المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص التبريد وتكييف الهواء

نظم ومعدات التبريد

205 برد

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **نظم ومعدات التبريد (نظري)** " لمتدربي تخصص "**التبريد وتكييف الهواء**" للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

ظلت أنظمة تبريد الهواء تشهد تطوراً ملحوظاً في الآونة الأخيرة وأصبحت الشركات المنتجة للأنواع المختلفة من الأجهزة والمعدات تتنافس في انتاج أنواع جديدة ذات كفاءة عالية وبأسعار منخفضة. وبرز هذا التحدي في تزويد الأجهزة والمعدات بأنظمة تحكم متطورة كأنظمة التحكم الرقمي المباشر والتحكم المنطقي المبرمج من أجل الحصول على أداء أفضل للأجهزة وترشيد استهلاك الطاقة بالإضافة إلى تقليل تكاليف التشغيل والصيانة وهذا ما لمسناه بالفعل في العديد من أنظمة ومعدات التبريد الحديثة. كما ان هناك تحدياً آخراً يتمثل في تطوير معدات تبريد تعمل بوسائط تبريد بديلة صديقة للبيئة للمحافظة على طبقة الأوزون وذلك تمشياً مع الاتفاقيات العالمية في هذا المضمار.

هذه الحقيبة التدريبية تشكل مرجعاً هاماً لأبنائنا المتدربين يساعدهم في الفهم الصحيح لأنظمة ومعدات تبريد الهواء وتصنيفاتها المختلفة وأسس اختيار نظام التبريد المناسب للتطبيق المعين.

تضم الحقيبة ست وحدات تدريبية:

الوحدة الأولى تحتوي على تحليل ودراسة أداء أنظمة التبريد متعددة المبخرات ومتعددة الضواغط.

الوحدة الثانية تعطي شرحاً مفصلاً عن أسباب تكون الصقيع والتعرف على أنظمة إزالة الصقيع.

الوحدة الثالثة تصف الأنواع المختلفة للضواغط ووصف مختلف أجزائها ووظائفها، بالإضافة إلى قياس الضغط، درجة الحرارة، التدفق، والقدرة المستهلكة في الضاغط.

الوحدة الرابعة تصف التركيب للأنواع المختلفة من المكثفات وكذلك تحديد العوامل التي تؤثر على درجة حرارة الخروج من المكثف وعوامل اختيار المكثف.

الوحدة الخامسة تحتوي على وصف تركيب وأداء الأنواع المختلفة للمبخرات.

الوحدة السادسة تشرح دورة التبريد بالامتصاص ومكوناتها بالإضافة إلى حساب معامل الأداء لدورة التبريد بالامتصاص.

وقد تم عرض الحقيبة بأسلوب مبسط وتزويدها بأعداد كبيرة من الرسومات والمخططات التوضيحية والتمارين المحلولة بحيث يسهل فهمها واستيعابها، ونتمنى من الله العلي القدير إن نكون قد وفقنا في إعدادها وتقديمها لأبنائنا الطلاب بالصورة المطلوبة.

نظم ومعدات التبريد (نظري)

أنظمة التبريد الانضغاطي المتعدد المراحل

الوحدة الأولى : أنظمة التبريد الانضغاطي المتعدد المراحل

الجدارة :

يجب أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل وبنسبة 100٪.

الهدف العام :

معرفة الطرق المختلفة لتحسين أداء دورة التبريد البسيطة ومعرفة الحاجة للأنظمة متعددة المبخرات والضواغط.

مقدمة الوحدة :

تقدم هذه الوحدة الطرق المختلفة لتحسين أداء دورة التبريد البسيطة ونظرا لأننا نحتاج إلى تخزين المنتجات عند درجات حرارة مختلفة ومناسبة لكل منتج لذا فإنه من الضروري عمل مخازن تبريد متعددة المبخرات وعندما تكون النسبة بين ضغط المكثف وضغط المبخر كبيرة نسبيا فإنه من الأفضل استخدام انضغاط متعدد المراحل بينهما (تبريد بيني) .

الأهداف السلوكية :

يجب أن يكون المتدرب قادرا على :

- معرفة طرق تحسين معامل الأداء لدورات التبريد.
- رسم دورات التبريد متعددة المبخرات وكذلك رسم منحنى p-h المناظر.
- القيام بالتحليل الثرموديناميكي لكل الدورات.

المهام المشمولة : C6, C7

متطلبات الجدارة :

يجب على المتدرب أن يكون قد اجتاز مقررات: أساسيات تقنية التبريد والتكييف - ومعمل (ورشة) أساسيات تقنية التبريد والتكييف - وأساسيات التحكم في التبريد والتكييف.

الوقت المتوقع للتدريب : 6 ساعات نظرية

1-1 أنظمة التبريد الانضغاطية متعددة المبخرات:

1- 1- 1 مبخرات متعددة عند نفس درجة الحرارة

يوضح شكل (1- 1 أ) دورة التبريد الأساسية. وتتكون هذه الدورة من ضاغط، مكثف، صمام تمدد ومبخر، كما يوضح شكل (1- 1 ب) مخطط p-h المناظر. ومن خلال تطوير هذه الدورة يمكن دراسة الدورات التالية:

1- 1- 1- 1 مبخرات متعددة عند نفس درجة الحرارة مع ضاغط واحد
Multi-Evaporators at the Same Temperature with Single Compressor

عندما تكون الأحمال عند نفس درجة الحرارة في وحدة التبريد، يمكن عمل ترتيبة الوحدة كما هو موضح بالشكل (1- 2 أ) والمخطط p-h المناظر موضح بالشكل (1- 2 ب).

طن التبريد:

يرمز طن التبريد (Refrigeration Ton) إلى كمية الحرارة التي تمتص من واحد طن أمريكي من الماء عند درجة حرارة (0 □C) لتحويله إلى ثلج عند نفس درجة الحرارة خلال 24 ساعة.

American Ton=2000 lb

الطاقة الكامنة لإذابة الثلج عند (0 □C) = 144 BTU/ lb

TR=(1/24)(2000×144)=12000 BTU/hour

1 kcal=3.98 BTU
TR=3000 kcal/hour
1 kcal=4.1868 kJ
TR =12500 kJ/hour =3.5 kJ/s =3.5 kW

التحليل الثرموديناميكي

بفرض أن السعات التبريدية Refrigeration Capacities بالطن التبريدي لأحمال التبريد في المبخر الأول و الثاني والثالث هي RC_1, RC_2, RC_3 على الترتيب. تكون المعادلات الأساسية على النحو التالي:

1- معدل سريان وسيط التبريد بالمبخرات:

$$\dot{m}_1 = \frac{3.5 \times RC_1}{h_1 - h_4}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{3.5 \times RC_2}{h_1 - h_4}$$

$$\dot{m}_3 = \frac{3.5 \times RC_3}{h_1 - h_4}$$

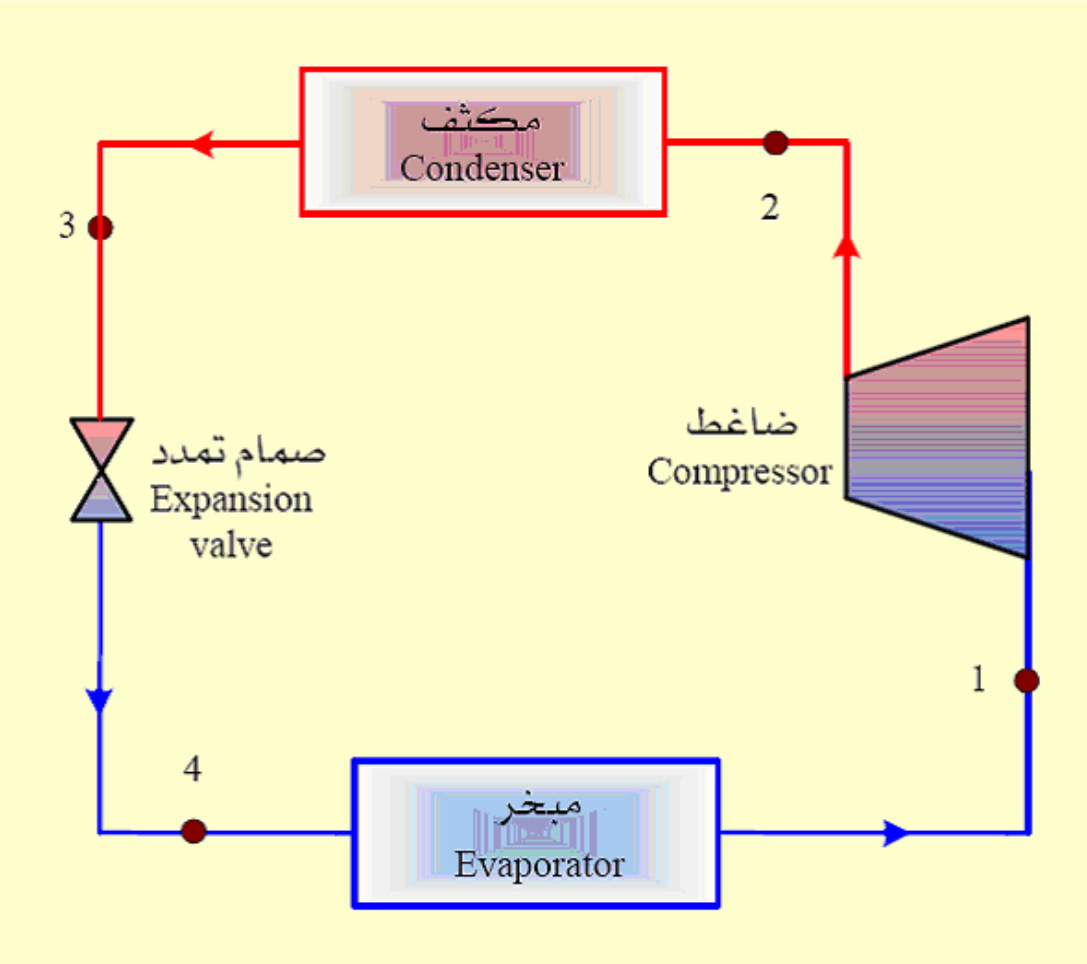
حيث 3.5 هو معامل لتحويل السعة التبريدية من الطن التبريدي (TR) إلى (kW).

2- القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط:

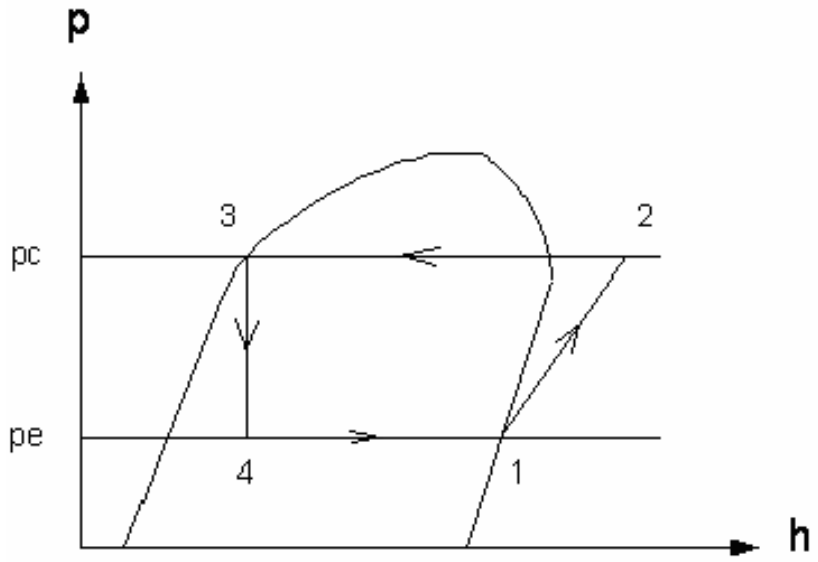
$$P_C = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3)(h_2 - h_1)$$

3- معامل الأداء:

$$\text{COP} = \frac{\text{Refrigerating effect}}{\text{Compressor work}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

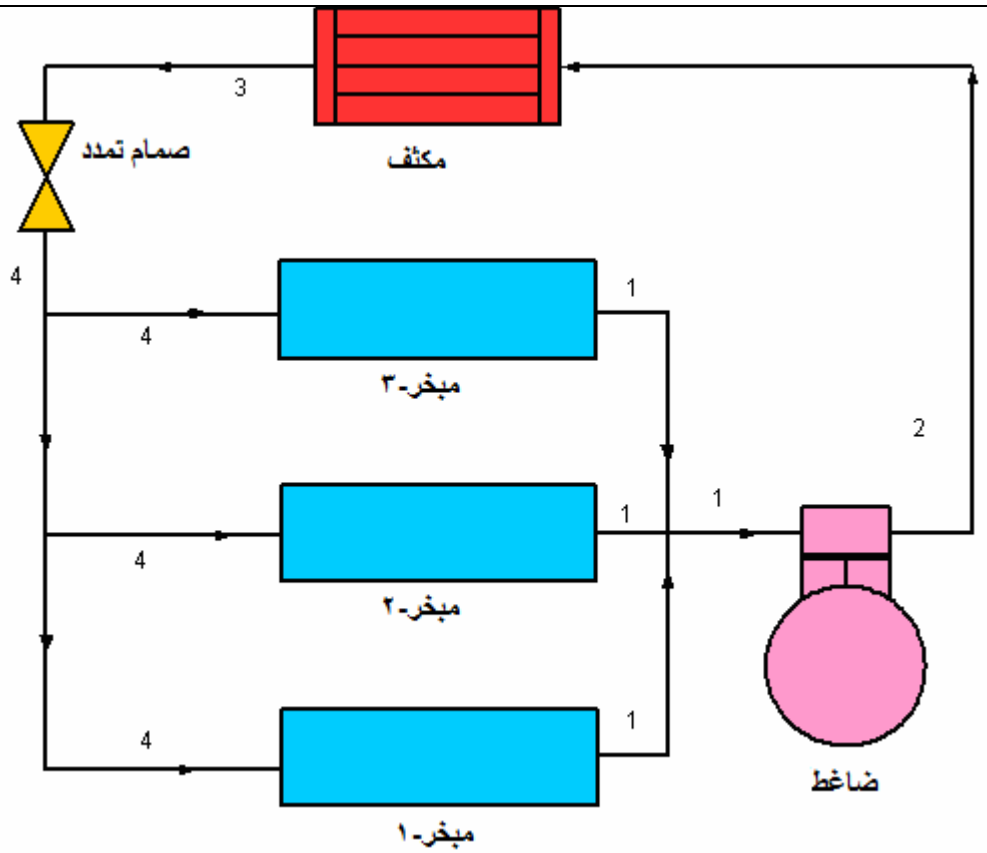

مكثف
Condenser
2
3
ضاغط
Compressor
صمام تمدد
Expansion
valve
1
4
مبخر
Evaporator

(أ)

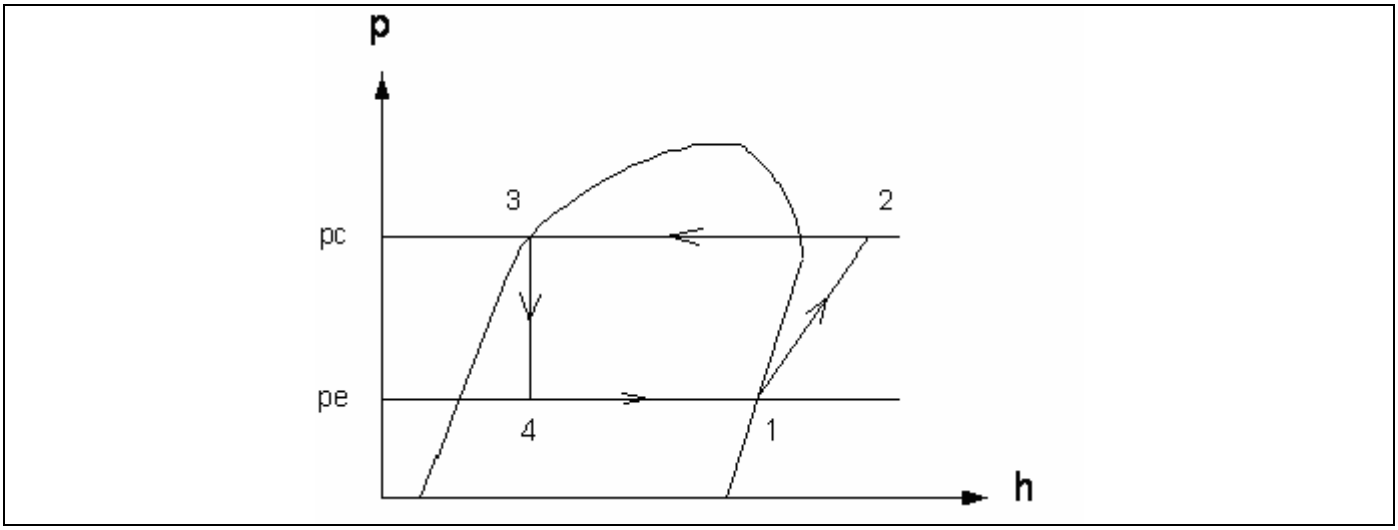


(ب)

شكل (1- 1) دورة التبريد الأساسية



(أ)



(ب)

شكل (1- 2) دورة مبخرات متعددة عند نفس درجة الحرارة مع ضاغط واحد

1- 1- 1- 2 مبخرات متعددة عند نفس درجة الحرارة مع ضواغط متعددة
Multi-Evaporators at the Same Temperature with Multi Compressors

عندما تكون الأحمال عند نفس درجة الحرارة في وحدة التبريد مع وجود عدة ضواغط، يمكن عمل ترتيبة الوحدة كما هو موضح بالشكل (1- 3 أ) والمخطط p-h المناظر موضح بالشكل (1- 3ب).

