varepsilon^{-1}$	$v_1 \beta^{\kappa}$
p_2	$p_1 \varepsilon^{\kappa}$	$p_1 \varepsilon^{\kappa}$	$p_1 \varepsilon^{\kappa}$	$p_1 \beta$
T_3	$T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \lambda$	$T_1 \rho \varepsilon^{\kappa-1}$	–	$T_1 \beta^{\kappa-1} \rho$
v_3	$v_1 \varepsilon^{-1}$	$v_1 \varepsilon^{-1} \rho$	–	$v_1 \rho \beta^{\kappa}$
p_3	$p_1 \lambda \varepsilon^{\kappa}$	$p_1 \varepsilon^{\kappa}$	–	$p_1 \beta$
T_3	–	–	$T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \lambda$	–
v_3	–	–	$v_1 \varepsilon^{-1}$	–
p_3	–	–	$p_1 \lambda \varepsilon^{\kappa}$	–
T_3	–	–	$T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \lambda \rho$	–
v_3	–	–	$v_1 \rho \varepsilon^{-1}$	–
p_3	–	–	$p_1 \lambda \varepsilon^{\kappa}$	–
T_4	$T_1 \lambda$	$T_1 \rho^{\kappa}$	$T_1 \lambda \rho^{\kappa}$	$T_1 \rho$
v_4	v_1	v_1	v_1	$v_1 \rho$
p_4	$p_1 \lambda$	$p_1 \rho^{\kappa}$	$p_1 \lambda \rho^{\kappa}$	p_1

	Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích	Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng áp	Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp	Chu trình tuabin khí cấp nhiệt đẳng áp
q_1	$C_v(T_3 - T_2)$	$C_p(T_3 - T_2)$	$C_v(T_3 - T_2) + kC_v(T_3 - T_3)$	$C_p(T_3 - T_2)$
q_2	$C_v(T_4 - T_1)$	$C_v(T_4 - T_1)$	$C_v(T_4 - T_1)$	$C_p(T_4 - T_1)$
η_t	$1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$	$1 - \frac{(p^k - 1)}{k\varepsilon^{k-1}(p - 1)}$	$1 - \frac{\lambda p^k - 1}{\varepsilon^{k-1}[(\lambda - 1) + k\lambda(p - 1)]}$	$1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}$
$\eta_{t,hn}$	—	—	—	$1 - \frac{1}{\gamma_{Max} \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}}}$

– Chu trình động cơ đốt trong (ĐCĐT):

$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ – Tỷ số nén; $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$ – Tỷ số tăng áp khi cháy; $\rho = \frac{v_3}{v_2} = \frac{v_3'}{v_2} = \frac{v_3'}{v_3}$ – Tỷ số dẫn nổ sớm.

– Chu trình Tuabin khí cấp nhiệt đẳng áp:

$\beta = \frac{p_2}{p_1}$ – Tỷ số tăng áp khi nén; $\rho = \frac{v_3}{v_2}$ – Tỷ số dẫn nổ sớm, $\gamma_{Max} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_b}$

B — BÀI TẬP

3.1. Chu trình Carnot thuận chiều của không khí được tiến hành trong phạm vi nhiệt độ

$T_{max} = 1050 \text{ K}$, $T_{min} = 350 \text{ K}$ và phạm vi áp suất $p_{max} = 50 \text{ bar}$, $p_{min} = 1 \text{ bar}$.

Biết $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$, $R = 287 \text{ kJ/kg.K}$, $k = 1,4$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Nhiệt lượng trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nóng và nguồn lạnh.
- Hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.2. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích, chất môi giới là không khí có $p_1 = 1 \text{ bar}$,

$t_1 = 20^\circ\text{C}$, tỷ số nén $\varepsilon = 6$, tỷ số tăng áp $\lambda = 2$.

Biết $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$, $R = 287 \text{ kJ/kg.K}$, $k = 1,4$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Nhiệt lượng trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nóng và nguồn lạnh.
- Hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.3. Động cơ xăng 125 cm^3 cấp nhiệt đẳng tích có tỷ số nén $\varepsilon = 9,4$ kì, công suất 5 kW , tốc độ

7500 vòng/phút , làm việc ở điều kiện môi trường 27°C , 1 bar . Biết $C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$,

$R = 287 \text{ kJ/kg.K}$, $k = 1,4$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- p , t cuối tẩm nén; p , t cuối quá trình cháy ;
- Lượng nhiệt chất môi giới cấp/ nhả: q_1/q_2 ;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình η_t .

3.4. Động cơ xăng 1400 cm³ cấp nhiệt đẳng tích có tỉ số nén $\varepsilon = 9,4$ ki, công suất 50 kW, tốc độ 6000 vòng/phút, làm việc ở điều kiện môi trường 35°C, 1 bar. Biết $C_v = 0,7171$ kJ/kg.K, $R = 287$ kJ/kg.K, $k = 1,4$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- p , t cuối tẩm nén; p , t cuối quá trình cháy;
- Lượng nhiệt chất môi giới cấp/ nhả: q_1/q_2 ;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình η_t .

3.5. Động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng tích, chất môi giới là không khí. Thể tích hành trình piston $V_h = 3500$ cm³, nhiệt độ vào $t_1 = 25^\circ\text{C}$, $p_1 = 1$ bar, thể tích thừa $V_2 = 500$ cm³, áp suất max của chu trình $p_3 = 50$ bar. Biết $C_v = 0,7171$ kJ/kg.K, $R = 287$ kJ/kg.K, $k = 1,4$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các điểm đặc trưng của chu trình;
- Lượng nhiệt trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nóng Q_1 và nguồn lạnh Q_2 ;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.6. Động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng áp, môi chất là không khí, các thông số cơ bản ở trạng thái nạp $p_1 = 1$ bar, $t_1 = 37^\circ\text{C}$, tỉ số nén bằng $\varepsilon = 14$, hệ số dân nở sớm bằng $\rho = 2$.
Biết $C_v = 0,7171$ kJ/kg.K, $R = 287$ kJ/kg.K, $k = 1,4$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Lượng nhiệt trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nóng q_1 và nguồn lạnh q_2 ;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.7. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng áp, có tỷ số nén là $\varepsilon = 11,5$; nhiệt lượng nguồn nóng truyền cho chất môi giới là không khí trong một chu trình là 1000 kJ/kg. Biết trước khi nén, không khí có áp suất 0,1 Mpa, nhiệt độ 30°C.
Biết $C_v = 0,7171$ kJ/kg.K, $R = 287$ kJ/kg.K, $k = 1,4$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Lượng nhiệt trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nóng q_1 và nguồn lạnh q_2 ;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.8. Động cơ Diezen cấp nhiệt hỗn hợp, biết nhiệt độ vào $t_1 = 70^\circ\text{C}$, $p_1 = 0,1 \text{ Mpa}$, nhiệt độ sau khi nén $t_2 = 400^\circ\text{C}$, nhiệt độ sau quá trình cháy đẳng tích $t_{3v} = 700^\circ\text{C}$, nhiệt độ sau quá trình cháy đẳng áp $t_{3p} = 1000^\circ\text{C}$, chất môi giới là không khí có $G = 0,1 \text{ kg/s}$.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Xác định các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Lượng nhiệt trao đổi Q_1 và Q_2 giữa môi chất với nguồn nhiệt;
- Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.9. Chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp, chất môi giới là không khí. Trước quá trình nén chất môi giới có thông số (p_1 , t_1) = (1 bar, 40°C). Các đại lượng đặc trưng: tỷ số nén $\varepsilon = 10$, tỷ số tăng áp $\lambda = 1,6$ và tỷ số dân nổ sớm $\rho = 1,4$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Lượng nhiệt q_1 , q_2 trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nhiệt;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.10. Chu trình tuabin khí cấp nhiệt đẳng áp với chất môi giới là không khí. Thông số chất môi giới trước khi đưa vào máy nén có áp suất $p_1 = 1 \text{ bar}$ và $t_1 = 27^\circ\text{C}$, áp suất sau máy nén $p_2 = 7 \text{ bar}$, nhiệt độ sau quá trình cháy $t_3 = 850^\circ\text{C}$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Lượng nhiệt q_1 , q_2 trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nhiệt;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.11. Chu trình tuabin khí cấp nhiệt đẳng áp với chất môi giới là không khí. Không khí trước khi đưa vào máy nén có áp suất $p_1 = 0,1 \text{ Mpa}$ và nhiệt độ $t_1 = 37^\circ\text{C}$; nhiệt độ cao nhất trong chu trình là $t_{\text{max}} = 750^\circ\text{C}$; tỷ số tăng áp là $\beta = 8$.

Xác định:

- Biểu diễn trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Xác định các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Lượng nhiệt q_1 , q_2 trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nhiệt;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình.

3.12. Trong một chu trình tuabin khí cấp nhiệt đẳng áp với chất môi giới là không khí. Không khí đưa vào máy nén có áp suất $p_1 = 0,1 \text{ Mpa}$, nhiệt độ $t_1 = 35^\circ\text{C}$; ra khỏi máy nén có áp suất $p_2 = 0,6 \text{ Mpa}$, nhiệt độ cao nhất trong chu trình là $t_3 = 900^\circ\text{C}$.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;
- Lượng nhiệt q_1 , q_2 trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nhiệt;
- Hiệu suất nhiệt của chu trình;
- Nếu đặt thêm bộ hồi nhiệt để môi chất có thể nhận lại tới mức tối đa nhiệt lượng của quá trình thải nhiệt thì hiệu suất nhiệt của chu trình bằng bao nhiêu?

C — BÀI GIẢI VÍ DỤ

3.1. Tóm tắt

Chu trình Carnot

$$T_{\max} = 1050 \text{ K}$$

$$T_{\min} = 350 \text{ K}$$

$$p_{\max} = 50 \text{ bar}$$

$$p_{\min} = 1 \text{ bar}$$

Xác định:

– Biểu diễn trên p-v, T-s;

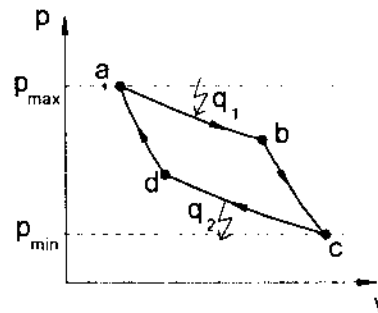
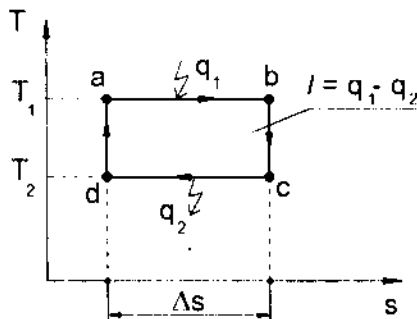
– Các thông số cơ bản (p, v, t) ở các đỉnh của chu trình;

– q_1, q_2 ;

– η_t .

❖ Biểu diễn chu trình trên đồ thị p-v, T-s:

Nhận biết chu trình: Điểm trạng thái (a) đặc trưng bởi 2 thông số: $p_{\max} = 50 \text{ bar}$, $T_{\max} = T_1 = T_a = 1050 \text{ K}$; Điểm trạng thái (c) đặc trưng bởi 2 thông số: $p_{\min} = 1 \text{ bar}$, $T_{\min} = T_2 = T_c = 350 \text{ K}$; Điểm trạng thái (b) đặc trưng bởi 2 thông số: $T_b = T_a$, $s_b = s_c$; Điểm trạng thái (d) đặc trưng bởi 2 thông số: $T_d = T_c$, $s_d = s_a$.



❖ Tính toán:

– Các thông số cơ bản ở các đỉnh của chu trình:

Dựa vào phương trình trạng thái cho 1 kg khí lý tưởng: $p v = R T$, có:

+ Điểm a: $T_a = T_{\max} = 1050 \text{ K}$
 $p_a = p_{\max} = 50 \text{ bar}$

$$v_a = \frac{R T_a}{p_a} = \frac{287 \cdot 1050}{50 \cdot 10^5} = 0,060 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm b: $T_b = T_a = 1050 \text{ K}$

$$p_b = p_c \left(\frac{T_b}{T_c} \right)^k = 1 \cdot \left(\frac{1050}{350} \right)^{1,4} = 46,76 \text{ bar}$$

$$v_b = \frac{R T_b}{p_b} = \frac{287 \cdot 1050}{46,76 \cdot 10^5} = 0,064 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm c: $T_c = T_{\min} = 350 \text{ K}$
 $p_c = p_{\min} = 1 \text{ bar}$

$$v_c = \frac{R T_c}{p_c} = \frac{287 \cdot 350}{1 \cdot 10^5} = 1,005 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm d: $T_d = T_c = 350 \text{ K}$

$$p_a = p_a \left(\frac{T_a}{T_a} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 50 \left(\frac{350}{1050} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 1,07 \text{ bar}$$

$$v_a = \frac{RT_a}{p_a} = \frac{287 \cdot 350}{1,07 \cdot 10^5} = 0,939 \text{ m}^3/\text{kg}$$

– Nhiệt lượng trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nóng và nguồn lạnh:

+ Nhiệt lượng chất môi giới nhận từ nguồn nóng:

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{p_a}{p_b} = 287 \cdot 1050 \cdot \ln \frac{50}{46,76} = 20189 \text{ J/kg} = 20,189 \text{ kJ/kg}$$

+ Nhiệt lượng chất môi giới thải ra môi trường:

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{p_b}{p_a} = 287 \cdot 350 \cdot \ln \frac{1}{1,07} = -6796 \text{ J/kg} = -6,796 \text{ kJ/kg}$$

– Công của chu trình:

$$l_o = q_1 - |q_2| = 20,189 - 6,796 = 13,393 \text{ kJ/kg}$$

– Hiệu suất nhiệt lý thuyết của chu trình:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{350}{1050} = 66,6\%$$

3.2. Tóm tắt

Động cơ đốt trong (ĐCĐT) cấp nhiệt **Xác định:**

đẳng tích:

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

$\epsilon = 6$, $\lambda = 2$

$C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$, $R = 287 \text{ kJ/kg.K}$,

$k = 1,4$.

– Biểu diễn trên $p-v$, $T-s$;

– Các thông cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình;

– Nhiệt lượng trao đổi q_1 , q_2 .

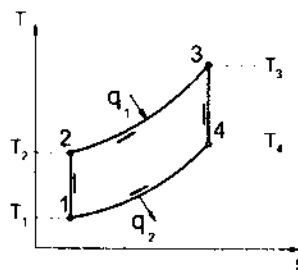
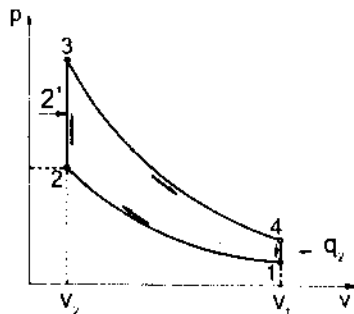
– η_t .

❖ Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$:

Nhận biết chu trình: Điểm trạng thái (1) đặc trưng bởi 2 thông số: $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$; Điểm

trạng thái (2) đặc trưng bởi 2 thông số: $s_2 = s_1$, $v_2 = \frac{v_1}{\epsilon}$; Điểm trạng thái (3) đặc trưng bởi 2 thông số:

$v_3 = v_2$, $p_3 = p_2 \cdot \lambda$; Điểm trạng thái (4) đặc trưng bởi 2 thông số: $v_4 = v_1$, $s_4 = s_3$.



❖ **Tính toán:**

– Các thông số cơ bản ở các đỉnh của chu trình:

Dựa vào phương trình trạng thái cho 1 kg : $p v = R T$, có:

+ Điểm 1: $T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$
 $p_1 = 1 \text{ bar}$
 $v_1 = \frac{R T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 293}{1 \cdot 10^5} = 0,841 \text{ m}^3/\text{kg}$

+ Điểm 2: $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} = 293 \cdot 6^{1,4-1} = 600 \text{ K}$
 $p_2 = p_1 \varepsilon^k = 1 \cdot 6^{1,4} = 12,28 \text{ bar}$
 $v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,841}{6} = 0,140 \text{ m}^3/\text{kg}$

+ Điểm 3: $T_3 = T_2 \varepsilon^{k-1} = 600 \cdot 6^{1,4-1} = 1200 \text{ K}$
 $v_3 = v_2 = 0,140 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $p_3 = p_2 \lambda = 12,28 \cdot 2 = 24,56 \text{ bar}$

+ Điểm 4: $v_4 = v_1 = 0,841 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $T_4 = T_3 \lambda = 1200 \cdot 2 = 2400 \text{ K}$
 $p_4 = p_3 \lambda = 24,56 \cdot 2 = 49,12 \text{ bar}$

– Nhiệt lượng trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nóng và nguồn lạnh:

+ Nhiệt lượng nhận được từ nguồn nóng:

$$q_1 = C_v (T_3 - T_2) = 0,7171(1200 - 600) = 430,26 \text{ kJ/kg}$$

+ Nhiệt lượng thải ra từ nguồn lạnh:

$$q_2 = C_v (T_1 - T_4) = 0,7171(293 - 2400) = -1611,11 \text{ kJ/kg}$$

– Hiệu suất nhiệt lý thuyết của chu trình: $\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{1611,11}{430,26} = 0,512 = 51,2\%$

3.3. Tóm tắt

Động cơ xăng:

$$V_1 = 125 \text{ cm}^3, p_1 = 1 \text{ bar}, t_1 = 27^\circ\text{C}, \varepsilon = 9$$

Công suất 5 kW, 4 kỳ, tốc độ 7500 vòng/phút

$$C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}, R = 287 \text{ kJ/kg.K}, k = 1,4$$

Xác định:

– Biểu diễn trên p–v, T–s;

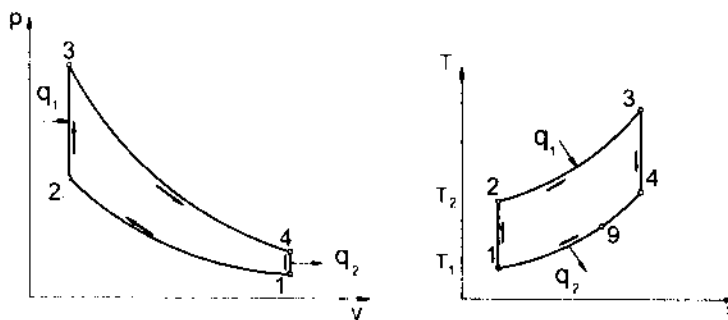
– Các thông số $p_2, t_2; p_3, t_3$;

– Lượng nhiệt cấp/nhả: q_1/q_2 ;

– Hiệu suất của chu trình η_t .

❖ Biểu diễn chu trình trên đồ thị p–v, T–s:

Nhận biết chu trình: Điểm trạng thái (1) đặc trưng bởi 2 thông số: $p_1 = 1 \text{ bar}, t_1 = 27^\circ\text{C}$; Điểm trạng thái (2) đặc trưng bởi 2 thông số: $s_2 = s_1, v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$; Điểm trạng thái (3) đặc trưng bởi 2 thông số: $v_3 = v_2, T_3 = \frac{q_1}{C_v} + T_2$; Điểm trạng thái (4) đặc trưng bởi 2 thông số: $v_4 = v_1$ và $s_4 = s_3$.



❖ Tính toán:

Dựa vào phương trình trạng thái cho G kg khí lý tưởng: $pV = GRT$, có:

– Áp suất, nhiệt độ cuối tẩm nén:

$$p_2 = p_1 \varepsilon^k = 1.9^{1.4} = 21,67 \text{ bar}$$

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} = (27 + 273).9^{1.4-1} = 722,5 \text{ K.}$$

$$\text{Khối lượng chất môi giới: } G = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{10^5 \cdot 125 \cdot 10^{-6}}{287 \cdot 300} = 1,45 \cdot 10^{-4} \text{ kg.}$$

Đây là động cơ 4 kỳ nên cứ 2 vòng mới sinh công 1 lần, tốc độ 7500 vòng/phút, do đó trong 1 giây số lần sinh công là: $j = \frac{7500}{2 \cdot 60} = 62,5 \text{ lần/s.}$

$$\text{Công chu trình: } l_o = \frac{N}{G \cdot j} = \frac{5}{1,45 \cdot 10^{-4} \cdot 62,5} = 551 \text{ kJ/kg.}$$

$$\text{– Hiệu suất của chu trình: } 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{9^{0.4}} = 0,58 = 58\%$$

$$\text{– Nhiệt lượng cấp } q_1: q_1 = \frac{l_o}{\eta_t} = \frac{551}{0,58} = 950 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{– Nhiệt lượng thải } q_2: |q_2| = q_1 - l_o = 950 - 551 = 399 \text{ kJ/kg}$$

– Áp suất, nhiệt độ cuối quá trình cháy:

$$T_3 = \frac{q_1}{C_v} + T_2 = \frac{950}{0,7171} + 722,5 = 2047 \text{ K}$$

$$p_3 = \frac{T_3}{T_2} p_2 = \frac{2047}{722,5} \cdot 21,67 = 61,4 \text{ bar.}$$

3.6. Tóm tắt

ĐCĐT cấp nhiệt đẳng áp:

$$p_1 = 1 \text{ bar}$$

$$t_1 = 37^\circ \text{C}$$

$$\varepsilon = 14, \quad \rho = 2$$

$$R = 287 \text{ J/kg.K, } C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}$$

$$k = 1,4$$

Xác định:

– Biểu diễn trên p-v, T-s;

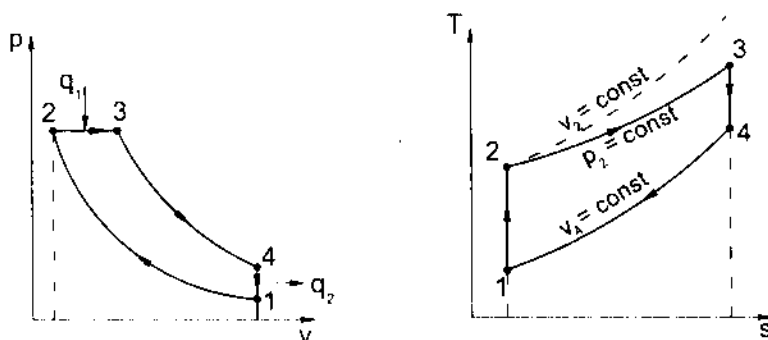
– Các thông số cơ bản (p, v, t) ở các đỉnh chu trình;

– Lượng nhiệt: q_1, q_2 ;

– η_t .

❖ Biểu diễn chu trình trên đồ thị p-v, T-s:

Nhận biết chu trình: Điểm trạng thái (1) đặc trưng bởi 2 thông số: $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 37^\circ\text{C}$; Điểm trạng thái (2) đặc trưng bởi 2 thông số: $s_2 = s_1$, $v_2 = \frac{v_1}{\epsilon}$; Điểm trạng thái (3) đặc trưng bởi 2 thông số: $p_3 = p_2$ và $v_3 = v_2 \cdot \rho$; Điểm trạng thái (4) đặc trưng bởi 2 thông số: $v_4 = v_1$ và $s_4 = s_3$.



❖ Tính toán:

– Các thông số cơ bản ở các đỉnh của chu trình:

Dựa vào phương trình trạng thái cho 1 kg khí lý tưởng: $p v = R T$, có:

+ Điểm 1: $T_1 = 37 + 273 = 310 \text{ K}$

$p_1 = 1 \text{ bar}$

$$v_1 = \frac{R T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 310}{1 \cdot 10^5} = 0,89 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm 2: $T_2 = T_1 \epsilon^{k-1} = 310 \cdot 14^{1,4-1} = 891 \text{ K}$

$$p_2 = p_1 \epsilon^k = 1 \cdot 14^{1,4} = 40,23 \text{ bar}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{\epsilon} = \frac{0,89}{14} = 0,064 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm 3: $T_3 = T_2 \rho = 891 \cdot 2 = 1782 \text{ K}$

$$v_3 = v_2 \cdot \rho = 0,064 \cdot 2 = 0,128 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$p_3 = p_2 = 40,23 \text{ bar}$$

+ Điểm 4: $v_4 = v_1 = 0,89 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = 1782 \left(\frac{0,128}{0,89} \right)^{1,4-1} = 820 \text{ K}$$

$$p_4 = p_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = 40,23 \left(\frac{0,128}{0,89} \right)^{1,4} = 2,66 \text{ bar}$$

– Nhiệt lượng trao đổi giữa chất môi giới với nguồn nóng và nguồn lạnh:

- + Nhiệt lượng nhận được từ nguồn nóng:

$$q_1 = C_p (T_3 - T_2) = k C_v (T_3 - T_2) = 1.4 \cdot 0,7171 \cdot (1782 - 891) = 894,51 \text{ (kJ/kg)}$$

- + Nhiệt lượng thải ra nguồn lạnh:

$$q_2 = C_v (T_1 - T_4) = 0,7171 (310 - 820) = -365,721 \text{ kJ/kg}$$

- Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{365,721}{894,51} = 0,591 = 59,1\%$$

3.8. Tóm tắt

Động cơ Diezen cấp nhiệt hỗn hợp:

$$t_1 = 70^\circ\text{C}, p_1 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$t_2 = 400^\circ\text{C}$$

$$t_{3v} = 700^\circ\text{C}$$

$$t_{3p} = 1000^\circ\text{C}$$

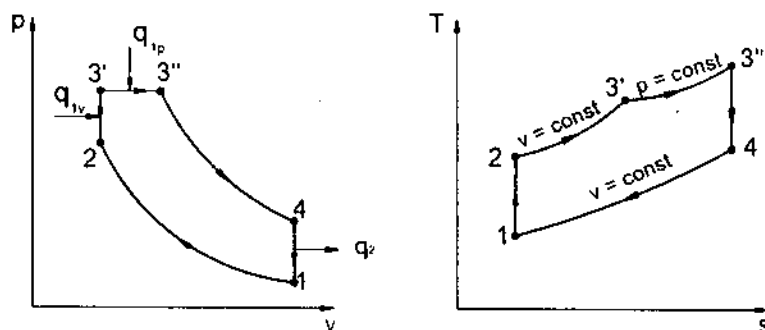
$$G = 0,1 \text{ kg/s}$$

$$R = 287 \text{ J/kg.K}, C_v = 0,7171 \text{ kJ/kg.K}, k = 1,4$$

Xác định:

- Biểu diễn trên p-v, T-s;
- Các thông số cơ bản (p, v, t) ở các đỉnh chu trình;
- Lượng nhiệt trao đổi Q_1, Q_2 ;
- Hiệu suất nhiệt: η_t .

- ❖ Biểu diễn quá trình trên đồ thị p-v, T-s:



- ❖ Tính toán:

- Các thông số cơ bản ở các đỉnh của chu trình:

Áp dụng phương trình trạng thái cho 1 kg khí lý tưởng: $p v = R T$, có:

- + Điểm 1:

$$T_1 = 70 + 273 = 343 \text{ K}$$

$$p_1 = 0,1 \text{ Mpa} = 1 \text{ bar}$$

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 343}{1 \cdot 10^5} = 0,984 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

- + Điểm 2:

$$T_2 = 400 + 273 = 673 \text{ K}$$

$$p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 1 \cdot \left(\frac{673}{343} \right)^{1,4} = 10,58 \text{ bar}$$

$$v_2 = \frac{R \cdot T_2}{p_2} = \frac{287 \cdot 673}{10,58 \cdot 10^5} = 0,182 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

+ Điểm 3':

$$T_{3v} = 700 + 273 = 973 \text{ K}$$

$$p_{3v} = \frac{T_{3v}}{T_2} p_2 = \frac{973}{673} \cdot 10,58 = 15,3 \text{ bar}$$

$$v_{3v} = v_2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

+ Điểm 3'':

$$T_{3p} = 1000 + 273 = 1273 \text{ K}$$

$$p_{3p} = p_{3v} = 15,3 \text{ bar}$$

$$v_{3p} = \frac{R \cdot T_{3p}}{p_{3p}} = \frac{287 \cdot 1273}{15,3 \cdot 10^5} = 0,239 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm 4:

$$v_4 = v_1 = 0,984 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_4 = T_{3p} \left(\frac{v_{3p}}{v_4} \right)^{\kappa-1} = 1273 \left(\frac{0,239}{0,984} \right)^{1,4-1} = 722,5 \text{ K}$$

$$p_4 = \frac{p_1 T_4}{T_1} = \frac{1 \cdot 722,5}{343} = 2,1 \text{ bar}$$

– Các nhiệt lượng Q_1 , Q_2 trao đổi với nguồn nhiệt:

+ Nhiệt lượng nhận từ nguồn nóng:

$$Q_1 = G [C_v (T_{3v} - T_2) + C_p (T_{3p} - T_{3v})] = 0,1 [0,7171(973 - 673) + 1,4 \cdot 0,7171(1273 - 973)]$$

$$Q_1 = 51,631 \text{ kW}$$

+ Nhiệt lượng thải ra nguồn lạnh:

$$Q_2 = G C_v (T_1 - T_4) = 0,1 \cdot 0,7171(343 - 722,5) = -27,214 \text{ kW}$$

– Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{27,214}{51,631} = 0,473 = 47,3\%$$

3.11. Tóm tắt

Chu trình tuabin khí cấp nhiệt đẳng áp: **Xác định:**

$$p_1 = 0,1 \text{ Mpa}$$

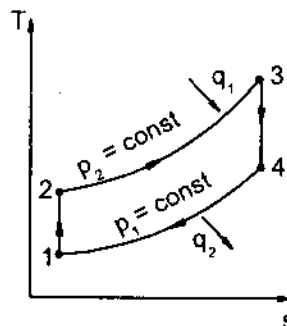
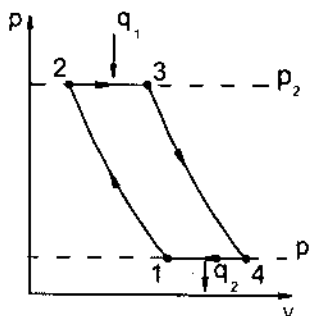
$$t_1 = 37^\circ\text{C}$$

$$\beta = 8$$

$$t_{\max} = 750^\circ\text{C}$$

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $p-v$, $T-s$;
- Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh chu trình;
- Lượng nhiệt: q_1 , q_2 ;
- Hiệu suất nhiệt.

❖ Biểu diễn trên đồ thị $p-v$, $T-s$:



❖ Tính toán:

– Các thông số cơ bản (p , v , t) ở các đỉnh của chu trình:

Dựa vào phương trình trạng thái cho 1 kg khí lý tưởng: $p v = R T$, có:

+ Điểm 1: $T_1 = 37 + 273 = 310 \text{ K}$

$$p_1 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 310}{0,1 \cdot 10^6} = 0,89 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm 2: $p_2 = p_1 \beta = 0,1 \cdot 8 = 0,8 \text{ Mpa}$

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{1}{k}} = 310 \cdot 8^{\frac{1}{1,4}} = 561,5 \text{ K}$$

$$v_2 = \frac{R \cdot T_2}{p_2} = \frac{287 \cdot 561,5}{0,8 \cdot 10^6} = 0,201 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm 3: $T_3 = T_{\max} = 750 + 273 = 1023 \text{ K}$

$$p_3 = p_2 = 0,8 \text{ Mpa}$$

$$v_3 = \frac{R \cdot T_3}{p_3} = \frac{287 \cdot 1023}{0,8 \cdot 10^6} = 0,367 \text{ m}^3/\text{kg}$$

+ Điểm 4: $p_4 = p_1 = 0,1 \text{ Mpa}$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{1}{k}} = 1023 \left(\frac{0,1}{0,8} \right)^{\frac{1}{1,4}} = 565 \text{ K}$$

$$v_4 = \frac{T_4}{T_1} \cdot v_1 = \frac{565}{310} \cdot 0,89 = 1,62 \text{ m}^3/\text{kg}$$

– Các lượng nhiệt trao đổi q_1 và q_2 giữa chất môi giới với nguồn nhiệt:

+ Nhiệt thải vào môi trường:

$$q_2 = C_p (T_1 - T_4) = k C_v (T_1 - T_4) = 1,4 \cdot 0,7171 \cdot (310 - 565) = -257 \text{ kJ/kg}$$

+ Cấp nhiệt đẳng áp:

$$q_1 = q_{23} = C_p (T_3 - T_2) = k C_v (T_3 - T_2) = 1,4 \cdot 0,7171 (1023 - 561,5) = 463 \text{ kJ/kg}$$

– Hiệu suất nhiệt của chu trình: $\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{257}{463} = 0,445 = 44,5\%$

Chương 4

CHU TRÌNH THUẬN CHIỀU CỦA KHÍ THỰC

A — TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1. Nhiệt cung cấp cho quá trình hóa hơi đẳng áp

$$q = q_n + r + q_{qn}$$

$$q_n = i' - i_o \text{ hoặc } q_n = C_{pn}(t_s - t_o)$$

$$r = i'' - i'$$

$$q_{qn} = C_{ph}(t - t_s)$$

2. Thông số của hơi bão hoà ẩm

$$v_x = v' + x(v'' - v')$$

$$s_x = s' + x(s'' - s')$$

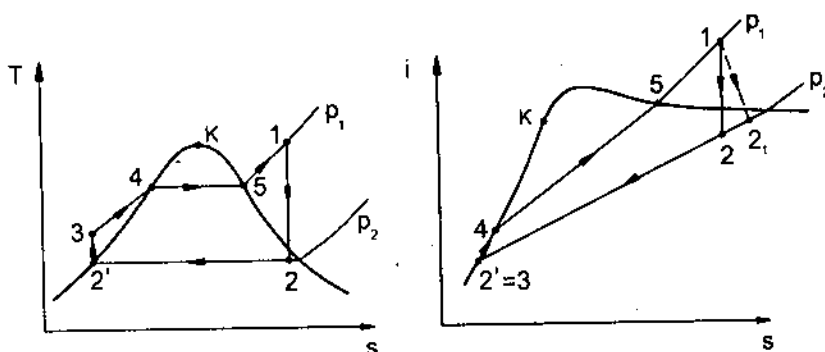
$$i_x = i' + x(i'' - i')$$

$$u = i - pv$$

Ở đây: u (J/kg), i (J/kg), p (N/m²), v (m³/kg), s (J/kg.K)

3. Chu trình Rankine

- Nhiệt cấp cho quá trình hóa hơi đẳng áp: $q_1 = i_1 - i_3 = i_1 - i_2$ (J/kg)
- Nhiệt thải trong quá trình ngưng hơi đẳng áp: $q_2 = i_2 - i_2'$ (J/kg)
- Công sinh ra trong tua bin: $l_o = l_T - l_B \approx l_T = i_1 - i_2$ (J/kg)
- Hiệu suất nhiệt của chu trình: $\eta_r \approx \frac{l_T}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2'}$



Hình 4.1. Đồ thị T-s và i-s của chu trình Rankine

4. Bảng số và đồ thị của hơi nước

Bảng 4.1. Nước trên đường bão hoà (theo áp suất p)

p (bar)	t (°C)	v' (m³/kg)	v'' (m³/kg)	i' (kJ/kg)	i'' (kJ/kg)	r (kJ/kg)	s' (kJ/kgK)	s'' (kJ/kgK)
0,01	6,98	0,0010001	129,20	29,34	2514,4	2485,0	0,1060	8,9767
0,02	7,51	0,0010012	67,01	73,46	2533,6	2460,3	0,2607	8,7246
0,03	24,10	0,0010027	45,67	101,00	2545,6	2444,6	0,3544	8,5785
0,04	28,98	0,0010040	34,80	121,41	2554,5	2433,1	0,4225	8,4755
0,05	32,90	0,0010052	28,19	137,77	2561,6	2423,8	0,4763	8,3960
0,06	36,18	0,0010064	23,74	151,50	2567,5	2416,0	0,5209	8,3312
0,07	39,03	0,0010074	20,53	163,38	2572,6	2409,2	0,5591	8,2767
0,08	41,53	0,0010084	18,10	173,86	2577,1	2403,2	0,5925	8,2296
0,09	43,79	0,0010094	16,20	183,28	2581,1	2397,9	0,6224	8,1881
0,1	45,83	0,0010101	14,67	191,83	2584,8	2392,9	0,6493	8,1511
0,2	60,09	0,0010172	7,650	251,45	2609,9	2358,4	0,8321	7,9094
0,3	69,12	0,0010233	5,229	289,30	2625,4	2336,1	0,9441	7,7695
0,4	75,89	0,0010265	3,993	317,65	2636,9	2319,2	1,0261	7,6709
0,5	81,35	0,0010301	3,240	340,56	2646,0	2305,4	1,0912	7,5947
0,6	85,95	0,0010333	2,732	359,93	2653,6	2293,6	1,1454	7,5327
0,7	89,96	0,0010361	2,365	376,77	2660,1	2283,3	1,1921	7,4804
0,8	93,51	0,0010387	2,087	391,72	2665,8	2274,0	1,2330	7,4352
0,9	96,71	0,0010412	1,869	405,21	2670,9	2265,6	1,2696	7,3954
1,0	99,63	0,0010434	1,694	417,51	2675,4	2257,9	1,3027	7,3598
1,1	102,32	0,0010455	1,549	428,84	2679,6	2250,8	1,3330	7,3277
1,2	104,81	0,0010476	1,428	439,36	2683,4	2244,1	1,3609	7,2984
1,3	107,13	0,0010495	1,325	449,19	2687,0	2237,8	1,3868	7,2715
1,4	109,32	0,0010513	1,236	458,42	2690,3	2231,9	1,4109	7,2465
1,5	111,37	0,0010530	1,159	467,13	2693,4	2226,2	1,4336	7,2234
2,0	120,23	0,0010608	0,8854	504,70	2706,3	2201,6	1,5301	7,1268
3,0	133,54	0,0010735	0,6056	561,43	2724,7	2163,2	1,6716	6,9909
4,0	143,62	0,0010839	0,4622	604,67	2737,6	2133,0	1,7764	6,8943
6,0	158,84	0,0011009	0,3155	670,42	2755,5	2085,0	1,9308	6,7575
8,0	170,41	0,0011150	0,2403	720,94	2767,5	2046,5	2,0457	6,6594
10	179,88	0,0011274	0,1943	762,6	2776,2	2013,6	2,1382	6,5828
15	198,29	0,0011539	0,1317	844,7	2789,9	1945,2	2,3145	6,4406
20	212,37	0,0011766	0,0995	908,6	2797,2	1888,6	2,4469	6,3367
30	233,84	0,0012163	0,0666	1007,4	2802,3	1793,9	2,6455	6,1837
40	250,33	0,0012521	0,0498	1087,4	2800,3	1712,9	2,7965	6,0685
50	263,91	0,0012858	0,0394	1154,5	2794,2	1639,7	2,9206	5,9735
60	275,55	0,0013187	0,0324	1213,7	2785,0	1517,3	3,0273	5,8908
70	285,79	0,0013513	0,0274	1267,4	2773,5	1506,0	3,1219	5,8162
80	294,97	0,0013842	0,0235	1317,1	2759,9	1442,8	3,2076	5,7471
90	303,31	0,001418	0,0205	1363,7	2744,6	1380,9	3,2867	5,6820
100	310,96	0,001453	0,0180	1408,0	2727,7	1319,7	3,3605	5,6198
110	318,05	0,001489	0,0160	1450,6	2709,3	1258,7	3,4304	5,5595
120	324,65	0,001527	0,0143	1491,8	2689,2	1197,4	3,4972	5,5002
130	330,83	0,001567	0,0128	1532,0	2667,0	1135,0	3,5616	5,4408
140	336,64	0,001611	0,0115	1571,6	2642,4	1070,7	3,6242	5,3803
150	342,13	0,001658	0,0103	1611,0	2615,0	1004,0	3,6859	5,3178
160	347,34	0,001710	0,0093	1650,5	2584,9	934,3	3,7471	5,2531
180	356,96	0,001840	0,0075	1734,8	2513,9	779,1	3,8765	5,1128
200	365,70	0,002037	0,0059	1826,5	2418,4	591,9	4,0149	4,9412

Bảng 4.2. Nước chưa sôi và hơi quá nhiệt (theo áp suất p)

p (bar)	t (°C)	20	40	60	80	100	120	140	160	180
0,04	v	0,001002	36,12	38,45	40,75	43,07	45,39	47,69	50,01	52,31
	i	83,7	2574	2612	2650	2688	2726	2764	2803	2841
	s	0,2964	8,537	8,651	8,762	8,867	8,966	9,06	9,15	9,238
0,08	v	0,001002	0,001008	19,19	20,34	21,5	22,66	23,82	24,97	26,13
	i	83,7	167,5	2612	2650	2688	2726	2764	2802	2841
	s	0,2964	0,5715	8,331	8,441	8,546	8,645	8,74	8,83	8,917
0,10	v	0,001002	0,001008	15,35	16,27	17,2	18,13	19,06	19,98	20,9
	i	83,7	167,5	2612	2650	2688	2726	2764	2802	2841
	s	0,2964	0,5715	8,331	8,441	8,546	8,645	8,74	8,83	8,917
0,12	v	0,001002	0,001008	12,78	13,55	14,33	15,1	15,87	16,64	17,42
	i	83,7	167,5	2611	2649	2687	2725	2764	2802	2841
	s	0,2964	0,5715	8,143	8,256	8,358	8,454	8,552	8,643	8,73
0,14	v	0,001002	0,001008	10,95	11,61	12,27	12,94	13,6	14,26	14,92
	i	83,7	167,5	2611	2649	2687	2725	2763	2802	2840
	s	0,2964	0,5715	8,071	8,181	8,287	8,386	8,481	8,572	8,659
0,16	v	0,001002	0,001008	9,573	10,16	10,74	11,32	11,899	12,478	13,057
	i	83,7	167,5	2610	2649	2687	2725	2763	2802	2840
	s	0,2964	0,5715	8,009	8,12	8,225	8,324	8,419	8,51	8,597
0,20	v	0,001002	0,001008	0,001017	8,119	8,584	9,049	9,513	9,977	10,441
	i	83,7	167,5	251,1	2648	2687	2725	2763	2801	2840
	s	0,2964	0,5715	0,8307	8,015	8,12	8,22	8,315	8,406	8,493
0,30	v	0,001002	0,001008	0,001017	5,4	5,713	6,025	6,335	6,645	6,955
	i	83,7	167,5	251,1	2646	2685	2724	2762	2801	2839
	s	0,2964	0,5715	0,8307	7,825	7,931	8,031	8,126	8,217	8,504
1,00	v	0,001002	0,001008	0,001017	0,001029	1,695	1,795	1,889	1,984	2,078
	i	83,7	167,5	251,13	334,9	2676	2717	2757	2796	2835
	s	0,2964	0,5715	0,8307	1,0748	7,361	7,465	7,562	7,654	7,743
1,20	v	0,001002	0,001008	0,001017	0,001029	0,001043	1,491	1,572	1,65	1,729
	i	83,7	167,5	251,1	334,9	419	2715	2755	2795	2834
	s	0,2964	0,5715	0,8307	1,0748	1,3067	7,376	7,475	7,568	7,657

$v - m^3/kg$; $i - kJ/kg$; $s - kJ/kgK$

Ghi chú: Bên trái đường đậm là thông số của nước chưa sôi

Bên phải đường đậm là thông số của hơi quá nhiệt.

Bảng 4.2. Nước chưa sôi và hơi quá nhiệt (theo áp suất p) (tiếp theo)

p (bar)	t (°C)	200	220	240	260	280	300	350	400	450	500	600
0,04	v	54,63	56,93	59,24	61,56	63,87	66,18	71,96	77,73	85,31	89,28	100,84
	i	2880	2918	2958	2997	3037	3077	3177	3280	3384	3490	3707
	s	9,321	9,402	9,479	9,554	9,627	9,698	9,866	10,024	10,174	10,317	10,585
0,08	v	27,29	28,44	29,6	30,75	31,9	33,06	35,94	38,84	41,72	44,61	50,38
	i	2880	2918	2957	2997	3037	3077	3177	3280	3384	3490	3707
	s	9,000	9,081	9,159	9,234	9,306	9,377	9,546	9,704	9,854	9,997	10,265
0,10	v	21,83	22,76	23,68	24,60	25,53	26,46	28,76	31,08	33,39	35,70	40,32
	i	2879	2918	2957	2997	3037	3077	3177	3280	3384	3490	3707
	s	8,897	8,978	9,056	9,131	9,203	9,274	9,443	9,601	9,751	9,895	10,162
0,12	v	18,19	18,96	19,73	20,50	21,27	22,04	23,96	25,89	27,82	29,74	33,60
	i	2897	2918	2957	2996	3036	3077	3177	3280	3384	3490	3707
	s	8,813	8,894	8,972	9,047	9,119	9,190	9,359	9,517	9,667	9,810	10,078
0,14	v	15,58	16,24	16,90	17,56	18,22	18,88	20,53	22,18	23,83	25,49	28,79
	i	2879	2918	2957	2997	3037	3077	3177	3280	3384	3490	3707
	s	8,742	8,823	8,900	8,975	9,048	9,119	9,288	9,446	9,596	9,739	10,007
0,16	v	13,635	14,213	14,79	15,367	15,943	16,52	17,96	19,41	20,85	22,29	25,18
	i	2879	2918	2957	2997	3037	3077	3177	3280	3384	3490	3707
	s	8,680	8,761	8,838	8,913	8,986	9,057	9,226	9,384	9,534	9,678	9,945
0,20	v	10,905	11,369	11,832	12,295	12,758	13,220	14,376	15,530	16,68	17,82	20,15
	i	2897	2918	2957	2996	3036	3077	3177	3280	3384	3490	3707
	s	8,576	8,657	8,735	8,810	8,883	8,954	9,123	9,281	9,431	9,575	9,842
0,30	v	7,246	7,573	7,882	8,191	8,500	8,809	9,580	10,351	11,121	11,891	13,430
	i	2878	2917	2956	2996	3036	3077	3177	3280	3384	3490	3707
	s	8,388	8,469	8,547	8,622	8,695	8,766	8,935	9,093	9,244	9,388	9,655
1,00	v	2,162	2,266	2,359	2,452	2,545	2,638	2,871	3,102	3,334	3,565	4,028
	i	2875	2914	2954	2993	3033	3074	3175	3278	3382	3488	3706
	s	7,828	7,91	7,988	8,064	8,139	8,211	8,381	8,541	8,696	8,833	9,097
1,20	v	1,807	1,886	1,964	2,042	2,120	2,197	2,391	2,584	2,777	2,770	3,357
	i	2874	2913	2953	2993	3033	3073	3174	3278	3382	3488	3705
	s	7,742	7,824	7,903	7,979	8,053	8,126	8,296	8,456	8,606	8,749	9,013

v – m³/kg ; i – kJ/kg ; s – kJ/kgK

Ghi chú: Chỉ có thông số hơi quá nhiệt

Bảng 4.2. Nước chưa sôi và hơi quá nhiệt (theo áp suất p) (tiếp theo)

p (bar)	t (°C)	20	40	60	80	100	120	140	160	180
6.0	v	0.0010015	0.0010076	0.0010168	0.0010287	0.0010432	0.0010601	0.0010797	0.3167	0.3348
	i	84,3	167,9	251,5	335,2	419,1	503,7	589,1	2759	2805
	s	0.2964	0.7516	0.8302	0.8744	1.3062	1.5265	1.738	6.767	6.869
8.0	v	0.0010015	0.0010076	0.0010167	0.0010286	0.0010431	0.001060	0.0010795	0.00111020	0.2473
	i	84,5	168,1	251,7	335,3	419,2	503,8	589,1	675,3	2792
	s	0.2962	0.5714	0.8300	1.0742	1.3060	1.5263	1.737	1.941	6.715
10	v	0.0010014	0.0010075	0.0010166	0.0010285	0.0010430	0.0010598	0.0010794	0.00111018	0.1949
	i	84,7	168,3	251,8	335,4	419,3	503,9	589,2	675,4	2778
	s	0.2960	0.5712	0.8298	1.0740	1.3058	1.5261	1.737	1.941	6.588
12	v	0.0010013	0.0010074	0.0010165	0.0010284	0.0010429	0.0010597	0.0010793	0.001116	0.1845
	i	84,9	168,5	251,9	335,5	419,4	504,0	589,3	675,5	2790
	s	0.2959	0.5711	0.8297	1.0738	1.3056	1.5259	1.737	1.940	6.534
14	v	0.0010012	0.0010073	0.0010164	0.0010282	0.0010427	0.0010596	0.0010792	0.0011015	0.0011271
	i	85,1	168,8	252,2	335,8	419,7	504,2	589,5	675,7	763,2
	s	0.2958	0.5710	0.8296	1.0746	1.3054	1.5257	1.736	1.940	2.137
16	v	0.0010011	0.0010072	0.0010163	0.0010282	0.0010426	0.0010595	0.0010790	0.0011013	0.0011270
	i	85,3	168,8	252,2	335,8	419,7	504,3	589,6	675,8	763,2
	s	0.2958	0.5710	0.8296	1.0735	1.3052	1.5256	1.736	1.940	2.137
18	v	0.0010010	0.0010071	0.0010162	0.0010281	0.0010425	0.0010594	0.0010789	0.0011012	0.0011268
	i	85,5	169,0	252,4	336,0	419,9	504,5	589,8	675,8	763,2
	s	0.2957	0.5709	0.8295	1.0733	1.3050	1.5254	1.736	1.939	2.136
20	v	0.0010009	0.0010070	0.0010161	0.0010280	0.0010424	0.0010659	0.0010787	0.0011011	0.0011267
	i	85,7	169,2	252,6	336,2	420,1	504,7	589,9	675,9	763,2
	s	0.2957	0.5708	0.8294	1.0731	1.3048	1.5252	1.736	1.939	2.136
30	v	0.00100004	0.00100065	0.0010157	0.0010275	0.0010419	0.0010587	0.00107782	0.0011004	0.0011258
	i	86,7	170,1	253,5	337,0	420,9	505,4	590,6	676,4	763,7
	s	0.2956	0.5707	0.8290	1.0726	1.3038	1.5244	1.735	1.938	2.134
40	v	0.00100010	0.0010062	0.0010152	0.0010271	0.0010414	0.0010582	0.0010776	0.0010970	0.0011251
	i	87,5	170,82	254,14	337,87	421,61	506,18	591,18	677,0	748,09
	s	0.2952	0.5698	0.828	1.072	1.3030	1.523	1.734	1.936	2.133
50	v	0.00099970	0.0010057	0.0010148	0.0010266	0.0010409	0.0010577	0.0010770	0.0010990	0.0011243
	i	88,34	171,66	254,98	338,71	422,45	507,02	592,01	677,42	764,51
	s	0.2952	0.5698	0.828	1.071	1.3025	1.523	1.733	1.935	2.131

v – m³/kg ; i – kJ/kg ; s – kJ/kgK

Ghi chú: Bên trái đường đậm là thông số của nước chưa sôi

Bên phải đường đậm là thông số của hơi quá nhiệt.

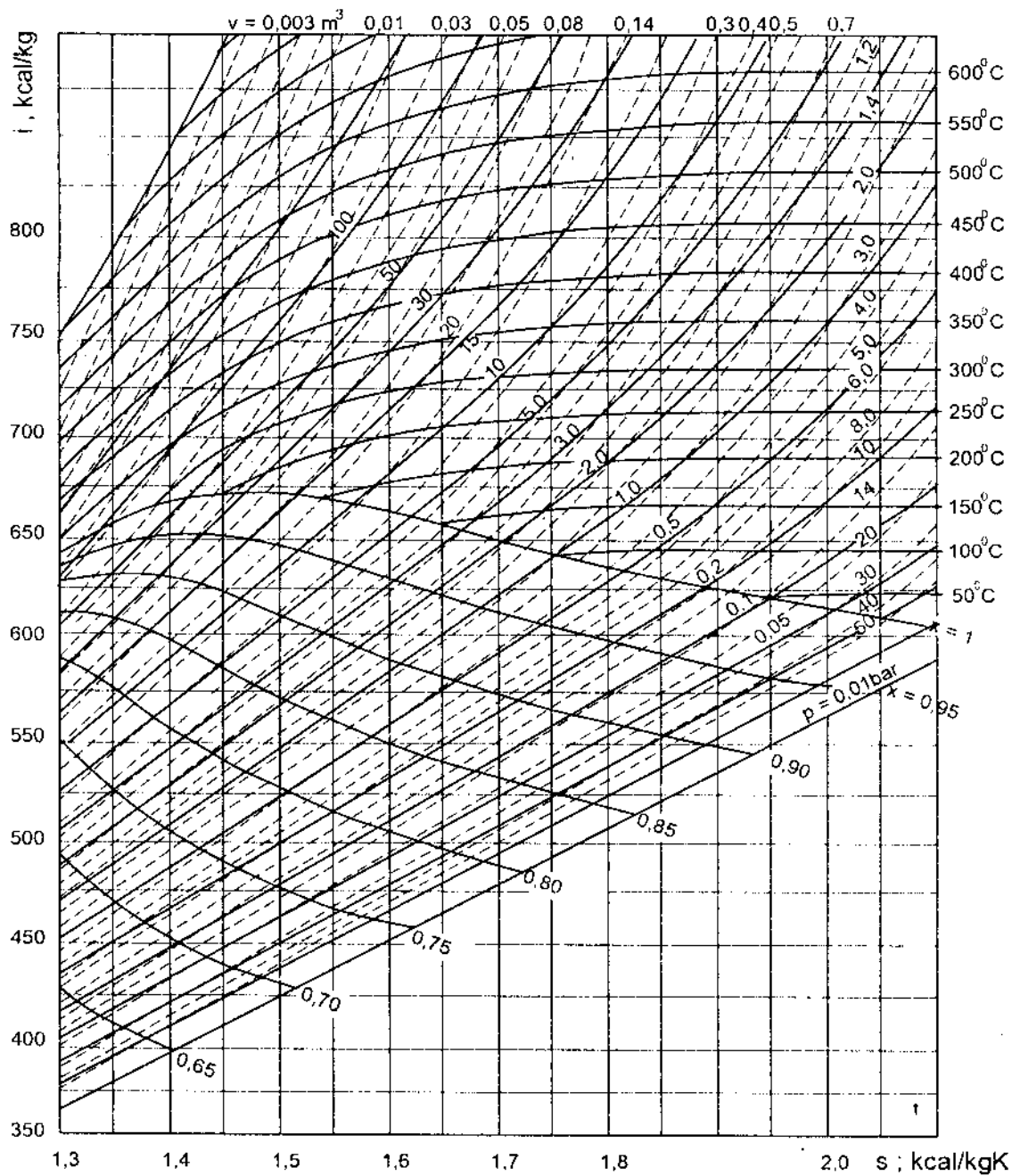
Bảng 4.2. Nước chưa sôi và hơi quá nhiệt (theo áp suất p) (tiếp theo)

p (bar)	t (°C)	200	220	240	260	280	300	350	400	450	500	600
6.0	v	0,352	0,3688	0,3855	0,4019	0,4181	0,4342	0,4741	0,5136	0,5528	0,5919	0,6697
	i	2849	2891	2933	2975	3017	3059	3154	3270	3376	3483	3701
	s	6,963	7,051	7,135	7,125	7,292	7,366	7,541	7,704	7,857	8,001	8,266
8.0	v	0,2609	0,2739	0,2867	0,2993	0,3118	0,3240	0,3542	0,3842	0,4137	0,4432	0,5018
	i	2839	2883	2926	2969	3011	3054	3160	3267	3373	3481	3699
	s	6,814	6,905	6,991	7,073	7,151	7,226	7,404	7,568	7,722	7,866	8,132
10	v	0,2060	0,2169	0,2274	0,2377	0,2478	0,2578	0,2822	0,365	0,3303	0,3539	0,410
	i	2827	2874	2918	2962	3005	3048	3156	3263	3370	3479	3698
	s	6,692	6,788	6,877	6,961	7,040	7,116	7,296	7,761	7,415	7,761	8,027
12	v	0,1693	0,1788	0,1879	0,1967	0,2054	0,2139	0,2343	0,2547	0,2747	0,2944	0,33
	i	2816	2865	2911	2955	2999	3042	3515	3260	3364	3477	3696
	s	6,588	6,688	6,780	6,866	6,947	7,025	7,206	7,373	7,529	7,674	7,942
14	v	0,1429	0,1515	0,1596	0,1673	0,1748	0,1823	0,2001	0,2176	0,2349	0,2520	0,2858
	i	2803	2855	2902	2948	2992	3036	3147	3256	3365	3475	3695
	s	6,497	6,602	6,697	6,784	6,867	6,945	7,130	7,299	7,455	7,601	7,870
16	v	0,0011565	0,1309	0,1382	0,1452	0,1519	0,1585	0,1743	0,1899	0,2051	0,2201	0,2499
	i	852,4	2844	2893	2940	2986	3030	3142	3253	3363	3472	3693
	s	2,329	6,524	6,622	6,711	6,796	6,877	7,063	7,233	7,39	7,537	7,806
18	v	0,001156	0,1149	0,1216	0,1280	0,1341	0,140	0,1545	0,168	0,1819	0,1953	0,2219
	i	852,4	2833	2884	2932	2979	3025	3138	3249	3360	3470	3691
	s	2,328	6,452	6,554	6,646	6,732	6,814	7,003	7,175	7,333	7,480	7,750
20	v	0,001156	0,1021	0,1084	0,1143	0,1200	0,1255	0,138	0,1511	0,1634	0,1755	0,1995
	i	825,4	2821	2875	2924	2972	3019	3134	3246	3357	3468	3690
	s	2,328	6,385	6,491	6,585	6,674	6,757	6,949	7,122	7,282	7,429	7,701
30	v	0,001155	0,001189	0,008828	0,07294	0,07720	0,08119	0,09051	0,09929	0,1078	0,1161	0,1325
	i	825,6	943,5	2623	2682	2947	2988	3111	3229	3343	3456	3682
	s	2,326	2,5146	6,255	6,337	6,438	6,530	6,735	6,916	7,080	7,231	7,506
40	v	0,001154	0,001188	0,0012282	0,05302	0,0568	0,08022	0,08782	0,08749	0,08162	0,08116	0,1008
	i	825,85	943,7	1037,49	2838,65	2901,45	2958,39	3089,44	3212,11	3330,18	3445,73	3647,75
	s	2,324	2,512	2,698	6,148	6,262	6,364	6,585	6,773	6,943	7,096	7,376
50	v	0,001153	0,001187	0,001227	0,0012751	0,0433	0,04846	0,0631	0,05904	0,06462	0,06999	0,08029
	i	853,21	994,12	1037,49	1135,04	2858,33	2924,06	3065,57	3194,10	3315,94	3434,43	3666,80
	s	2,322	2,510	2,696	2,883	6,097	6,214	6,453	6,651	6,825	6,984	7,267

v – m³/kg ; i – kJ/kg ; s – kJ/kgK

Ghi chú: Bên trái đường đậm là thông số của nước chưa sôi

Bên phải đường đậm là thông số của hơi quá nhiệt.



ĐỒ THỊ $i - s$ CỦA HƠI NƯỚC

1 kcal/kgK = 4,187 kJ/kgK

B — BÀI TẬP

4.1. 3 kg nước được đốt nóng đẳng áp ở áp suất 1,0 bar, $t = 25^{\circ}\text{C}$ đến nhiệt độ 250°C .

Xác định:

- Biểu diễn trên đồ thị $i-s$;
- Các thông số (i , s , v) đầu và cuối của quá trình;
- Nhiệt lượng q_n cần để đốt nóng nước đến nhiệt độ sôi;
- Nhiệt lượng r cần để biến nước sôi thành hơi bão hoà khô;
- Nhiệt lượng q_{qn} cần để biến hơi bão hoà khô thành hơi quá nhiệt;
- Tổng nhiệt lượng q cần để biến nước từ trạng thái đầu đến trạng thái cuối.

4.2. 3 kg hơi ẩm có thông số $x = 0,90$; $p = 1$ bar được gia nhiệt đẳng áp tới nhiệt độ $t = 300^{\circ}\text{C}$.

Xác định:

- Biểu diễn trên đồ thị $i-s$;
- Các thông số (i , s , v , t) đầu của quá trình;
- Các thông số (i , s , v) cuối của quá trình;
- Sự thay đổi nội năng và nhiệt lượng cấp vào.

4.3. Dòng hơi có lưu lượng 36 t/h, áp suất 40 bar, nhiệt độ $t = 450^{\circ}\text{C}$ vào tuabin dẫn nở đoạn nhiệt sinh công rồi đi tới bình ngưng tụ với áp suất chân không là 712 mmHg. Biết áp suất khí quyển bằng 1 bar.

Xác định:

- Biểu diễn trên đồ thị $i-s$;
- Các thông số (i , s , v , t) đầu của quá trình;
- Các thông số (i , s , v) cuối của quá trình;
- Sự thay đổi nội năng và công sinh ra của quá trình.

4.4. 10 kg hơi dẫn nở đoạn nhiệt từ trạng thái ban đầu $p_1 = 30$ bar, $t_1 = 400^{\circ}\text{C}$ đến trạng thái cuối $p_2 = 0,1$ bar.

Xác định:

- Biểu diễn trên đồ thị $i-s$;
- Các thông số (i , s , v) đầu của quá trình;
- Các thông số (i , s , v , t , x) cuối của quá trình;
- Sự thay đổi nội năng và công của quá trình.

4.5. 50 kg hơi dẫn nở đoạn nhiệt từ trạng thái ban đầu $p_1 = 100$ bar, $t_1 = 550^{\circ}\text{C}$ đến trạng thái cuối $p_2 = 0,05$ bar.

Xác định:

- Biểu diễn trên đồ thị $i-s$;
- Các thông số (i , s , v) đầu của quá trình;
- Các thông số (i , s , v , t , x) cuối của quá trình;
- Sự thay đổi nội năng và công của quá trình.

- 4.6. Hơi ra khỏi tuabin được làm mát trong bình ngưng có áp suất 0,06 bar. Nước ra khỏi bình ngưng được bơm cấp vào lò hơi để nhận nhiệt hoá hơi thành hơi bão hoà khô có áp suất 2,4 Mpa, đi vào tuabin tiến hành quá trình dẫn nở sinh công.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $i-s$, $T-s$;
- Lượng nhiệt cần thiết để sinh 1 kg hơi cấp vào tuabin;
- Độ khô của hơi ra khỏi tuabin;
- Công và hiệu suất nhiệt của chu trình.

- 4.7. Trong chu trình Rankine, hơi nước từ thiết bị sinh hơi vào tuabin là hơi bão hoà khô có áp suất 2 Mpa, áp suất của hơi từ tuabin vào bình ngưng là 5 kPa, ra khỏi bình ngưng là nước bão hoà.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $T-s$, $i-s$;
- Các thông số trạng thái (p , t , v , i , s) của chất môi giới ở các đỉnh của chu trình;
- Nhiệt lượng trao đổi q_1 và q_2 giữa chất môi giới với nguồn nóng và nguồn lạnh;
- Công và hiệu suất nhiệt của chu trình.

- 4.8. Một hệ thống thiết bị động lực hơi nước làm việc theo chu trình Rankine với hơi vào tuabin là hơi bão hoà khô có áp suất 30 bar, áp suất trong bình ngưng là 0,065 bar.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $T-s$, $i-s$;
- Các thông số trạng thái (p , v , t , i , s) của chất môi giới ở các đỉnh của chu trình;
- Công và hiệu suất nhiệt của chu trình;
- So sánh hiệu suất chu trình Carnot cùng phạm vi nhiệt độ.

- 4.9. Một hệ thống thiết bị động lực hơi nước làm việc theo chu trình Rankine với hơi vào tuabin là hơi bão hoà khô có áp suất 2,5 Mpa. Hơi ra khỏi tuabin là hơi bão hoà ẩm có nhiệt độ 35°C. Tuabin có công suất $N = 6000$ kW.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $T-s$, $i-s$;
- Các thông số trạng thái (p , v , t , i , s) của chất môi giới ở các đỉnh của chu trình;
- Công và hiệu suất nhiệt của chu trình;
- Lưu lượng hơi đi qua tuabin.

- 4.10. Một hệ thống thiết bị động lực hơi nước làm việc theo chu trình Rankine với thông số hơi vào tuabin là (50 bar, 450°C), áp suất trong bình ngưng là 0,07 bar.

Xác định:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị $T-s$, $i-s$;
- Các thông số trạng thái (p , v , t , i , s) của chất môi giới ở các đỉnh của chu trình;
- Công và hiệu suất nhiệt của chu trình;
- Nếu giữ nguyên áp suất trong bình ngưng, nhiệt độ hơi mới, tăng áp suất hơi vào tuabin lên đến 50 bar thì hiệu suất của chu trình bằng bao nhiêu.
- Nếu giữ nguyên áp suất bình ngưng, áp suất hơi mới, nâng nhiệt độ hơi vào tuabin lên đến 500°C thì hiệu suất nhiệt của chu trình bằng bao nhiêu.

C — BÀI GIẢI VÍ DỤ

4.4. Tóm tắt

$G = 10 \text{ kg}$

Hơi ($p_1 = 30 \text{ bar}$, $t_1 = 400^\circ\text{C}$)

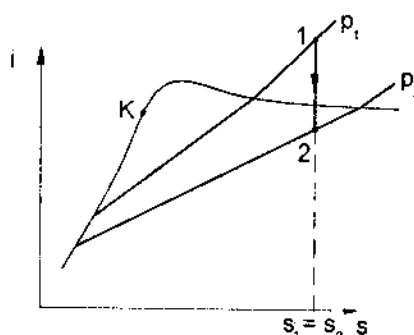
dẫn nở đoạn nhiệt tới $p_2 = 0,1 \text{ bar}$

Xác định:

- Biểu diễn trên $i-s$;
- Các thông số: i_1 , s_1 , v_1 ;
- Các thông số: i_2 , s_2 , v_2 , t_2 , x
- ΔU , L_o .

❖ Biểu diễn trên đồ thị $i-s$:

Điểm (1) là giao điểm của $p_1 = 30 \text{ bar}$ và $t_1 = 400^\circ\text{C}$; Điểm (2) là giao điểm của $s_2 = s_1$ và $p_2 = 0,1 \text{ bar}$.



❖ **Tính toán:**

– Các thông số:

+ Điểm 1: $p_1 = 30 \text{ bar}$, $t_1 = 400^\circ\text{C}$, tra bảng (4.2) nước chưa sôi và hơi quá nhiệt hoặc đồ thị $i-s$ tìm được:

$$i_1 = 3229 \text{ kJ/kg}; s_1 = 6,916 \text{ kJ/kg.K}; v_1 = 0,09929 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

+ Điểm 2: $p_2 = 0,1 \text{ bar}$ và $s_2 = s_1 = 6,916 \text{ kJ/kg.K}$ tra đồ thị $i-s$ tìm được:

$$i_2 = 2210 \text{ kJ/kg}; v_2 = 14 \text{ m}^3/\text{kg}; t_2 = 50^\circ\text{C}; x_2 = 0,83.$$

– Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = G(u_2 - u_1) = G[(i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1)]$$

$$\Delta U = 10[(2210 - 0,1 \cdot 10^5 \cdot 14) - (3229 - 30 \cdot 10^5 \cdot 0,09929)]$$

$$\Delta U = 1568510 \text{ J} = 1568,510 \text{ kJ}.$$

– Công sinh ra: $L_o = G(i_1 - i_2) = 10(3229 - 2210) = 10190 \text{ kJ}$

4.7. Tóm tắt

Chu trình Rankine:

$p_1 = 2 \text{ Mpa}$

Hơi vào tuabin là hơi bão hoà khô

$p_2 = 5 \text{ kPa}$

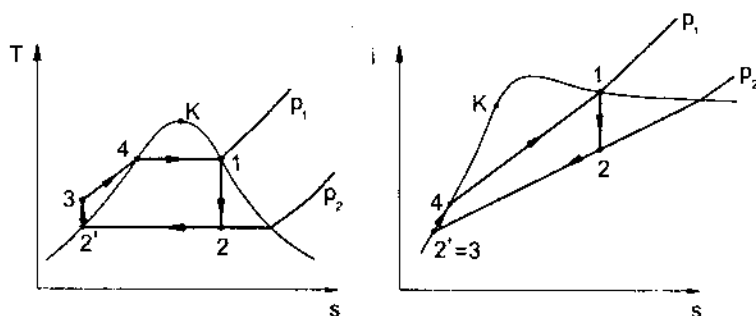
Ra khỏi bình ngưng là nước bão hoà

Xác định:

- Biểu diễn trên $T-s$, $i-s$;
- (p , t , v , i , s) ở các đỉnh của chu trình;
- q_1 , q_2 ;
- η_o , η_i .

❖ Biểu diễn chu trình trên T-s, i-s:

Điểm (1) là giao điểm của $p_1 = 2 \text{ Mpa}$ và $x = 1$; Điểm (2) là giao điểm của $s_2 = s_1$ và $p_2 = 5 \text{ kPa}$; điểm (2' = 3 vì bỏ qua công của bơm) là giao điểm của $p_2 = 5 \text{ kPa}$ và $x = 0$; Điểm (4) là giao điểm của $p_4 = p_1 = 2 \text{ Mpa}$ và $x = 0$.



❖ Tính toán:

– Các thông số trạng thái ở các đỉnh của chu trình:

+ Điểm 1 (trước khi vào tuabin):

$p_1 = 2 \text{ Mpa} = 20 \text{ bar}$, $x = 1$ tra bảng 4.1 hoặc đồ thị $i - s$ tìm được:

$t_1 = 212,37^\circ\text{C}$, $v_1 = 0,0995 \text{ m}^3/\text{kg}$

$i_1 = 2797,2 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 6,3367 \text{ kJ/kg.K}$.

+ Điểm 2 (sau tuabin hay trước bình ngưng):

$p_2 = 5 \text{ kPa} = 0,05 \text{ bar}$; $s_2 = s_1 = 6,3367 \text{ kJ/kg.K}$ tra đồ thị $i - s$ tìm được:

$t_2 = 33^\circ\text{C}$, $v_2 = 23 \text{ m}^3/\text{kg}$, $i_2 = 1940 \text{ kJ/kg}$.

+ Điểm 2' (nước ngưng ra khỏi bình ngưng):

$p_2 = 5 \text{ kPa} = 0,05 \text{ bar}$; $x = 0$ tra bảng 4.1 hoặc đồ thị $i - s$ tìm được

$t_2 = 32,9088^\circ\text{C}$, $v_2 = 0,0010052 \text{ m}^3/\text{kg}$

$i_2 = 137,77 \text{ kJ/kg}$, $s_2 = 0,4763 \text{ kJ/kg.K}$.

+ Điểm 4 (nước sôi trong lò hơi):

$p_4 = p_1 = 20 \text{ bar}$, $x = 0$ tra bảng 4.1 hoặc đồ thị $i - s$ tìm được:

$t_4 = 212,37^\circ\text{C}$, $v_4 = 0,0011766 \text{ m}^3/\text{kg}$

$i_4 = 908,65 \text{ kJ/kg}$, $s_4 = 2,4469 \text{ kJ/kg.K}$

– Nhiệt lượng trao đổi q_1 , q_2 :

+ Nhiệt lượng cấp cho chu trình:

$$q_1 = i_1 - i_2 = 2797,2 - 137,77 = 2659,43 \text{ kJ/kg}$$

+ Nhiệt lượng thải ra tại bình ngưng:

$$q_2 = i_2 - i_2 = 137,77 - 1940 = -1802,23 \text{ kJ/kg}$$

– Công của chu trình:

$$l_o = i_1 - i_2 = 2797,2 - 1940 = 857,2 \text{ kJ/kg}$$

– Hiệu suất nhiệt của chu trình:

$$\eta_t = \frac{l_o}{q_1} = \frac{857,2}{2659,43} \approx 0,32 = 32\%$$

CHƯƠNG 5

CHU TRÌNH THIẾT BỊ LÀM LẠNH

A — TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1. Chu trình máy lạnh kiểu máy nén hơi một cấp

Sơ đồ nguyên lý máy lạnh kiểu máy nén (hình 5.1) bao gồm 4 bộ phận chính:

Máy nén thực hiện quá trình nén hơi môi chất lạnh (MCL), áp suất và nhiệt độ MCL cuối quá trình nén sẽ cao hơn nhiệt độ và áp suất môi trường.

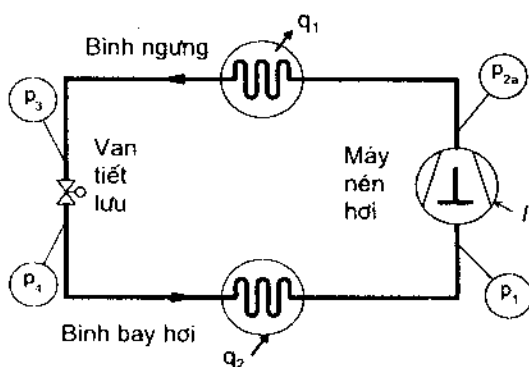
Bình ngưng là thiết bị trao đổi nhiệt thực hiện quá trình ngưng hơi hoá lỏng MCL và thải nhiệt vào môi trường.

Van tiết lưu thực hiện quá trình giảm áp MCL trước khi vào bình bay hơi.

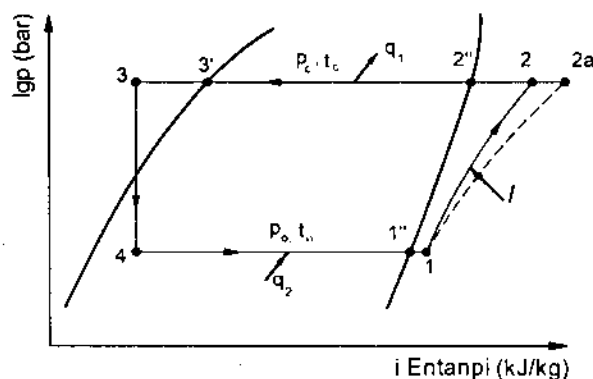
Trong máy lạnh, bình bay hơi là thiết bị trao đổi nhiệt trong đó MCL thực hiện quá trình hoá hơi đẳng áp ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ môi trường, do đó có khả năng nhận nhiệt từ vật cần làm lạnh.

Hình 5.2 biểu diễn chu trình máy lạnh kiểu máy nén hơi 1 cấp trên đồ thị $\lg p - i$:

- 1 $\rightarrow$ 2 : Quá trình nén đoạn nhiệt (lý thuyết) MCL.
- 1 $\rightarrow$ 2a : Quá trình nén đa biến (thực tế) MCL.
- 2 $\rightarrow$ 2'' : Độ quá nhiệt của MCL trên đường ống đẩy của máy nén và trong bình ngưng.
- 2'' $\rightarrow$ 3' : Hơi MCL hoá lỏng đẳng áp trong bình ngưng.
- 3' $\rightarrow$ 3 : Độ quá lạnh của MCL trong bình ngưng.
- 3 $\rightarrow$ 4 : MCL giảm áp qua van tiết lưu.
- 4 $\rightarrow$ 1'' : MCL hoá hơi đẳng áp trong bình bay hơi.
- 1'' $\rightarrow$ 1 : Độ quá nhiệt trong bình bay hơi và trên đường ống hút về máy nén.

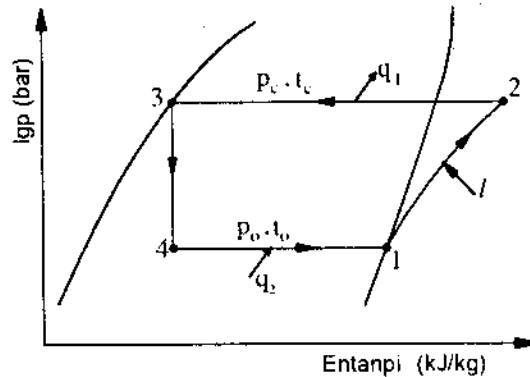


Hình 5.1. Sơ đồ nguyên lý máy lạnh kiểu máy nén



Hình 5.2. Chu trình máy lạnh kiểu máy nén hơi 1 cấp trên đồ thị $\lg p - i$

Để đơn giản nội dung tính toán chúng ta tập trung nghiên cứu chu trình không có quá trình quá lạnh 33' và quá nhiệt 1''1.



Hình 5.3. Chu trình máy lạnh kiểu máy nén hơi 1 cấp trên đồ thị lgp – i không có quá lạnh

– Bình bay hơi :

$$q_2 = i_1 - i_4$$

i_4, i_1 : Entanpi ở điểm bắt đầu và kết thúc quá trình hoá hơi (kJ/kg).

q_2 : Năng suất lạnh đơn vị (kJ/kg).

$$Q_2 = m \cdot q_2$$

m : Năng suất hút của máy nén (kg/s).

Q_2 : Năng suất lạnh của máy nén (kW).

– Bình ngưng :

$$q_1 = i_2 - i_3$$

i_2, i_3 : Entanpi ở điểm bắt đầu và kết thúc quá trình ngưng hơi (kJ/kg).

q_1 : Nhiệt thải của 1kg MCL ở bình ngưng (kJ/kg).

$$Q_1 = m \cdot q_1$$

m : Năng suất hút của máy nén (kg/s).

Q_1 : Năng suất thải nhiệt của bình ngưng (kW).

– Công tiêu tốn thực hiện quá trình nén 1kg MCL :

$$l = q_1 - q_2$$

$$l = i_2 - i_1$$

(i_1, i_2 : Entanpi điểm bắt đầu 1 và điểm kết thúc 2 quá trình nén (kJ/kg)).

$$L = m \cdot l \quad (L : \text{Công suất máy nén (kW)}).$$

2. Chỉ số hiệu quả năng lượng lý thuyết của máy lạnh

– Chỉ số hiệu quả làm lạnh (Coefficient of Performance - COP), (Watt/Watt) hoặc (kW/kW)

COP = Năng suất lạnh Q_2 / Công suất điện máy nén tiêu thụ P_e .

$$COP = \frac{Q_2}{P_e} \quad (\text{kW/kW})$$

– Chỉ số hiệu quả năng lượng (Energy efficiency Ratio - EER), (Watt/Watt) hoặc (Btu/W.h)

EER = Năng suất lạnh Q_2 / Công suất điện máy nén tiêu thụ P_e .

$$EER = \frac{Q_2}{P_e} \quad (\text{Btu/W.h})$$

- Chỉ số tiêu thụ điện (Power Input per Capacity - PIC) (kW/RT)

PIC = Công suất điện tiêu thụ của máy nén P_e / Năng suất lạnh Q_2

$$PIC = \frac{P_e}{Q_2} \quad (\text{kW/RT})$$

- Quan hệ giữa các chỉ số hiệu quả năng lượng như sau:

$$COP = 0,293 \text{ EER} \quad \text{EER} = 3,413 \text{ COP}$$

$$PIC = 12 / \text{EER} \quad \text{EER} = 12 / \text{PIC}$$

$$PIC = 3,516 / \text{COP} \quad \text{COP} = 3,516 / \text{PIC}$$

Trong các công thức trên, sử dụng đơn vị của các chỉ số hiệu quả năng lượng như sau:

COP (kW/kW), EER (Btu / W.h), PIC (kW / RT).

$$1 \text{ RT} = 12.000 \text{ Btu/h} = 3,516 \text{ kW}$$

3. Chu trình bơm nhiệt

Chỉ số hiệu quả lý thuyết của bơm nhiệt như sau:

$$\varphi = \frac{q_1}{l_0}, \quad q_1 = l_0 + q_2$$

$$\text{Do đó:} \quad \varphi = \frac{l_0 + q_2}{l_0} = 1 + \text{COP}$$

φ : Chỉ số hiệu quả lý thuyết bơm nhiệt (kW_q/kW_o).

q_1 : Công suất cấp nhiệt đơn vị (kW_q).

q_2 : Công suất nhận nhiệt đơn vị (kW_q).

l_0 : Công tiêu hao cho quá trình nén 1 kg môi chất (kJ/kg).

Chỉ số hiệu quả năng lượng thực của máy lạnh và bơm nhiệt không tính toán trên đồ thị Igp-i và được xác định theo catalog của nhà sản xuất. Trong tính toán chu trình máy lạnh ta chỉ xác định được chỉ số hiệu quả năng lượng lý thuyết.