التحليل الثرموديناميكي:

بفرض أن السعات التبريدية Refrigeration Capacities بالطن التبريدي لأحمال التبريد في المبخر الأول والثاني هي RC_1, RC_2 على الترتيب. تكون المعادلات الأساسية على النحو التالي:

1- معدل سريان وسيط التبريد بالمبخرات:

$$\dot{m}_1 = \frac{3.5 \times RC_1}{h_1 - h_4}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{3.5 \times RC_2}{h_1 - h_4}$$

2- القدرة اللازمة لتشغيل الضواغط:

الضاغط الأول:

$$P_{C1} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

الضاغط الثاني:

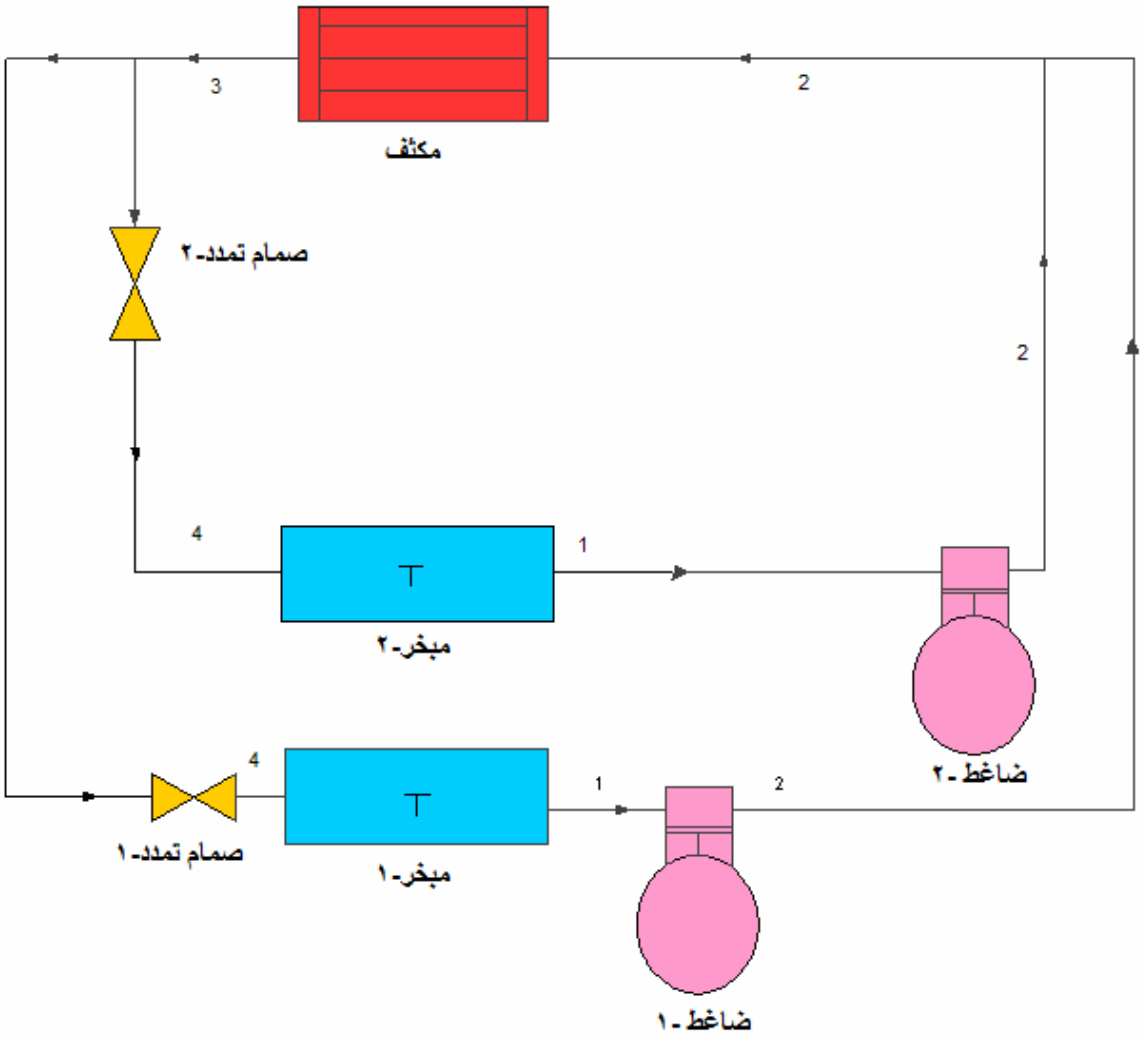
$$P_{C2} = \dot{m}_2 (h_2 - h_1)$$

القدرة الكلية:

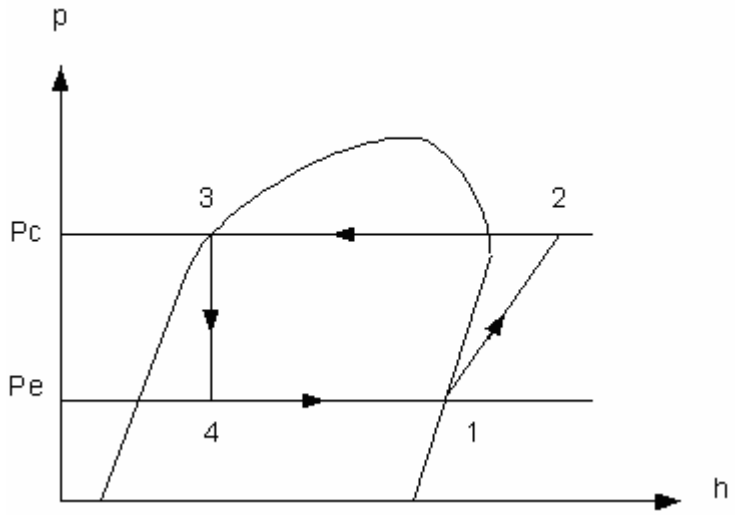
$$P_{Total} = P_{C1} + P_{C2}$$

3- معامل الأداء:

$$COP = \frac{\text{Refrigeration capacities}}{\text{Compressor power}} = \frac{3.5(RC_1 + RC_2)}{P_{Total}}$$



(أ)



(ب)

شكل (1- 3) دورة مبخرات متعددة عند نفس درجة الحرارة مع ضواغط متعددة

1- 1- 2 مبخرات متعددة عند درجات حرارة مختلفة

1- 1- 2- 1 مبخرات متعددة عند درجات حرارة مختلفة مع ضاغط واحد
Multi-Evaporators at Different Temperatures with Single Compressor

يوضح شكل (1- 4 أ) ترتيبة الأحمال عند درجات حرارة مختلفة مع صمامات تمدد منفصلة وصمامات ضغط خلفي ويوضح شكل (1- 4 ب) مخطط p-h المناظر .

التحليل الثرموديناميكي:

بفرض أن السعات التبريدية Refrigeration Capacities بالطن التبريدي لأحمال التبريد في المبخر الأول والثاني والثالث هي RC_1, RC_2, RC_3 على الترتيب عند درجات حرارة T_1, T_2, T_3 على الترتيب ستكون المعادلات الأساسية على النحو التالي:

1- معدل سريان وسيط التبريد بالمبخرات:

$$\dot{m}_1 = \frac{3.5 \times RC_1}{h_9 - h_6}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{3.5 \times RC_2}{h_8 - h_5}$$

$$\dot{m}_3 = \frac{3.5 \times RC_3}{h_7 - h_4}$$

2- القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط:

لحساب قدرة الضاغط لابد من معرفة حالة وسيط التبريد قبل وبعد الضاغط , وبداية لابد من تحديد نقطة الخلط (x) وتأتي من معادلة الاتزان الحراري قبل وبعد الخلط.

$$\dot{m}_1 h_9 + \dot{m}_2 h_{11} + \dot{m}_3 h_{10} = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3) h_x$$

وبمعلومية الكتل و كذلك الإنثالبي للنقاط المختلفة من الدورة تكون h_x كالآتي:

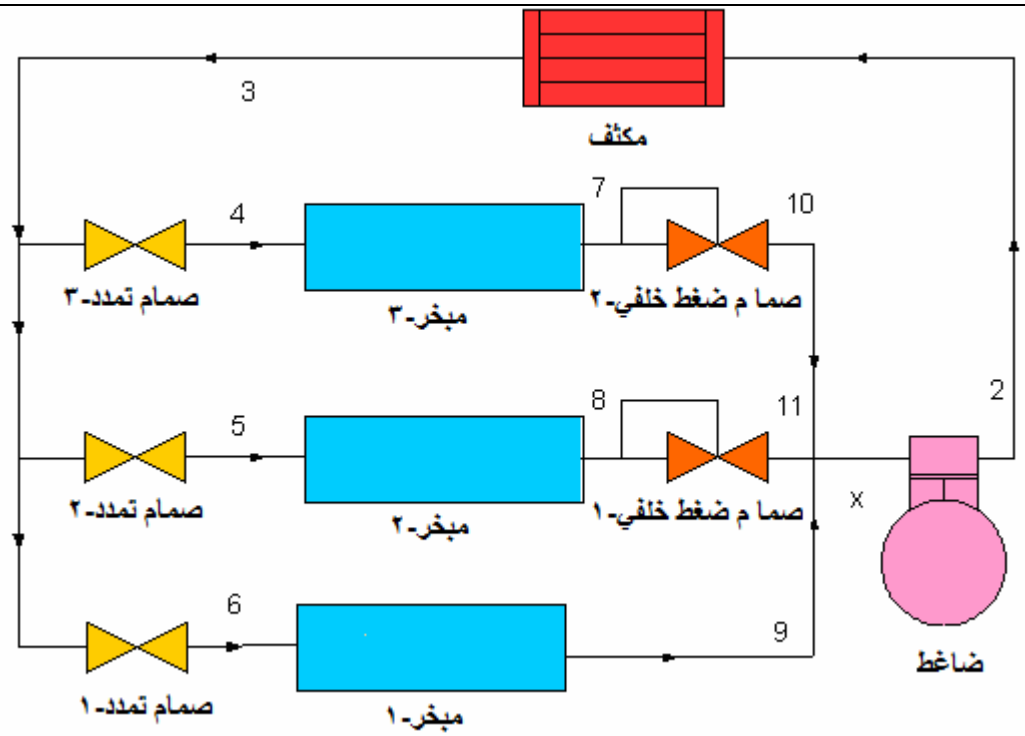
$$h_x = \frac{\dot{m}_1 h_9 + \dot{m}_2 h_{11} + \dot{m}_3 h_{10}}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3}$$

وتعطى القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط بالمعادلة الآتية:

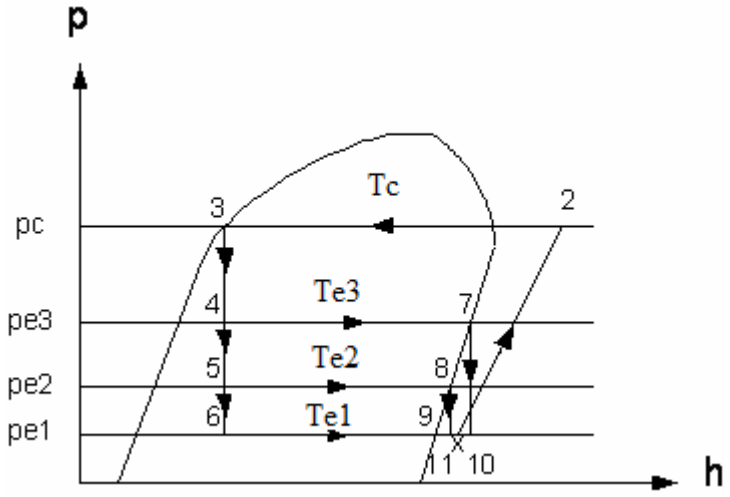
$$P_C = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3)(h_2 - h_x)$$

3- معامل الأداء:

$$\text{COP} = \frac{\text{Refrigeration capacities}}{\text{Compressor power}} = \frac{3.5(\text{RC}_1 + \text{RC}_2 + \text{RC}_3)}{\text{P}_\text{C}}$$



(أ)



(ب)

شكل (1- 4) دورة مبخرات متعددة عند درجات حرارة مختلفة مع ضاغط واحد

مثال (1- 1):

نظام تبريد انضغاطي لغرض أحمال متعددة عند درجات حرارة مختلفة موضح بالشكل (1- 5) يعمل عند درجة حرارة تكثيف (35 C) و يستخدم النظام R12 كوسيط تبريد. المطلوب:

أ- القدرة اللازمة لتشغيل النظام.

ب- معامل الأداء.

الحل:

أ- القدرة اللازمة لتشغيل النظام:

من خريطة p-h يمكن الحصول على:

$h_3=h_4=h_5=h_6= 234.1$ kJ/kg
$h_7= h_{10}= 357.2$ kJ/kg
$h_8= h_{11}= 352.8$ kJ/kg
$h_9= 348.3$ kJ/kg , h_x, h_2 =?

ملاحظة: تختلف قيم h من الجداول والخرائط تبعا لدرجة حرارة الإسناد للجدول وللخريطة ولكن يظل الفرق للإنثالبي Δh هو نفسه.

معدل التدفق المار بالمبخرات هو:

$$\dot{m}_1 = \frac{3.5 \times RC_1}{h_9 - h_6} = \frac{3.5 \times 10}{348.3 - 234.1} = 0.306 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{3.5 \times RC_2}{h_8 - h_5} = \frac{3.5 \times 20}{352.8 - 234.1} = 0.59 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_3 = \frac{3.5 \times RC_3}{h_7 - h_4} = \frac{3.5 \times 10}{357.2 - 234.1} = 0.284 \text{ kg/s}$$

للحصول على h_x نطبق معادلة الاتزان الحراري عند نقطة الخلط:

الحرارة الداخلة = الحرارة الخارجة

$$\dot{m}_1 h_9 + \dot{m}_2 h_{11} + \dot{m}_3 h_{10} = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3) h_x$$

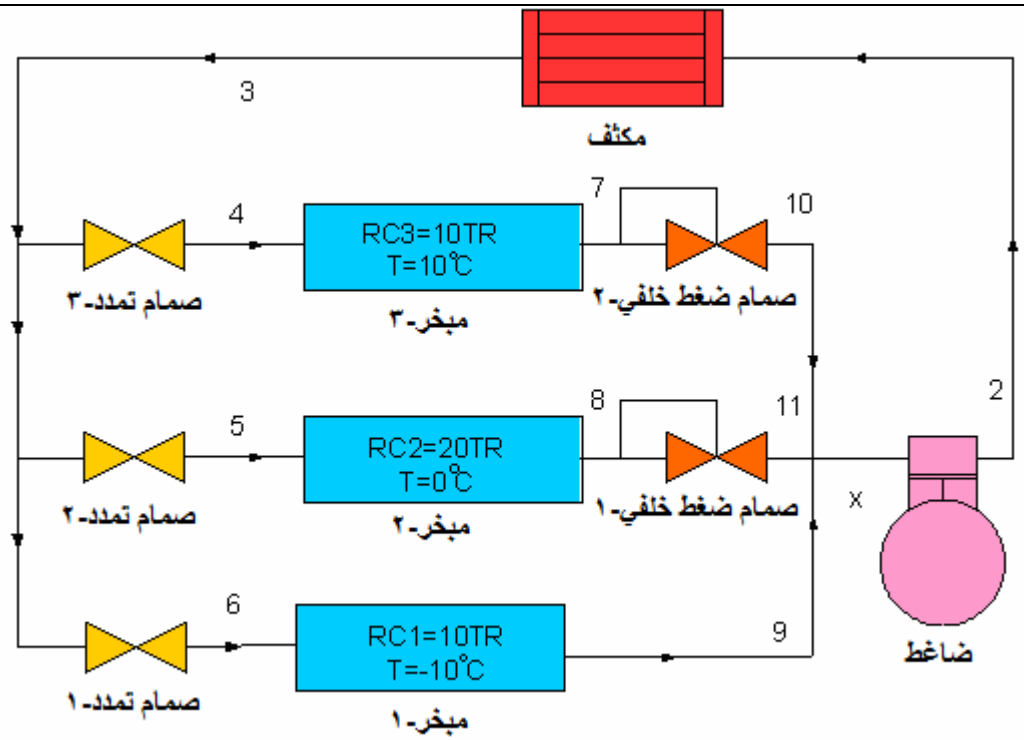
$$\Rightarrow h_x = \frac{\dot{m}_1 h_9 + \dot{m}_2 h_{11} + \dot{m}_3 h_{10}}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3} = \frac{0.306 \times 348.3 + 0.59 \times 352.8 + 0.284 \times 357.2}{0.306 + 0.59 + 0.284} = 352.7 \text{ kJ/kg}$$

$h_2=378$ kJ/kg

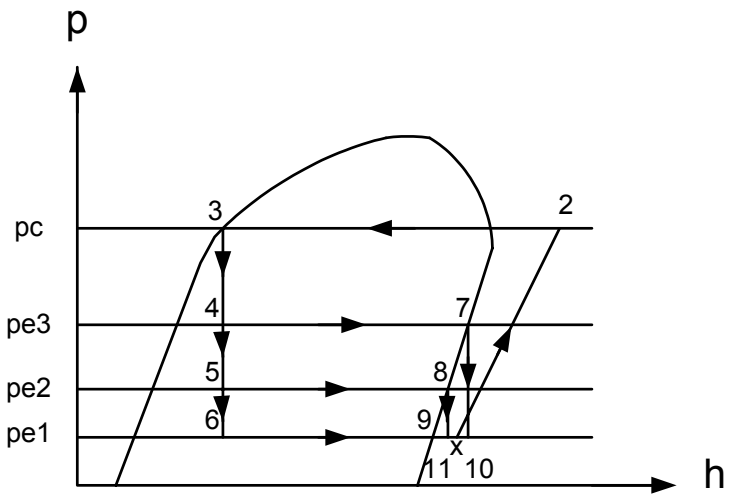
$$\Rightarrow P_C = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3)(h_2 - h_x) = (0.306 + 0.59 + 0.284)(378 - 352.7) = 29.85\,\text{kW}$$

ب- معامل الأداء:

$$COP = \frac{3.5(RC_1 + RC_2 + RC_3)}{P_C} = \frac{3.5(10+20+10)}{29.85} = 4.69$$



(أ)



(ب)

شكل (1- 5) دورة التبريد لمثال (1- 1)

1- 1- 2- 2 مبخرات متعددة عند درجات حرارة مختلفة مع ضواغط متعددة
Multi-Evaporators at Different Temperatures with Multi Compressors

يوضح شكل (1- 6 أ) مبخرين عند درجتي حرارة مختلفتين مع صمامات تمدد منفصلة وانضغاط يتم على مرحلتين ويوضح شكل (1- 6 ب) مخطط p-h المناظر .