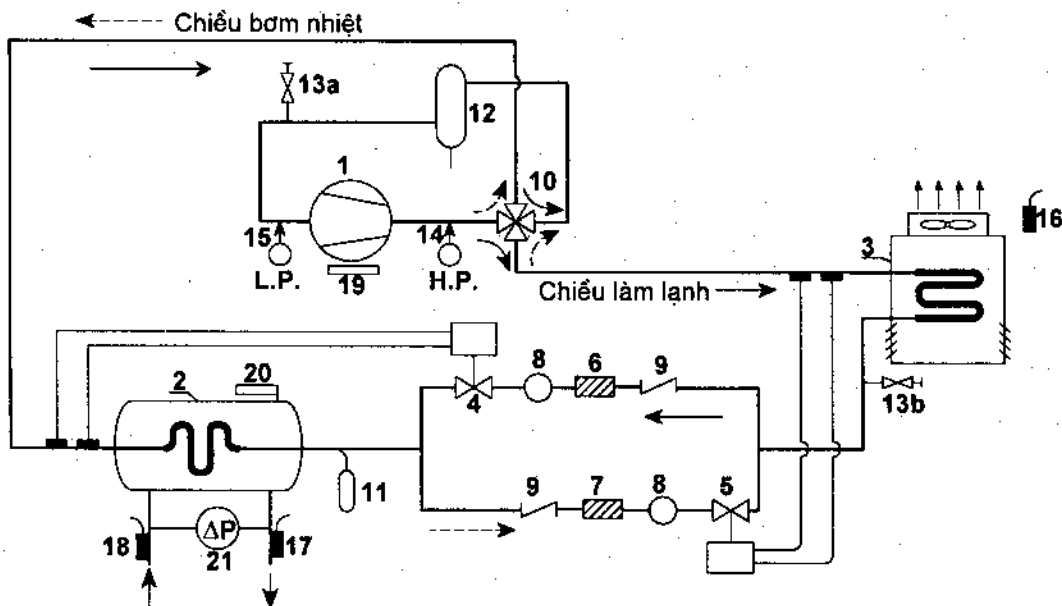
4. Sơ đồ kỹ thuật máy lạnh – bơm nhiệt

Hình 5.4 trình bày sơ đồ kỹ thuật máy lạnh – bơm nhiệt, thiết bị có thể làm việc ở hai chế độ.

- Cung cấp nước lạnh (7°C) khi chạy chế độ máy lạnh.

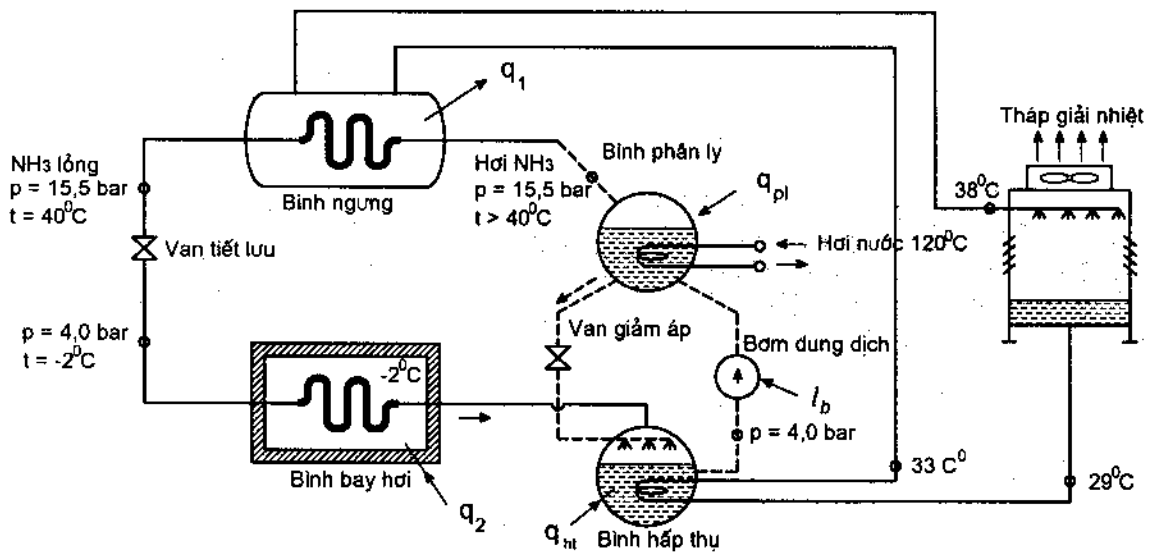
- Cung cấp nước nóng (50°C ÷ 60°C) khi chạy chế độ bơm nhiệt.

Van đảo chiều 4 ngả có thể hướng dòng ga sau khi nén đến giàn trao đổi nhiệt số 3 khi máy chạy ở chế độ làm lạnh hoặc hướng dòng ga đến bình trao đổi nhiệt số 2 khi máy chạy ở chế độ bơm nhiệt.



Hình 5.4. Sơ đồ kỹ thuật máy lạnh – bơm nhiệt

5. Chu trình máy lạnh hấp thụ



Hình 5.5. Sơ đồ nguyên lý máy lạnh hấp thụ

Hệ số làm lạnh lý thuyết khi bỏ qua công bơm l_b

$$\text{COP}_m = \frac{q_2}{q_1} \quad (\text{kW}_q/\text{kW}_q)$$

q_2 – Nhiệt lượng nhận được từ vật cần làm lạnh.

q_1 – Nhiệt lượng cung cấp cho quá trình bay hơi chất làm lạnh.

Bảng 5.1. Thông số kỹ thuật của máy nén lạnh kiểu piston (Danfoss)

Loại	Trọng lượng (kg)	Máy nén		Lưu lượng gió (m³/h)	Dàn ngưng			
		Thể tích hút (m³/h)	Thể tích dầu (dm³)		Loại	Thể tích thực (dm³)	Số lượng	Đường kính cánh (mm)
MGM 016	47	5,26	0,95	1740	A3	0,6	2	254
MGM 018	47	5,26	0,95	1450	B3	1,1	2	254
MGM 022	49	6,58	0,95	1450	B3	1,1	2	254
MGZ 022	49	6,58	0,95	1300	C3	1,7	2	254
MGM 028	51	8,29	0,95	1300	C3	1,7	2	254
MGM 032	61	9,3	0,95	2800	D3	1,5	2	300
MGM 036	64	10,6	0,95	2800	D3	1,5	2	300
MGM 040	66	12	0,95	2600	E3	2,2	2	300
MGM 050	89	14,8	1,8	4600	G3	2,3	2	355
MGM 064	98	18,6	1,8	3600	H3	4,7	2	355
MGM 080	105	23,7	1,8	5400	J3	4,7	2	400
MGM100	143	29,8	3,9	8600	L3	5,1	2	450
MGM125	155	37,6	3,9	8200	M3	6,8	2	450
MGM144	156	42	3,9	8200	M3	6,8	2	450
MGM160	166	47,2	3,9	8000	N3	8,5	2	450

Bảng 5.2. Thông số vận hành của máy nén lạnh kiểu piston (Danfoss)

Model	TE	+5°C		0°C		-5°C		-10°C		-15°C		-20°C	
	TA	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.
MGM 016	27	3490	1,3	2890	1,2	2330	1,1	1840	0,9	1410	0,8	1040	0,7
	32	3210	1,4	2660	1,2	2140	1,1	1680	1,0	1280	0,8	930	0,7
	38	2890	1,5	2390	1,3	1920	1,2	1500	1,0	1140	0,9	-	-
MGM 018	27	3940	1,2	3200	1,1	2550	1,0	1990	0,9	1500	0,8	1090	0,7
	32	3650	1,3	2960	1,2	2360	1,0	1830	0,9	1370	0,8	990	0,7
	38	3290	1,4	2670	1,2	2120	1,1	1630	1,0	1210	0,9	870	0,7
MGM 022	27	5030	1,7	4210	1,5	3460	1,4	2760	1,2	2150	1,0	1590	0,9
	32	4660	1,8	3900	1,6	3180	1,4	2530	1,3	1940	1,1	1420	0,9
	38	4220	1,9	3510	1,7	2850	1,5	2240	1,3	1700	1,1	1200	0,9
MGM 028	27	6550	2,4	5600	2,2	4710	2,0	3870	1,8	3100	1,6	2410	1,4
	32	6120	2,5	5220	2,3	4380	2,0	3580	1,8	2850	1,6	2190	1,4
	38	5580	2,7	4760	2,4	3980	2,1	3230	1,9	2550	1,6	-	-
MGM 032	27	7610	2,7	6410	2,4	5320	2,2	4330	2,0	3460	1,8	2690	1,6
	32	7130	2,8	6000	2,6	4950	2,3	4010	2,1	3170	1,9	2430	1,6
	38	6560	3,0	5510	2,7	4530	2,4	3640	2,2	2840	1,9	-	-
MGM 036	27	8480	3,1	7270	2,8	6130	2,5	5070	2,3	4100	2,0	3220	1,8
	32	7950	3,3	6800	3,0	5720	2,6	4700	2,4	3770	2,1	2930	1,9
	38	7300	3,4	6230	3,1	5200	2,8	4250	2,5	3370	2,2	-	-
MGM 040	27	9670	3,5	8200	3,1	6850	2,8	5630	2,5	4540	2,2	3560	1,9
	32	9170	3,7	7740	3,3	6430	3,0	5240	2,7	4180	2,3	3220	2,0
	38	8550	3,9	7190	3,5	5930	3,1	4770	2,8	3740	2,4	-	-
MGM 050	27	11680	3,9	9710	3,5	7980	3,1	6460	2,8	5160	2,4	4080	2,1
	32	10940	4,1	9090	3,7	7430	3,3	5990	2,9	4760	2,5	3720	2,2
	38	10060	4,3	8320	3,8	6780	3,4	5430	3,0	4270	2,7	3300	2,3
MGM 064	27	15110	5,0	12670	4,5	10450	4,1	8460	3,6	6700	3,2	5160	2,7
	32	14180	5,3	11880	4,8	9770	4,3	7870	3,8	6180	3,3	4710	2,9
	38	13080	5,6	10940	5,1	8970	4,5	7190	4,0	5600	3,5	4220	3,0
MGM 080	27	18890	6,2	15950	5,6	13220	5,1	10750	4,5	8530	4,0	6560	3,5
	32	17760	6,6	14970	5,9	12380	5,3	10030	4,7	7900	4,2	6020	3,7
	38	16420	7,0	13840	6,3	11420	5,7	9210	5,0	7200	4,5	5420	3,9
MGM 100	27	23330	6,9	19520	6,5	16110	6,0	13080	5,5	10460	5,0	8190	4,5
	32	21770	7,3	18150	6,8	14880	6,2	12000	5,7	9470	5,1	7310	4,6
	38	19940	7,8	16560	7,1	13490	6,5	10760	5,9	8390	5,3	6340	4,7
MGM 125	27	29610	9,4	24950	8,6	20710	7,9	16910	7,1	13550	6,4	10630	5,7
	32	27620	9,9	23280	9,1	19280	8,2	15680	7,5	12490	6,7	9720	5,9
	38	25260	10,6	21240	9,6	17560	8,7	14230	7,8	11280	7,0	8690	6,2
MGM 144	27	32480	10,8	27480	9,9	22900	9,0	18770	8,1	15120	7,3	11930	6,5
	32	30180	11,4	25530	10,4	21250	9,4	17360	8,5	13910	7,6	10900	6,7
	38	27480	12,1	23230	10,9	19300	9,8	15710	8,8	12520	7,9	9720	7,0
MGM 160	27	35950	12,2	30440	11,1	25350	10,1	20780	9,1	16740	8,2	13240	7,3
	32	33520	12,8	28330	11,6	23560	10,5	19250	9,5	15450	8,5	12120	7,6
	38	30550	13,6	25810	12,3	21440	11,0	17480	9,9	13950	8,9	10850	7,9

Ghi chú

P.F. Công suất lạnh (W)

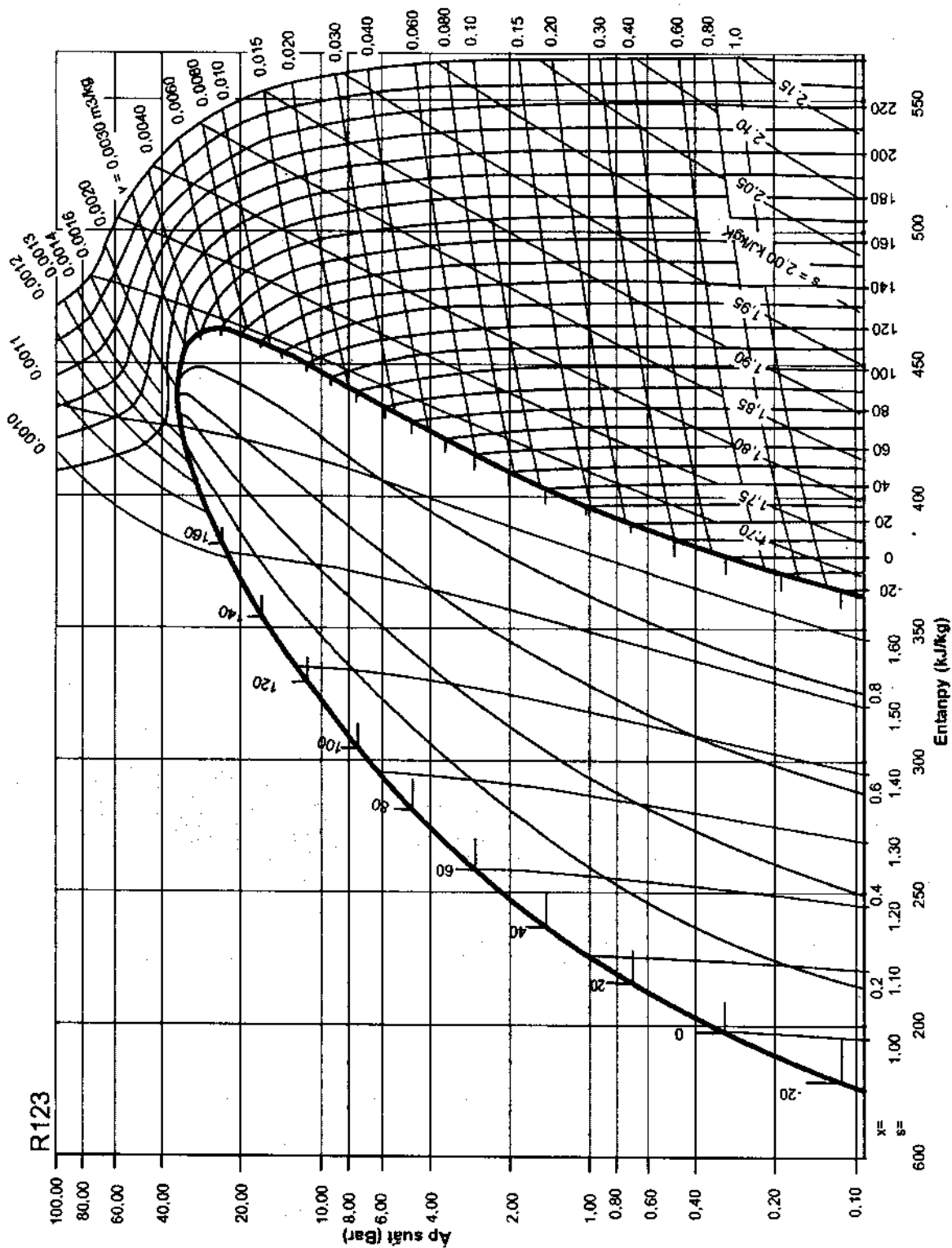
P.A. Điện năng tiêu thụ (kW)

TE Nhiệt độ bay hơi (°C)

TA: Nhiệt độ không khí

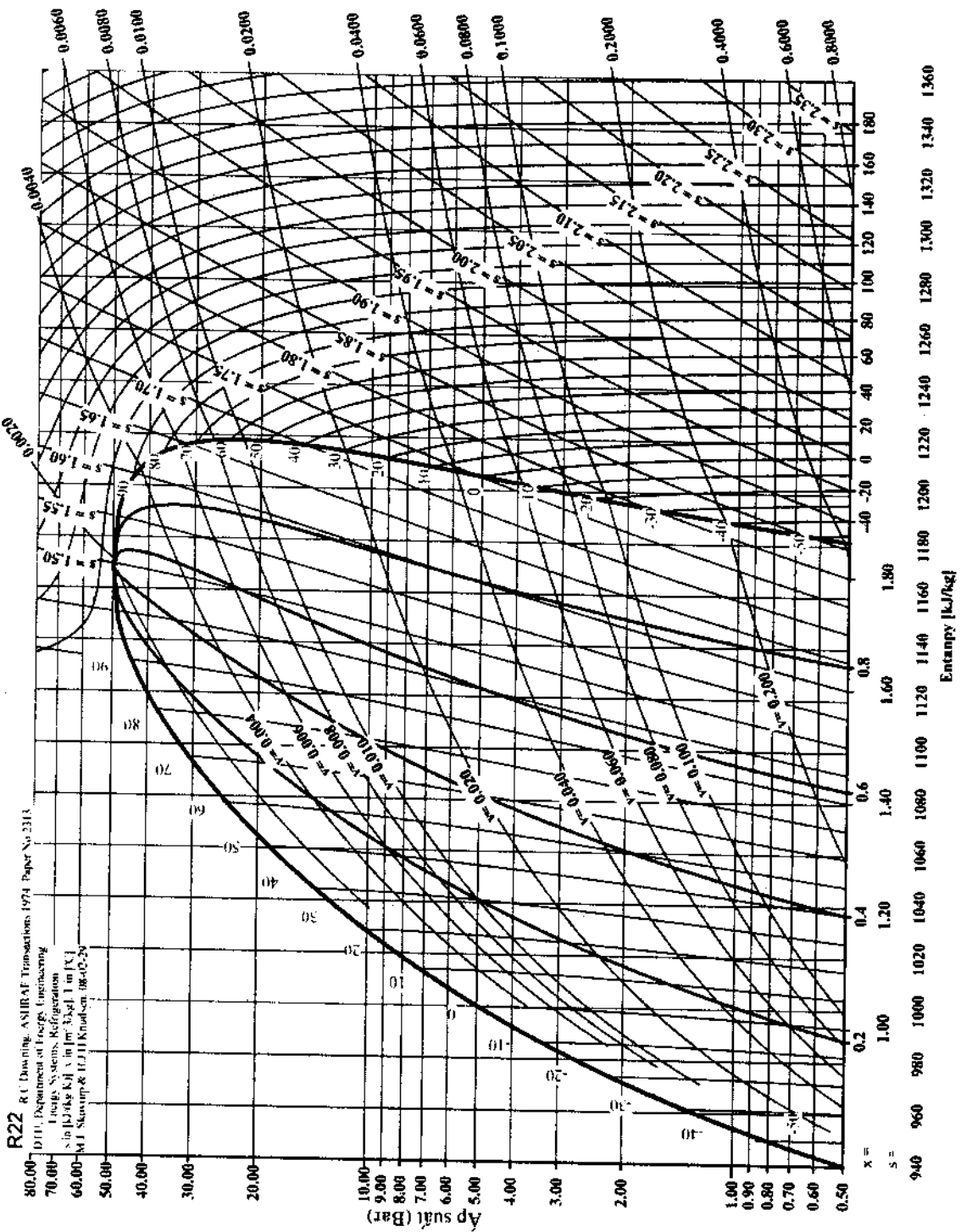
Độ quá nhiệt 18°C

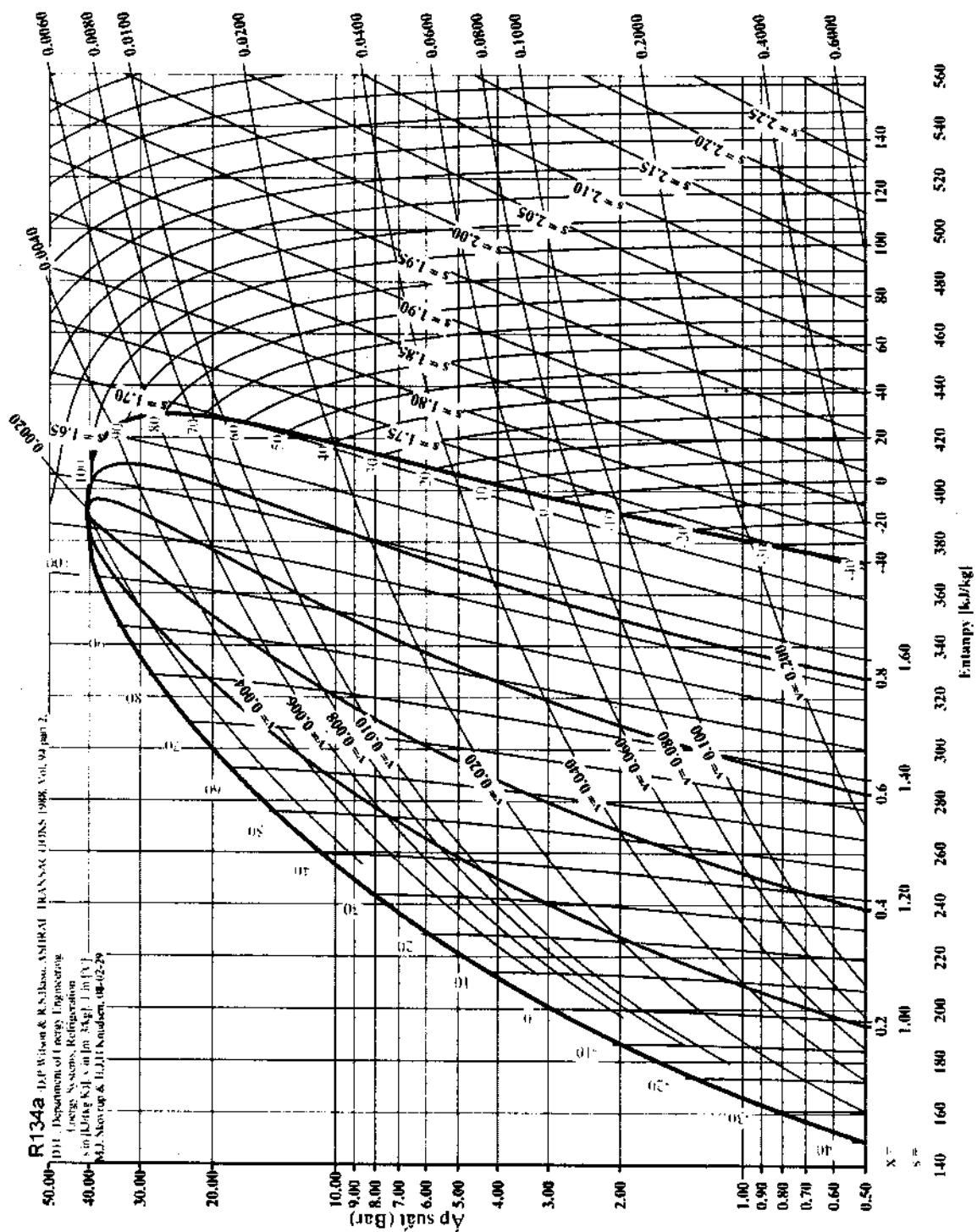
Độ quá lạnh 3°C

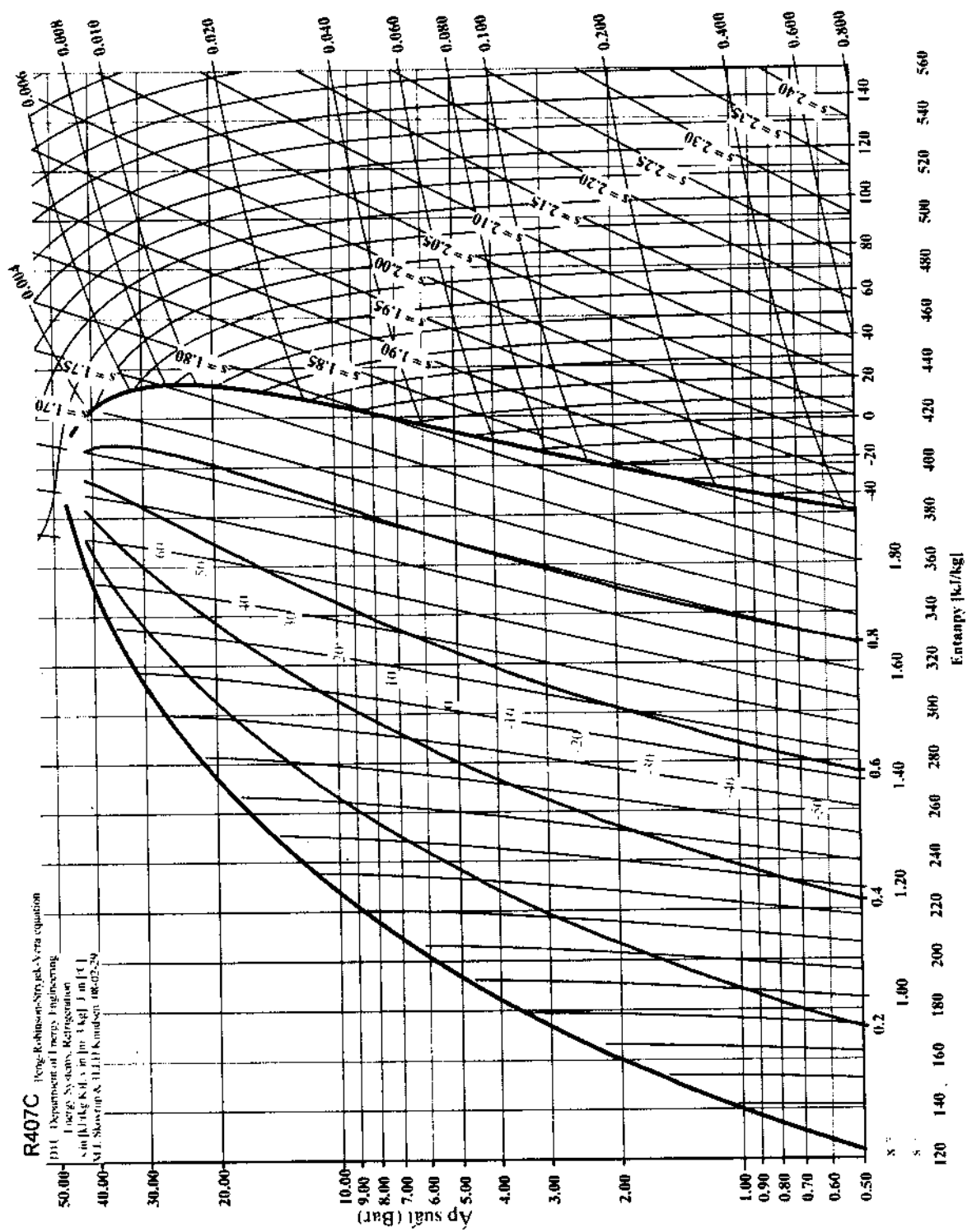


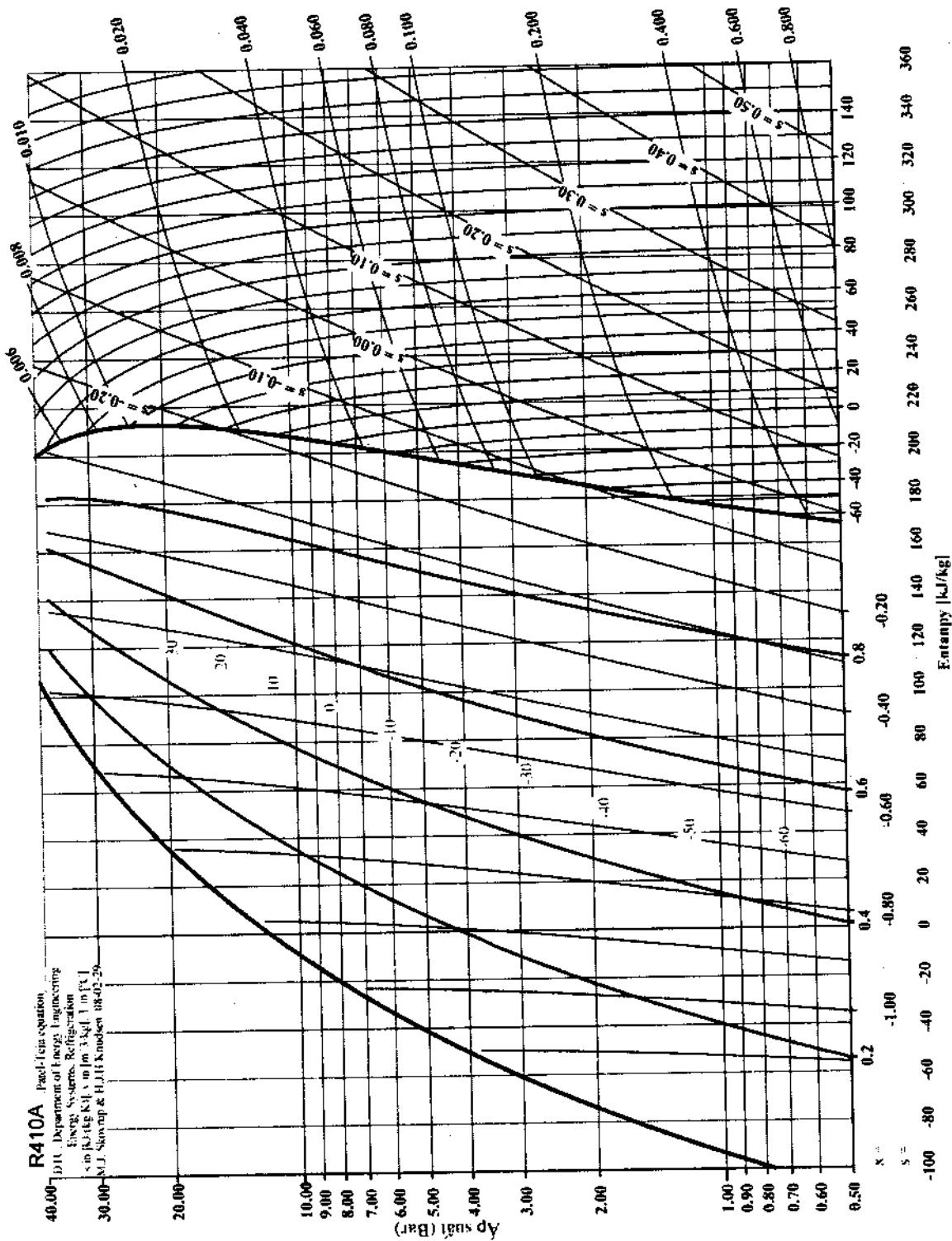
R22 R.C. Dawling, ASHRAE Transactions, 1974, Paper No. 2313.

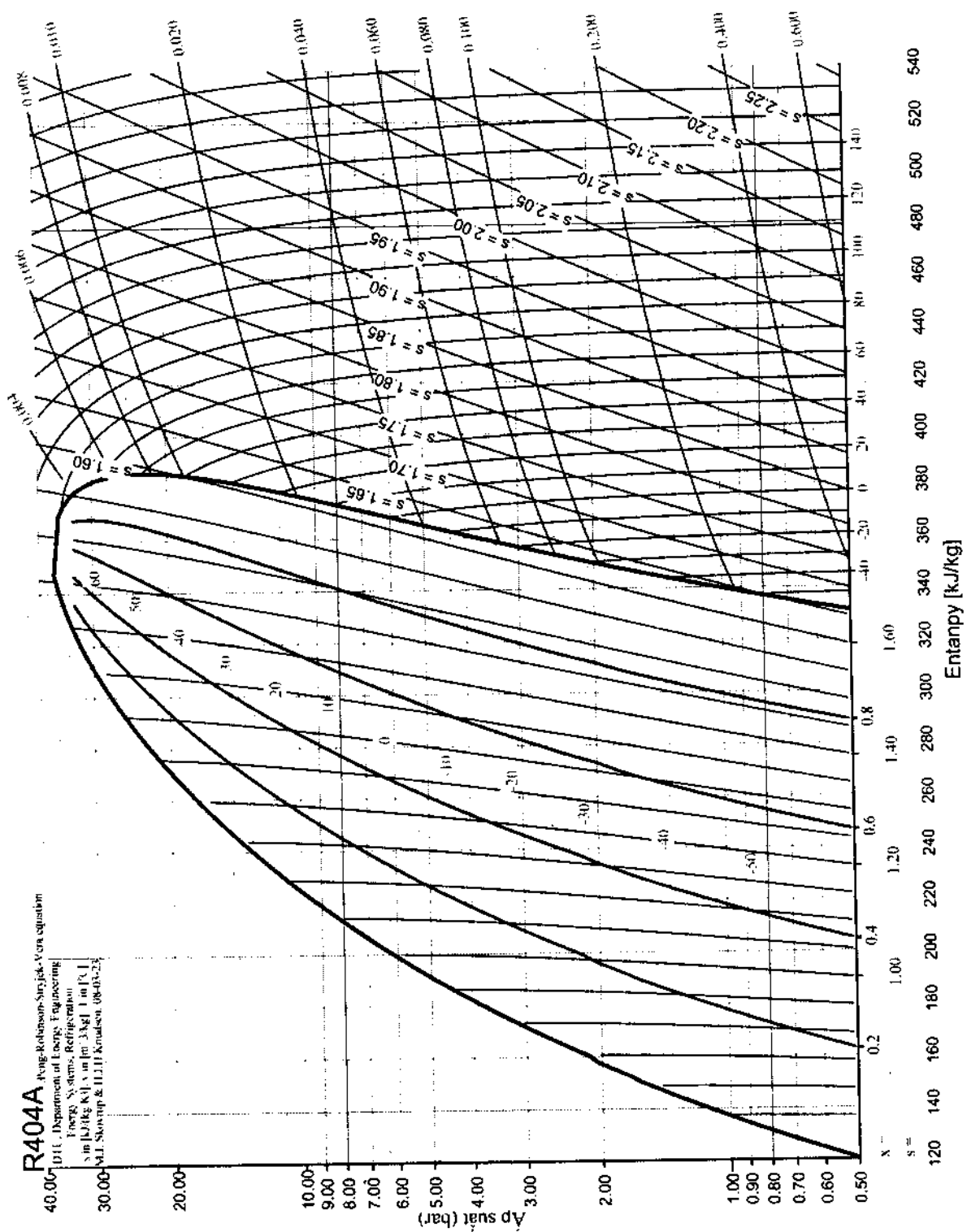
DTU, Department of Energy Engineering
 Energy Systems, Refrigeration
 s in kJ/kg K, χ in m³/kg, χ in l/kg
 M.I. Skovrup & H.J. Knudsen, 1984-02-29

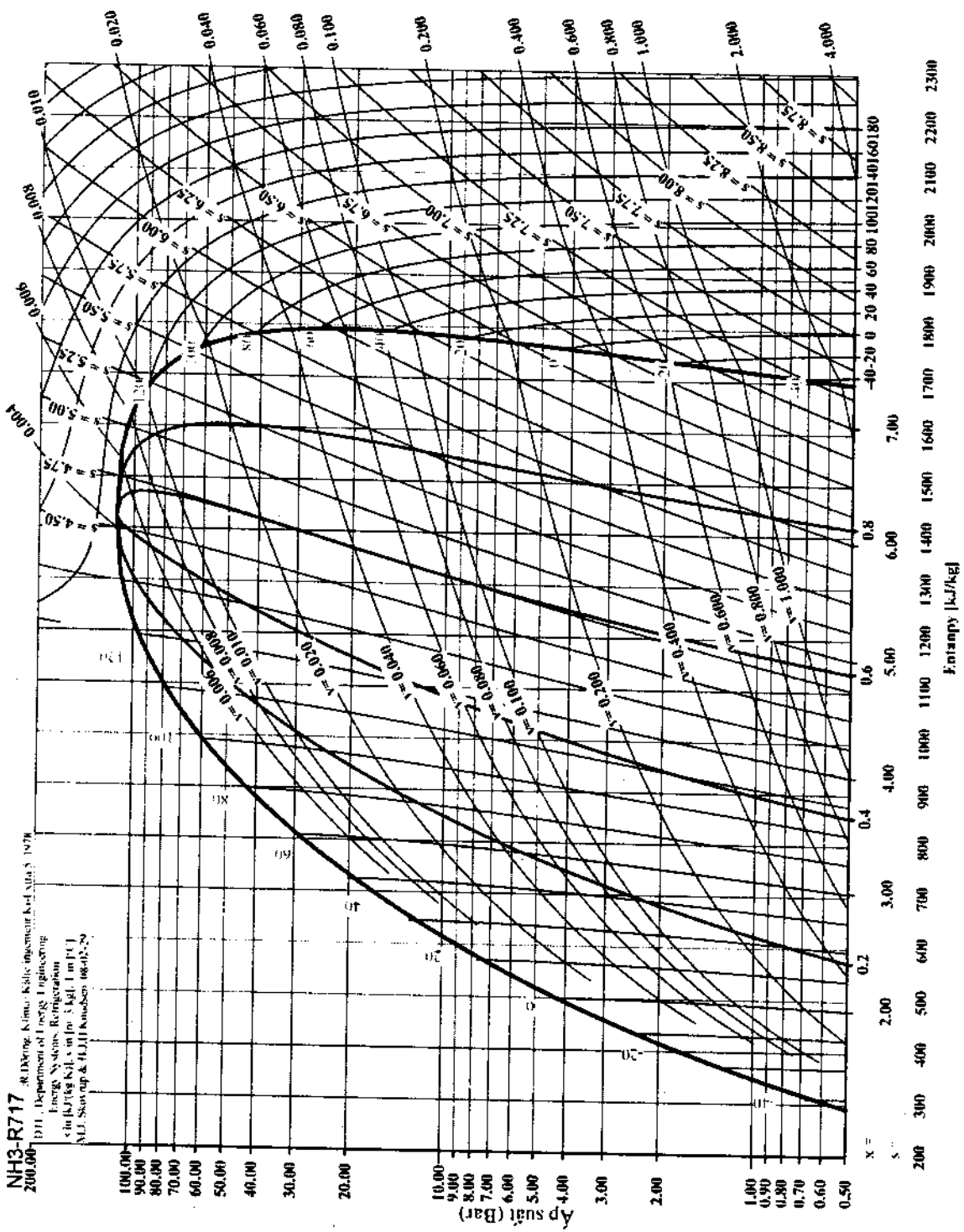












B — BÀI TẬP

5.1. Máy lạnh sử dụng môi chất NH_3 (chu trình không có quá lạnh) hơi hút vào máy nén có áp suất $p_o = 5 \text{ bar}$, được nén đoạn nhiệt lên áp suất $p_c = 20 \text{ bar}$. Công suất nén là 50 kW .

Xác định:

- Năng suất hút của máy nén;
- Chỉ số hiệu quả làm lạnh;
- Chỉ số tiêu thụ điện của thiết bị;
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

5.2. Máy lạnh sử dụng môi chất NH_3 (chu trình không có quá lạnh) có nhiệt độ sôi của môi chất $t_o = -10^\circ\text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ $t_c = 50^\circ\text{C}$, lưu lượng dung dịch muối $G_m = 7200 \text{ kg/h}$ được làm lạnh từ -3°C đến -7°C . Nhiệt dung riêng của dung dịch muối là $C_m = 3,7 \text{ kJ/kg.K}$

Xác định:

- Năng suất hút của máy nén;
- Lượng điện năng tiêu thụ ở máy nén P_e biết $P_o = 1/0,7$;
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

5.3. Máy điều lạnh sử dụng môi chất R22 (chu trình không có quá lạnh). Hơi vào máy nén là hơi bão hoà khô. Công suất nén 2000 W , áp suất bay hơi $p_o = 5,4 \text{ bar}$, nhiệt độ ngưng tụ $t_c = 50^\circ\text{C}$.

Xác định:

- Lưu lượng không khí khô được làm lạnh khi qua giàn bay hơi nếu nhiệt độ không khí giảm 15 K , biết C_p của không khí là 1 kJ/kg.K ;
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

5.4. Máy lạnh sử dụng môi chất R407C (chu trình không có quá lạnh) có áp suất bay hơi $p_o = 4 \text{ bar}$, áp suất ngưng tụ $p_c = 20 \text{ bar}$.

Xác định:

- Lượng môi chất lạnh R407C, biết lượng nước được làm lạnh 14400 kg/h và nhiệt độ nước lạnh giảm đi 5 K .
- Lượng không khí làm mát giàn ngưng tụ của máy lạnh, biết nhiệt độ không khí tăng từ 35°C đến 42°C .
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

5.5. Máy lạnh sử dụng môi chất R404A (chu trình không có quá lạnh) có nhiệt độ bay hơi $t_o = -35^\circ\text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ $t_c = 40^\circ\text{C}$. Công suất lạnh của máy $Q_2 = 10 \text{ kW}$.

Xác định:

- Các thông số (i, t, p) tại các điểm nút của chu trình.
- Công suất nén của máy nén.
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.
- Xác định lưu lượng không khí cần thiết để giải nhiệt giàn ngưng tụ biết độ chênh nhiệt độ trước và sau khi ra khỏi giàn ngưng là 10 K .

5.6. Máy lạnh sử dụng môi chất R22 có công suất máy nén là 1 HP (chu trình không có quá lạnh).

Nhiệt độ bay hơi của môi chất $t_0 = 10^\circ\text{C}$. Nhiệt độ ngưng tụ $t_c = 50^\circ\text{C}$.

Xác định:

- Năng suất lạnh của thiết bị.
- Năng suất lạnh sẽ giảm bao nhiêu % khi tăng nhiệt độ ngưng tụ lên 55°C .
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

5.7. Máy điều hòa không khí sử dụng môi chất R134A (chu trình không có quá lạnh), nhiệt độ bay hơi của môi chất $t_0 = 5^\circ\text{C}$, áp suất ngưng tụ $p_c = 15$ bar. Công suất lạnh của máy là 12000 BTU.

Xác định:

- Công suất điện của máy nén, biết hiệu suất máy nén $\eta = 0,8$.
- Chỉ số hiệu quả làm lạnh, chỉ số tiêu thụ điện của thiết bị.
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

5.8. Bơm nhiệt sử dụng môi chất R22 (chu trình không có quá lạnh). Nhiệt độ ngưng tụ $t_c = 55^\circ\text{C}$, nhiệt độ bay hơi là $t_0 = 10^\circ\text{C}$, năng suất hút của máy nén là 0,6 kg/s.

Xác định:

- Công suất bơm nhiệt.
- Hệ số hiệu quả lý thuyết của bơm nhiệt, chỉ số tiêu thụ điện của thiết bị.
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

5.9. Bơm nhiệt sử dụng môi chất R404A (chu trình không có quá lạnh) có áp suất bay hơi $p_0 = 6$ bar, áp suất ngưng tụ $p_c = 20$ bar. Năng suất máy nén 50 kW.

Xác định:

- Năng suất hút của máy nén.
- Hệ số bơm nhiệt, chỉ số tiêu thụ điện, chỉ số hiệu quả năng lượng.
- Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

5.10. Bơm nhiệt sử dụng môi chất R404A (chu trình không có quá lạnh) có nhiệt độ cuối tầm nén $t_2 = 65^\circ\text{C}$, nhiệt độ bay hơi $p_0 = 5$ bar, năng suất làm mát $Q_2 = 100$ kW.

Xác định:

- Lượng không khí đi qua giàn ngưng tụ biết nhiệt độ không khí tăng 10 K.

Biết $C_{p \text{ không khí}} = 1$ kJ/kg.

C — BÀI GIẢI VÍ DỤ

5.1. Tóm tắt

Máy lạnh môi chất : NH_3 , $p_o = 5 \text{ bar}$,
 $p_c = 20 \text{ bar}$, $L = 50 \text{ kW}$

Xác định:

m , COP , PIC

Biểu diễn chu trình trên đồ thị $\lg p-i$.

❖ Tính toán:

– Tra đồ thị $\lg p-i$ của môi chất NH_3 ta xác định các thông số các điểm của chu trình.

Điểm 1: tra theo các thông số $p_1 = p_o = 5 \text{ bar}$, $x_1 = 1$ được $i_1 = 1765 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 6,55 \text{ kJ/kg.K}$.

Điểm 2: tra theo các thông số $s_2 = s_1$, $p_2 = p_c = 20 \text{ bar}$ được $i_2 = 1968 \text{ kJ/kg}$.

Điểm 3: tra theo các thông số $p_3 = p_c = 20 \text{ bar}$, $x = 0$ được $i_3 = 737,3 \text{ kJ/kg}$.

Điểm 4: $i_4 = i_3 \text{ kJ/kg}$

– Công tiêu tốn thực hiện quá trình nén 1 kg MCL:

$$l = i_2 - i_1 = 1968 - 1765 = 203 \text{ kJ/kg.}$$

– Năng suất hút của máy nén:

$$m = \frac{L}{l} = \frac{50}{203} = 0,2463 \text{ kg/s.}$$

– Chỉ số hiệu quả làm lạnh:

$$\text{COP} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{1765 - 737,3}{1968 - 1765} = 5,06 \left[\frac{\text{kW}_a}{\text{kW}_e} \right].$$

– Chỉ số tiêu thụ điện của thiết bị:

$$\text{PIC} = \frac{3,516}{\text{COP}} = \frac{3,516}{5,06} = 0,695 \text{ kW/RT.}$$

– Biểu diễn chu trình trên đồ thị $\lg p-i$ xem hình 5-3.

5.2. Tóm tắt

Máy lạnh môi chất : NH_3 , $t_o = -10^\circ\text{C}$,

$t_c = 50^\circ\text{C}$, $\eta = 0,7$

Chất tải lạnh: $G_m = 7200 \text{ kg/h}$, $t_{m1} = -3^\circ\text{C}$,

$t_{m2} = -7^\circ\text{C}$, $C_{pm} = 3,7 \text{ kJ/kg}$

Xác định:

m , P_o

Biểu diễn chu trình trên đồ thị $\lg p-i$.

❖ Tính toán:

– Tra đồ thị $\lg p-i$ của môi chất NH_3 ta xác định các thông số các điểm của chu trình.

Điểm 1: tra theo các thông số $t_1 = t_o = -10^\circ\text{C}$, $x_1 = 1$ được $i_1 = 1749 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 6,76 \text{ kJ/kg.K}$.

Điểm 3: tra theo các thông số $t_3 = t_c = 50^\circ\text{C}$, $x_3 = 0$ được $i_3 = 720 \text{ kJ/kg}$, $p_3 = 19 \text{ bar}$.

Điểm 2: tra theo các thông số $p_2 = p_3$, $s_2 = s_1$ được $i_2 = 2046 \text{ kJ/kg}$.

Điểm 4: $i_4 = i_3 = 720 \text{ kJ/kg}$.

– Phương trình cân bằng nhiệt cho thiết bị bay hơi:

$$Q_2 = G_m C_{pm} (t_{m1} - t_{m2})$$

$$Q_2 = \frac{7200}{3600} 3,7 (-3 - (-7)) = 29,6 \text{ kW}_a$$

– Năng suất hút của máy nén:

$$m = \frac{Q_2}{q} = \frac{Q_2}{i_1 - i_4} \text{ kg/s}$$

$$m = \frac{29,6}{1749 - 720} = 0,0288 \text{ kg/s}$$

– Công tiêu tốn thực hiện quá trình nén 1 kg MCL:

$$l = i_2 - i_1 = 2046 - 1749 = 297 \text{ kJ/kg}$$

– Điện năng tiêu thụ của máy nén:

$$P_o = \frac{L}{\eta_o} = \frac{m \cdot l}{\eta_o} \text{ kW}_o$$

$$P_o = \frac{0,0288}{0,7} = 12,22 \text{ kW}_o$$

– Chỉ số hiệu quả làm lạnh:

$$COP = \frac{Q_2}{P_o} = \frac{29,6}{12,22} = 2,42 \frac{\text{kW}_o}{\text{kW}_o}$$

5.6. Tóm tắt

Máy lạnh môi chất: R22,

$P_o = 1\text{HP} = 0,7457 \text{ kW}$, $t_o = 10^\circ\text{C}$, $t_c = 50^\circ\text{C}$;

Xác định:

– Q_2

– Q_2 sẽ giảm bao nhiêu % khi $t_c = 55^\circ\text{C}$.

– Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp–i.

❖ Tính toán:

– Tra đồ thị lgp–i của môi chất R22 ta xác định các thông số các điểm của chu trình:

Điểm 1: tra theo các thông số $t_1 = t_o = 10^\circ\text{C}$, $x_1 = 1$ được $i_1 = 1208 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 1,76 \text{ kJ/kgK}$.

Điểm 3: tra theo các thông số $t_3 = t_c = 50^\circ\text{C}$, $x_3 = 0$ được $i_3 = 1062 \text{ kJ/kg}$, $p_3 = 20\text{bar}$.

Điểm 2: tra theo các thông số $p_2 = p_3$, $s_2 = s_1$ được $i_2 = 1234 \text{ kJ/kg}$.

Điểm 4: $i_4 = i_3 = 1062 \text{ kJ/kg}$.

– Công tiêu tốn thực hiện quá trình nén 1kg MCL:

$$l = i_2 - i_1 = 1234 - 1208 = 26 \text{ kJ/kg}$$

– Năng suất hút của máy nén:

$$m = \frac{L}{l} = \frac{0,7457}{26} = 0,0287 \text{ kg/s}$$

– Công suất lạnh của máy điều hòa:

$$Q_2 = m(i_1 - i_4) \text{ kW}$$

$$Q_2 = 0,0287(1208 - 1062) = 4,19 \text{ kW}_o$$

– Nếu nhiệt độ ngưng tụ tăng lên 55°C xác định lại thông số điểm 3

Điểm 3 tra theo các thông số $t'_3 = t'_c = 55^\circ\text{C}$, $x_3 = 0$ được $i'_3 = 268,6 \text{ kJ/kg}$.

Ta có $i'_4 = i'_3$

– Tăng nhiệt độ ngưng tụ lên 55°C năng suất lạnh sẽ giảm:

$$\frac{Q_2 - Q'_2}{Q_2} = \frac{i_1 - i_4 - i'_1 - i'_4}{i_1 - i_4} = \frac{i'_4 - i_4}{i_1 - i_4} = \frac{1068,8 - 1062}{1208 - 1062} = 0,0466 = 4,66 \%$$

5.8. Tóm tắt

Bơm nhiệt môi chất: R22, $t_o = 10^\circ\text{C}$, $t_c = 55^\circ\text{C}$;

$$m = 0,6 \text{ kg/s}$$

Xác định:

$$Q_1, \varphi, \text{PIC.}$$

Biểu diễn chu trình trên đồ thị lgp-i.

❖ Tính toán:

– Tra đồ thị lgp-i của môi chất R22 ta xác định các thông số các điểm của chu trình.

Điểm 1: tra theo các thông số $t_1 = t_o = 10^\circ\text{C}$, $x_1 = 1$ được $i_1 = 1208 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 1,76 \text{ kJ/kgK}$.

Điểm 3: tra theo các thông số $t_3 = t_c = 55^\circ\text{C}$, $x_3 = 0$ được $i_3 = 1068,6 \text{ kJ/kg}$, $p_3 = 22 \text{ bar}$.

Điểm 2: tra theo các thông số $p_2 = p_3$, $s_2 = s_1$ được $i_2 = 1237 \text{ kJ/kg}$.

Điểm 4: $i_4 = i_3 = 1068,6 \text{ kJ/kg}$

– Xác định công suất bơm nhiệt :

$$Q_1 = m(i_2 - i_3)$$

$$Q_1 = 0,6(1237 - 1068,6) = 101 \text{ kW}_q$$

– Xác định chỉ số bơm nhiệt :

$$\varphi = \frac{q_1}{I} = \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1} = \frac{1237 - 1068,6}{1237 - 1208} = 5,8 \text{ kW}_q/\text{kW}_e$$

– Chỉ số tiêu thụ điện :

$$\text{PIC} = \frac{P_e}{Q_1} = \frac{I}{q_2} = \frac{1}{\varphi} = 0,17 \text{ kW}_e/\text{kW}_q$$

5.10. Tóm tắt

Bơm nhiệt môi chất: R404A, $t_2 = 65^\circ\text{C}$,

Xác định:

$$p_0 = 5 \text{ bar}; Q_2 = 100 \text{ kW};$$

– Lượng không khí qua giàn ngưng G_{kk}

$$\Delta t_{kk} = 10\text{K}, C_{pkk} = 1 \text{ kJ/kg.K}$$

❖ Tính toán:

– Tra đồ thị lgp-i của môi chất R404A ta xác định các thông số các điểm của chu trình.

Điểm 1: tra theo các thông số $p_1 = p_o = 5 \text{ bar}$, $x_1 = 1$ được $i_1 = 365 \text{ kJ/kg}$, $s_1 = 1,63 \text{ kJ/kgK}$.

Điểm 2: tra theo các thông số $s_2 = s_1$, $t_2 = 65^\circ\text{C}$ được $i_2 = 400 \text{ kJ/kg}$, $p_2 = 26 \text{ bar}$.

Điểm 3: tra theo các thông số $p_3 = p_2$, $x = 0$ được $i_3 = 296 \text{ kJ/kg}$.

Điểm 4: $i_4 = i_3 = 296 \text{ kJ/kg}$.

– Năng suất hút của máy nén:

$$m = \frac{Q_2}{q} = \frac{Q_2}{i_1 - i_4} \text{ kg/s}$$

$$m = \frac{100}{365 - 296} = 1,449 \text{ kg/s}$$

– Xác định công suất bơm nhiệt:

$$Q_1 = m(i_2 - i_3)$$

$$Q_1 = 1,449(400 - 296) = 150,7 \text{ kW}_q$$

– Phương trình cân bằng năng lượng trong bình ngưng tụ:

$$Q_1 = G_{kk} C_{pkk} \Delta t_{kk}$$

– Lưu lượng không khí đi qua giàn ngưng tụ:

$$G_{kk} = \frac{Q_1}{C_{pkk} \Delta t} = \frac{150,7}{1 \cdot 10} = 15,07 \text{ kg/s}$$

A – TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1. Đồ thị i – d của không khí ẩm

Trên đồ thị i – d, trục tung ghi các giá trị của nhiệt độ không khí khô và các đường đẳng nhiệt của không khí ẩm là các đường thẳng hơi dốc về phía trên.

– Các đường độ ẩm tương đối φ có dạng nan quạt cho theo (%), đường $\varphi = 100\%$ chia đồ thị thành hai vùng: vùng phía trên đường $\varphi = 100\%$ là vùng không khí ẩm chưa bão hoà, vùng phía dưới đường $\varphi = 100\%$ là vùng quá bão hoà (vùng sương mù) chứa những hạt nước nhỏ dễ dàng ngưng tụ khi được làm lạnh để trở thành không khí ẩm bão hoà hoặc bay hơi khi được đốt nóng để trở thành không khí ẩm chưa bão hoà.

– Các đường đẳng Entanpi i là các đường thẳng song song, tạo với trục tung 1 góc 135° cho theo (kJ/kg).

– Các đường đẳng dung ẩm $d = \text{const}$ là các đường thẳng đứng song song với trục tung cho theo (g/kgk).

– Giá trị phân áp suất của hơi nước trong không khí cho theo bar và được thể hiện trên đường phân áp suất.

2. Các công thức xác định thông số không khí ẩm

– Độ ẩm tương đối

$$\varphi = \frac{D}{D_{bh}} \cdot 100(\%) = \frac{p_{hn}}{p_{bh}} \cdot 100(\%)$$

Giá trị p_{bh} tra theo bảng "Nước và hơi nước trên đường bão hoà" theo nhiệt độ của không khí ẩm.

– Độ chứa hơi

$$d = 622 \frac{p_{hn}}{B - p_{hn}} = 622 \frac{\varphi p_{bh}}{B - \varphi p_{bh}} \quad (\text{g/kgk})$$

Ở điều kiện tiêu chuẩn, áp suất khí quyển $B = 101325 \text{ Pa}$ (760 mmHg), $t = 20^\circ\text{C}$ (293 K).

– Entanpi: $i_{ka} = (1,005 + 1,86d)t + 2501d \quad (\text{kJ/kg})$.

3. Công thức quá trình hòa trộn

G_1 kg phần không khí ẩm ở trạng thái 1 (i_1, d_1) hoà trộn với G_2 kg phần không khí ẩm ở trạng thái 2 (i_2, d_2).

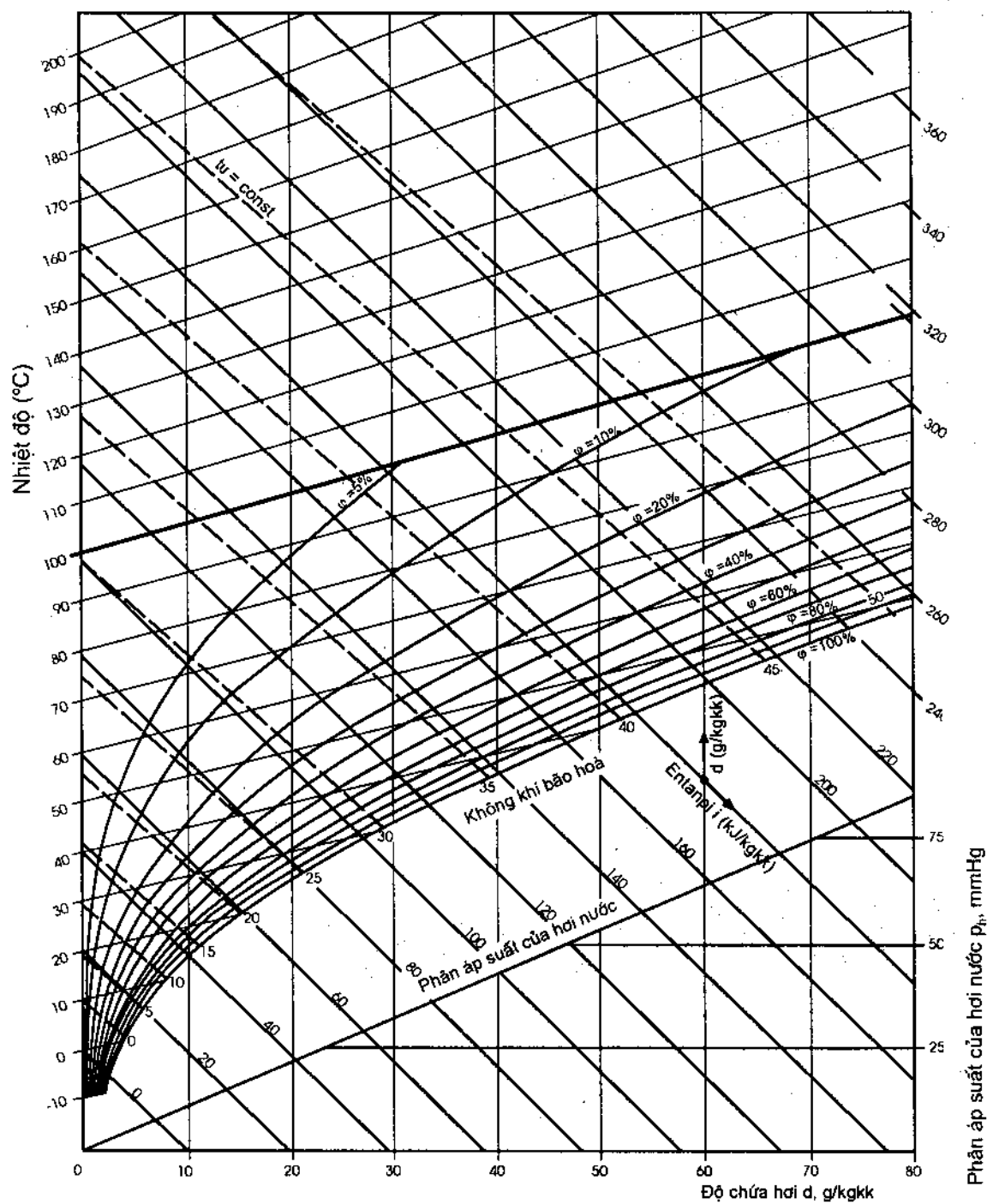
i_3 - Entanpi của hỗn hợp

d_3 - độ chứa hơi của hỗn hợp

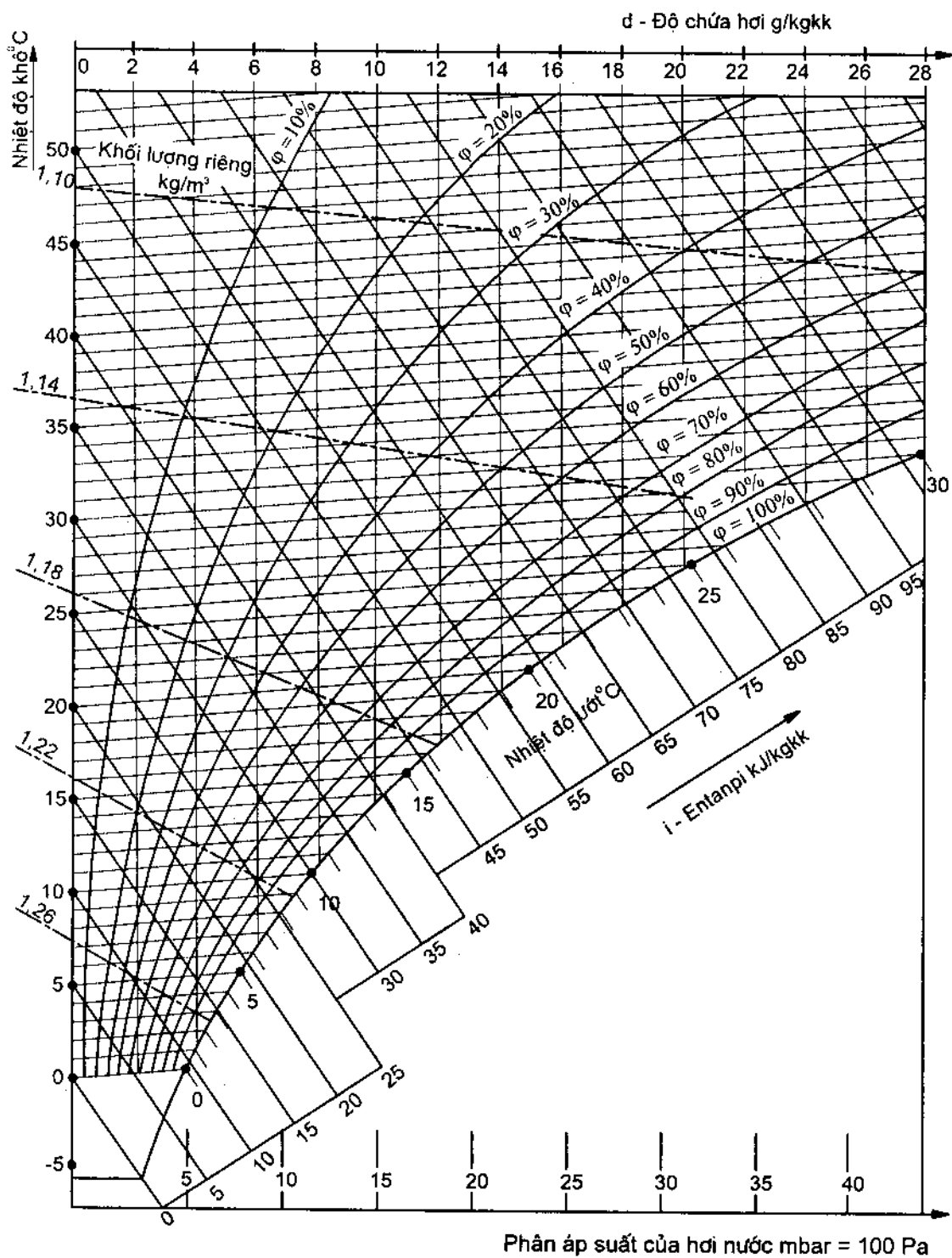
i_3 và d_3 có thể xác định theo công thức sau:

$$\frac{i_1 - i_3}{i_3 - i_2} = \frac{\Delta i_{13}}{\Delta i_{32}} = \frac{G_2}{G_1} = n$$

$$\frac{d_1 - d_3}{d_3 - d_2} = \frac{\Delta d_{13}}{\Delta d_{32}} = \frac{G_2}{G_1} = n$$



Hình 6.1. Đồ thị $i - d$ của không khí ẩm ($t = 0^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$)



Hình 6.2. Đồ thị i - d Mollier của không khí ẩm

Bảng 6.1. Thông số vật lý của không khí khô cho theo nhiệt độ, $p = 1,01325 \text{ bar}$ [7]

t (°C)	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg.độ	λ W/m.độ	t (°C)	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg.độ	λ W/m.độ
-50	1,584	1,013	2,04	120	0,898	1,909	3,34
-40	1,515	1,013	2,12	140	0,854	1,013	3,49
-30	1,453	1,013	2,2	160	0,815	1,017	3,64
-20	1,695	1,009	2,28	180	0,779	1,022	3,78
-10	1,342	1,009	2,36	200	0,746	1,026	3,93
0	1,293	1,005	2,44	250	0,674	1,038	4,27
10	1,247	1,005	2,51	300	0,615	1,047	4,6
20	1,205	1,005	2,59	350	0,566	1,059	4,91
30	1,165	1,005	2,67	400	0,524	1,068	5,21
40	1,128	1,005	2,76	500	0,456	1,093	5,74
50	1,093	1,005	2,83	600	0,404	1,114	6,22
60	1,06	1,005	2,9	700	0,362	1,135	6,71
70	1,029	1,005	2,96	800	0,329	1,156	7,18
80	1	1,005	3,05	900	0,301	1,172	7,63
90	0,972	1,005	3,13	1000	0,277	1,185	8,07
100	0,946	1,009	3,21	1100	0,257	1,197	8,5

Bảng 6.2. Thông số vật lý của không khí ẩm bão hoà, $p = 1,0 \text{ bar}$ [13]

Nhiệt độ t (°C)	Áp suất hơi nước bão hoà p_{bh} (Pa)	Độ chứa hơi d (g/kgkk)	Entanpi i (kJ/kg)	Khối lượng riêng ρ (kg/m ³)
-20	103	0,64	-18,6	1,38
-10	259	1,62	-6,1	1,32
0	611	3,82	9,6	1,27
10	1227	7,73	29,6	1,22
20	2337	14,89	58,0	1,18
30	4242	27,56	100,8	1,13
40	7376	49,55	168	1,08
50	12335	87,54	277,6	1,03
60	19920	154,75	464,9	0,97
70	31160	281,62	811,7	0,90
80	47360	559,82	1564,2	0,81
90	70120	1460,08	3987,0	0,71
95	8453	3400,97	9202,7	0,64

B — BÀI TẬP

6.1. Hòa trộn 10 kg không khí ẩm có nhiệt độ 30°C , độ ẩm 80% với 10 kg không khí ẩm có nhiệt độ 20°C , độ ẩm 60%.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình hòa trộn trên đồ thị i-d.
- Nhiệt độ, độ ẩm tương đối, nhiệt độ đọng sương, độ chứa hơi của hỗn hợp sau khi hòa trộn.
- Nếu bọc một miếng giẻ ướt vào bầu nhiệt kế rồi tiến hành đo nhiệt độ không khí sau khi hòa trộn thì nhiệt kế chỉ bao nhiêu độ.
- Lượng không khí khô, lượng hơi nước có trong hỗn hợp không khí ẩm sau khi hòa trộn.

6.2. Hoà trộn dòng không khí có lưu lượng 400 l/s, nhiệt độ 15°C , độ ẩm 95%, với không khí ngoài trời có nhiệt độ 30°C , độ ẩm 80 % để được không khí có nhiệt độ 18°C .

Xác định:

- Biểu diễn quá trình hoà trộn trên đồ thị i - d.
- Thông số của các điểm nút của quá trình.
- Lưu lượng không khí ngoài trời cần thiết cho quá trình hoà trộn.

6.3. Xác định phân áp suất hơi nước, nhiệt độ đọng sương, độ chứa hơi, entanpi, nhiệt độ nhiệt kế ướt của 50 kg không khí ẩm có nhiệt độ 25°C , độ ẩm tương đối 80%. Tiến hành hạ nhiệt độ khối không khí ẩm này xuống 15°C bằng thiết bị trao đổi nhiệt kiểu bề mặt.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị i-d.
- Xác định lượng nhiệt được lấy đi và lượng nước ngưng tụ.

6.4. 20 m³ không khí ẩm có các thông số $\varphi = 85\%$, $t = 32^{\circ}\text{C}$.

Xác định:

- Xác định độ chứa hơi, nhiệt độ đọng sương, nhiệt độ nhiệt kế ướt của không khí ẩm.
- Xác định lượng nước ngưng tụ, lượng nhiệt được lấy ra và độ chứa hơi của không khí ẩm khi làm lạnh đến 12°C .

6.5. 82 kg không khí ẩm có 2 kg hơi nước và có nhiệt độ 40°C . Cấp nhiệt đẳng độ chứa hơi cho đến khi nhiệt độ không khí đạt đến 90°C .

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị i-d.
- Xác định độ chứa hơi, entanpi, độ ẩm tương đối của không khí trước và sau quá trình cấp nhiệt, lượng nhiệt cần thiết cho quá trình cấp nhiệt.

6.6. 121 kg không khí ẩm có nhiệt độ 25°C , độ ẩm tương đối 60%.

Xác định:

- Xác định lượng không khí khô, lượng hơi nước có trong khối không khí ẩm.
- Tiến hành phun hơi nước có nhiệt độ 25°C vào khối không khí ẩm cho đến khi độ ẩm không khí đạt đến 90%. Xác định lượng hơi nước cần thiết và độ biến thiên entanpi.

6.7. 10 kg không khí ẩm có nhiệt độ 20°C độ ẩm tương đối 60 %.

Xác định:

- Xác định lượng không khí khô, lượng hơi nước có trong không khí ẩm.
- Phun vào khối không khí 50g hơi nước có nhiệt độ 20°C , xác định độ biến thiên entanpi.
- Xác định các thông số (t , i , d , φ) của không khí ẩm sau quá trình phun ẩm.

6.8. Không khí ẩm có nhiệt độ 70°C , độ chứa hơi 22g/kg được đưa vào buồng sấy thực hiện quá trình sấy vật ẩm. Không khí sau khi ra khỏi buồng sấy có nhiệt độ 40°C . Biết lượng nước thoát ra từ vật ẩm trong mỗi giờ là 7,5 kg/h.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị i - d .
- Xác định độ ẩm tương đối, độ chứa hơi, entanpi của không khí sau khi ra khỏi buồng sấy.
- Xác định lượng không khí cần thiết để cung cấp cho quá trình sấy.

6.9. Không khí ẩm khi vào buồng sấy có độ chứa hơi $d_1 = 20$ g/kg, nhiệt độ 70°C . Không khí ra khỏi buồng có nhiệt độ 40°C .

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị i - d .
- Xác định entanpi, độ chứa hơi của không khí trước và sau quá trình sấy.
- Xác định lưu lượng không khí cần thiết cho quá trình sấy. Biết lượng nước thoát ra từ vật sấy trong mỗi giờ là 1kg.

6.10. Không khí ẩm ở trạng thái đầu có nhiệt độ $t_1 = 25^{\circ}\text{C}$, $\varphi_1 = 82$ % được đốt nóng tới $t_2 = 85^{\circ}\text{C}$ rồi đưa vào buồng sấy. Không khí sau khi ra khỏi buồng sấy có nhiệt độ $t_3 = 40^{\circ}\text{C}$.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình sấy trên đồ thị i - d .
- Xác định độ chứa hơi, độ ẩm tương đối, entanpi của không khí tại các điểm nút.
- Xác định nhiệt lượng và lượng không khí cần thiết để bốc hơi 2kg nước trong vật sấy.

6.11. Dàn lạnh (AHU) của hệ thống điều hòa không khí có lưu lượng gió 9600kg/h. Không khí đi vào AHU có nhiệt độ 30°C , độ ẩm 65%. Không khí đi ra khỏi AHU có nhiệt độ 18°C , độ ẩm 90%.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình điều hòa trên đồ thị i - d .
- Xác định độ chứa hơi, entanpi của không khí trước và sau khi vào AHU.
- Xác định năng suất lạnh của AHU.
- Xác định lượng nước ngưng thoát ra trong mỗi giờ.

C — BÀI GIẢI VÍ DỤ

6.1. Tóm tắt

Không khí ẩm 1: $G_1 = 10\text{kg}$, $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 80\%$.

Không khí ẩm 2: $G_2 = 10\text{kg}$, $t_2 = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 60\%$.

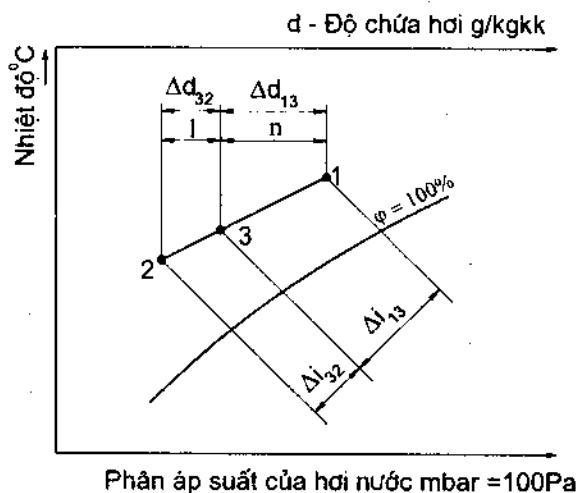
Xác định:

– Biểu diễn quá trình hoà trộn trên i–d

– t_3 , φ_3 , t_{s3} , d_3 , t_{u3}

– G_{kk3} , G_{hn3}

❖ **Tính toán:**



– Tra đồ thị i–d xác định được các thông số:

$$d_1 = 0,0216 \text{ kg/kg} \quad i_1 = 85,4 \text{ kJ/kg}$$

$$d_2 = 0,0087 \text{ kg/kg} \quad i_2 = 42,3 \text{ kJ/kg}$$

– Áp dụng các phương trình của quá trình hoà trộn.

$$\frac{i_1 - i_3}{i_3 - i_2} = \frac{\Delta i_{13}}{\Delta i_{32}} = \frac{G_2}{G_1} = n$$

$$\frac{d_1 - d_3}{d_3 - d_2} = \frac{\Delta d_{13}}{\Delta d_{32}} = \frac{G_2}{G_1} = n$$

Giải ra ta có:

$$i_3 = 63,8 \text{ kJ/kg}$$

$$d_3 = 0,01517 \text{ kg/kg}$$

– Tra đồ thị i–d ta xác định được các thông số của điểm hòa trộn t_3 , φ_3 , t_{s3} , t_{u3} .

$$t_3 = 25^\circ\text{C} \quad t_{s3} = 21^\circ\text{C}$$

$$\varphi_3 = 76,1\% \quad t_{u3} = 22^\circ\text{C}$$

– Ta có:

$$G_1 + G_2 = G_{kk3} + G_{hn3} = G_3$$

$$d_3 = \frac{G_{hn}}{G_{kk}}$$

Giải ra ta được:

$$G_{kk3} = 19,7 \text{ kg}$$

$$G_{hn3} = 0,3 \text{ kg.}$$

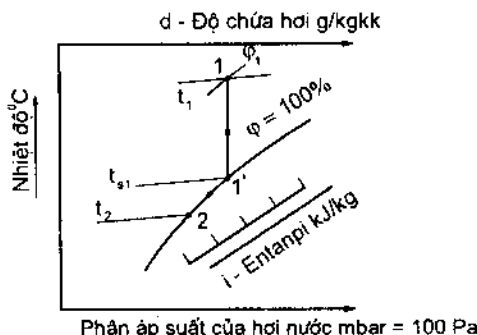
6.3. Tóm tắt

Không khí ẩm: $G = 50 \text{ kg}$, $t_1 = 25^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 80\%$;
Hạ nhiệt độ: $t_2 = 15^\circ\text{C}$

Xác định:

- Biểu diễn trên đồ thị i-d
- p_{hnt} , t_{s1} , d_1 , i_1 , t_{u1} ;
- Q , G_n (lượng nước ngưng).

❖ **Tính toán:**



– Tra đồ thị i-d ta có thể tìm được các thông số của điểm 1 :

$$\begin{aligned} p_{\text{hnt}} &= 0,0254 \text{ bar} & t_{s1} &= 21^\circ\text{C} \\ d_1 &= 0,016 \text{ kg/kg} & t_{u1} &= 22,3^\circ\text{C} \\ i_1 &= 65,8 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$t_2 < t_{s1}$ nên điểm 2 là điểm bão hoà

– Tra điểm 2 trên đồ thị i-d từ đó ta xác định được các thông số :

$$i_2 = 42 \text{ kJ/kg} \quad d_2 = 0,011 \text{ kg/kg}$$

– Nhiệt lượng đã được lấy đi :

$$Q = G_{\text{kk}} \Delta i = \frac{G}{d_1 + 1} (i_1 - i_2)$$

$$Q = \frac{50}{1 + 0,011} (65,8 - 42) = 1177 \text{ kJ}$$

– Lượng nước được ngưng tụ :

$$G_n = G_{\text{kk}} \Delta d = \frac{G}{d_1 + 1} (d_1 - d_2)$$

$$G_n = \frac{50}{1 + 0,011} (0,0254 - 0,011) = 0,26 \text{ kg.}$$

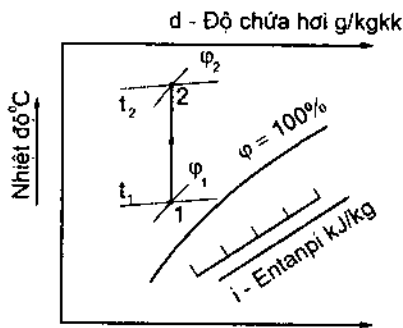
6.5. Tóm tắt

Không khí ẩm: $G_1 = 82 \text{ (kg)}$, $G_{\text{hnt}} = 2 \text{ (kg)}$,
 $t_1 = 40^\circ\text{C}$.
Cấp nhiệt đẳng độ chứa hơi: $t_2 = 90^\circ\text{C}$.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị i-d
- d_1 , i_1 , φ_1 và d_2 , i_2 , φ_2 ;
- Lượng nhiệt cần cấp: Q

❖ **Tính toán:**



Phân áp suất của hơi nước mbar = 100 Pa

– Độ chứa hơi của điểm 1:

$$G_{kk1} = G_1 - G_{hn1}$$

$$d_1 = \frac{G_{hn1}}{G_{kk1}}$$

$$d_1 = \frac{2}{82 - 2} = 0,025 \text{ kg/kg}$$

– Tra đồ thị i-d xác định được các thông số còn lại của điểm 1 :

$$i_1 = 104,6 \text{ kJ/kg} \quad \varphi_1 = 53 \%$$

– Quá trình cấp nhiệt là quá trình đẳng độ chứa hơi nên :

$$d_2 = d_1$$

– Tra đồ thị i-d ta xác định được các thông số điểm 2 :

$$i_2 = 157,2 \text{ kJ/kg} \quad \varphi_2 = 5,6 \%$$

– Nhiệt lượng cấp cho quá trình :

$$Q = G_{kk1} \cdot \Delta i$$

$$Q = (82 - 2)(157,2 - 104,6) = 4206 \text{ kJ}$$

6.6. Tóm tắt

Không khí ẩm: $G_1 = 121 \text{ kg}$, $\varphi_1 = 60\%$,
 $t_1 = 25^\circ\text{C}$.