التحليل الثرموديناميكي:

بفرض أن السعات التبريدية Refrigeration Capacities بالطن التبريدي لأحمال التبريد في المبخر الأول و الثاني هي RC_1, RC_2 على الترتيب عند درجات حرارة T_1, T_2 على الترتيب ستكون المعادلات الأساسية على النحو التالي:

1- معدل سريان وسيط التبريد بالمبخرات:

$$\dot{m}_1 = \frac{3.5 \times RC_1}{h_1 - h_7}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{3.5 \times RC_2}{h_3 - h_6}$$

2- القدرة اللازمة لتشغيل الضواغط:

الضاغط الأول:

$$P_{C1} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

الضاغط الثاني:

لحساب قدرة الضاغط الثاني لابد من معرفة حالة وسيط التبريد قبل وبعد الضاغط وبداية لابد من تحديد نقطة الخلط (x) وتأتي من معادلة الاتزان الحراري لعملية الخلط بين البخار الخارج من الضاغط الأول والبخار الخارج من المبخر الثاني. أي إنه:

$$\dot{m}_1 h_2 + \dot{m}_2 h_3 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_x$$

وبمعلومية الكتل وكذلك الإنثالبي للنقاط المختلفة من الدورة تكون h_x كالآتي:

$$h_x = \frac{\dot{m}_1 h_2 + \dot{m}_2 h_3}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}$$

وتعطى القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط الثاني بالمعادلة الآتية:

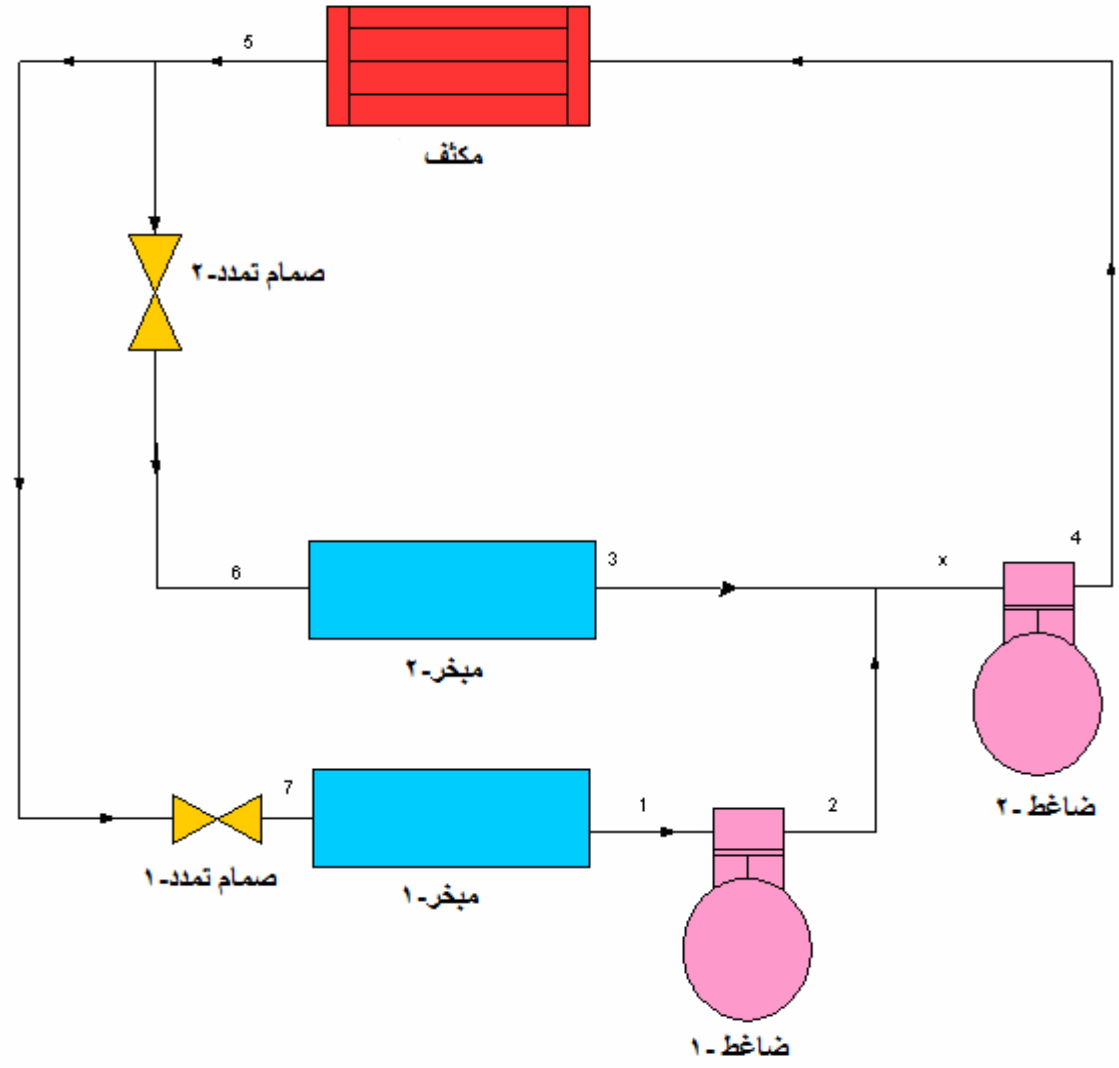
$$P_{C2} = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)(h_4 - h_x)$$

القدرة الكلية:

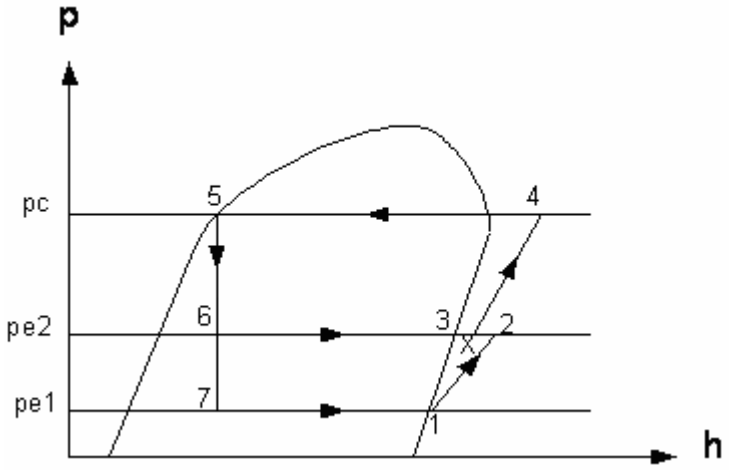
$$P_{Total} = P_{c1} + P_{c2}$$

3- معامل الأداء:

$$COP = \frac{3.5(RC_1 + RC_2)}{p_{Total}}$$



(أ)



(ب)

شكل (1- 6) دورة مبخرات متعددة عند درجات حرارة مختلفة مع ضواغط متعددة

مثال (1- 2):

نظام تبريد انضغاطي لغرض أحمال متعددة عند درجات حرارة مختلفة يتم فيه الانضغاط على مرحلتين موضح بالشكل (1- 7) ويستخدم النظام R134a كوسيط تبريد. المطلوب:

أ- القدرة اللازمة لتشغيل النظام.

ب- معامل الأداء.

الحل:

أ- القدرة اللازمة لتشغيل النظام:

من خريطة p-h يمكن الحصول على:

p_{e2}=415.25 kPa (الضغط عند درجة حرارة تشبع 10 □C)

p_{e1}=201.22 kPa (الضغط عند درجة حرارة تشبع -10 □C)

$$\frac{p_c}{p_{e2}} = \frac{p_{e2}}{p_{e1}}$$

$$\Rightarrow p_c = \frac{p_{e2}^{\ 2}}{p_{e1}} = \frac{(415.25)^2}{201.22} = 856.94 \text{ kPa}$$

$h_1=h_4=h_7$= 96.92 kJ/kg

h_2=241.35 kJ/kg, h_5=252.92 kJ/kg, h_3=256.1 kJ/kg, h_x, h_6 =?

<u>ملاحظة</u>: تختلف قيم h من الجداول والخرائط تبعا لدرجة حرارة الإسناد للجدول وللخريطة ولكن يظل الفرق للإنثالبي Δh هو نفسه.

معدل التدفق المار بالمبخرات هو:

$$\dot{m}_1 = \frac{3.5 \times RC_1}{h_2 - h_1} = \frac{3.5 \times 10}{241.35 - 96.92} = 0.242 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{3.5 \times RC_2}{h_5 - h_4} = \frac{3.5 \times 20}{252.92 - 96.92} = 0.449 \text{ kg/s}$$

للحصول على h_x نطبق معادلة الاتزان الحراري عند نقطة الخلط:

الحرارة الداخلة = الحرارة الخارجة

$$\dot{m}_1 h_3 + \dot{m}_2 h_5 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_x$$

$$\Rightarrow h_x = \frac{\dot{m}_1 h_3 + \dot{m}_2 h_5}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} = \frac{0.242 \times 256.1 + 0.449 \times 252.92}{0.242 + 0.449} = 254.03 \text{kJ/kg}$$

h_6=270.05 kJ/kg (S_x=S_6)