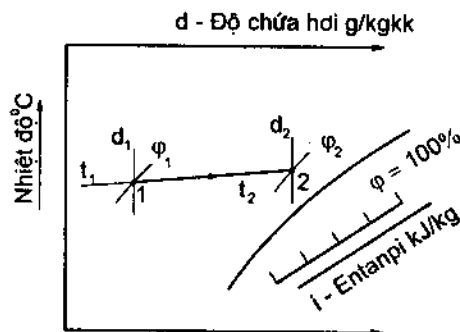
Tăng ẩm đẳng nhiệt: $\varphi_2 = 90\%$

Xác định:

– G_{kk1} , G_{hn1}

– G_n (lượng hơi nước cần thiết), Δi

❖ **Tính toán:**



Phân áp suất của hơi nước mbar = 100 Pa

– Tra đồ thị i-d ta xác định được độ chứa hơi của điểm 1 :

$$d_1 = 0,012 \text{ kg/kg}$$

– Khối lượng không khí khô và khối lượng hơi nước :

$$G_1 = G_{kk1} + G_{nn1}$$

$$d_1 = \frac{G_{nn1}}{G_{kk1}}$$

Giải ra ta được: $G_{kk1} = 119,6 \text{ kg}$

$$G_{nn1} = 1,423 \text{ kg.}$$

– Tra đồ thị i-d ta tìm được entanpi điểm 1

$$i_1 = 55,5 \text{ kJ/kg.}$$

– Phun hơi nước có nhiệt độ bằng nhiệt độ không khí ẩm (quá trình đẳng nhiệt) nên

$$t_2 = t_1 = 25^\circ\text{C}$$

– Tra thông số điểm 2 theo ($t = 25^\circ\text{C}$, $\varphi = 90\%$) ta có:

$$d_2 = 0,018 \text{ kg/kg ; } i_2 = 71 \text{ kJ/kg}$$

– Lượng ẩm cần thiết cho quá trình phun ẩm:

$$G_n = G_{kk1}(d_2 - d_1)$$

$$G_n = 119,8(0,018 - 0,012) = 0,73 \text{ kg}$$

– Độ biến thiên entanpi:

$$\Delta i = G_{kk1}(i_2 - i_1) = 119,8(71 - 55,5) = 1856,9 \text{ kJ}$$

6.8. Tóm tắt

Không khí ẩm: $d_1 = 22 \text{ g/kg} = 0,022 \text{ kg/kg}$;

$$t_1 = 70^\circ\text{C.}$$

Sấy ẩm đoạn nhiệt: $t_2 = 40^\circ\text{C}$

Lượng nước cần tách: $G_n = 7,5 \text{ kg/h}$

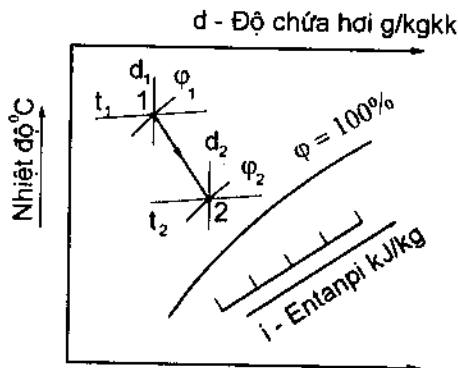
Xác định:

– Biểu diễn quá trình trên đồ thị i-d

– φ_2 , d_2 , i_2

– Lượng không khí cần thiết cho quá trình sấy.

❖ **Tính toán:**



Phân áp suất của hơi nước mbar = 100 Pa

– Điểm 1: $d_1 = 22 \text{ g/kg}$ và $t_1 = 70^\circ\text{C}$, tra đồ thị i-d tìm được:

$$i_1 = 128 \text{ kJ/kg}$$

– Quá trình sấy là quá trình đoạn nhiệt nên ta có:

$$i_2 = i_1 = 128 \text{ kJ/kg}$$

– Tra đồ thị i-d theo i_2 và t_2 ta xác định được các thông số của không khí sau khi ra khỏi buồng sấy :

$$d_2 = 0,034 \text{ kg/kg}$$

$$\varphi_2 = 71,3 \%$$

– Lượng không khí cần thiết cho quá trình sấy:

$$G = \frac{G_n}{d_2 - d_1}$$

$$G = \frac{7,5}{0,034 - 0,022} = 615,6 \text{ kg/h}$$

6.11. Tóm tắt

Không khí ẩm đi vào AHU: $G_1 = 9600 \text{ kg/h}$,

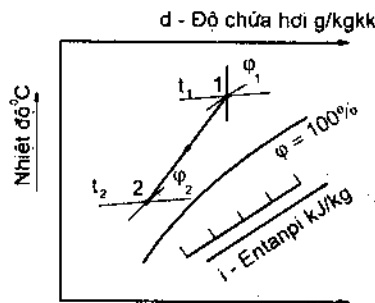
$t_1 = 30^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 65\%$

Không khí ẩm đi ra AHU: $t_2 = 18^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 90\%$.

Xác định:

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị i-d
- d_1 , i_1 và d_2 , i_2
- Năng suất lạnh của AHU.
- G_n ngưng thoát ra trong mỗi giờ.

❖ **Tính toán:**



Phân áp suất của hơi nước mbar = 100 Pa

- Tra đồ thị i-d theo t_1 và φ_1 ta xác định được các thông số của điểm 1 (trạng thái không khí ẩm đi vào AHU):

$$i_1 = 92,6 \text{ kJ/kg}$$

$$d_1 = 0,0244 \text{ kg/kg}$$

- Tra đồ thị i-d theo t_2 và φ_2 ta xác định được các thông số của điểm 2 (trạng thái không khí ẩm đi ra khỏi AHU):

$$i_2 = 47,5 \text{ kJ/kg}$$

$$d_2 = 0,0116 \text{ kg/kg}$$

- Năng suất lạnh của AHU:

$$Q_o = G_{kk} (i_1 - i_2)$$

Trong đó G_{kk} là lượng không khí khô qua máy điều hòa.

Lượng không khí khô có trong không khí ẩm được xác định dựa vào mối quan hệ:

$$G_1 = G_{kk1} + G_{nn1}$$

$$d_1 = \frac{G_{nn}}{G_{kk}}$$

$$G_{kk} = G_{kk1}$$

Giải ra ta được:

$$G_{kk} = 9371,3 \text{ kg/h} = 2,06 \text{ kg/s}$$

$$Q_o = 2,06(128 - 47,5) = 117,3 \text{ kW}$$

- Lượng nước ngưng thoát ra trong mỗi giờ:

$$G_n = G_{kk} (d_1 - d_2)$$

$$G_n = 9371,3(0,0244 - 0,0116) = 120 \text{ kg/h.}$$

CHƯƠNG 7

TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG TRONG CÔNG TRÌNH

A — TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1. Hiệu suất toàn bộ quá trình biến đổi từ nguồn năng lượng sơ cấp đến dạng năng lượng cuối cùng

$$\eta_{qt} = \eta_1 \dots \eta_i \dots \eta_n (\%)$$

η_i – Hiệu suất của quá trình biến đổi năng lượng thứ i .

η_{qt} – Hiệu suất của toàn bộ quá trình.

2. Chỉ số hiệu quả năng lượng thực của máy lạnh

Các chỉ số hiệu quả năng lượng thực của máy lạnh khi chạy 100% tải ở điều kiện vận hành tiêu chuẩn được định nghĩa và sử dụng phổ biến hiện nay như sau:

- Chỉ số hiệu quả (Coefficient of Performance - COP), Watt/Watt hoặc kW/kW

$$COP = \text{Công suất lạnh} / \text{Tổng công suất điện tiêu thụ (kW/kW)}$$

- Chỉ số hiệu quả năng lượng (Energy efficiency Ratio - EER), Watt/Watt hoặc Btu/W.h

$$EER = \text{Công suất lạnh} / \text{Tổng công suất điện tiêu thụ (Btu/W.h)}$$

- Chỉ số tiêu thụ điện (power input per Capacity - PIC) (kW/RT)

$$PIC = \text{Tổng công suất điện tiêu thụ} / \text{Công suất lạnh (kW/RT)}$$

$$1RT = 12.000 \text{ Btu/h} = 3,516 \text{ kW.}$$

Bảng 7.1. Chỉ số hiệu quả năng lượng thực của một số loại máy lạnh

TT	Loại máy lạnh	COP (kW/kW)	PIC (kW/RT)	Điều kiện vận hành
1.	Máy làm lạnh trực tiếp *Máy nén xoắn ốc (Scroll) – R22 (Nguồn PCV0328E và MDB – E – 2005) Tiêu thụ điện tính cho máy nén và quạt giải nhiệt	3,0 ÷ 3,30	1,17 ÷ 1,06	– Máy nén chạy 100% tải – Nhiệt độ không khí ngoài nhà 35°C – Nhiệt độ không khí khô/ướt trong nhà 27°C/19°C
2.1	Chiller giải nhiệt gió *Máy nén xoắn ốc (Scroll) – R22 (Nguồn form 150.62.EG2) tiêu thụ điện tính cho máy nén và quạt giải nhiệt	2,88 ÷ 2,95	1,22 ÷ 1,19	– Chiller chạy 100% tải – Nhiệt độ không khí ngoài nhà 35°C – Nhiệt độ nước lạnh 6,7°C

TT	Loại máy lạnh	COP (kW/kW)	PIC (kW/RT)	Điều kiện vận hành
2.2	Chiller giải nhiệt gió Máy nén trục vít (SCREW) – R134a (Nguồn Form 201.26EG 02) Tiêu thụ điện tính cho máy nén và quạt giải nhiệt	3,14 ÷ 3,22	1,12 ÷ 0,09	– Chiller chạy 100% tải – Nhiệt độ không khí ngoài nhà 35°C – Nhiệt độ nước lạnh 6,7°C
3.1	Chiller giải nhiệt nước – Máy nén trục vít kép – R22	4,62 ÷ 4,75	0,76 ÷ 0,74	– Chiller chạy 100% tải
3.2	– Máy nén trục vít đơn – R134a (nguồn RLC – PRC027 – EN) (Nguồn PM PFS – 04D) Tiêu thụ điện chỉ tính cho máy nén	5,86 ÷ 6,27	0,6 ÷ 0,56	– Nhiệt độ nước làm mát 29,4°C – Nhiệt độ nước lạnh 6,7°C
4.	Chiller giải nhiệt nước – Máy nén ly tâm chạy 100% tải – Máy nén ly tâm chạy 50% tải MCL R134a/R123 (Nguồn Chiller Rating output) Tiêu thụ điện chỉ tính cho máy nén	5,86 10,0	0,6 0,35	– Chiller chạy 100% tải và 50% tải – Nhiệt độ nước vào bình ngưng 32 ÷ 18°C – Nhiệt độ nước lạnh ra khỏi Chiller 7°C

3. Chỉ số tiêu thụ điện non tải tích hợp năm của Chiller theo ARI 550/590 2003 (Hoa Kỳ)

Số giờ vận hành 12h/ngày, 5 ngày/tuần, nhiệt độ không khí ngoài trời $\geq 12,8^{\circ}\text{C}$.

Theo ARI trị số non tải tích hợp năm của nhóm 4 được xác định như sau:

$$\text{IPLV} = \frac{1}{0,018/A + 0,501/B + 0,481/C + 0,0/D} \quad (\text{kW/RT})$$

Trong đó các chỉ số tiêu thụ điện A, B, C, D sẽ được nhà sản xuất máy lạnh cung cấp (bảng 7.2).

Bảng 7.2. Các chỉ số tiêu thụ điện của máy lạnh PIC

Công suất máy lạnh	Chỉ số tiêu thụ điện của máy lạnh PIC (kW/RT)		Tỷ lệ số giờ chạy trong năm (Mỷ)
100% công suất lạnh	A	Do nhà sản xuất cung cấp	0,018 (1,8%)
75% công suất lạnh	B		0,501 (50,1%)
50% công suất lạnh	C		0,481 (48,1%)
25% công suất lạnh	D		0,0 (0,0%) ⁽¹⁾

Theo phương pháp tính IPLV của ARI người ta có thể tính được tỷ lệ số giờ chạy trong năm theo điều kiện khí hậu châu Âu và Hà Nội. Bảng 7.3 cho biết tỷ lệ số giờ chạy trong năm theo công thức tính IPLV ở điều kiện khí hậu châu Âu (nguồn YORK - GB 12/2006) và điều kiện khí hậu Hà Nội (Tạp chí Xây dựng số 456 - 7/2006).

Bảng 7.3. Bảng xác định tỷ lệ số giờ chạy trong năm theo công thức tính IPLV

Công suất máy lạnh	Chỉ số tiêu thụ điện của máy lạnh PIC (kW/RT)		Tỷ lệ số giờ chạy trong năm	
			Châu Âu	Hà Nội
100% công suất lạnh	A	Do nhà sản xuất cung cấp	3%	2,1 %
75% công suất lạnh	B		33%	41,1%
50% công suất lạnh	C		41%	56,8%
25% công suất lạnh	D		23%	0,0 %

4. Công thức xác định tiêu thụ điện của hệ thống điều hoà không khí

Đối với hệ thống ĐHKK sử dụng Chiller hoặc máy làm lạnh trực tiếp, để đánh giá đúng tổng tiêu thụ điện của hệ thống chúng ta có thể sử dụng công thức sau:

$$EC_{ht} = \sum_{i=1}^n Q_{2i} (IPLV)_i h_i + \sum_{i=1}^n p_i h_i \quad (\text{kWh/năm})$$

EC_{ht} : Tổng tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK trong 1 năm (kWh/năm).

Q_{2i} : Công suất lạnh của Chiller thứ i, (RT)

$(IPLV)_i$: Trị số tiêu thụ điện trung bình năm của Chiller thứ i (kW/RT).

h_i : Thời lượng vận hành của Chiller/ bơm/ quạt... thứ i (h).

P_i : Công suất điện của thiết bị phụ thứ i (Bơm, AHU, FCU,...) (kW).

n : Số lượng thiết bị có trong hệ thống.

5. Tiêu thụ điện của hệ thống điều hoà không khí sử dụng Chiller

Bảng 7.4. Bảng xác định tiêu thụ điện của các thiết bị trong hệ thống ĐHKK sử dụng Chiller giải nhiệt gió

	Công nghệ	Máy lạnh		Quạt		Bơm nước lạnh
		Máy nén	Quạt làm mát	AHU	FCU	
Công suất điện tiêu thụ (kW)	Không sử dụng biến tần (tính theo công thức định danh)	—	—	—	—	—
	Vận hành bằng biến tần (tính theo IPLV)	—	—	—	—	—

**Bảng 7.5. Bảng xác định tiêu thụ điện của các thiết bị trong hệ thống ĐHKK
sử dụng Chiller giải nhiệt nước**

	Công nghệ	Máy nén	Bơm nước lạnh	Bơm nước giải nhiệt	Quạt tháp giải nhiệt	Quạt	
						AHU	FCU
Công suất điện tiêu thụ (kW)	Không sử dụng biến tần (tính theo công thức định danh)	-	-	-	-	-	-
	Vận hành bằng biến tần (tính theo IPLV)	-	-	-	-	-	-

Để xác định tiêu thụ điện của bơm, quạt... điều khiển bằng biến tần (VSD) có thể sử dụng công thức :

$$IPLV_{q,b} = \frac{1}{0,018/A + 0,501/B + 0,481/C + 0,0/D} \quad (kW)$$

Trong đó A, B, C, D là tiêu thụ điện của bơm, quạt... khi chạy 100%, 75%, 50%, 25% lưu lượng ở cột áp thiết kế, những giá trị này có thể xác định trên đồ thị đặc tuyến của bơm, quạt...

Đối với bơm nước có thể tính toán tiêu thụ điện theo công thức thuỷ lực sau:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

P_2, P_1 (kW) : Công suất tiêu thụ khi bơm chạy ở tốc độ n_2, n_1 (v/min).

Dựa vào đồ thị đặc tuyến bơm ly tâm có thể xác định tiêu thụ điện của các điểm khi lưu lượng thay đổi.

6. Tiêu thụ điện của hệ thống điều hoà không khí khi sử dụng máy làm lạnh trực tiếp

**Bảng 7.6. Bảng xác định tiêu thụ điện của các thiết bị trong hệ thống ĐHKK
sử dụng máy làm lạnh trực tiếp**

	Công nghệ	Máy lạnh		Quạt	
		Máy nén	Quạt làm mát	AHU	FCU
Công suất điện tiêu thụ (kW)	Không sử dụng biến tần (tính theo công thức định danh)	-	-	-	-
	Vận hành bằng biến tần (tính theo IPLV)	-	-	-	-

BẢNG PHỤ LỤC

Phụ lục 7.1. MỨC PHỤ TẢI NHIỆT CHO SINH HOẠT

Loại công trình	Đơn vị	Nhiệt độ (°C)	Tiêu thụ nhiệt max (kWh*/ngày)
Biệt thự	Hằng ngày cho 1 người	40 ÷ 50	2,8 ÷ 4,5
Khách sạn	Hằng ngày cho 1 phòng	40 ÷ 50	4,8 ÷ 6,5
Bệnh viện	Hằng ngày cho 1 giường bệnh với WC chung	40 ÷ 50	2,5 ÷ 4,0
Văn phòng	Hằng ngày cho 1 người	40	0,2 ÷ 0,4

*1 kWh = 860 kcal

Phụ lục 7.2. HỆ SỐ SỬ DỤNG ĐỒNG THỜI K

Loại hình	Số lượng người trong 1 biệt thự, khách sạn, số giường bệnh trong bệnh viện													
	35	50	60	75	100	150	200	250	300	450	500	600	900	1000
Biệt thự		6,58			5,12	4,49	4,13	3,38	3,7		3,28			2,86
Khách sạn			9,65			6,84			5,61	4,97		4,58	4,19	
Bệnh viện	7,62	4,55			3,54		2,93		2,6		2,23			1,95

Phụ lục 7.3. DÂY CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Công suất (kW)	0,18	0,22	0,30	0,37	0,55	0,75	1,1	1,5	1,8	2,2	3,0	3,7	4,5	5,5
	7,5	9	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	78	90	110
	132	160	185	225	250	300	400							

Phụ lục 7.4. THÔNG SỐ KỸ THUẬT BÌNH ĐUN NƯỚC NÓNG BẰNG ĐIỆN CỦA 1 SỐ HÃNG

a) Hãng Funiki

Nội dung	Đơn vị	HP 15	HP 30	HP 50
Dung tích	L	15	30	50
Công suất	W	2500	2500	2500
Điện áp	V	220	220	220
Thời gian gia nhiệt	giờ	0,5/0,3	0,9/0,5	1,8/0,9
Nhiệt độ hoạt động tối đa	°C	75	75	75
Nhiệt độ sau 6h	%	90	90	90
Áp suất hoạt động tối đa	bar	8	8	8
Khối lượng tịnh	kg	9,2	13,5	18

b) Hãng Ariston

Nội dung	Đơn vị	Ti 15	Ti 30	Ti 40	Ti 50
Dung tích	L	15	30	40	50
Công suất	W	1500/2500	1500/2500	2500	2500
Điện áp	V	230	230	230	230
Thời gian gia nhiệt	giờ:phút	0:26/0:15	0:51/0:31	0:41	0:51
Nhiệt độ tối đa	°C	75	75	75	75
Tổn thất nhiệt	kWh/24h	0,66	0,81	0,76	0,96
Áp suất hoạt động tối đa	bar	7,5	7,5	7,5	7,5
Trọng lượng tịnh	kg	7,5	12,8	16,2	21,5

Phụ lục 7.5. THÔNG SỐ KỸ THUẬT MỘT SỐ LOẠI BÌNH ĐUN NƯỚC NÓNG BẰNG GAS

Nội dung	Đơn vị	Thông số					
Loại gas sử dụng		LPG					
Lưu lượng nước nóng	lít/phút	3	4	5	6	7	8
Tiêu thụ gas	(kg/h)	0,77	1,03	1,28	1,54	1,70	2,05
Độ chênh nhiệt độ nước ra/vào	°C	40					
Hiệu suất nhiệt	%	80					
Áp lực gas	Pa	2800					
Áp lực nước	MPa	0,015 ÷ 0,8					
Đường kính ống nước nóng/lạnh	mm	25					
Đường kính ống gas	mm	9,5					

Phụ lục 7.6. THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA LÒ HƠI ĐỐT THAN

Model		LT0,3/7	LT0,5/8	LT0,75/8	LT1/8E	LT2/8E	LT1,5/10E
Năng suất hơi (kg/h)		300	500	750	1000	2000	1500
Áp lực max (kg/cm ³)		7	8	8	8	8	10
Tiêu thụ than (kg/h)		45	70	110	140	280	210
Loại than sử dụng		Than antraxit, nhiệt trị thấp làm việc (6200-6500) kcal/kg					
Tiêu thụ điện (kW)	Quạt đẩy	0,3	0,75	1,1	1,1	2,2	1,5
	Quạt hút	-	-	3	3	5,5	4,5
	Bơm nước	0,3	0,45	0,75	1,1	1,8	1,8

Phụ lục 7.7. THÔNG SỐ KỸ THUẬT CƠ BẢN CỦA LOẠI LÒ HƠI TRỰC LƯU

Năng suất hơi (kg/h)		100	500	1000	2000
Năng suất nhiệt (kW)		60	300	600	1200
Áp lực max (bar)		10	10	10	10
Tiêu thụ nhiên liệu (kg/h)	Dầu Diesel	5,2	26,2	52,3	104,7
	Dầu nặng B	5,5	27,5	55,0	110,0
	Gas LPG	4,5	22,5	44,9	89,8
Tiêu thụ điện (kW)	Quạt	0,25	0,75	1,5	3,75
	Bơm dầu	0,25	0,4	0,4	0,4
	Bơm nước cấp	0,4	0,75	1,5	2,2
	Gia nhiệt dầu	2,0	3,0	6,0	6,0

Phụ lục 7.8. THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA BƠM NHIỆT DÂN DỤNG CUNG CẤP NƯỚC NÓNG

Loại thiết bị		MGH-F9W	MGH-F175W/s	MGH-F35W/S
Công suất nhiệt	kW	9,0	17,5	35,0
Tiêu thụ điện	kW	2,3	4,5	9,0
Dòng điện	A	11,0	8,6	16,6
Lưu lượng nước nóng	m³/h	0,26	0,5	1,0
Công suất điện max	kW	3,1	5,8	11,8
Dòng điện max	A	14,8	9,8	20,2
Nguồn điện		220V- 50/60Hz	380V 3N-50/60Hz	
Điều khiển vận hành		Thủ công, tự động đóng và mở, bảo vệ và cảnh báo nhiều nấc		
Số lượng và công suất máy nén		2,2 kWx1	4,25kWx1	4,25kWx2
Loại môi chất		R22		
Lượng môi chất lạnh	g	1200	2200	2300*2
Nhiệt độ nước nóng	°C	60 (cố định)		
Đường kính ống nước vào	mm	DN15	DN20	DN25
Đường kính ống nước ra	mm	DN15	DN20	DN25
Áp lực max của hệ thống nước	MPa	1,0	1,0	1,0
Số lượng và công suất quạt	W	125	125*2	250*2
Vị trí lắp quạt		Đỉnh	Bên cạnh	Đỉnh
Kích thước (WxHxL)	mm	555x840x555	940x1245x340	1290x1540x750
Trọng lượng thiết bị	kg	77	135	290
Độ ồn	dB(A)	45	54	58

Phụ lục 7.9. CÔNG SUẤT CÁC LOẠI BƠM NHIỆT CÔNG NGHIỆP, THR 040-100, 50Hz

THR Model	Nhiệt độ nguồn nhiệt	Nhiệt độ nước nóng cung cấp											
		110°F (43,3 °C)		120°F (48,9 °C)		130°F (54,4 °C)		140°F (60,0 °C)		150°F (65,6 °C)		160°F (71,7 °C)	
		Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP
040	55°F (12,8 °C)	369,6	4,7	362,1	4,1	353,9	3,7	344,9	3,3	335,0	3,0	324,2	2,7
	65°F (18,3 °C)	434,7	5,5	425,7	4,7	415,7	4,1	404,9	3,6	393,0	3,3	380,1	2,9
	75°F (23,9 °C)	508,5	6,6	497,8	5,5	485,9	4,7	472,9	4,1	458,8	3,6	443,3	3,2
	85°F (29,4 °C)	592,2	8,2	579,4	6,6	565,3	5,5	549,9	4,7	533,1	4,1	514,8	3,6
045	55°F (12,8 °C)	458,9	4,5	450,2	4,0	440,6	3,5	429,9	3,2	418,2	2,9	405,4	2,6
	65°F (18,3 °C)	538,9	5,3	528,5	4,6	516,8	4,0	504,0	3,5	490,0	3,2	474,6	2,8
	75°F (23,9 °C)	629,7	6,4	617,1	5,3	603,2	4,6	588,0	4,0	571,2	3,5	552,8	3,1
	85°F (29,4 °C)	732,3	7,9	717,4	6,4	700,9	5,3	682,7	4,6	662,8	4,0	641,0	3,5
060	55°F (12,8 °C)	561,7	4,9	549,3	4,3	535,8	3,8	521,0	3,4	505,1	3,1	487,7	2,8
	65°F (18,3 °C)	661,8	5,8	646,9	5,0	630,6	4,3	612,9	3,8	593,8	3,4	572,9	3,1
	75°F (23,9 °C)	775,7	7,0	757,9	5,8	738,5	5,0	717,4	4,3	694,5	3,8	669,7	3,4
	85°F (29,4 °C)	905,0	8,7	883,9	7,0	860,8	5,8	835,8	5,0	808,6	4,3	779,2	3,8
070	55°F (12,8 °C)	683,4	4,6	669,9	4,1	654,9	3,6	638,4	3,2	620,5	2,9	600,8	2,6
	65°F (18,3 °C)	803,3	5,4	787,0	4,7	769,0	4,1	749,2	3,6	727,6	3,2	704,0	2,9
	75°F (23,9 °C)	939,4	6,5	919,9	5,5	898,4	4,7	874,8	4,1	849,0	3,6	820,8	3,2
	85°F (29,4 °C)	1093,5	8,1	1070,3	6,5	1044,8	5,5	1016,8	4,7	986,2	4,1	952,7	3,6
080	55°F (12,8 °C)	755,7	4,8	739,6	4,2	722,0	3,7	702,9	3,4	682,0	3,0	659,2	2,7
	65°F (18,3 °C)	889,6	5,6	870,3	4,8	849,1	4,2	826,1	3,7	801,0	3,3	773,7	3,0
	75°F (23,9 °C)	1041,8	6,8	1018,7	5,7	993,5	4,9	966,0	4,2	936,0	3,7	903,4	3,3
	85°F (29,4 °C)	1214,5	8,5	1187,0	6,8	1157,1	5,7	1124,4	4,9	1088,9	4,2	1050,2	3,7
085	55°F (12,8 °C)	824,7	4,8	807,2	4,2	788,1	3,7	767,3	3,3	744,5	3,0	719,8	2,7
	65°F (18,3 °C)	970,7	5,6	949,7	4,8	926,7	4,2	901,7	3,7	874,4	3,3	844,7	3,0
	75°F (23,9 °C)	1136,7	6,8	1111,6	5,7	1084,2	4,8	1054,2	4,2	1021,7	3,7	988,2	3,3
	85°F (29,4 °C)	1324,9	8,4	1295,1	6,8	1265,5	5,7	1227,0	4,8	1188,4	4,2	1146,3	3,7
095	55°F (12,8 °C)	929,5	4,9	909,0	4,3	886,6	3,8	862,3	3,4	835,9	3,1	807,3	2,8
	65°F (18,3 °C)	1095,0	5,8	1070,4	5,0	1043,5	4,3	1014,3	3,8	982,7	3,4	948,3	3,0
	75°F (23,9 °C)	1283,4	6,9	1254,0	5,8	1219	5,0	1187,1	4,3	1149,3	3,8	1108,3	3,4
	85°F (29,4 °C)	1497,3	8,7	1462,3	7,0	1424,3	5,8	1383,0	5,0	1338,1	4,3	1289,5	3,8

Phụ lục 7.9. CÔNG SUẤT CÁC LOẠI BƠM NHIỆT CÔNG NGHIỆP, THR 040-100, 50Hz (tiếp)

THR Model	Nhiệt độ nguồn nhiệt	Nhiệt độ nước nóng cung cấp											
		110°F (43,3 °C)		120°F (48,9 °C)		130°F (54,4 °C)		140°F (60,0 °C)		150°F (65,6 °C)		160°F (71,7 °C)	
		Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP
100	55°F (12,8 °C)	983,7	5,0	961,7	4,3	937,8	3,9	911,7	3,4	883,5	3,1	852,9	2,8
	65°F (18,3 °C)	1159,4	5,8	1132,9	5,0	1104,1	4,4	1072,9	3,8	1039,0	3,4	1002,2	3,1
	75°F (23,9 °C)	1359,3	7,0	1327,7	5,9	1293,3	5,0	1256,0	4,4	1215,6	3,8	1171,8	3,4
	85°F (29,4 °C)	1586,3	8,8	1548,8	7,0	1508,0	5,9	1463,7	5,0	1415,8	4,3	1363,8	3,8
110	55°F (12,8 °C)	1065,5	4,8	1043,1	4,2	1018,5	3,7	991,7	3,3	962,5	3,0	930,6	2,7
	65°F (18,3 °C)	1253,9	5,6	1227,0	4,8	1197,5	4,2	1165,2	3,7	1130,1	3,3	1091,9	3,0
	75°F (23,9 °C)	1468,1	6,7	1435,9	5,6	1400,7	4,8	1362,2	4,2	1320,3	3,7	1274,8	3,3
	85°F (29,4 °C)	1722,0	8,4	1672,8	6,8	1630,9	5,7	1585,3	4,8	1535,6	4,2	1481,5	3,7
115	55°F (12,8 °C)	1087,4	5,0	1063,0	4,4	1036,4	3,9	1007,5	3,5	976,2	3,1	942,2	2,8
	65°F (18,3 °C)	1281,7	5,8	1252,3	5,0	1220,3	4,4	1185,7	3,9	1148,1	3,4	1107,3	3,1
	75°F (23,9 °C)	1502,9	7,0	1467,8	5,9	1429,6	5,0	1388,2	4,4	1343,4	3,8	1294,8	3,4
	85°F (29,4 °C)	1754,1	8,8	1712,4	7,1	1667,1	5,9	1618,0	5,0	1564,8	4,4	1507,2	3,8
120	55°F (12,8 °C)	1187,8	4,9	1162,0	4,3	1133,8	3,8	1103,2	3,4	1069,9	3,0	1033,6	2,8
	65°F (18,3 °C)	1398,8	5,7	1367,8	4,9	1334,0	4,3	1297,2	3,8	1257,2	3,4	1213,7	3,0
	75°F (23,9 °C)	1638,9	6,9	1601,9	5,7	1561,5	4,9	1517,6	4,3	1469,8	3,8	1418,0	3,3
	85°F (29,4 °C)	1911,3	8,6	1867,4	6,9	1819,4	5,8	1767,3	4,9	1710,6	4,3	1649,1	3,7
130	55°F (12,8 °C)	1288,5	4,8	1261,4	4,2	1231,8	3,7	1199,4	3,3	1164,1	3,0	1125,6	2,7
	65°F (18,3 °C)	1516,4	5,6	1483,8	4,8	1448,1	4,2	1409,2	3,7	1366,8	3,3	1320,7	3,0
	75°F (23,9 °C)	1775,3	6,7	1736,4	5,6	1693,9	4,8	1647,4	4,2	1596,8	3,7	1541,7	3,3
	85°F (29,4 °C)	2068,9	8,4	2022,7	6,8	1972,2	5,6	1917,1	4,8	1857,0	4,2	1791,7	3,7
145	55°F (12,8 °C)	1397,0	5,0	1365,3	4,4	1330,9	3,9	1293,6	3,5	1253,1	3,1	1209,3	2,8
	65°F (18,3 °C)	1646,9	5,9	1608,8	5,0	1567,5	4,4	1522,6	3,9	1474,1	3,5	1421,4	3,1
	75°F (23,9 °C)	1931,4	7,1	1886,0	5,9	1836,6	5,0	1783,1	4,4	1725,2	3,9	1662,4	3,4
	85°F (29,4 °C)	2254,6	8,8	2200,7	7,1	2142,1	5,9	2078,6	5,0	2009,9	4,4	1935,5	3,8
155	55°F (12,8 °C)	1486,7	4,9	1453,8	4,3	1417,9	3,8	1378,9	3,4	1336,6	3,1	1209,7	2,8
	65°F (18,3 °C)	1751,6	5,8	1712,1	5,0	1669,0	4,3	1622,2	3,8	1571,3	3,4	1516,2	3,1
	75°F (23,9 °C)	2053,2	7,0	2005,9	5,8	1954,5	5,0	1898,6	4,3	1838,0	3,8	1772,2	3,4

Phụ lục 7.9. CÔNG SUẤT CÁC LOẠI BƠM NHIỆT CÔNG NGHIỆP, THR 040-100, 50Hz (tiếp)

THR Model	Nhiệt độ nguồn nhiệt	Nhiệt độ nước nóng cung cấp											
		110°F (43,3 °C)		120°F (48,9 °C)		130°F (54,4 °C)		140°F (60,0 °C)		150°F (65,6 °C)		160°F (71,7°C)	
		Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP	Cap. (MBH)	COP
165	55°F (12,8 °C)	1605,3	4,7	1572,8	4,1	1537,1	3,6	1497,9	3,3	1455,1	2,9	1408,4	2,7
	65°F (18,3 °C)	1887,6	5,5	1848,6	4,7	1805,6	4,1	1758,5	3,6	1707,1	3,3	1651,0	2,9
	75°F (23,9 °C)	2208,2	6,6	2161,5	5,5	2110,2	4,7	2054,0	4,1	1992,7	3,6	1925,7	3,2
	85°F (29,4 °C)	2571,4	8,2	2515,9	6,6	2455,0	5,5	2388,3	4,7	2315,5	4,1	2236,0	3,6
175	55°F (12,8 °C)	1738,4	4,4	1707,2	3,9	1672,5	3,5	1633,9	3,1	1591,4	2,8	1544,5	2,5
	65°F (18,3 °C)	2039,2	5,1	2001,7	4,4	1959,8	3,9	1913,5	3,4	1862,3	3,1	1806,0	2,8
	75°F (23,9 °C)	2379,8	6,2	2334,9	5,2	2284,9	4,4	2229,5	3,9	2168,4	3,4	2101,2	3,1
	85°F (29,4 °C)	2764,6	7,7	2711,2	6,2	2651,8	5,2	2586,0	4,4	2513,4	3,9	2433,6	3,4
185	55°F (12,8 °C)	1789,5	4,6	1754,7	4,0	1716,3	3,6	1674,0	3,2	1627,6	2,9	1576,9	2,6
	65°F (18,3 °C)	2102,5	5,4	2060,6	4,6	2014,4	4,0	1963,6	3,6	1907,9	3,2	1846,9	2,9
	75°F (23,9 °C)	2457,5	6,4	2407,5	5,4	2352,3	4,6	2291,6	4,0	2225,1	3,6	2152,3	3,2
	85°F (29,4 °C)	2859,3	8,0	2799,9	6,5	2734,3	5,4	2662,2	4,6	2583,3	4,0	2496,9	3,5
195	55°F (12,8 °C)	1928,6	4,3	1895,9	3,8	1859,2	3,4	1818,2	3,0	1772,8	2,7	1722,5	2,5
	65°F (18,3 °C)	2260,0	5,0	2220,6	4,3	2176,4	3,8	2127,1	3,4	2072,5	3,0	2012,1	2,7
	75°F (23,9 °C)	2634,8	6,0	2587,7	5,0	2534,8	4,3	2475,9	3,8	2410,6	3,4	2338,5	3,0
	85°F (29,4 °C)	3057,8	7,5	3001,7	6,0	2938,8	5,1	2868,8	4,3	2791,3	3,8	2705,7	3,3
210	55°F (12,8 °C)	2070,1	4,2	2038,1	3,7	2001,8	3,3	1960,9	2,9	1915,1	2,7	1864,1	2,4
	65°F (18,3 °C)	2421,9	4,8	2383,4	4,2	2339,6	3,7	2290,3	3,3	2235,2	2,9	2173,9	2,6
	75°F (23,9 °C)	2819,0	5,8	2772,9	4,9	2720,5	4,2	2661,6	3,7	2595,7	3,3	2522,5	2,9
	85°F (29,4 °C)	3266,3	7,2	3211,4	5,8	3149,1	4,9	3079,0	4,2	3000,8	3,7	2913,7	3,2

Phụ lục 7.10a. THÔNG SỐ KỸ THUẬT MÁY LÀM LẠNH NƯỚC – BƠM NHIỆT CÔNG NGHIỆP (CHILLER – HEATPUMP) CUNG CẤP NƯỚC LẠNH 7°C HOẶC NƯỚC NÓNG 45°C

Model MHS F ST			50,1	60,1	70,1	80,1	100,1	120,1	135,1	150,1	170,1	185,1
Công suất lạnh (R22)	kW		170	205	240	280	360	422	455	525	625	654
	USRT		48	58	68	80	102	120	129	149	178	186
	x10 ⁴ kcal/h		15	18	21	24	31	36	39	45	54	56
Công suất nhiệt (R22)	kW		179	215	252	294	378	443	478	551	656	687
	x10 ⁴ kcal/h		15	19	22	25	33	37	41	47	56	59
Số chu trình			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Phạm vi điều chỉnh tải			0,25 – 100%, liên tục									
Máy nén	Loại		Trục vít nửa kín									
	Số lượng		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Công suất động	kW	49	59	69	78	102	120	126	149	182	170
Quạt	Số lượng		4	4	6	6	8	8	8	10	10	12
	Lưu lượng gió	x10 ⁴ m ³ /h	8,8	8,8	13,2	13,2	17,6	17,6	17,6	22	22	26,4
	Công suất	kW	8	8	12	12	16	16	16	20	20	24
Giàn bay hơi	Số lượng		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Lưu lượng nước	m ³ /h	29,2	35,3	41,3	48,2	61,9	72,6	78,3	90,3	107,5	113,5
	Tổn thất áp suất	KPa	38	49	40	51	44	46	55	50	65	76
Kích thước	L	mm	2850	2850	3200	3200	4100	4100	4100	5000	5000	5900
	W	mm	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230	2230
	H	mm	2285	2285	2285	2285	2360	2360	2360	2360	2360	2360
Trọng lượng	Khi vận hành	kg	4410	4450	4480	4500	5000	5200	5200	5440	5830	7610
	Khi vận chuyển	kg	4260	4300	4330	4350	4850	5050	5050	5260	5650	7420

Ghi chú:

1. Công suất lạnh được tính với nhiệt độ nước vào/ra Chiller là 12°C/7°C, nhiệt độ môi trường 35°C.
2. Công suất nhiệt được tính với nhiệt độ nước vào/ra Chiller là 40°C/45°C.

**Phụ lục 7.10b. THÔNG SỐ VẬN HÀNH MÁY LÀM LẠNH NƯỚC – BƠM NHIỆT
KHI CHẠY Ở CHẾ ĐỘ LÀM LẠNH**

Model MHS F ST R22	Nhiệt độ nước lạnh	Nhiệt độ ngưng tụ (°C)															
		25		28		30		35		40		42		45		48	
		Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện
		kW															
050.1	4	168	51	164	52	161	52	153	54	145	57	142	58	138	60	133	62
	5	175	52	170	52	167	53	159	55	151	58	148	59	143	61	138	63
	6	181	53	176	53	173	54	164	56	156	59	153	57	148	62	143	64
	7	187	54	182	54	179	55	170	57	161	60	158	61	153	63	148	65
	8	193	55	188	55	184	56	176	58	167	61	163	62	158	64	153	66
	9	200	56	194	56	190	57	181	59	172	62	169	63	163	65	158	67
060.1	4	203	60	198	61	194	61	185	64	175	67	172	68	166	70	160	73
	5	211	61	205	62	201	62	191	65	182	68	178	69	172	71	166	74
	6	218	62	212	63	208	64	198	66	188	69	184	70	178	73	172	75
	7	226	63	219	64	215	65	205	67	195	70	191	71	184	74	178	76
	8	233	64	227	65	222	66	212	68	201	71	197	73	190	75	184	78
	9	241	65	234	66	230	67	219	69	208	73	203	74	197	77	190	79
070.1	4	233	69	226	70	222	71	212	73	201	76	197	78	190	81	184	83
	5	241	70	234	71	230	72	219	74	208	78	203	79	197	82	191	85
	6	250	71	226	72	222	73	227	76	201	79	197	81	190	83	197	86
	7	259	72	235	73	230	74	235	77	208	81	204	82	197	85	204	88
	8	267	74	243	75	239	76	243	78	231	82	211	84	204	86	211	89
	9	276	75	252	76	247	77	251	80	223	83	218	85	211	88	218	91
080.1	4	277	80	270	81	265	82	252	85	239	89	234	91	227	94	219	98
	5	288	82	280	83	275	84	261	87	248	91	243	93	235	96	227	99
	6	298	83	290	84	284	85	271	88	257	92	252	94	243	97	235	101
	7	308	85	300	86	294	87	280	90	266	94	260	96	252	99	243	103
	8	318	86	310	87	304	88	289	92	275	96	269	98	260	101	251	105
	9	329	88	320	89	314	90	299	93	284	98	278	100	269	103	260	106
100.1	4	357	105	347	107	340	108	324	112	308	117	301	120	292	124	282	128
	5	370	107	360	109	353	110	336	114	319	119	312	122	302	126	292	130
	6	383	109	373	111	366	112	348	116	331	121	324	124	313	128	303	132
	7	396	111	385	113	378	114	360	118	342	123	335	126	324	130	313	135
	8	409	113	398	115	391	116	372	120	353	126	346	128	335	132	323	137
	9	423	115	411	117	403	118	384	122	365	128	357	131	345	135	334	140

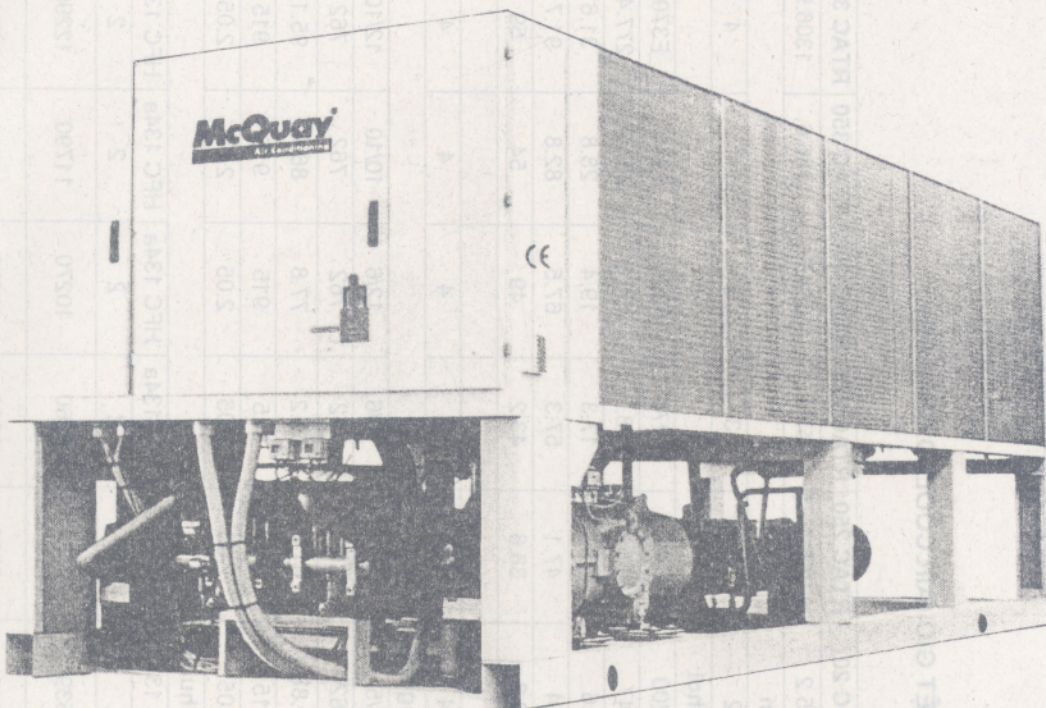
**Phụ lục 7.10 b. THÔNG SỐ VẬN HÀNH MÁY LÀM LẠNH NƯỚC – BƠM NHIỆT
KHI CHẠY Ở CHẾ ĐỘ LÀM LẠNH (tiếp theo)**

Model MHS F ST R22	Nhiệt độ nước lạnh	Nhiệt độ ngưng tụ (°C)															
		25		28		30		35		40		42		45		48	
		Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện
		kW															
120.1	4	418	121	407	123	399	125	380	129	361	135	353	138	342	142	330	147
	5	434	123	422	125	414	127	394	131	374	137	366	140	354	145	342	150
	6	449	126	437	127	428	129	408	134	387	140	379	143	367	147	355	153
	7	464	128	452	130	443	131	422	136	401	142	392	145	380	150	367	155
	8	480	130	467	132	458	134	436	138	414	145	405	148	392	153	379	158
	9	495	133	482	134	473	136	450	141	427	147	418	150	405	155	391	161
135.1	4	451	127	439	129	430	130	410	135	389	141	381	144	368	149	356	154
	5	468	129	455	131	446	132	425	137	403	143	395	146	382	151	369	157
	6	484	131	471	133	462	135	440	140	418	146	409	149	396	154	382	159
	7	501	134	487	135	478	137	455	142	432	149	423	152	409	157	395	162
	8	517	136	503	138	494	139	470	145	446	151	437	154	423	159	409	165
	9	534	138	519	140	510	142	485	147	461	154	451	157	436	162	422	168
150.1	4	520	151	506	153	496	155	473	160	449	168	439	171	425	177	411	183
	5	539	153	525	156	515	157	490	163	465	171	456	174	441	180	426	186
	6	559	156	543	158	533	160	508	166	482	174	472	177	456	183	441	190
	7	578	159	562	161	551	163	525	169	499	177	488	180	472	186	456	193
	8	597	162	581	164	570	166	542	172	515	180	504	184	488	190	471	196
	9	616	165	599	167	588	169	560	175	532	183	520	187	504	193	487	200
170.1	4	619	180	602	183	591	185	563	192	534	201	523	205	506	211	489	219
	5	642	183	625	186	613	188	583	195	554	204	542	208	525	215	507	223
	6	665	187	647	189	635	191	604	198	574	208	562	212	543	219	525	227
	7	688	190	669	193	656	195	625	202	594	211	581	216	562	223	543	231
	8	711	193	691	196	678	198	646	206	613	215	600	219	581	227	561	235
	9	734	197	713	200	700	202	666	209	633	219	620	223	599	231	579	239
185.1	4	648	173	630	176	618	178	589	184	559	193	547	197	530	203	512	210
	5	672	176	654	179	641	181	611	187	580	196	568	200	549	207	531	214
	6	696	179	677	182	664	184	632	191	600	199	588	203	569	210	550	218
	7	720	182	700	185	687	187	654	194	621	203	608	207	588	214	568	221
	8	744	186	723	188	710	191	676	197	642	207	628	211	608	218	587	225
	9	768	189	747	192	732	194	697	201	662	210	648	215	627	222	606	230

**Phụ lục 7.10c. THÔNG SỐ VẬN HÀNH MÁY LÀM LẠNH NƯỚC – BƠM NHIỆT
KHI CHẠY Ở CHẾ ĐỘ BƠM NHIỆT**

Model MHS F ST R22	Nhiệt độ nước lạnh	Nhiệt độ bay hơi (°C)															
		-15		-10		-7		-4		0		5		7		10	
		Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện	Công suất lạnh	Tiêu thụ điện
		kW															
050.1	35	86	50	109	41	123	43	137	46	156	50	179	54	188	55	202	58
	40	84	52	106	43	120	46	134	49	152	52	168	57	183	58	197	61
	45	81	55	103	45	117	48	130	51	147	55	169	60	179	58	191	64
	50	79	58	100	47	113	50	126	54	143	58	164	63	173	64	186	67
060.1	35	103	58	131	47	148	51	165	54	187	58	215	63	226	65	243	68
	40	101	61	128	50	144	54	160	57	182	61	209	67	220	69	237	71
	45	98	64	124	53	140	56	156	60	177	64	204	70	215	68	226	74
	50	95	68	121	55	136	59	151	63	172	68	197	73	208	76	223	79
070.1	35	121	71	154	58	1005	62	193	66	219	71	252	77	265	79	285	83
	40	118	75	150	61	169	65	188	69	214	75	245	81	258	84	277	87
	45	115	79	146	64	164	69	183	73	208	79	239	85	252	83	270	92
	50	111	83	141	67	159	72	177	77	201	83	231	90	243	92	262	96
080.1	35	141	79	180	65	202	69	225	74	256	79	294	86	309	89	332	93
	40	138	84	175	69	197	73	219	78	249	84	286	91	301	94	324	98
	45	134	88	170	72	192	77	213	82	242	88	278	96	294	93	314	103
	50	130	92	165	76	186	81	207	86	235	92	270	100	284	103	305	108
100.1	35	182	106	231	87	260	93	290	98	329	106	378	115	398	118	427	124
	40	177	112	225	91	253	98	282	104	320	112	368	121	387	125	416	130
	45	172	118	218	96	246	103	274	109	311	118	358	128	378	124	404	137
	50	167	123	212	101	239	108	266	115	302	123	347	134	365	138	392	144
120.1	35	213	120	271	98	305	105	340	112	386	120	443	131	466	135	501	140
	40	207	127	263	104	297	111	331	118	376	127	432	138	454	142	488	148
	45	202	134	256	109	289	117	321	124	365	134	419	145	443	141	474	156
	50	196	140	248	115	280	123	312	130	354	140	407	152	428	157	460	164
135.1	35	230	126	292	103	329	110	366	117	416	126	478	136	503	140	540	146
	40	224	132	284	108	321	116	357	123	405	132	466	144	490	148	526	155
	45	218	139	276	114	312	122	347	129	394	139	453	151	478	147	511	163
	50	211	146	268	120	302	128	336	136	382	146	439	159	462	163	496	171
150.1	35	265	149	337	122	380	131	422	139	480	149	551	162	580	167	623	174
	40	258	158	328	129	370	138	411	147	467	158	537	171	565	176	606	184
	45	251	166	318	136	359	145	400	154	454	166	522	180	551	175	589	194
	50	243	174	309	142	348	152	388	162	440	174	506	189	532	195	572	203
170.1	35	315	179	401	147	452	157	503	167	571	179	656	195	690	201	742	209
	40	307	189	390	155	440	165	490	176	556	189	639	205	672	212	722	221
	45	299	199	379	163	428	174	476	185	540	199	621	216	656	210	702	232
	50	290	209	368	171	415	183	462	194	524	209	603	227	634	234	681	244
185.1	35	330	172	420	141	473	151	527	160	598	172	687	187	723	193	777	201
	40	322	182	409	149	461	159	513	169	582	182	669	198	704	204	756	212
	45	313	192	397	157	448	167	498	178	566	192	650	208	687	202	735	223
	50	303	201	385	164	434	176	484	187	549	201	631	218	664	225	713	234

Máy làm lạnh nước – Bơm nhiệt (Chiller – Heatpump) MHS FST
Hãng Mc.Quay - Mỹ

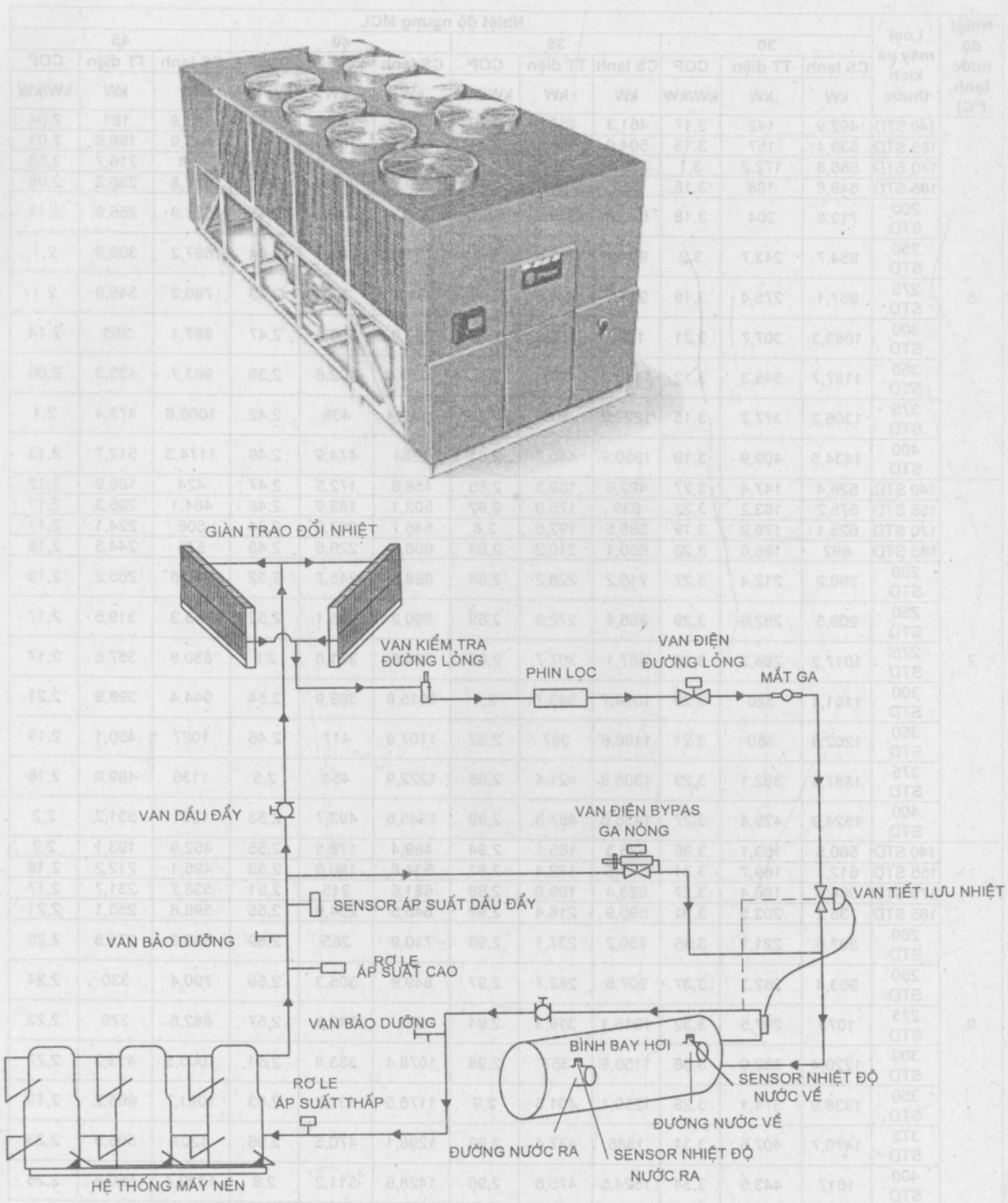


Phụ lục 7.11a. THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA MÁY LÀM LẠNH NƯỚC GIẢI NHIỆT GIÓ (AIR COOLED CHILLER)

Model	Đ.vị	RTAC 140	RTAC 155	RTAC 170	RTAC 185	RTAC 20	RTAC 250	RTAC 275	RTAC 300	RTAC 350	RTAC 375	RTAC 400
Công suất lạnh	kW	492.9	539	586.5	650.1	715.2	855.4	957.1	1084.7	1186.6	1306.9	1436.6
Máy nén												
Số lượng		2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4
Bình bay hơi												
Loại bình bay hơi		H140	H155	H170	H185	H200	F250	F270	F300	F340	F370	F400
Thể tích	l	112	122	127	135	147	205.9	228.2	250.6	267.2	277.4	306.2
Lưu lượng Min	l/s	12	14	13	14	16	15.3	17.3	19.4	28.8	31.6	34.4
Lưu lượng Max	l/s	44	48	48	50	54	47.1	57.3	67.5	82.8	91.7	104.5
Lưu lượng vận hành	l/s	22.3	24.3	26.5	29.4	32.3	38.6	43.2	49	54	59	64.9
Giãn nở												
Số lượng giãn		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Quạt giải nhiệt												
Số lượng		4/4	5/4	5/5	6/5	6/5	8/6	10/6	12/6	10/10	12/10	12/12
Đường kính	mm	762	762	762	762	762	762	762	762	762	762	762
Lưu lượng gió	m³/s	35.82	39.53	43.22	47.55	51.88	61.8	69.2	77.8	86.4	95.1	103.7
Tốc độ		915	915	915	915	915	915	915	915	915	915	915
Công suất động cơ	kW	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05
Thông số chung												
Môi chất lạnh		HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a
Số chu trình	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2
Trọng lượng khí vận hành (có nước)	kg	4533	4709	4846	5418	5539	8760	9560	10270	11790	12290	12890
Trọng lượng ban đầu (không có nước)	kg	4435	4601	4744	5309	5418	8550	9330	10020	11520	12010	12530

Phụ lục 7.11b. THÔNG SỐ VẬN HÀNH CỦA MÁY LÀM LẠNH NƯỚC GIẢI NHIỆT GIÓ

Nhiệt độ nước lạnh (°C)	Loại máy và kích thước	Nhiệt độ ngưng MCL											
		30			35			40			45		
		CS lạnh	TT điện	COP	CS lạnh	TT điện	COP	CS lạnh	TT điện	COP	CS lạnh	TT điện	COP
		kW	kW	kW/kW	kW	kW	kW/kW	kW	kW	kW/kW	kW	kW	kW/kW
5	140 STD	492,9	142	3,17	461,3	153,8	2,76	429	166,8	2,38	395,9	181	2,04
	155 STD	539,4	157	3,13	504,9	169,5	2,74	469,7	183,3	2,37	433,9	198,6	2,03
	170 STD	586,8	172,2	3,1	550,3	185,5	2,72	512,6	200,3	2,36	474	216,7	2,03
	185 STD	649,8	188	3,15	610	202,4	2,76	569,2	218,5	2,41	527,8	236,2	2,08
	200 STD	713,8	204	3,18	671,2	219,5	2,8	627,3	236,8	2,45	581,9	255,9	2,11
	250 STD	854,7	243,7	3,2	804,1	263,5	2,8	751,4	285,3	2,44	697,2	309,2	2,1
	275 STD	957,1	275,4	3,16	900,1	296,5	2,79	841	320	2,43	780,2	345,9	2,1
	300 STD	1083,3	307,7	3,21	1020	330,8	2,83	954,6	356,6	2,47	887,1	385	2,14
	350 STD	1187,7	346,3	3,12	1115,3	373	2,74	1040,4	402,6	2,39	963,7	435,3	2,06
	375 STD	1306,2	377,2	3,15	1229,2	406	2,78	1149,4	438	2,42	1066,8	473,4	2,1
7	400 STD	1434,5	409,9	3,19	1350,8	440,7	2,81	1264	474,9	2,46	1174,3	512,7	2,13
	140 STD	526,4	147,4	3,27	492,9	159,3	2,85	458,8	172,5	2,47	424	186,9	2,12
	155 STD	575,2	163,2	3,22	539	175,8	2,82	502,1	189,9	2,45	464,1	205,3	2,11
	170 STD	625,1	179,2	3,19	586,5	192,6	2,8	546,7	207,6	2,44	506	224,1	2,11
	185 STD	692	195,6	3,23	650,1	210,2	2,84	606,9	226,5	2,48	573	244,5	2,15
	200 STD	760,2	212,4	3,27	715,2	228,2	2,88	668,4	245,7	2,52	620,6	265,2	2,18
	250 STD	908,5	252,9	3,29	855,4	272,9	2,89	800,2	295,1	2,52	743,3	319,5	2,17
	275 STD	1017,2	286,3	3,25	957,1	307,7	2,86	894,8	331,6	2,5	830,8	357,8	2,17
	300 STD	1151,1	320	3,29	1084,7	343,7	2,9	1015,8	369,9	2,54	944,4	398,9	2,21
	350 STD	1262,6	360	3,21	1186,6	387	2,82	1107,9	417	2,46	1027	450,1	2,13
9	375 STD	1387,8	392,1	3,23	1306,9	421,4	2,85	1222,9	454	2,5	1138	489,9	2,16
	400 STD	1524,9	426,4	3,27	1436,6	457,8	2,89	1345,6	492,7	2,53	1251	531,2	2,2
	140 STD	560,5	153,1	3,36	525,3	165,1	2,94	489,4	178,5	2,55	452,9	193,1	2,2
	155 STD	612,1	169,7	3,31	573,8	182,4	2,91	534,8	196,6	2,53	495,1	212,2	2,18
	170 STD	664,5	186,4	3,27	623,4	199,9	2,88	581,6	215	2,51	538,7	231,7	2,17
	185 STD	735,2	203,5	3,31	690,9	218,4	2,92	645,5	234,9	2,55	598,8	253,1	2,21
	200 STD	807,6	221,1	3,35	760,2	237,1	2,96	710,9	255	2,59	660,3	274,8	2,25
	250 STD	963,4	262,3	3,37	907,8	282,7	2,97	849,8	306,3	2,59	790,4	330	2,24
	275 STD	1078	297,5	3,32	1015,1	319,3	2,94	950	343,5	2,57	882,5	370	2,23
	300 STD	1220,4	332,9	3,36	1150,8	357	2,98	1078,4	383,8	2,61	1003,5	413,3	2,27
	350 STD	1338,9	374,1	3,28	1259,1	401,5	2,9	1176,5	431,8	2,53	1091,7	465,2	2,19
	375 STD	1470,7	407,5	3,31	1386	437,4	2,93	1298,1	470,5	2,56	1207	506,9	2,23
	400 STD	1617	443,6	3,34	1524,5	475,6	2,96	1428,6	511,2	2,6	1329,4	550,5	2,26



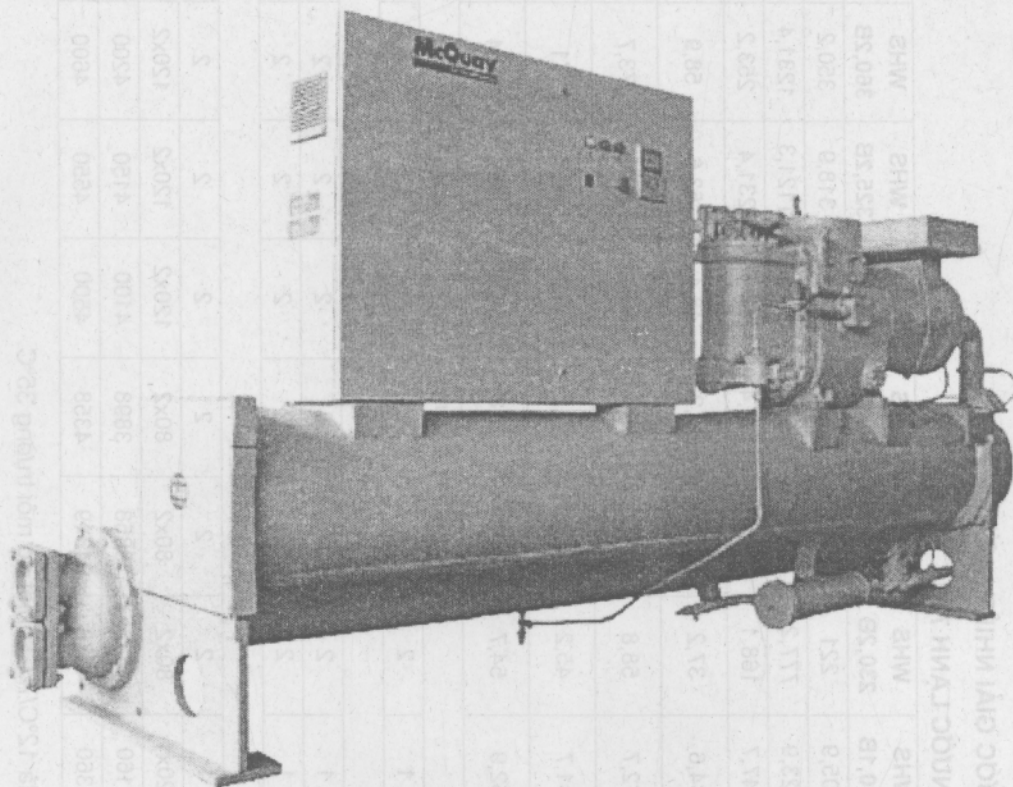
Sơ đồ nguyên lý Chiller giải nhiệt gió

**Phụ lục 7. 12. THÔNG SỐ KỸ THUẬT MÁY LÀM LẠNH NƯỚC GIẢI NHIỆT NƯỚC
(WATER COOLED CHILLER) CUNG CẤP NƯỚC LẠNH 7°C**

Model	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS	WHS
	130,1B	145,1B	180,1B	210,1B	230,2B	245,2B	260,2B	295,2B	325,2B	360,2B	390,2B	420,2B	450,2B	480,2B	510,2B	540,2B	570,2B
Công suất lạnh	RT	125,4	143,8	175,1	205,9	221	234,9	250,7	287,6	318,9	350,2	381	411,7	442,4	473,1	503,8	534,5
	kW	440,8	505,6	615,7	723,9	777,2	829,4	881,5	1011,2	1121,3	1231,4	1339,5	1447,7	1555,9	1664,1	1772,3	1880,5
Tiêu thụ điện	kW	94,2	104,8	126,6	147,7	168,1	178,3	188,4	209,6	231,4	253,2	274,3	292,9	311,5	330,1	348,7	367,3
Lưu lượng nước lạnh	l/s	21,1	24,2	29,5	34,6	37,2	39,7	42,2	48,4	53,6	58,9	64,1	69,3	74,5	79,7	84,9	90,1
Tổn thất áp suất qua chiller	kPa	75,4	66,1	73,7	72,7	58,8	67,2	75,4	66,1	62,6	73,7	63,6	72,7	83,4	94,1	104,8	115,5
Lưu lượng nước ngưng	l/s	25,6	29,2	35,5	41,7	45,2	48,2	51,2	58,4	64,7	71	77,2	83,4	94,1	104,8	115,5	126,2
Tổn thất áp suất qua bình ngưng	kPa	57,8	50,6	53,4	52,9	54,7	52,3	57,8	50,6	45,6	53,4	46,4	52,9	63,6	74,3	85,0	95,7
Máy nén	Loại	Trục vít nửa kín															
	Số lượng	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Khởi động	Sao/tam giác																
	Số lượng	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bình ngưng	Số lượng	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bình bay hơi	Số lượng	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Chất môi giới	Loại	R22															
	Số chu trình	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Khối lượng	Khối lượng	80x1	120x1	120x1	120x1	80x2	80x2	80x2	120x2	120x2	120x2	120x2	120x2	120x2	120x2	120x2	120x2
	Khí vận chuyển	1949	2050	2100	2160	3818	3858	3898	4100	4150	4200	4260	4320	4380	4440	4500	4560
	Khí vận hành	2179	2250	2300	2360	4278	4319	4358	4500	4550	4600	4660	4720	4780	4840	4900	4960

Ghi chú : – Công suất lạnh được tính với nhiệt độ nước vào/ra chiller là 12°C/7°C, nhiệt độ môi trường 35°C.
– Tiêu thụ điện chỉ tính cho máy nén.

chil



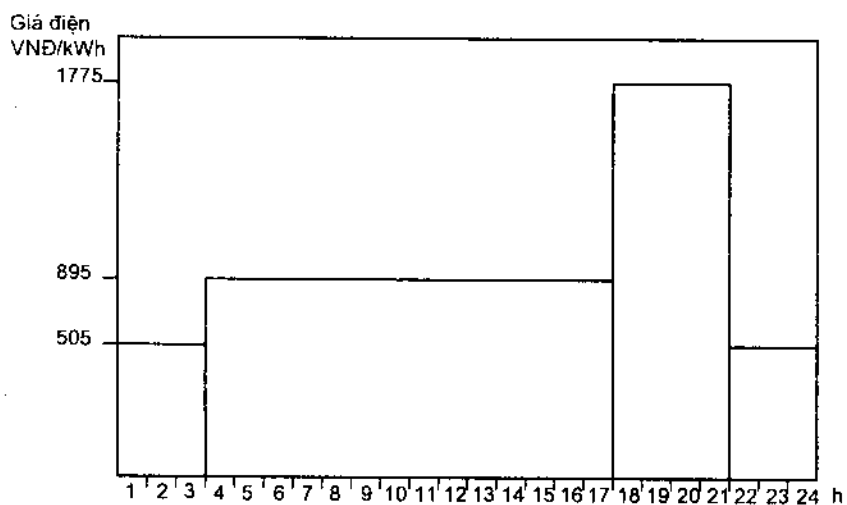
Phụ lục 7.13. THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA THÁP GIẢI NHIỆT

Model			Một đơn nguyên						Hai đơn nguyên					
			YC/LN-100	YC/LN-125	YC/LN-150	YC/LN-175	YC/LN-200	YC/LN-250	YC/LN-300	YC/LN-350	YC/LN-400			
	Công suất	RT	100	125	150	175	200	250	300	350	400			
	Giải nhiệt	kcal/h	390000	487500	585000	682500	780000	975000	1170000	1365000	1560000			
Công suất	Lưu lượng nước tuần hoàn	l/min	1300	1625	1950	2275	2600	3250	3900	4550	5200			
	Lưu lượng gió	m³	530	680	830	980	1100	1360	1660	1960	2200			
	Nhiệt độ nước vào	°C	37											
	Nhiệt độ nước ra	°C	32											
	Nhiệt độ nhiệt kế ướt	°C	27											
Kích thước:DxLxH		mm	2000x4000x3700	2300x4300x3700	2600x4400x3700	2800x4400x3700	4000x4000x3700	4600x4300x3700	5200x4400x3700					
Quạt	Loại		Quạt trục											
	Đường kính x Số lượng	Φ mm	1600x1	1800x1	2000x1	1600x2	1800x2	2000x2						
	Số cánh		4											
	Tốc độ	rpm	270	340	300	360	310	340	300	360	310			
Motor	Nguồn điện cấp		450V/3 50Hz											
	Công suất	kW	1,5x1	2,2x1		3,7x1		2,2x2		3,7x2				
	Số lượng	chiếc	1									2		
Trọng lượng vận hành		kg	2250	2340	2640	2730	3170	4340	4920	5090	5910			

Phụ lục 7.13. THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA THÁP GIẢI NHIỆT (tiếp theo)

Model			Ba đơn nguyên			Bốn đơn nguyên			Năm đơn nguyên			
			YC/LN-450	YC/LN-500	YC/LN-600	YC/LN-700	YC/LN-800	YC/LN-900	YC/LN-1000			
Cổng suất	Cổng suất giải nhiệt	RT	450	500	600	700	800	900	1000			
		kcal/h	1755000	1950000	2340000	2730000	3120000	3510000	3900000			
	Lưu lượng nước tuần hoàn	l/min	5850	6500	7800	9100	10400	11700	13000			
	Lưu lượng gió	m³	2490	2940	3300	3920	4400	4900	5500			
Cổng suất	Nhiệt độ nước vào	°C	37									
	Nhiệt độ nước ra	°C	32									
	Nhiệt độ nhiệt kế ướt	°C	27									
	Kích thước: D x L x H	mm	6900x4300x3700	7800x4400x3700	9200x4300x3700	10400x4400x3700	11500x4300x3700	13000x4400x3700				
Quạt	Loại		quạt trục									
	Đường kính x Số lượng	Φ mm	1800x3	200x3	1800x4	2000x4	1800x5	2000x5				
	Số cánh		4									
	tốc độ	rpm	300	360	310	360	310	360	310			
Motor	Nguồn điện cấp		450V/3 50Hz									
	Công suất	kW	2,2x3	3,7x3	3,7x3	3,7x4	3,7x4	3,7x5				
	Số lượng		3			4			5			
Trọng lượng vận hành		kg	7560	7820	9080	10180	11820	12910	14990			

Phụ lục 7.14. BIỂU ĐỒ GIÁ ĐIỆN TRONG NGÀY



Ghi chú: Từ 1/3/2009 có sự thay đổi.

Phụ lục 7.15. ĐẶC TÍNH NHIỆT CỦA 1m³ BÌNH TÍCH LẠNH

Loại quả cầu	Nhiệt độ chuyển pha (°C)	Nhiệt ẩn (kWh/m ³)	Nhiệt hiện (kWh/°C.m ³)		Hệ số truyền nhiệt (kW/°C.m ³)		Tổng khối lượng quả cầu (kg)
			Pha rắn	Pha lỏng	Dạng tinh thể	Dạng nóng chảy	
SN 33	-33	44,6	0,7	1,08	1,6	2,2	743
SN18	-18,3	47,5	0,9	1,24	1,6	2,2	725
SN 10	-10,4	49,9	0,7	1,07	1,6	2,2	668
CN 00	0	48,4	0,7	1,1	1,15	1,85	580
SN 27	27	44,5	0,86	1,04	1,6	2,2	892

B — BÀI TẬP

7.1. Biệt thự 6 người có 3 phòng tắm với mức sử dụng nước nóng theo phụ lục 7.1. Tính toán hệ thống cung cấp nước nóng theo ba phương án:

- Phương án A: Sử dụng bình đun nước nóng bằng điện, công suất 1 bình là 2,5 kW.
- Phương án B: Sử dụng bình đun nước nóng bằng gas, công suất 1 bình là 8 kW.
- Phương án C: Cung cấp nước nóng bằng bơm nhiệt.

Yêu cầu:

1. Vẽ sơ đồ nguyên lý các phương án và tính toán nhiệt chung;
2. Xác định tổng công suất điện (kW) của phương án A;
3. Xác định mức tiêu thụ nhiên liệu của phương án B;
4. Xác định tổng công suất điện (kW) của phương án C;
5. Xác định và so sánh chi phí vận hành trong 1 năm của các phương án.

7.2. Bệnh viện 200 giường có mức sử dụng nước nóng theo phụ lục 7.1. Tính toán hệ thống cung cấp nước nóng theo hai phương án:

- Phương án A: Sử dụng bình đun nước nóng bằng điện, công suất 1 bình là 2,5 kW.
- Phương án B: Sử dụng bơm nhiệt và bình trữ nước nóng trong 2 giờ.

Yêu cầu:

1. Vẽ sơ đồ nguyên lý hai phương án và tính toán nhiệt chung;
2. Xác định tổng công suất điện (kW) của phương án A;
3. Xác định tổng công suất điện (kW) của phương án B bao gồm bơm nước nóng cột áp 30 mH₂O;
4. Xác định mức tiêu thụ điện (kWh) và so sánh chi phí vận hành trong 1 năm của 2 phương án.

7.3. Khách sạn 400 phòng có mức sử dụng nước nóng theo phụ lục 7.1. Tính toán hệ thống cung cấp nước nóng theo ba phương án:

- Phương án A: Sử dụng lò hơi đốt dầu Diesel và bình trữ nước nóng cung cấp cho khách sạn trong 2 giờ.
- Phương án B: Sử dụng lò hơi đốt than và bình trữ nước nóng cung cấp cho khách sạn trong 2 giờ.
- Phương án C: Sử dụng bơm nhiệt và bình trữ nước nóng cung cấp cho khách sạn trong 2 giờ.

Yêu cầu:

1. Vẽ sơ đồ nguyên lý các phương án và tính toán nhiệt chung;
2. Xác định mức tiêu thụ điện (kW) bao gồm cả bơm nước nóng có cột áp 40 mH₂O và lượng tiêu thụ dầu của phương án A;
3. Xác định mức tiêu thụ điện (kW) bao gồm cả bơm nước nóng có cột áp 40 mH₂O và lượng than tiêu thụ của phương án B;
4. Xác định mức tiêu thụ điện bao gồm cả bơm nước nóng có cột áp 40 mH₂O của phương án C
5. Xác định và so sánh chi phí vận hành trong 1 năm của ba phương án.

7.4. Hệ thống điều hoà không khí (ĐHKK) của 1 trung tâm thương mại có công suất lạnh 2260 kW và công suất sưởi ấm 600 kW. Số giờ sử dụng máy lạnh trong năm là 1900h, số giờ sử dụng thiết bị sưởi ấm trong năm là 273h. Tính toán hai phương án cấp Nhiệt - Lạnh cho hệ thống ĐHKK như sau:

- Phương án A: Sử dụng máy lạnh giải nhiệt gió và lò đốt dầu Diesel.
- Phương án B: Sử dụng máy lạnh giải nhiệt gió và bơm nhiệt nguồn nhiệt không khí.

Yêu cầu:

1. Vẽ sơ đồ nguyên lý hai phương án;
2. Tính chi phí vận hành trong một năm của phương án A bao gồm bơm nước nóng có cột áp 45m;
3. Tính chi phí vận hành trong một năm của phương án B bao gồm bơm nước nóng có cột áp 45m;
4. Nếu sử dụng biến tần thì tiêu thụ điện cho bơm nước lạnh sẽ giảm được bao nhiêu.

7.5. Hệ thống (ĐHKK) của 1 trung tâm thương mại có công suất lạnh 2260 kW và công suất sưởi ấm 600 kW. Số giờ sử dụng máy lạnh trong năm là 1900h, số giờ sử dụng thiết bị sưởi ấm trong năm là 273h. Tính toán hai phương án cấp Nhiệt - Lạnh cho hệ thống ĐHKK như sau:

- Phương án A: Sử dụng máy lạnh trực vít giải nhiệt nước và lò hơi đốt dầu Diesel.
- Phương án B: Sử dụng máy lạnh trực vít giải nhiệt nước và bơm nhiệt nguồn nhiệt không khí.

Yêu cầu:

1. Vẽ sơ đồ nguyên lý hai phương án;
2. Tính chi phí vận hành trong một năm của hai phương án A bao gồm bơm nước nóng có cột áp 45mH₂O;
3. Tính chi phí vận hành trong một năm của hai phương án B bao gồm bơm nước nóng có cột áp 45mH₂O;
4. Nếu sử dụng biến tần thì tiêu thụ điện cho bơm nước lạnh sẽ giảm được bao nhiêu.

7.6. Hệ thống (ĐHKK) của 1 trung tâm thương mại có công suất lạnh tối đa: $Q_o = 7000$ kW và tổng tiêu thụ lạnh: $Q_{ng} = 52000$ kWh khi chạy 10 h/ngày. Bình tích lạnh sử dụng quả cầu công nghệ CN00.

Yêu cầu:

1. Vẽ sơ đồ hệ thống ĐHKK có bình tích lạnh;
2. Công suất lạnh, số lượng Chiller khi không sử dụng bình tích lạnh;
3. Chi phí vận hành của hệ thống khi không sử dụng bình tích lạnh;
4. Công suất lạnh, số lượng Chiller khi chạy ở chế độ bình tích lạnh (chế độ vận hành 55% thời gian Chiller chạy trực tiếp và 45% thời gian Chiller chạy bình tích lạnh);
5. Chi phí vận hành của hệ thống Chiller khi có bình tích lạnh;
6. Xác định thể tích bình tích lạnh;
7. So sánh tiết kiệm chi phí của hai phương án.

C — BÀI GIẢI VÍ DỤ

7.1. Tóm tắt

Biệt thự 6 người có 3 phòng tắm.

Ba phương án cung cấp nước nóng:

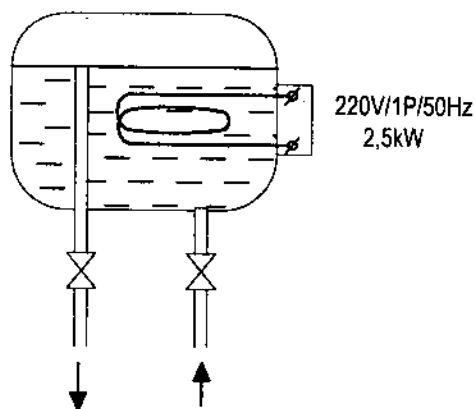
- Phương án A: Sử dụng bình đun điện, công suất 1 bình là 2,5 kW.
- Phương án B: Sử dụng bình đun bằng gas, công suất 1 bình là 8 kW.
- Phương án C: Cung cấp nước nóng bằng bơm nhiệt.

Yêu cầu:

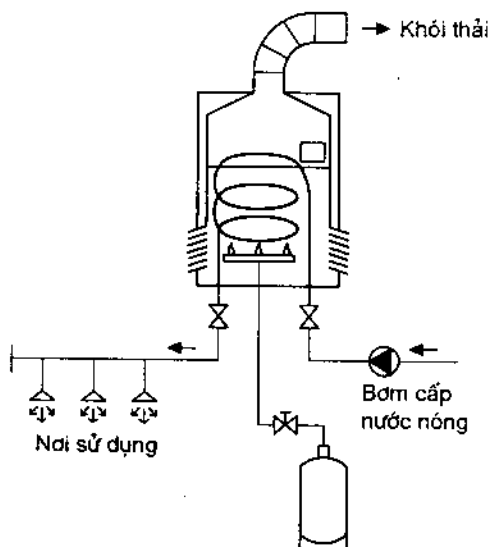
1. Vẽ sơ đồ nguyên lý các phương án và tính toán nhiệt chung;
2. Xác định tổng công suất điện (kW) của phương án A;
3. Xác định lượng tiêu thụ nhiên liệu của phương án B;
4. Xác định tổng công suất điện (kW) của phương án C;
5. Xác định và so sánh chi phí vận hành trong 1 năm của các phương án.