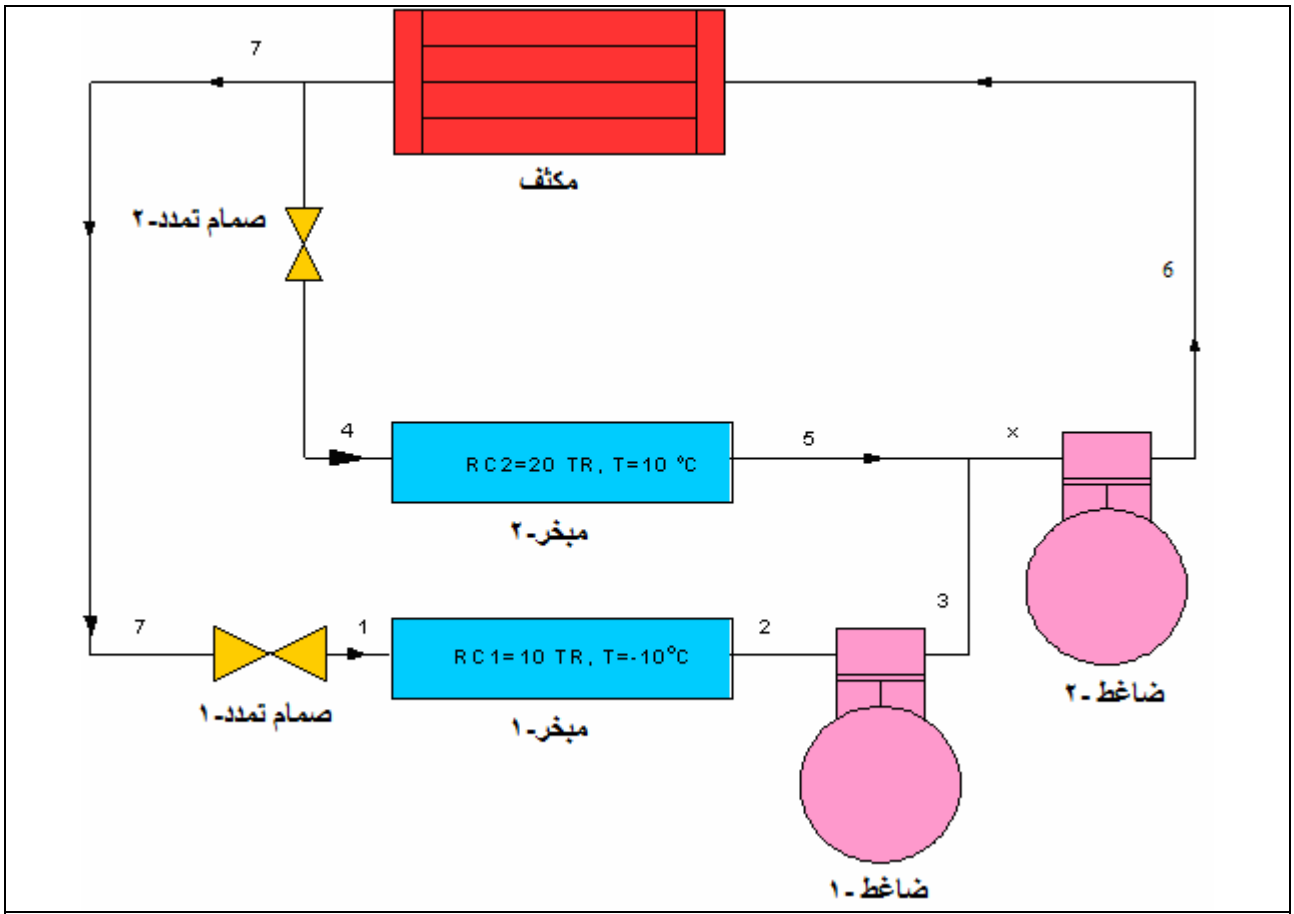
$$P_{C1} = \dot{m}_1 (h_3 - h_2) = 0.242(256.1 - 241.35) = 3.57 \text{ kW}$$

$$P_{C2} = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)(h_6 - h_x) = (0.242 + 0.449)(270.05 - 254.03) = 11.07 \text{ kW}$$

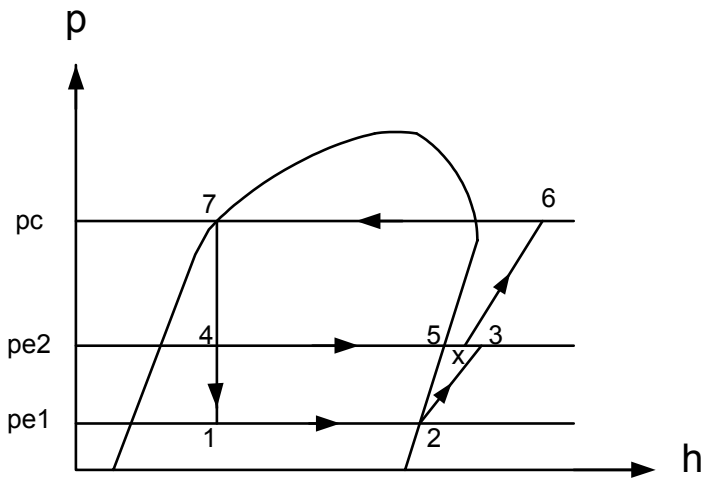
$$\Rightarrow P_{Total} = P_{C1} + P_{C2} = 3.57 + 11.07 = 14.64 \text{ kW}$$

ب- معامل الأداء:

$$COP = \frac{3.5(RC_1 + RC_2)}{P_{Total}} = \frac{3.5(10 + 20)}{14.64} = 7.17$$



(أ)



(ب)

شكل (1- 7) دورة التبريد لمثال (1- 2)

1- 2 أنظمة التبريد الانضغاطية متعددة الضواغط:

1- 2- 1 إزالة التحميص بين المراحل:

يوضح شكل (1- 8 أ) مبخرين عند درجتي حرارة مختلفتين مع صمامات تمدد منفصلة وانضغاط يتم على مرحلتين بينهما تبريد مائي تام لإزالة تحميص ضاغط المرحلة الأولى ويوضح شكل (1- 8 ب) مخطط p-h المناظر .

التحليل الثرموديناميكي:

بفرض أن السعات التبريدية Refrigeration Capacities بالطن التبريدي لأحمال التبريد في المبخر الأول و الثاني هي RC_1, RC_2 على الترتيب عند درجات حرارة T_1, T_2 على الترتيب. ستكون المعادلات الأساسية على النحو التالي:

1- معدل سريان وسيط التبريد بالمبخرات:

$$\dot{m}_1 = \frac{3.5\, x\, RC_1}{h_1 - h_7}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{3.5\, x\, RC_2}{h_3 - h_6}$$

2- القدرة اللازمة لتشغيل الضواغط:

الضاغط الأول:

$$P_{C1} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

الضاغط الثاني:

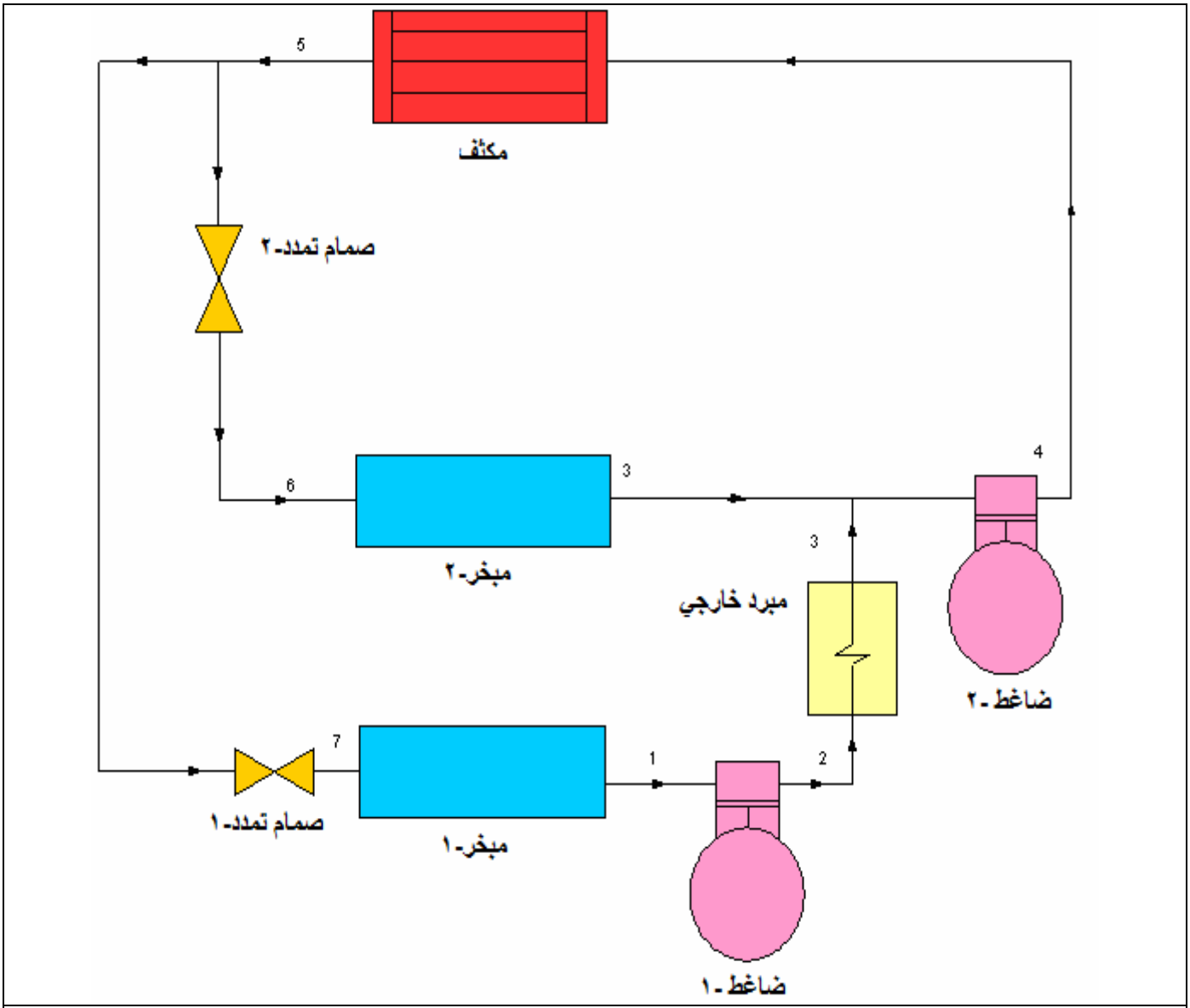
$$P_{C2} = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)(h_4 - h_3)$$

القدرة الكلية:

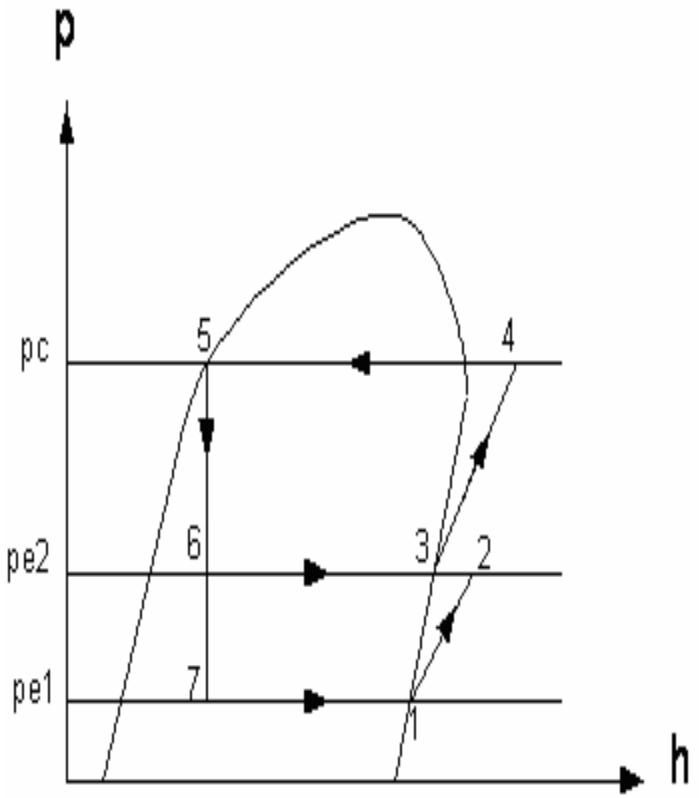
$P_{Total}=P_{C1}+P_{C2}$

3- معامل الأداء:

$$COP = \frac{3.5(RC_1 + RC_2)}{P_{Total}}$$



(أ)



(ب)

شكل (1- 8) دورة إزالة التحميص بين المراحل

1- 2- 2 التبريد الوميضي بين المراحل:

يشتمل نظام التبريد الموضح بالشكل (1- 9) على مرحلتين للتمدد (6-5) من ضغط المكثف (p_c) إلى الضغط المتوسط (p_I) و(8-7) من الضغط المتوسط (p_I) إلى ضغط المبخر (p_e) ومرحلتي انضغاط هما (2-1) خلال مرحلة الضغط المنخفض و (4-3) خلال مرحلة الضغط المرتفع ومبرد وسيطي وميضي (Flash Intercooler) .

المبرد الوسيطي الوميضي Flash Intercooler:

يعمل المبرد الوسيطي الوميضي على:

1- فصل البخار المشبع (3) عن السائل المشبع (7) وهو نفس عمل غرفة فصل بخار الوميض.

2- إزالة التحميص للبخار الناتج من مرحلة الضغط المنخفض خلال عملية ثبات الضغط (3-2)،

ويتم ذلك على حساب تبخير جزء إضافي من مائع التبريد خلال العملية (3-6).

ولكي يكون الشغل اللازم للضواغط أقل ما يمكن، يجب أن تكون نسبة الانضغاط واحدة للمرحلتين أي إن :

$$\frac{p_I}{p_e} = \frac{p_c}{p_I}, \quad p_I = \sqrt{p_c p_e}$$

التحليل الثرموديناميكي

بداية لابد من حساب كتلة وسيط التبريد المار خلال كل من المبخر والضاغط الأول بمعلومية السعة التبريدية للوحدة وكذلك الكتلة المارة خلال الضاغط الثاني من معادلة الاتزان الحراري لغرفة المبرد الوسيطي الوميضي.

1- كتلة وسيط التبريد المار بالمبخر و الضاغط الأول $\dot{m}_1$:

$$\dot{m}_1 = \frac{\text{Refrigerating Capacity}}{\text{Refrigerating Effect}} = \frac{\dot{Q}_{evaporator}}{h_1 - h_8}$$

2- كتلة وسيط التبريد المار بالضاغط الثاني $\dot{m}_2$:

يمكن الحصول عليها من معادلة الاتزان الحراري لغرفة المبرد الوميضي:

الحرارة الخارجة = الحرارة الداخلة

$$\dot{m}_1 h_2 + \dot{m}_2 h_6 = \dot{m}_2 h_3 + \dot{m}_1 h_7$$

وبمعرفة حالة وسيط التبريد عند مختلف النقاط الموضحة على كل من الرسم التخطيطي ومنحنى p-h يمكن معرفة الإنثالبي من خريطة وسيط التبريد المستخدم وكذلك معرفة الكتلة المارة بالمبخر $\dot{m}_1$ ، تكون الكتلة المارة بالضاغط الثاني $\dot{m}_2$ كالآتي:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 \frac{h_2 - h_7}{h_3 - h_6}$$

3- القدرة اللازمة لتشغيل الضواغط:

الضاغط الأول:

$$P_{C1} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

الضاغط الثاني:

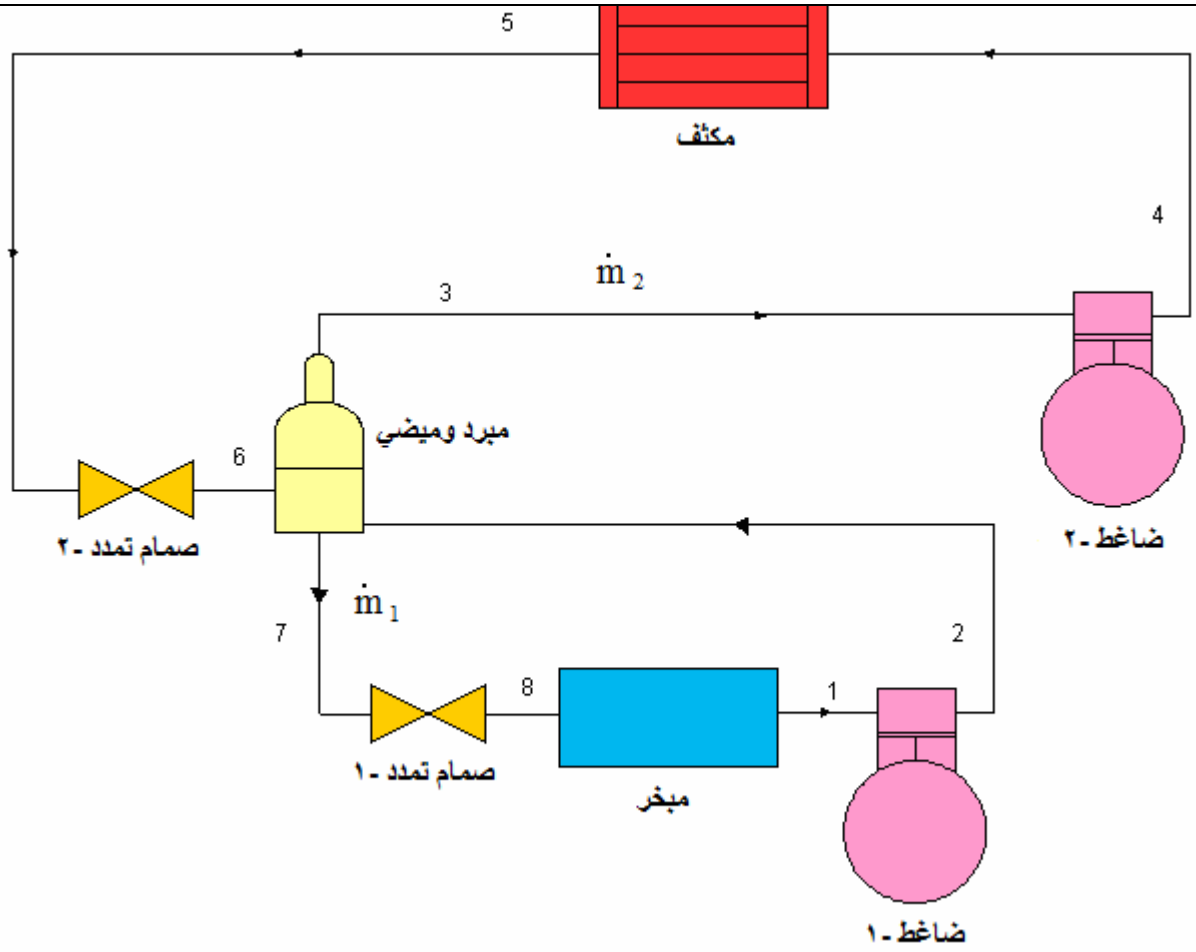
$$P_{C2} = \dot{m}_2 (h_4 - h_3)$$

القدرة الكلية:

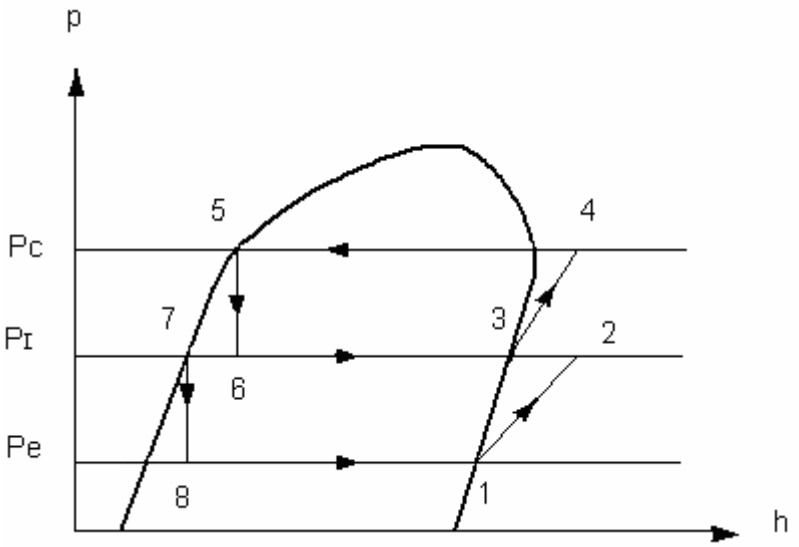
$P_{Total}=P_{C1}+P_{C2}$

4- معامل الأداء :

$$COP = \frac{\text{Refrigerating Capacity}}{\text{Total Compressor Power}} = \frac{\dot{Q}_{evaporator}}{P_{Total}}$$



(أ)



(ب)

شكل (1- 9) دورة التبريد الوميضي بين المراحل

مثال (1- 3):

نظام تبريد انضغاطي يتم فيه الانضغاط على مرحلتين موضح بالشكل (1- 10) يعمل عند درجة حرارة تكثيف (35 C) ويستخدم نظام الأمونيا كوسيط تبريد. المطلوب:

أ- القدرة اللازمة لتشغيل النظام.