1. Sơ đồ các phương án và tính nhiệt

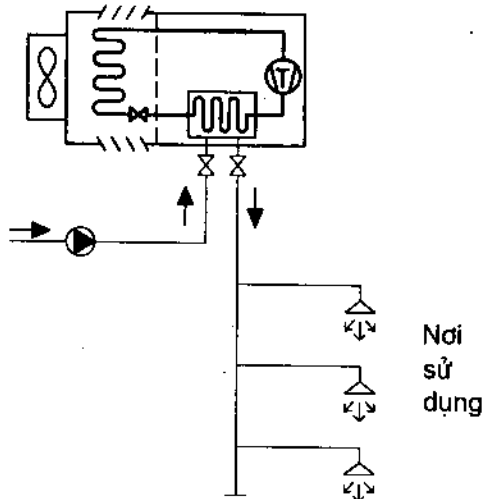
1.1. Sơ đồ nguyên lý của phương án A – Cung cấp nước nóng bằng bình đun điện



1.2. Sơ đồ nguyên lý phương án B – Cung cấp nước nóng bằng 1 bình đun gas



1.3. Sơ đồ nguyên lý phương án C – Cung cấp nước nóng bằng 1 bơm nhiệt



1.4. Tính toán nhiệt

- Tra bảng phụ lục 7.1 với biệt thự, mức sử dụng nhiệt lớn nhất cho 1 người trong 1 ngày là:
 $q = 4,5 \text{ kWh/ngày.người}$

- Lượng nhiệt max cần cung cấp cho biệt thự $n = 6$ người trong 1 ngày là:

$$Q_{\text{total}} = n.q.860 = 6.4,5.860 = 23220 \text{ kcal/ngày}$$

(1 kWh = 860 kcal)

- Tính toán cho nhiệt độ nước nóng vào/ra thiết bị đun là: $20^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$.

- Lưu lượng nước nóng lớn nhất cần cung cấp trong 1 ngày:

$$V_{\text{total}} = \frac{Q_{\text{total}}}{C.p.(t_r - t_v)} = \frac{23220}{1.1.(60 - 20)} = 580,5 \text{ dm}^3/\text{ngày} = 580,5 \text{ l/ngày}$$

Trong đó: $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$: Khối lượng riêng của nước.

$C = 1 \text{ kcal/kg.K}$: Nhiệt dung riêng của nước.

- Lượng nước nóng tiêu thụ ở thời gian cao điểm nhất trong ngày:

$$V_r = k \cdot \frac{V_{\text{total}}}{24} = 6,58 \cdot \frac{580,5}{24} = 159,15 \text{ l/h}$$

k – Hệ số sử dụng đồng thời (tra phụ lục 7.2).

- Tương ứng với công suất nhiệt cần cung cấp ở thời gian cao điểm nhất trong ngày:

$$Q_r = V_r \cdot \rho \cdot C \cdot (t_r - t_v) = 159,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (60 - 20) = 6366 \text{ kcal/h} = 7,40 \text{ kW}$$

Số giờ làm việc của thiết bị đun nước nóng trong 1 ngày: $\tau = \frac{V_{\text{total}}}{V_r} = \frac{580,5}{159,15} = 3,65 \text{ h}$

2. Phương án A: Cung cấp nước nóng bằng bình đun điện

- Tổng công suất điện của 3 bình đun nước nóng bằng điện:

$$Q_D = \frac{Q_r}{\eta_t} = \frac{7,40}{0,95} = 7,79 \text{ kW}$$

$\eta_t = 0,95$: Hiệu suất nhiệt của bình đun nước nóng bằng điện.

- Nếu sử dụng loại bình công suất $P = 2,5 \text{ kW}$ (phụ lục 7.4) thì số lượng bình cần sử dụng là:

$$n = \frac{Q_D}{P} = \frac{7,79}{2,5} \approx 3 \text{ bình}$$

Vậy cần chọn 3 bình đun nước nóng bằng điện công suất 2,5 kW cho 3 phòng tắm.

3. Phương án B: Cung cấp nước nóng bằng bình đun gas

- Hiệu suất nhiệt của bình đun gas: $\eta_t = 0,8$

- Lượng gas tiêu thụ trong 1 giờ:

$$G = \frac{Q_r}{\eta_t \cdot Q_{t'v}} = \frac{6366}{0,8 \cdot 11500} = 0,692 \text{ kg/h}$$

$Q_{t'v} = 11500 \text{ kcal/kg}$: Nhiệt trị thấp của gas LPG.

Vậy: Nếu sử dụng bình có công suất nhiệt $Q_b = 8 \text{ kW}$, ta có:

$Q_b = G_b \cdot \eta_t \cdot Q_{t'v} \Rightarrow$ Lượng gas cần cho một bình trong 1h:

$$G_b = \frac{Q_b}{\eta_t \cdot Q_{t'v}} = \frac{8.3600}{4,186 \cdot 0,8 \cdot 11500} = 0,749 \text{ kg/h.}$$

Với $V_r = 159,15 \text{ l/h} = 2,7 \text{ l/phút}$ cần sử dụng 1 bình đun nước nóng bằng gas có lưu lượng nước nóng 3 l/phút tiêu thụ gas 0,77 kg/h và $G_b = 0,749 \text{ kg/h}$ (phụ lục 7.5).

4. Phương án C: Cung cấp nước nóng bằng bơm nhiệt

– Công suất nhiệt của bơm nhiệt cần là: $Q_{BN} = Q_r = 7,40 \text{ kW}$

Tra phụ lục 7.8 chọn 01 bơm nhiệt MGH-F9W.

Bảng thông số kỹ thuật của bơm nhiệt MGH-F9W

Model	MGH-F9W
Công suất nhiệt (kW)	9
Công suất điện (kW)	2,3
Tiêu thụ điện và số lượng máy nén	2,2 kWx1
Môi chất lạnh	R22
Lượng môi chất lạnh (g)	1200
Nhiệt độ nước nóng ra (°C)	60
Công suất điện và số lượng quạt (W)	125x1

Vậy tổng công suất điện tiêu thụ là : 2,3 kW

5. Xác định và so sánh chi phí vận hành trong 1 năm của các phương án:

Phương án	Tiêu thụ điện			Tiêu thụ nhiên liệu			Chi phí vận hành năm (VNĐ)	So sánh
	Công suất điện (kW)	kWh/ngày	kWh/năm	kg/h	kg/ngày	kg/năm		
Phương án A – Bình đun điện	7,79	28,434	10378,41	-	-	-	9.797.219	3,387
Phương án B – Bình đun gas	-	-	-	0,692	2,526	922	13.061.974	4,517
Phương án C – Bơm nhiệt	2,3	8,395	3064,18	-	-	-	2.892.586	1

Ghi chú: 1 ngày vận hành 3,65h; 1 năm vận hành 365 ngày

Giá điện trung bình ngày: 944 VNĐ/kWh

Giá gas : 14167 VNĐ/kg

Qua bảng so sánh trên ta thấy phương án sử dụng bơm nhiệt là tiết kiệm chi phí vận hành nhất, sử dụng bình đun điện chi phí tốn gấp 3,387 lần so với bơm nhiệt và do giá nhiên liệu hiện tại rất cao nên sử dụng bình đun có chi phí vận hành gấp 4,517 lần sử dụng bơm nhiệt.

7.2. Tóm tắt

Bệnh viện 200 giường.

Hai phương án cung cấp nước nóng:

– Phương án A: Sử dụng bình đun điện, công suất 1 bình là 2,5 kW.

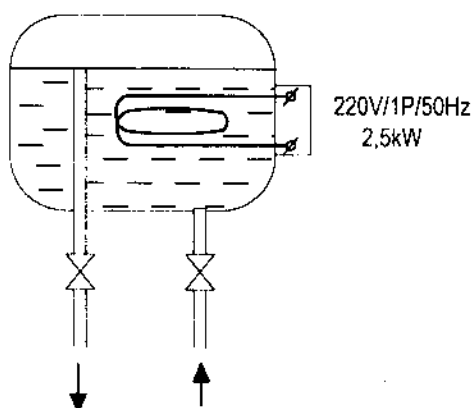
– Phương án B: Sử dụng bơm nhiệt và bình trữ nước nóng trong 2 giờ

Yêu cầu:

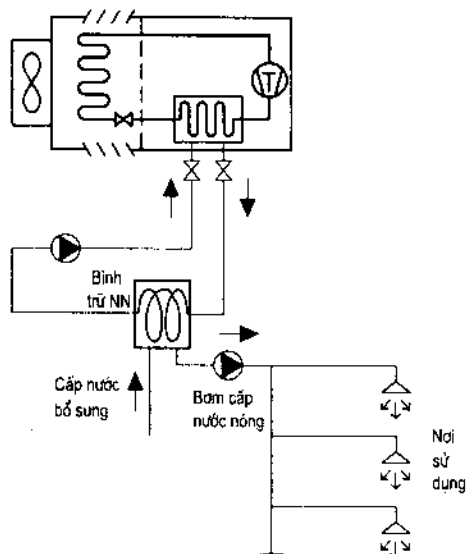
1. Vẽ sơ đồ các phương án và tính nhiệt;
2. Tổng công suất điện (kW) của phương án A;
3. Tổng công suất điện (kW) của phương án B bao gồm bơm nước nóng cột áp 30mH₂O;
4. Xác định và so sánh chi phí vận hành trong một năm của 2 phương án.

1. Sơ đồ các phương án và tính nhiệt

1.1. Sơ đồ nguyên lý của phương án A – Cung cấp nước nóng bằng bình đun điện



1.2. Sơ đồ nguyên lý phương án B – Cung cấp nước nóng bằng bơm nhiệt



1.3. Tính toán nhiệt

- Tra bảng phụ lục 7.1 có mức sử dụng nhiệt lớn nhất cho 1 giường bệnh trong 1 ngày là:

$$q = 4,0 \text{ kWh/ngày}$$

- Lượng nhiệt max cần cung cấp cho bệnh viện $n = 200$ phòng trong 1 ngày là:

$$Q_{\text{total}} = n \cdot q \cdot 860 = 200 \cdot 4,0 \cdot 860 = 688000 \text{ kcal/ngày}$$

(1kWh = 860 kcal)

- Tính toán cho nhiệt độ nước nóng vào/ra thiết bị đun là: $20^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$.

- Lưu lượng nước nóng lớn nhất cần cung cấp trong 1 ngày:

$$V_{\text{total}} = \frac{Q_{\text{total}}}{C_p \cdot (t_r - t_v)} = \frac{688000}{1,1 \cdot (60 - 20)} = 17200 \text{ dm}^3/\text{ngày} = 17200 \text{ l/ngày}$$

Trong đó: $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$: Khối lượng riêng của nước.

$C = 1 \text{ kcal/kg.K}$: Nhiệt dung riêng của nước.

- Lượng nước nóng tiêu thụ ở thời gian cao điểm nhất trong ngày:

$$V_r = k \cdot \frac{V_{\text{total}}}{24} = 2,93 \cdot \frac{17200}{24} = 2100 \text{ l/h}$$

k – Hệ số sử dụng đồng thời (phụ lục 7.2)

- Tương ứng với công suất nhiệt cần cung cấp ở thời gian cao điểm nhất trong ngày:

$$Q_r = V_r \cdot \rho \cdot C \cdot (t_r - t_v) = 2100 \cdot 1,1 \cdot (60 - 20) = 84000 \text{ kcal/h} = 97,67 \text{ kW}$$

- Số giờ làm việc của thiết bị đun nước nóng trong 1 ngày (không sử dụng bình trữ nước nóng):

$$\tau = \frac{V_{\text{total}}}{V_r} = \frac{17200}{2100} = 8,2 \text{ h}$$

2. Phương án A: Cung cấp nước nóng bằng bình đun điện

– Tổng công suất điện của tất cả các bình đun nước nóng bằng điện:

$$Q_D = \frac{Q_r}{\eta_t} = \frac{97,67}{0,95} = 102,8 \text{ kW}$$

$\eta_t = 0,95$: Hiệu suất nhiệt của bình đun nước nóng bằng điện.

– Nếu sử dụng loại bình công suất $P = 2,5 \text{ kW}$ (phụ lục 7.4) thì số lượng bình đun điện cần lắp đặt là:

$$n = \frac{Q_D}{P} = \frac{102,8}{2,5} \approx 42 \text{ bình}$$

3. Phương án B: Cung cấp nước nóng bằng bơm nhiệt và sử dụng bình trữ nước nóng cho bệnh viện trong 2 giờ

– Chọn bơm: Lưu lượng: $V_p = V_r = 2100 \text{ l/h} = 2,1 \text{ m}^3/\text{h}$

Cột áp: $H_p = 30 \text{ mH}_2\text{O}$

$$\text{Tiêu thụ điện của bơm: } N_p = \frac{V_p \cdot H_p}{\eta} = \frac{2,1 \cdot 30}{0,6} \cdot 10^5 = 286 \text{ W} = 0,286 \text{ kW}$$

Tra phụ lục 7.3 chọn bơm có động cơ: $N_p = 0,3 \text{ kW}$

– Sử dụng bình trữ nước nóng trong 2 giờ nên chỉ cần đầu tư bơm nhiệt có công suất nhiệt là:

$$Q_{BN} = \frac{Q_r}{2} = \frac{97,67}{2} = 48,84 \text{ kW}$$

Nếu chọn bơm nhiệt MGH-F17.5W/S (tra phụ lục 7.8) thì cần: $\frac{48,84}{17,5} \approx 3 \text{ cái.}$

Bảng thông số kỹ thuật của bơm nhiệt MGH-F17.5W/S

Model	MGH-F17.5W/S
Công suất nhiệt (kW)	17,5
Công suất điện (kW)	4,5
Tiêu thụ điện và số lượng máy nén	4,25 kWx1
Môi chất lạnh	R22
Lượng môi chất lạnh (g)	2200
Nhiệt độ nước nóng ra (°C)	60
Công suất điện và số lượng quạt (W)	125x2 = 250

– Tổng công suất điện tiêu thụ của 3 bơm nhiệt và bơm cung cấp nước nóng cột áp 30m là:

$$P_B = 4,5 \times 3 + 0,3 = 13,8 \text{ kW}$$

– Số giờ làm việc của 3 bơm nhiệt trong 1 ngày là: $\tau_{BN} = 8,2 \cdot 2 = 16,4 \text{ h.}$

4. So sánh chi phí vận hành trong 1 năm của hai phương án

Phương án	Tiêu thụ điện			Chi phí vận hành năm (VNĐ)	So sánh
	Công suất điện (kW)	(kWh/ngày)	(kWh/năm)		
Phương án A – Bình đun điện	102,8	842,96	307680,4	290.450.298	3,725
Phương án B – Bơm nhiệt	13,8	226,32	82606,8	77.980.819	1

Ghi chú: 1 ngày vận hành của thiết bị đun nước nóng bằng điện là 8,2 h.

1 ngày vận hành của thiết bị đun nước nóng bằng bơm nhiệt là 16,4 h.

1 năm vận hành 365 ngày

Giá điện trung bình ngày: 944 VNĐ/kWh

Như vậy qua bảng so sánh trên có thể thấy phương án sử dụng bình đun nước nóng bằng điện có chi phí vận hành gấp 3,725 lần so với phương án cung cấp nước nóng bằng bơm nhiệt.

7.3. Tóm tắt

Khách sạn 400 phòng

Ba phương án cung cấp nước nóng:

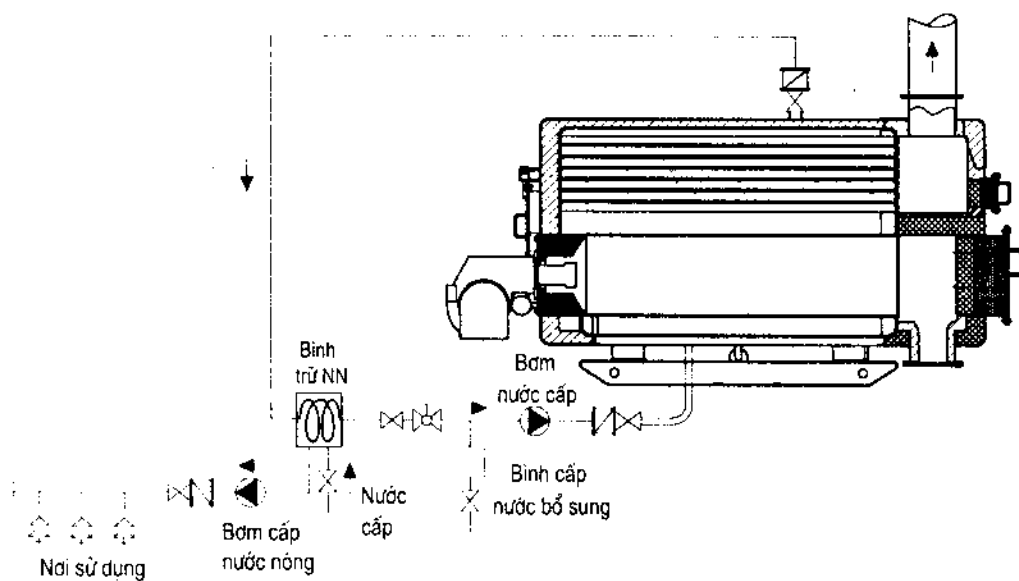
- Phương án A: Sử dụng lò hơi đốt dầu Diesel và bình trữ nước nóng cho khách sạn trong 2 giờ.
- Phương án B: Sử dụng lò hơi đốt than và bình trữ nước nóng cho khách sạn trong 2 giờ.
- Phương án C: Bằng bơm nhiệt và bình trữ nước cho khách sạn trong 2 giờ.

Yêu cầu:

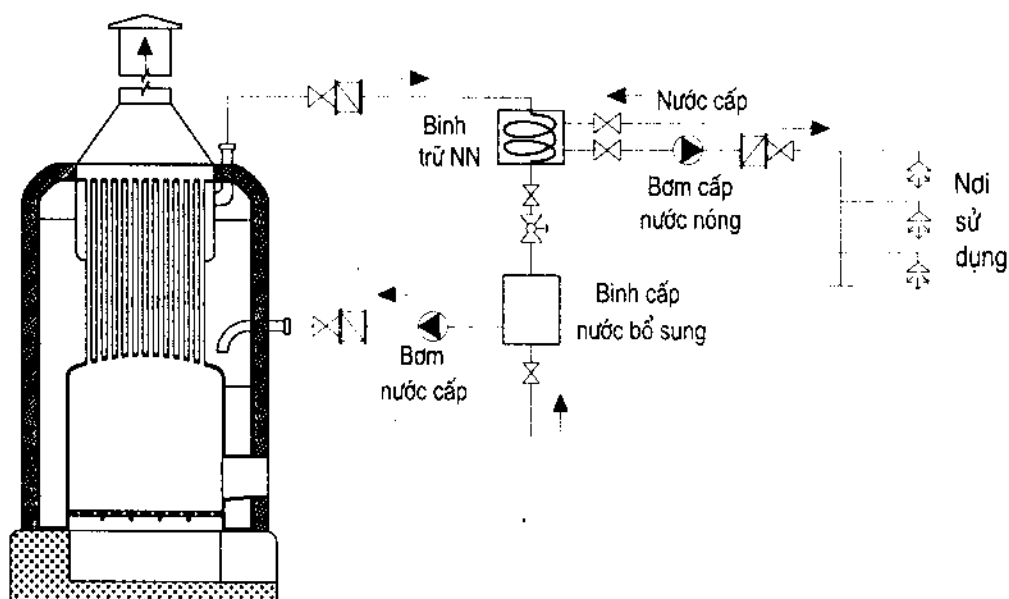
1. Vẽ sơ đồ các phương án và tính nhiệt;
2. Xác định mức tiêu thụ điện bao gồm cả bơm nước nóng cột áp 40mH₂O và lượng dầu tiêu thụ của phương án A;
3. Xác định mức tiêu thụ điện bao gồm cả bơm nước nóng cột áp 40mH₂O và lượng than tiêu thụ của phương án B;
4. Xác định mức tiêu thụ điện bao gồm cả bơm nước nóng cột áp 40mH₂O của phương án C;
5. Xác định và so sánh chi phí vận hành trong 1 năm của 3 phương án trên.

1. Tính toán nhiệt

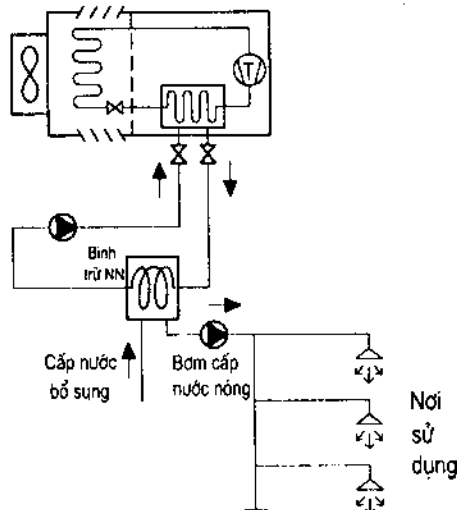
1.1. Sơ đồ nguyên lý của phương án A – Cung cấp nước nóng bằng lò hơi đốt dầu



1.2. Sơ đồ nguyên lý phương án B – Cung cấp nước nóng bằng lò hơi đốt than



1.3. Sơ đồ nguyên lý phương án C – Cung cấp nước nóng bằng bơm nhiệt



1.4. Tính toán nhiệt

- Tra phụ lục 7.1 có mức tải nhiệt lớn nhất cho 1 phòng khách sạn trong 1 ngày là:

$$q = 6,5 \text{ kWh/ngày.phòng}$$

- Lượng nhiệt max cần cung cấp cho khách sạn $n = 400$ phòng trong 1 ngày là:

$$Q_{\text{total}} = n \cdot q \cdot 860 = 400 \times 6,5 \times 860 = 2236000 \text{ kcal/ngày}$$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

- Tính toán cho nhiệt độ nước nóng vào/ra thiết bị đun có nhiệt độ là: $20^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$.

- Lưu lượng nước nóng lớn nhất cần cung cấp trong 1 ngày:

$$V_{\text{total}} = \frac{Q_{\text{total}}}{C \cdot \rho \cdot (t_r - t_v)} = \frac{2236000}{1.1 \cdot (60 - 20)} = 55900 \text{ dm}^3/\text{ngày} = 55900 \text{ l/ngày}$$

Trong đó: $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$: Khối lượng riêng của nước.

$C = 1 \text{ kcal/kg.K}$: Nhiệt dung riêng của nước.

- Lượng nước nóng tiêu thụ ở thời gian cao điểm nhất trong ngày:

$$V_r = k \cdot \frac{V_{\text{total}}}{24} = 5,18 \cdot \frac{55900}{24} = 12065 \text{ l/h}$$

k – Hệ số sử dụng đồng thời (phụ lục 7.2)

- Tương ứng với lượng nhiệt cần cung cấp ở thời gian cao điểm nhất trong ngày:

$$Q_r = V_r \cdot \rho \cdot C \cdot (t_r - t_v) = 12065 \cdot 1.1 \cdot (60 - 20) = 482600 \text{ kcal/h} = 561,16 \text{ kW}$$

- Chọn bơm: Lưu lượng: $V_p = V_r = 12,065 \text{ m}^3/\text{h}$

Cột áp: $H_p = 40 \text{ mH}_2\text{O}$

$$\text{Tiêu thụ điện: } N_p = \frac{V_p \cdot H_p}{\eta} = \frac{12,065 \cdot 40 \cdot 10^5}{3600 \cdot 0,65} = 2022 \text{ W} = 2,022 \text{ kW}$$

Tra phụ lục 7.3 chọn bơm có công suất: $N_p = 2,2 \text{ kW}$.

– Nếu sử dụng bình trữ nước nóng cấp cho khách sạn trong 2 giờ thì số giờ làm việc của thiết bị đun nước nóng trong 1 ngày là:

$$\tau = \frac{V_{\text{total}}}{V_r} = \frac{55900}{12065} \times 2 = 9,27 \text{ h}$$

2. Phương án A: Cung cấp nước nóng bằng lò hơi đốt dầu

Sử dụng bình trữ nước nóng trong 2 giờ nên chỉ cần đầu tư lò hơi có công suất nhiệt là:

$$Q_{\text{LH}} = \frac{Q_r}{2} = \frac{561,16}{2} = 280,58 \text{ kW}$$

Sử dụng lò hơi áp lực thiết kế: $p_{\text{tk}} = 10 \text{ bar}$, áp lực làm việc: $p_v = 8 \text{ bar}$, hơi là hơi bão hoà khô.

Với $p_v = 8 \text{ bar} \Rightarrow$ tra bảng 4.1 có thông số hơi ra:
$$\begin{cases} t_h = 170,41^\circ\text{C} \\ i'' = 2767,5 \text{ kJ/kg} \\ i' = 720,94 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

Qua thiết bị trao đổi nhiệt để cấp nhiệt cho nước nâng nhiệt độ nước từ 20°C đến 60°C , giả sử hơi nước sau khi ngưng tụ tiếp tục trao đổi nhiệt và nhiệt độ giảm xuống còn 80°C .

Tra bảng 4.2. nước chưa sôi và hơi quá nhiệt với $\begin{cases} t_h = 80^\circ\text{C} \\ p = 8 \text{ bar} \end{cases} \Rightarrow i_h = 335,3 \text{ kJ/kg}$

Giả sử hiệu suất của thiết bị trao đổi nhiệt là 90%.

Vậy lượng hơi nước cần cung cấp là:

$$G_h = \frac{Q_{\text{LH}}}{(i'' - i_h) \eta} = \frac{280,58 \cdot 3600}{(2767,5 - 335,3) \cdot 0,9} = 461,2 \text{ kg/h.}$$

Tra bảng phụ lục 7.7. Từ thông số kỹ thuật của lò hơi chọn được lò hơi sử dụng dầu Diesel như sau:

Năng suất hơi (kg/h)		500
Năng suất nhiệt (kW)		300
Áp lực max (bar)		10
Tiêu thụ dầu Diesel (kg/h)		26,2
Tiêu thụ điện (kW)	Quạt	0,75
	Bơm dầu	0,4
	Bơm nước cấp	0,75
	Gia nhiệt dầu	3,0
Số giờ chạy (h)		10,4

Nhiên liệu Diesel: Nhiệt trị thấp làm việc : 10300 kcal/h

Khối lượng riêng : 0,79 kg/l

Giá : 11000 VNĐ/l

Tổng công suất điện của lò hơi gồm cả bơm cấp nước nóng là:

$$N_A = N_{\text{LH}} + N_p = (3,0 + 0,75 + 0,4 + 0,75) + 2,2 = 7,1 \text{ kW.}$$

3. Phương án B: Cung cấp nước nóng bằng lò hơi đốt than

Sử dụng bình trữ nước nóng trong 2 giờ nên chỉ cần đầu tư lò hơi có công suất nhiệt là:

$$Q_{LH} = \frac{Q_r}{2} = \frac{561,16}{2} = 280,58 \text{ kW}$$

Sử dụng lò hơi: áp lực thiết kế: $p_k = 8 \text{ kg/cm}^2 = 7,85 \text{ bar}$

áp lực làm việc: $p_v = 7 \text{ kg/cm}^2 = 6,87 \text{ bar}$

hơi là hơi bão hoà khô.

Với $p_v = 7,85 \text{ bar} \Rightarrow$ tra bảng 4.1 thông số hơi ra: $\begin{cases} t_h = 167,52^\circ\text{C} \\ i'' = 2764,5 \text{ kJ/kg} \end{cases}$

Qua thiết bị trao đổi nhiệt để cấp nhiệt cho nước nâng nhiệt độ nước từ 20°C đến 60°C , giả sử hơi nước sau khi ngưng tụ còn giảm nhiệt độ xuống còn 80°C .

Tra bảng 4.2 nước chưa sôi và hơi quá nhiệt với $\begin{cases} t_h = 80^\circ\text{C} \\ p = 6,87 \text{ bar} \end{cases} \Rightarrow i_h = 335,2 \text{ kJ/kg}$

Giả sử hiệu của thiết bị trao đổi nhiệt là 90%.

Vậy lượng hơi nước cần cung cấp là:

$$G_h = \frac{Q}{(i'' - i_h) \eta} = \frac{280,58 \cdot 3600}{(2764,5 - 335,2) \cdot 0,9} = 462 \text{ kg/h}$$

Tra phụ lục 7.6. Từ thông số kỹ thuật của lò hơi đốt than chọn được lò hơi có thông số như sau:

Năng suất hơi (kg/h)		500
Áp lực max (kg/cm ²)		8
Tiêu than (kg/h)		70
Loại than sử dụng	Than antraxit	
Tiêu thụ điện (kW)	Quạt	0,75
	Bơm nước cấp	0,45
Số giờ chạy (h)		10,4

Nhiên liệu than antraxit: Nhiệt trị thấp làm việc: $(6200 \div 6500) \text{ kcal/h}$

Giá: 3800 VNĐ/kg

Tổng công suất điện của lò hơi bao gồm bơm cấp nước nóng:

$$N_B = N_{LH} + N_p = (0,75 + 0,45) + 2,2 = 3,4 \text{ kW.}$$

4. Phương án C: Cung cấp nước nóng bằng bơm nhiệt và bình trữ nước nóng cho khách sạn trong 2 giờ

Sử dụng bình trữ nước nóng trong 2 giờ nên chỉ cần đầu tư bơm nhiệt có công suất nhiệt là:

$$Q_{BN} = \frac{Q_r}{2} = \frac{561,16}{2} = 280,58 \text{ kW} = 958 \text{ MBH}$$

Tra phụ lục 7.9, chọn được bơm nhiệt THR 085 có thông số như sau:

Loại máy	Nhiệt độ nước vào (°C)	Nhiệt độ nước nóng ra (60°C)	
		Công suất nhiệt (MBH/kW)	COP
THR095	20	1014/297,20	3,8

Công suất điện của bơm nhiệt là:

$$L = \frac{Q_{BN}}{COP} = \frac{297,20}{3,8} = 78,21 \text{ kW}$$

Tổng công suất điện của bơm nhiệt và bơm cấp nước nóng là:

$$N_C = N_{BN} + N_p = 78,21 + 2,2 = 80,41 \text{ kW.}$$

5. So sánh chi phí vận hành trong 1 năm của các phương án

Phương án	Tiêu thụ điện			Tiêu thụ nhiên liệu			Chi phí vận hành năm (VNĐ)	So sánh
	Công suất điện (kW)	kWh/ngày	kWh/năm	kg/h	kg/ngày	kg/năm		
Phương án A – Lò hơi đốt dầu và bơm nước nóng	7,1	65,82	24023	26,2	242,88	88649	997.817.016	3,877
Phương án B – Lò hơi đốt than và bơm nước nóng	3,4	31,52	11504	70	649	236849	839.841.096	3,263
Phương án C – Bơm nhiệt và bơm nước nóng	80,41	745,4	272071	–	–	–	257.379.408	1

Ghi chú: 1 ngày vận hành 10,4 h

1 năm vận hành 365 ngày

Giá điện trung bình: 944 VNĐ/kWh

Giá dầu : 11000 VNĐ/kg

Giá than : 3500 VNĐ/kg

Như vậy, qua bảng so sánh trên ta thấy phương án sử dụng cấp nước nóng bằng Bơm nhiệt có chi phí vận hành, là thấp nhất; dùng lò hơi đốt than chi phí vận hành gấp 3,263 lần so với dùng bơm nhiệt và do giá nhiên liệu cao nên dùng lò hơi đốt dầu là đắt nhất, gấp 3,877 lần so với phương án dùng bơm nhiệt.

7.4. Tóm tắt

Hệ thống điều hoà không khí của một trung tâm thương mại có :

Công suất lạnh: 2260 kW;

Công suất sưởi: 600 kW;

Số giờ sử dụng máy lạnh trong năm 1900h, số giờ sử dụng thiết bị sưởi 273h

– Phương án A: Máy lạnh giải nhiệt gió và lò đốt dầu Diesel.

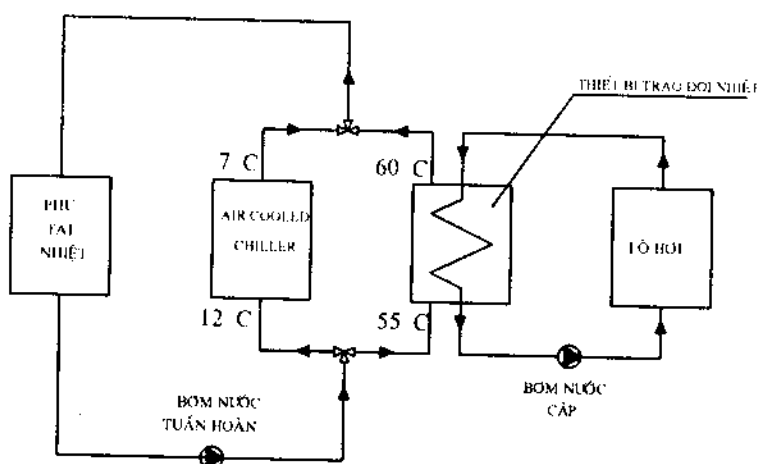
– Phương án B: Máy lạnh giải nhiệt gió và bơm nhiệt nguồn nhiệt không khí.

Yêu cầu:

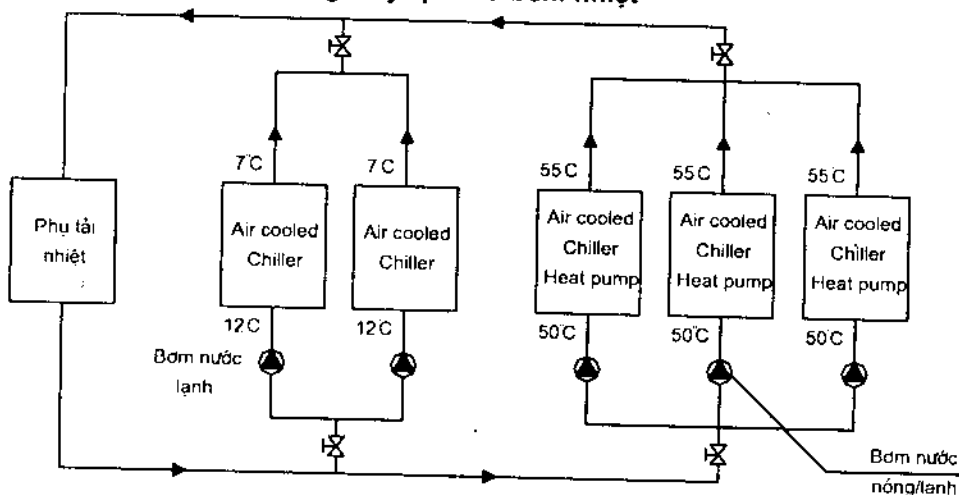
1. Vẽ sơ đồ nguyên lý các phương án;
2. Tính chi phí vận hành trong một năm của phương án A bao gồm bơm nước nóng có cột áp 45mH₂O;
3. Tính chi phí vận hành trong một năm của phương án B bao gồm bơm nước nóng có cột áp 45mH₂O;
4. Nếu sử dụng biến tần thì tiêu thụ điện cho bơm nước lạnh sẽ giảm được bao nhiêu.

1. Sơ đồ nguyên lý các phương án

1.1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống máy lạnh và lò đốt dầu Diesel



1.2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống máy lạnh và bơm nhiệt



Trung tâm thương mại có công suất lạnh: 2260 kW = 642,8 RT.

2. Phương án A

2.1. Hệ thống máy lạnh (Chiller)

Tra bảng phụ lục 7.11a và 7.11b, chọn hai máy làm lạnh nước giải nhiệt gió (Air cooled chiller) RTAC350 Trane có thông số kỹ thuật như sau:

Model	Công suất lạnh (kW) (RT)	Điện năng tiêu thụ (kW)	Lưu lượng nước lạnh (l/s)	Chỉ số tiêu thụ điện (PIC) kW/RT	Điện áp
RTAC 350	1186,6 (337,5)	387	54	1,18	380V/3p/50Hz

Ghi chú :

– Các thông số được tra theo điều kiện chạy tiêu chuẩn nhiệt độ nước lạnh ra khỏi Chiller 7°C, nhiệt độ không khí vào dàn ngưng tụ là 35°C.

– Điện năng tiêu thụ tính cho trường hợp đầy tải

– Chỉ số tiêu thụ điện PIC = 3,516/COP.

2.2. Bơm nước lạnh

– Từ bảng thông số của Chiller ta có:

Lưu lượng bơm 54 l/s = 0,054 m³/s.

Cột áp theo thiết kế: 45 m (H₂O) = 4,413.10⁵ Pa.

Chọn hai bơm có lưu lượng và cột áp thỏa mãn điều kiện trên.

– Công suất điện của bơm được tính theo công thức :

$$P = \frac{\Delta P \cdot G}{\eta \cdot 1000}$$

Trong đó :

P : Điện năng tiêu thụ của bơm, kW.

ΔP : Cột áp của bơm, Pa.

G : Lưu lượng bơm, m³/s.

η : Hiệu suất bơm.

– Chọn hiệu suất bơm là 0,7 ta có công suất điện của bơm :

$$P_{\text{lạnh}} = \frac{4,413 \cdot 10^5 \cdot 0,054}{0,7 \cdot 1000} = 34 \text{ kW}$$

Chọn 2 bơm có công suất 37 kW theo bảng phụ lục 7.3.

2.3. Hệ thống sưởi

Để sưởi ấm chọn lò hơi trực lưu đốt dầu Diesel.

Tra bảng phụ lục 7.7, chọn lò hơi đốt dầu Diesel công suất nhiệt 600kW có các thông số kỹ thuật như sau:

Năng suất hơi (kg/h)		1000
Năng suất nhiệt (kW)		600
Áp lực max (bar)		10
Tiêu thụ dầu Diesel (kg/h)		52,3
Tiêu thụ điện (kW)	Quạt	1,5
	Bơm dầu	0,4
	Bơm nước cấp	1,5
	Gia nhiệt dầu	6,0

2.4. Bơm nước nóng

Giả thiết nhiệt độ nước nóng ra khỏi thiết bị trao đổi nhiệt là 60°C, nhiệt độ nước nóng vào thiết bị trao đổi nhiệt là 55°C.

– Lưu lượng nước nóng tuần hoàn:

$$G = \frac{Q}{\rho C_p \Delta t}$$

Trong đó:

- Q : Công suất nhiệt của lò hơi (kW) ;
- Δt : Độ chênh nhiệt độ vào và ra khỏi thiết bị trao đổi nhiệt (K) ;
- C_p : Nhiệt dung đẳng áp của nước (kJ/kg.K) ;
- G : Lưu lượng khối lượng nước nóng tuần hoàn (kg/s) ;
- ρ : Khối lượng riêng của nước (kg/m³).

$$G = \frac{600}{1000 \cdot 4,18 \cdot (60 - 55)} = 0,0287 \text{ m}^3/\text{s} = 28,7 \text{ l/s}$$

Nhận thấy lưu lượng nước nóng ở chế độ sưởi ấm nhỏ hơn lưu lượng nước lạnh nên có thể sử dụng bơm nước lạnh cho chế độ sưởi ấm (xem sơ đồ nguyên lý).

2.5. Chi phí vận hành của phương án A

2.5.1. Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ làm lạnh

– Tiêu thụ điện một năm của máy lạnh khi chạy đầy tải tính theo công thức :

$$EC_m = \sum_{i=1}^n Q_{2i} \cdot (PIC)_i \cdot h_i + \sum_{i=1}^n P_i \cdot h_i$$

Trong đó:

- EC_m : Tổng tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK trong 1 năm, (kWh/năm)
- Q_{2i} : Công suất lạnh của Chiller thứ i, (RT)
- $(PIC)_i$: Chỉ số hiệu quả năng lượng của Chiller thứ i, (kW/RT)
- h_i : Thời lượng vận hành của Chiller/ bơm/ quạt... thứ i, (h)
- P_i : Công suất điện của thiết bị phụ thứ i (Bơm), (kW)
- n : Số lượng thiết bị có trong hệ thống.

$$EC_m = 2Q_{2i} \cdot PIC \cdot h + 2P \cdot h \quad \text{kW}$$

$$EC_{ht} = 2.337,5.1,18.1900 + 2.37.1900 = 1\ 653\ 950 \text{ kWh/năm}$$

Với giá điện trung bình 944 VNĐ/kWh chi phí vận cho hệ thống máy lạnh trong một năm là:

$$CP_{HTL} = 1\ 653\ 950.944 = 1\ 561\ 328\ 800 \text{ VNĐ/năm.}$$

2.5.2 Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ sưởi ấm

– Công suất điện của bơm là: $P = 37 \text{ kW}$.

– Lượng dầu tiêu thụ trung bình một năm của lò hơi :

$$G_{Diesel} = G_{lo} \cdot h_{lo}$$

Trong đó :

G_{Diesel} : Lượng dầu tiêu thụ trung bình trong một năm của lò hơi, kg/năm;

G_{lo} : Lượng dầu tiêu thụ trong một giờ của lò hơi, kg/h;

h_{lo} : Số giờ hoạt động trung bình trong năm của chế độ sưởi ấm, kg/năm.

$$G_{Diesel} = 52,3.273 = 14278 \text{ kg/năm}$$

– Tiêu thụ điện trong năm cho lò hơi:

$$EC_{hts} = \sum Q_{ei} \cdot h_{lo}$$

Trong đó:

$\sum Q_{ei}$: Tổng công suất điện để vận hành lò hơi bao gồm bơm nước nóng, quạt, bơm dầu, bơm nước cấp, gia nhiệt dầu.

– Tiêu thụ điện để vận hành lò hơi:

$$EC_{hts} = (37 + 1,5 + 0,4 + 1,5 + 6).273 = 12667 \text{ kWh/năm}$$

Với giá điện trung bình trong năm là 944 VNĐ/kWh, giá dầu là 11000 VNĐ/l = 13925 VNĐ/kg chi phí vận hành trung bình khi hoạt động ở chế độ sưởi:

$$CP_{hts} = 14278.13925 + 12667.944 = 210\ 778\ 798 \text{ đ/năm.}$$

2.5.3 Chi phí vận hành trung bình một năm cho phương án A

Chi phí vận hành cho phương án A bao gồm chi phí vận hành máy lạnh và lò hơi.

$$CPA = 1\ 561\ 328\ 800 + 210\ 778\ 798 = 1\ 772\ 107\ 598 \text{ VNĐ/năm.}$$

3. Phương án B

3.1. Bơm nhiệt

Để thỏa mãn cho nhu cầu sưởi ấm ta chọn 2 Máy làm lạnh nước – Bơm nhiệt (Air Cooled Chiller Heat Pump) của McQuay có thông số như sau (bảng phụ lục 7.10a, 7.11b):

Loại	Công suất lạnh (kW)	Tiêu thụ điện khi chạy ở chế độ làm lạnh (kW)	Công suất sưởi (kW)	Tiêu thụ điện (KW)	Lưu lượng nước (m³/h)
MHS 80.1	280	90	294	93	48,2

Ghi chú :

- Chiller sử dụng môi chất R22
- Các thông số kỹ thuật của Chiller
- + Khi chạy ở chế độ làm lạnh được lấy với nhiệt độ nước ra là 7°C, nhiệt độ không khí là 35°C.
- + Khi chạy ở chế độ sưởi ấm lấy với nhiệt độ nước ra là 45°C, nhiệt độ không khí là 7°C.

3.2. Hệ thống máy lạnh

Công suất lạnh của máy lạnh là $2260 - 2 \times 280 = 1700$ kW ta chọn 2 máy làm lạnh nước giải nhiệt gió RTAC 250 Trane có thông số kỹ thuật như sau (bảng phụ lục 7.11a, 7.11b):

Model	Công suất lạnh kW (RT)	Điện năng tiêu thụ kW	Lưu lượng vận hành l/s	Chỉ số hiệu quả năng lượng (PIC) kW/RT	Điện áp
RTAC 250	855,4 (243,3)	272,9	38,6	1,217	380V/3p/50Hz

3.3. Bơm nước lạnh cho 2 máy làm lạnh nước

Từ bảng thông số của Chiller ta có lưu lượng bơm $38,6 \text{ l/s} = 0,0386 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cột áp theo thiết kế : $45 \text{ m (H}_2\text{O)} = 4,413 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Chọn hai bơm có lưu lượng và cột áp thỏa mãn điều kiện trên.

Công suất điện của bơm được tính theo công thức:

$$P = \frac{\Delta P \cdot G}{\eta \cdot 1000}$$

$$P = \frac{4,413 \cdot 10^5 \cdot 0,0386}{0,7 \cdot 1000} = 24,4 \text{ kW}$$

Chọn bơm có công suất 30 kW theo bảng phụ lục 7.3.

3.4. Bơm nước nóng/lạnh 2 máy làm lạnh nước – bơm nhiệt

Từ bảng thông số của Chiller ta có lưu lượng bơm $48,2 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0137 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cột áp theo thiết kế : $45 \text{ m (H}_2\text{O)} = 4,413 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Chọn ba bơm có lưu lượng và cột áp thỏa mãn điều kiện trên.

Công suất điện của bơm được tính theo công thức:

$$P = \frac{\Delta P \cdot G}{\eta \cdot 1000}$$

$$P = \frac{4,413 \cdot 10^5 \cdot 0,0137}{0,7 \cdot 1000} = 8,65 \text{ kW}$$

Chọn bơm có công suất 9 kW theo bảng phụ lục 7.3.

3.5. Chi phí vận hành cho phương án B

3.5.1. Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ làm lạnh

– Tiêu thụ điện một năm của hệ thống khi vận hành ở chế độ làm lạnh:

$$EC_m = \sum_{i=1}^n Q_{2i} \cdot (PIC)_i \cdot h_i + \sum_{i=1}^n P_i \cdot h_i$$

Trong đó:

Q_{2i} : Công suất lạnh của Chiller thứ i, kW (bao gồm 2 Air Cooled Chiller và 2 Air Cooled Chiller Heat Pum).

$(PIC)_i$: Chỉ số hiệu quả năng lượng của Chiller thứ i, kW/kW.

h_i : Thời lượng vận hành của Chiller/ bơm/ quạt... thứ i, h.

P_i : Công suất điện của thiết bị phụ thứ i (Bơm), kW.

$$\begin{aligned} EC_m &= 2.243.1.217.1900 + 2.90.1900 + 2.30.1900 + 2.9.1900 \\ &= 1\,613\,977,8 \text{ kWh/năm.} \end{aligned}$$

– Với giá điện trung bình 944 VNĐ/kWh chi phí vận cho hệ thống ở chế độ làm lạnh trong một năm:

$$CP_{HTL} = 1613977,8.944 = 1\,523\,595\,043 \text{ VNĐ/năm.}$$

3.5.2. Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ sưởi ấm

– Tiêu thụ điện của hệ thống khi vận hành ở chế độ sưởi ấm.

$$EC_m = \sum_{i=1}^n Q_{2i} \cdot (PIC)_i \cdot h_i + \sum_{i=1}^n P_i \cdot h_i$$

Trong đó:

Q_{2i} : Công suất sưởi của Chiller thứ i, (kW) (bao gồm 2 Air Cooled Chiller Heat Pum và 2 bơm nước nóng lạnh).

$$EC_m = 2.93.273 + 2.9.273 = 55\,692 \text{ kWh/năm.}$$

– Chi phí vận hành trung bình khi vận hành ở chế độ sưởi:

$$CP_{HTs} = 55\,692.944 = 52\,573\,248 \text{ VNĐ/năm}$$

3.5.3. Chi phí vận hành trung bình một năm cho phương án B

Chi phí vận hành cho phương án B bao gồm chi phí vận hành máy làm lạnh nước và máy làm lạnh nước – bơm nhiệt.

$$CPB = 1\,523\,595\,043 + 52\,573\,248 = 1\,576\,168\,291 \text{ VNĐ/năm.}$$

4. So sánh chi phí vận hành trong một năm của hai phương án

Phương án	Công suất lạnh (kW)	Công suất sưởi (kW)	Chế độ làm lạnh		Chế độ sưởi		Chi phí vận hành trung bình trong một năm (nghìn VNĐ/năm)
			Tiêu thụ điện (kWh/năm)	Chi phí (nghìn VNĐ/năm)	Tiêu thụ điện (kWh/năm)	Tiêu thụ dầu Diesel (kg/năm)	
Phương án A – Máy lạnh trực vít giải nhiệt gió – lò hơi đốt dầu Diesel	2260	600	1 653 950	1 561 329	12 667	14 278	1 772 107
Phương án B – Máy lạnh trực vít giải nhiệt gió – bơm nhiệt	2260	600	1 613 978	1 523 595	55 692	-	1 576 168

Ghi chú:

Số giờ vận hành ở chế độ làm lạnh là 1900h

Số giờ vận hành ở chế độ sưởi ấm là 273h

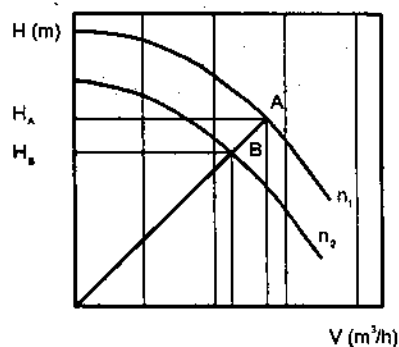
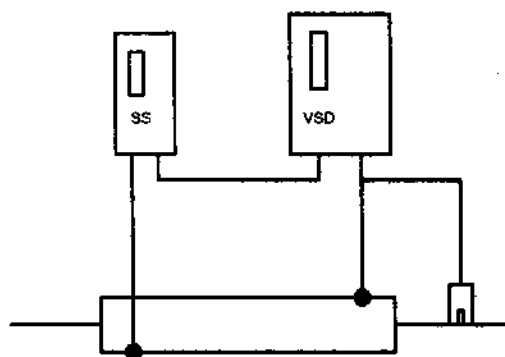
Giá điện trung bình: 944 VNĐ/kWh

Giá dầu : 11000 VNĐ/l

Như vậy, qua bảng so sánh trên ta thấy với giá dầu và giá điện như trên thì chi phí vận hành khi sử dụng phương án A sẽ tiết kiệm hơn so với phương án B mỗi năm là 195,9 triệu đồng. Tuy nhiên, để ứng dụng phương án nào cho công trình thì cần phải phân tích thêm bài toán kinh tế.

4. Sử dụng biến tần cho bơm nước lạnh

Giả sử lưu lượng và cột áp thay đổi tỷ lệ thuận với sự thay đổi công suất lạnh.



– Về mặt lý thuyết khi sử dụng bơm nhiệt để thay đổi đặc tuyến hoạt động của bơm ly tâm từ điểm A đến điểm B ta có:

$$\frac{H_B}{H_A} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$\frac{P_B}{P_A} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

Trong đó:

n_i : tốc độ vòng quay của động cơ (vg/phút).

P : công suất của bơm (kW).

H : cột áp của bơm (m H₂O).

Công suất bơm được tính theo bảng sau:

% Tải lạnh	Công suất bơm, kW	H_B/H_A	n_2/n_1
100	37	100	1
75	24,4	75	0,87
50	13,2	50	0,71
25	4,6	25	0,5

– Tiêu thụ điện của bơm nước lạnh sử dụng biến tần:

$$IPLV_b = \frac{1}{0,018/A + 0,501/B + 0,481/C + 0,0/D}$$

$$IPLV_b = \frac{1}{0,018/37 + 0,501/24,4 + 0,481/13,2 + 0,0/4,6} = 17,43 \text{ kW}$$

Như vậy, nếu sử dụng biến tần cho bơm nước lạnh, thì điện năng tiêu thụ trong một năm của hai bơm có thể giảm được:

$$2(37 - 17,43) \cdot 1900 = 74 \text{ 364 kWh/năm}$$

Tương đương với chi phí vận hành:

$$74 \text{ 364} \cdot 944 = 70 \text{ 199 616 VNĐ/năm}$$

7.5. Tóm tắt

Hệ thống điều hoà không khí của một trung tâm thương mại có:

Công suất lạnh: 2260 kW;

Công suất sưởi: 600 kW;

Số giờ sử dụng máy lạnh trong năm 1900h, số

giờ sử dụng thiết bị sưởi 273h

– Phương án A: Máy lạnh trực vớt giải nhiệt

nước và lò đốt dầu Diesel.

– Phương án B: Máy lạnh giải nhiệt nước và bơm nhiệt nguồn nhiệt không khí.

Yêu cầu :

1. Vẽ sơ đồ nguyên lý các phương án.

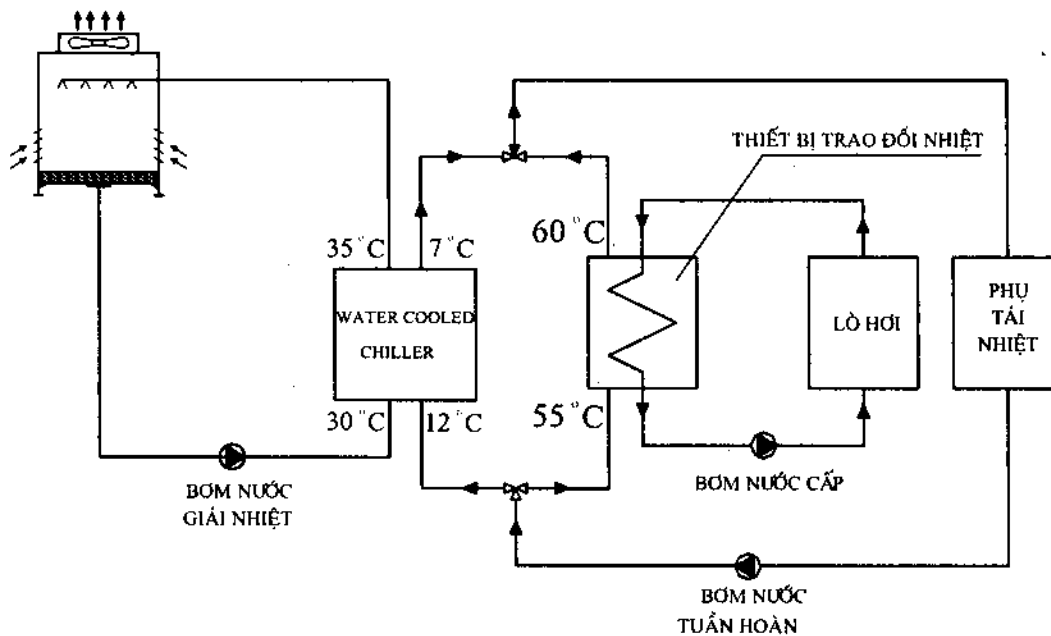
2. Tính chi phí vận hành trong 1 năm của phương án A bao gồm bơm nước nóng có cột áp 45mH₂O;

3. Tính chi phí vận hành trong một năm của hai phương án B bao gồm bơm nước nóng có cột áp 45mH₂O;

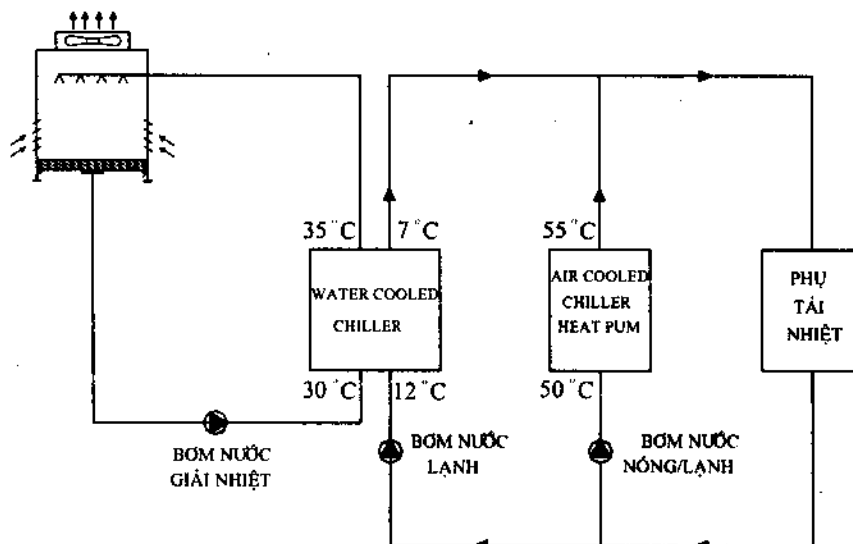
4. Nếu sử dụng biến tần thì tiêu thụ điện cho bơm nước lạnh sẽ giảm được bao nhiêu.

1. Sơ đồ nguyên lý các phương án

1.1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống máy lạnh và lò đốt dầu Diesel



1.2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống máy lạnh và bơm nhiệt



Trung tâm thương mại có công suất lạnh: 2260 kW = 642,8 RT

2. Phương án A

2.1. Hệ thống máy lạnh (Chiller)

Phương án A chọn hai Chiller giải nhiệt nước WHS 325.2B McQuay có các thông số kỹ thuật như sau (bảng 7.12):

Model	Công suất lạnh, kW (RT)	Điện năng tiêu thụ, kW	Lưu lượng nước lạnh, l/s	Lưu lượng nước giải nhiệt, l/s	Điện áp
WHS325.2B	1121,3 (318,9)	231,4	54	64,7	380 V/3P/50 Hz

Ghi chú :

- Điện năng tiêu thụ tính cho máy nén trong trường hợp đầy tải.
- Nhiệt độ nước lạnh ra/vào Chiller 7°C/12 °C.
- Nhiệt độ nước giải nhiệt ra/vào Chiller 35 °C/30 °C.
- Chỉ số tiêu thụ điện : $PIC = \frac{231,4}{1121,3} = 0,206 \text{ kW/kW}$.

2.2. Bơm nước lạnh

Từ bảng thông số của Chiller ta có lưu lượng bơm 54 l/s = 0,054 m³/s.

Cột áp theo thiết kế: 45 m (H₂O) = 4,413.10⁵ Pa.

Chọn hai bơm có lưu lượng và cột áp thỏa mãn điều kiện trên.

- Công suất điện của bơm được tính theo công thức:

$$P = \frac{\Delta P \cdot G}{\eta \cdot 1000}$$

Trong đó :

- P : Điện năng tiêu thụ của bơm, kW.
- ΔP : Cột áp của bơm, Pa.
- G : Lưu lượng bơm, m³/s.
- η : Hiệu suất bơm.

- Chọn hiệu suất bơm là 0,7 ta có công suất điện của bơm nước lạnh:

$$P_{\text{lạnh}} = \frac{4,413 \cdot 10^5 \cdot 0,054}{0,7 \cdot 1000} = 34 \text{ kW}$$

Chọn bơm công suất 37 kW (bảng phụ lục 7.3).

2.3. Bơm nước giải nhiệt

Từ bảng thông số của Chiller ta có lưu lượng bơm 63 l/s = 0,063 m³/s.

Cột áp theo thiết kế : 30 m (H₂O) = 2,945.10⁵ Pa.

Chọn hai bơm có lưu lượng và cột áp thỏa mãn điều kiện trên.

Chọn hiệu suất bơm là 0,7 ta có công suất điện của bơm nước giải nhiệt:

$$P_{\text{gn}} = \frac{2,945 \cdot 10^5 \cdot 0,063}{0,7 \cdot 1000} = 26,5 \text{ kW}$$

Chọn bơm công suất 30 kW (bảng phụ lục 7.3).

2.4. Tháp giải nhiệt

Chọn hai tháp giải nhiệt YC-350 OCEAN có thông số kỹ thuật như sau (phụ lục 7.13):

Loại	Công suất (RT)	Điện tiêu thụ (kW)
YC-350	350	3,7x2

2.5. Chi phí vận hành cho phương án A

2.5.1. Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ làm lạnh

– Tiêu thụ điện một năm của máy lạnh khi chạy đầy tải tính theo công thức :

$$EC_{nt} = \sum_{i=1}^n Q_{2i} \cdot (PIC)_i \cdot h_i + \sum_{i=1}^n P_i \cdot h_i$$

Trong đó :

EC_{nt} : Tổng tiêu thụ điện của hệ thống khi chạy ở chế độ làm lạnh trong 1 năm, (kWh/năm).

Q_{2i} : Công suất lạnh của Chiller thứ i, (kW).

$(PIC)_i$: Chỉ số hiệu quả năng lượng của Chiller thứ i, (kW/kW).

h_i : Thời lượng vận hành của Chiller/ bơm/ quạt... thứ i, (h).

P_i : Công suất điện của thiết bị phụ thứ i (Bơm nước lạnh, bơm nước giải nhiệt, quạt tháp giải nhiệt), (kW).

n : Số lượng thiết bị có trong hệ thống.

$$EC_{nt} = 2Q_{2i} \cdot PIC \cdot h + 2P \cdot h \quad (kW)$$

$$EC_{nt} = 2.1121.0,206.1900 + (2.37 + 2.30 + 2.3,7.2).1900 = 1\,160\,520 \quad (kWh/năm).$$

– Với giá điện trung bình 944 VNĐ/kWh chi phí vận hành trung bình năm khi hoạt động ở chế độ làm lạnh.

$$CP_{HTL} = 1\,160\,520 = 1\,095\,530\,880 \quad (VNĐ/năm)$$

2.5.2. Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ sưởi (xem bài 7.4)

Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ sưởi ấm là 210 778 798 VNĐ/năm.

2.5.3. Chi phí vận hành trung bình một năm cho phương án A

Chi phí vận hành cho phương án A bao gồm chi phí vận hành máy lạnh và lò hơi:

$$CPA = 10\,955\,300\,880 + 210\,778\,798 = 1\,306\,309\,678 \quad VNĐ/năm.$$

3. Phương án B

3.1. Bơm nhiệt

Để thỏa mãn cho nhu cầu sưởi ấm ta chọn 2 máy làm lạnh nước – bơm nhiệt (Chiller Heat Pump) của McQuay có thông số như sau (bảng phụ lục 7.9):

Loại	Công suất lạnh (kW)	Tiêu thụ điện khi chạy ở chế độ làm lạnh (kW)	Công suất sưởi (kW)	Tiêu thụ điện (kW)	Lưu lượng nước (m ³ /h)
MHS 80.1	280	90	294	93	48,2

Ghi chú :

- Chiller sử dụng môi chất R22
- Các thông số kỹ thuật của Chiller
- + Khi chạy ở chế độ làm lạnh được lấy với nhiệt độ nước ra là 7°C, nhiệt độ không khí là 35°C.
- Khi chạy ở chế độ sưởi ấm lấy với nhiệt độ nước ra là 45°C, nhiệt độ không khí là 7°C.

3.2. Hệ thống máy lạnh

Công suất lạnh của máy lạnh là $2260 - 2 \times 280 = 1700$ kW ta chọn 2 Water Cooled Chiller WWS260.2B McQuay có thông số kỹ thuật như sau (bảng phụ lục 7.10a, 7.10b):

Loại	Công suất lạnh, kW (RT)	Điện năng tiêu thụ (kW)	Lưu lượng nước lạnh (l/s)	Lưu lượng nước giải nhiệt, (l/s)	Điện áp
WWS260.2B	881,5 (250,7)	188,4	42,2	51,2	380 V/3P/50 Hz

Chỉ số tiêu thụ điện : $PIC = \frac{188,4}{881,5} = 0,214$ kW/kW.

3.2. Bơm nước lạnh cho 2 Water Cooled Chiller

Từ bảng thông số của Chiller ta có lưu lượng bơm $42,2 \text{ l/s} = 0,042 \text{ m}^3/\text{s}$

Cột áp theo thiết kế : $45 \text{ m (H}_2\text{O)} = 4,413.10^5 \text{ Pa}$

Chọn hai bơm có lưu lượng và cột áp thỏa mãn điều kiện trên.

Công suất điện của bơm được tính theo công thức:

$$P = \frac{\Delta P \cdot G}{\eta \cdot 1000}$$

$$P = \frac{4,413 \cdot 10^5 \cdot 0,0422}{0,7 \cdot 1000} = 26,6 \text{ kW}$$

Chọn bơm có công suất 30 kW theo bảng phụ lục 7.3.

3.3. Bơm nước giải nhiệt

Từ bảng thông số của Chiller ta có lưu lượng bơm $63 \text{ l/s} = 0,063 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cột áp theo thiết kế : $30 \text{ m (H}_2\text{O)} = 2,945.10^5 \text{ Pa}$.

Chọn hai bơm có lưu lượng và cột áp thỏa mãn điều kiện trên.

Chọn hiệu suất bơm là 0,7 ta có công suất điện của bơm nước giải nhiệt:

$$P_{Gn} = \frac{2,945 \cdot 10^5 \cdot 0,063}{0,7 \cdot 1000} = 21,5 \text{ kW}$$

Chọn bơm công suất 30 kW theo bảng phụ lục 7.3.

3.4. Bơm nước nóng/lạnh 2 Chiller - Heat Pump

Từ bảng thông số của Chiller - Heatpump ta có lưu lượng nước $48,2 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0137 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cột áp theo thiết kế : $45 \text{ m (H}_2\text{O)} = 4,413 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Chọn 2 bơm có lưu lượng và cột áp thỏa mãn điều kiện trên.

Công suất điện của bơm được tính theo công thức:

$$P = \frac{\Delta P \cdot G}{\eta \cdot 1000}$$
$$P = \frac{4,413 \cdot 10^5 \cdot 0,0137}{0,7 \cdot 1000} = 8,65 \text{ kW}$$

Chọn bơm có công suất 9 kW theo bảng phụ lục 7.3.

3.5. Tháp giải nhiệt

Chọn hai tháp giải nhiệt YC-350 OCEAN có thông số kỹ thuật như sau (bảng phụ lục 7.13):

Model	Công suất (RT)	Điện tiêu thụ (kW)
YC-350	350	3,7x2

3.6. Chi phí vận hành cho phương án B

3.6.1. Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ làm lạnh

– Tiêu thụ điện trung bình năm của hệ thống khi vận hành ở chế độ làm lạnh:

$$EC_{nt} = \sum_{i=1}^n Q_{2i} \cdot (PIC)_i \cdot h_i + \sum_{i=1}^n P_i \cdot h_i$$

Trong đó:

Q_{2i} : Công suất lạnh của Chiller thứ i, kW (bao gồm 2 Water Cooled Chiller và 3 Air Cooled Chiller Heat Pum).

$(PIC)_i$: Chỉ số hiệu quả năng lượng của Chiller thứ i, kW/kW.

h_i : Thời lượng vận hành của Chiller/ bơm/ quạt... thứ i, h.

P_i : Công suất điện của thiết bị phụ thứ i (bơm nước lạnh, bơm nước giải nhiệt, quạt tháp giải nhiệt), kW.

$$EC_{nt} = 2.881,5 \cdot 0,214 \cdot 1900 + 2.90 \cdot 1900 + 4.30 \cdot 1900 + 2.9 \cdot 1900 + 2.2 \cdot 3,7 \cdot 1900$$
$$= 1\,349\,156 \text{ kWh/năm}$$

Với giá điện trung bình 944 VNĐ/kWh chi phí vận hành trung bình năm của hệ thống khi vận hành ở chế độ làm lạnh:

$$CP_{nt} = 1\,349\,156 \cdot 944 = 1\,273\,603\,264 \text{ VNĐ/năm.}$$

3.6.2. Chi phí vận hành khi hệ thống hoạt động ở chế độ sưởi ấm

– Tiêu thụ điện của hệ thống khi vận hành ở chế độ sưởi ấm:

$$EC_{nt} = \sum_{i=1}^n Q_{2i} \cdot (PIC)_i \cdot h_i + \sum_{i=1}^n P_i \cdot h_i$$

Trong đó:

Q_{2i} : Công suất sưởi của Chiller thứ i, (kW) (bao gồm 3 Air Cooled Chiller và 3 Air Cooled Chiller Heat Pum).

$$EC_{ht} = 2.93.273 + 2.9.273 = 55\,692 \text{ kWh/năm.}$$

Chi phí vận hành trung bình năm khi vận hành ở chế độ sưởi:

$$CP_{HTa} = 55\,692.944 = 52\,573\,248 \text{ VNĐ/năm.}$$

2.5.3. Chi phí vận hành trung bình một năm cho phương án B

Chi phí vận hành cho phương án B bao gồm chi phí vận hành máy lạnh và bơm nhiệt.

$$CPA = 1\,273\,603\,264 + 52\,573\,248 = 1\,326\,176\,512 \text{ VNĐ/năm.}$$

4. Sử dụng biến tần cho bơm nước lạnh (xem bài 7.4)

5. Kết luận

Phương án	Công suất lạnh (kW)	Công suất sưởi (kW)	Chế độ làm lạnh		Chế độ sưởi			Chi phí vận hành trung bình trong một năm (nghìn VNĐ/năm)
			Tiêu thụ điện (kWh/năm)	Chi phí (nghìn VNĐ/năm)	Tiêu thụ điện (kWh/năm)	Tiêu thụ dầu Diesel (kg/năm)	Chi phí (nghìn VNĐ/năm)	
Phương án A Máy lạnh trực vớt giải nhiệt nước – lò hơi đốt dầu Diesel	2260	600	1 160 520	109 553 080	12 667	14 278	210 778	1 306 309 678
Phương án B – Máy lạnh trực vớt giải nhiệt nước – Bơm nhiệt	2260	600	1 349 156	1 273 603	55 692	-	52 573	1 326 176

Ghi chú:

Số giờ vận hành ở chế độ làm lạnh là 1900h

Số giờ vận hành ở chế độ sưởi ấm là 273h

Giá điện trung bình: 944 VNĐ/kWh

Giá dầu : 11000 VNĐ/l

Như vậy, qua bảng so sánh trên ta thấy với giá dầu và giá điện như trên thì chi phí vận hành khi sử dụng phương án A sẽ tiết kiệm hơn so với phương án B mỗi năm là 6,9 triệu đồng.

Khi so sánh với việc sử dụng Chiller giải nhiệt gió thấy rằng, nếu sử dụng Chiller giải nhiệt nước sẽ tiết kiệm hơn mỗi năm khoảng 450 triệu đồng. Tuy nhiên, để ứng dụng phương án nào cho công trình thì cần phải phân tích thêm bài toán kinh tế và điều kiện thực tế tại công trình.

7.6. Tóm tắt

Hệ thống điều hoà của một trung tâm thương mại có:

Công suất lạnh tối đa: $Q_0 = 7000 \text{ kW}$;

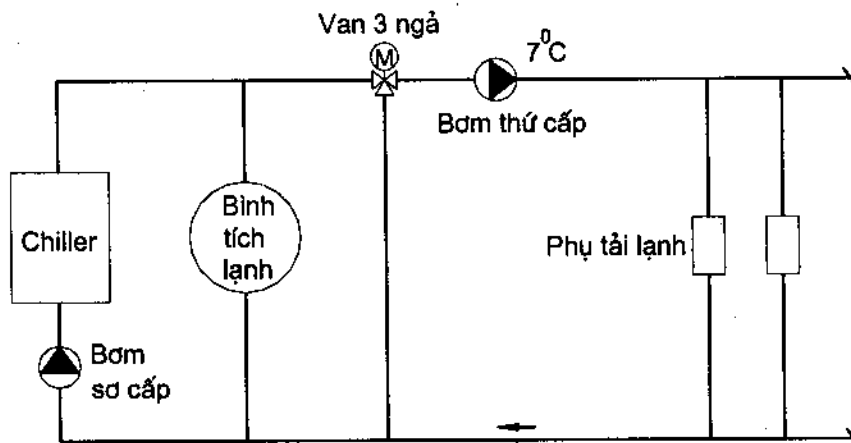
Tổng tiêu thụ lạnh $Q_{ng} = 52000 \text{ kWh}$ khi chạy 10h/ngày;

Bình tích lạnh sử dụng quả cầu công nghệ CN00.

Yêu cầu :

1. Vẽ sơ đồ hệ thống ĐHKK có bình tích lạnh.
2. Công suất lạnh, số lượng Chiller khi không sử dụng bình tích lạnh.
3. Chi phí vận hành của hệ thống khi không sử dụng bình tích lạnh.
4. Công suất lạnh, số lượng Chiller khi chạy ở chế độ bình tích lạnh (chế độ vận hành 55% thời gian Chiller chạy trực tiếp và 45% thời gian Chiller chạy bình tích lạnh).
5. Chi phí vận hành của hệ thống Chiller khi có bình tích lạnh.
6. Xác định thể tích bình tích lạnh.
7. So sánh tiết kiệm chi phí của hai phương án.

1. Sơ đồ hệ thống điều hoà không khí có bình tích lạnh



2. Công suất lạnh của Chiller cấp lạnh trực tiếp

Chi phí vận hành của hệ thống Chiller khi vận hành 55% thời gian Chiller chạy trực tiếp và 45% thời gian Chiller chạy bình tích lạnh Công suất lạnh của Chiller cấp lạnh trực tiếp sẽ là công suất lạnh tối đa của trung tâm thương mại $Q_0 = 7000 \text{ kW}$.

Nếu không sử dụng bình tích lạnh ta phải chọn 5 máy lạnh trực vít giải nhiệt nước WHS 420.2B công suất 1447 kW của hãng McQuay tra bảng 7.12.

3. Chi phí vận hành của hệ thống khi không sử dụng bình tích lạnh

– Chi phí vận hành hệ thống Chiller không có bình tích lạnh:

$$CPVH_{Cn} = Q_{ng} \cdot 0,1 \cdot (H_3 \cdot 895 + H_4 \cdot 1775) = 51116 \text{ 000 VNĐ/ngày}$$

Trong đó:

$H_3 = 9 \text{ h}$: Thời gian chạy Chiller với giá điện trung bình.

$H_4 = 1 \text{ h}$: Thời gian chạy Chiller với giá điện cao.

Giá điện cho theo phụ lục 7.14

4. Công suất của hệ thống Chiller khi vận hành 55% thời gian Chiller chạy trực tiếp và 45% thời gian Chiller chạy bình tích lạnh

– Hệ thống ĐHKK có công suất lạnh tối đa 7000kW sẽ có tổng tiêu thụ lạnh $Q_{ng} = 52000$ kWh khi chạy 10 h/ngày. Nếu sử dụng bình tích lạnh có thể xác định tiêu thụ của Chiller cấp lạnh trực tiếp như sau:

$$P_{Ch} = \frac{Q_{ng}}{9 + 11.f} = 3177 \text{ kW}$$

Trong đó:

9 (h) : Số giờ chạy máy lạnh trực tiếp

11 (h) : Số giờ chạy máy lạnh tích lạnh

$f = 0,67$: Hệ số suy giảm công suất máy lạnh ở nhiệt độ thấp.

Khi hệ thống có bình tích lạnh có thể chọn chọn 3 máy lạnh trực vút giải nhiệt nước WHS 325.2B công suất lạnh 1121.3 kW của hãng McQuay bảng phụ lục 7.12.

5. Chi phí vận hành của hệ thống Chiller khi có bình tích lạnh

– Xác định được công suất chạy Chiller chạy ở chế độ bình tích lạnh:

$$P_{TL} = P_{Ch}.f = 2128 \text{ kW}$$

– Chi phí vận hành hệ thống Chiller có bình tích lạnh (55% chạy Chiller cấp lạnh trực tiếp + 45% Chiller chạy tích lạnh):

$$CPVH_{Ch,TL} = P_{Ch}.H.895 + P_{TL}.(H_1.505 + H_2.895) = 41\,561\,375 \text{ VNĐ/ngày}$$

Trong đó:

$H = 9 \text{ h}$: Thời gian chạy Chiller cấp lạnh trực tiếp cho ĐHKK.

$H_1 = 6 \text{ h}$: Thời gian chạy Chiller cấp lạnh cho bình tích lạnh với giá điện thấp.

$H_2 = 5 \text{ h}$: Thời gian chạy Chiller cấp lạnh cho bình tích lạnh với giá điện trung bình.

6. Thể tích bình tích lạnh

– Thời gian chạy Chiller cấp lạnh cho bình tích lạnh là 11 giờ. Bình tích lạnh sẽ chứa được lượng nhiệt là:

$$Q_T = P_{TL} . 11 = 2128.11 = 23408 \text{ kWh}$$

Nhiệt ẩn của quả cầu tích lạnh CN00 tra bảng phụ lục 7.15 là 48,4 kWh/m³

– Thể tích bình tích lạnh:

$$V = \frac{23408}{48,4} = 484 \text{ m}^3$$

7. So sánh tiết kiệm chi phí của hai phương án

– Kết quả tính toán cho thấy chi phí vận hành của hệ thống Chiller có bình tích lạnh có thể giảm được khoảng 20% so với hệ thống không có bình tích lạnh.

– Chi phí đầu tư ban đầu giảm từ 5 Chiller xuống còn 3 Chiller, và hệ thống các đường ống nước, đường ống gió sẽ có kích thước nhỏ hơn.

– Phải bổ sung diện tích để lắp đặt bình tích lạnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Nhiệt động kỹ thuật*, TS. Lê Nguyễn Minh, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2008.
2. *Bài tập kỹ thuật nhiệt*, PGS. TS. Bùi Hải – TS. Hoàng Ngọc Đồng, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2000.
3. *Kỹ thuật nhiệt*, PGS. TS. Bùi Hải – PGS. TS. Trần Thế Sơn, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1998.
4. *Bài tập cơ sở kỹ thuật nhiệt*, PGS. TS. Phạm Lê Dân – GS. TS. Đặng Quốc Phú, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2003.
5. *Kỹ thuật điều hoà không khí*, TS. Lê Chí Hiệp, NXB Khoa học Kỹ thuật, TP. Hồ Chí Minh, 1996.
6. *Kỹ thuật thông gió*, GS. Trần Ngọc Chấn, NXB Xây dựng, Hà Nội, 1998.
7. *Ga dầu và chất tải lạnh – Bảng và đồ thị*, PGS. TS. Nguyễn Đức Lợi, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2006.
8. *Taschenbuch fuer Heizung – Klima Technik, Recknagel – Sprenger – Schramek*, R. Oldenbourg. Verlag – Muenchen Wien, Cộng hoà Liên bang Đức, 1997/1998.
9. *Tabellenbuch Waeme- Kaelt-Klima – Europa. Nr. 1713x, Horst Herr, Verlag – Europa – Lehrmittel*, Cộng hoà Liên bang Đức, 2005.
10. *ARI standard 550/590 – 2003, Arlington, Virginia 22203, USA, 2003.*
11. *ASHRAE TRANSACTIONS 1974, 1976, 1978, 1988.*
12. *Templifier Heat Recovery Water Chillers, Mc.Quay Air Conditioning, USA, 2005.*
13. *Hệ thống VRV II DAIKIN, PCV0328E.*
14. *Cristopia Energy Systems ©, 95 Artemis.*
15. *Heating water-GD Midea Commercial Air – conditioning Equipment Co.,LTD.*

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Biên tập nội dung và sửa bản in:

NGUYỄN HÀ XUÂN

Trình bày bìa:

ĐINH XUÂN DŨNG

Chế bản:

NGUYỄN HÀ XUÂN

BÀI TẬP NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

Mã số: 7B747Y9 – DAI

In 1.500 bản (QĐ : 35), khổ 19 x 27 cm. In tại Công ty Cổ phần In Phúc Yên.

Địa chỉ : Đường Trần Phú, thị xã Phúc Yên, Vĩnh Phúc.

Số ĐKKH xuất bản : 375 – 2009/CXB/2 – 726/GD.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 6 năm 2009.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ
HEVOBCO

25 HÀN THUYỀN – HÀ NỘI

Website : www.hevobco.com.vn

TÌM ĐỌC SÁCH THAM KHẢO KỸ THUẬT CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

- | | |
|---|---|
| 1. Giáo trình nhiệt động kỹ thuật | TS. Lê Nguyên Minh |
| 2. Giáo trình cấp thoát nước công trình | Nguyễn Duy Anh - Nguyễn Đình Hải
Phạm Văn Lương - Trần Thị Sen |
| 3. Giáo trình cơ sở kỹ thuật môi trường | Tăng Văn Đoàn - Trần Đức Hạ |
| 4. Bê tông, bê tông cốt thép và vữa xây dựng | Hoàng Văn Phong |
| 5. Cơ học kỹ thuật - Tập 1
Tĩnh học và Động học | Đỗ Sanh |
| 6. Bài tập cơ học kỹ thuật - Tập 1
Tĩnh học và Động học | Đỗ Sanh - Nguyễn Nhật Lệ |
| 7. Cơ học kỹ thuật - Tập 2
Động lực học | Đỗ Sanh |
| 8. Bài tập cơ học kỹ thuật - Tập 2
Động lực học | Đỗ Sanh |

Bạn đọc có thể mua tại các Công ty Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng sách của Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam :

Tại Hà Nội : 25 Hàn Thuyên ; 187B Giảng Võ ; 232 Tây Sơn ; 23 Tràng Tiền ;

Tại Đà Nẵng : Số 15 Nguyễn Chí Thanh ; Số 62 Nguyễn Chí Thanh ;

Tại Thành phố Hồ Chí Minh : Cửa hàng 451B - 453, Hai Bà Trưng, Quận 3 ;

240 Trần Bình Trọng – Quận 5.

Tại Thành phố Cần Thơ : Số 5/5, đường 30/4 ;

Website : www.nxbgd.com.vn



Giá: 25.500 đ