ب- معامل الأداء.

ج- قارن بين القدرة اللازمة لتشغيل النظام ومعامل الأداء لهذه الدورة مع دورة تستخدم انضغاط على مرحلة واحدة. مإذاتستنتج؟

الحل:

أ- القدرة اللازمة لتشغيل النظام:

بتوقيع النقاط على خريطة p-h المرفقة، يمكن الحصول على:

p_e=152 kPa (الضغط عند درجة حرارة تشبع -25 C)

p_c=1352 kPa (الضغط عند درجة حرارة تشبع 35 C)

$$\frac{p_c}{p_I} = \frac{p_I}{p_e}$$

$$\Rightarrow p_I = \sqrt{p_e p_c} = \sqrt{(152)(1352)} = 453 \text{ kPa}$$

h_1=1430 kJ/kg
h_2=1573 kJ/kg
h_3=1463 kJ/kg
h_4=1620 kJ/kg
h_5=h_6=366 kJ/kg
h_7=h_8=202 kJ/kg

ملاحظة: تختلف قيم h من الجداول والخرائط تبعا لدرجة حرارة الإسناد للجدول وللخريطة ولكن يظل الفرق للإنثالبي Δh هو نفسه.

معدل التدفق المار بالمبخر والضاغط الأول هو:

$$\dot{m}_1 = \frac{RC}{h_1 - h_8} = \frac{250}{1430 - 202} = 0.204\,\text{kg/s}$$

للحصول على كتلة وسيط التبريد المار بالضاغط الثاني $\dot{m}_2$ نطبق معادلة الاتزان الحراري عند غرفة المبرد الوميضي:

الحرارة الداخلة = الحرارة الخارجة

$$\dot{m}_2 h_6 + \dot{m}_1 h_2 = \dot{m}_2 h_3 + \dot{m}_1 h_7$$

$$\Rightarrow \dot{m}_2 = \dot{m}_1 \frac{h_2 - h_7}{h_3 - h_6} = 0.204 \frac{202 - 1573}{366 - 1463} = 0.255\,\text{kg/s}$$

$$P_{C1} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1) = 0.204(1573 - 1430) = 29.2\,\text{kW}$$

$$P_{C2} = \dot{m}_2 (h_4 - h_3) = 0.255(1620 - 1463) = 40.0\,\text{kW}$$

$$\Rightarrow P_{Total} = P_{C1} + P_{C2} = 29.2 + 40.0 = 69.2\,\text{kW}$$

ب- معامل الأداء:

$$COP = \frac{RC}{P_{Total}} = \frac{250}{69.2} = 3.61$$

ج- في حالة الانضغاط على مرحلة واحدة تتحول الدورة إلى دورة عادية بسيطة.

القدرة اللازمة لتشغيل النظام:

من خريطة p-h يمكن الحصول على:

h_1=1430 kJ/kg
h_2=1765 kJ/kg
h_3= h_4=366 kJ/kg

معدل التدفق المار بالمبخر والضاغط هو:

$$\dot{m} = \frac{RC}{h_1 - h_4} = \frac{250}{1430 - 366} = 0.235\,\text{kg/s}$$

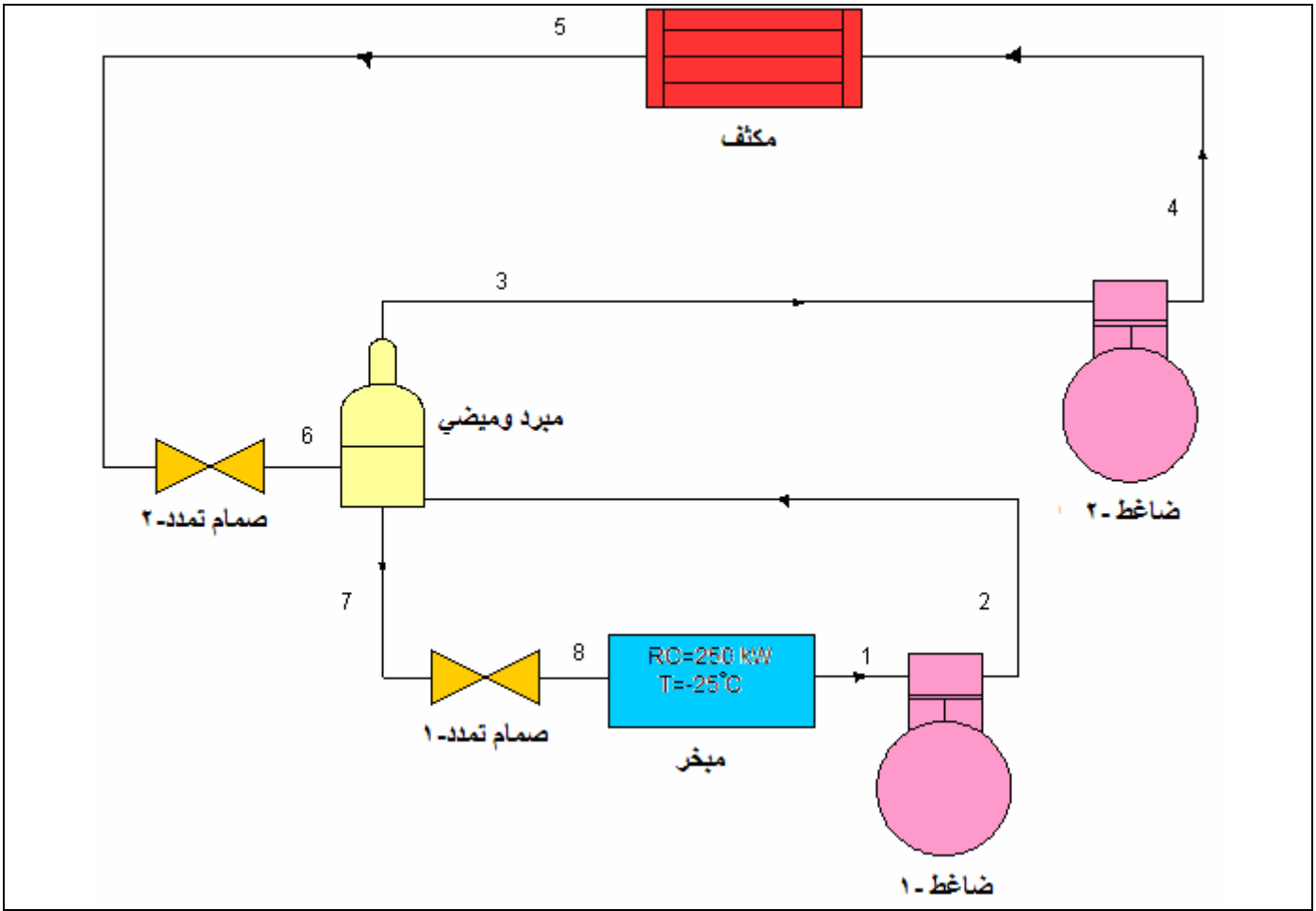
$$\Rightarrow P_C = \dot{m}\,(h_2 - h_1) = 0.235(1765 - 1430) = 78.7\,\text{kW}$$

نستنتج أن القدرة اللازمة لتشغيل النظام تزداد في حالة استخدام انضغاط على مرحلة واحدة.

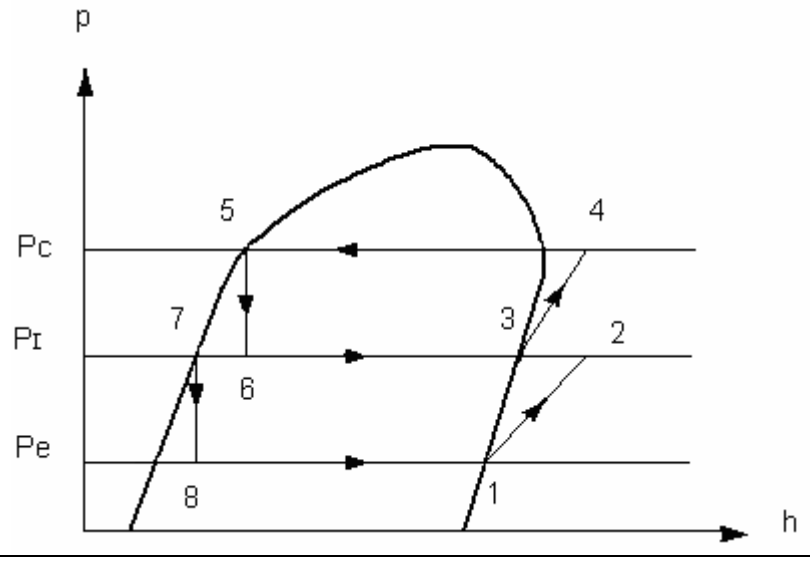
معامل الأداء:

$$COP = \frac{RC}{P_C} = \frac{250}{78.7} = 3.18$$

نستنتج أن معامل الأداء للنظام يقل في حالة استخدام انضغاط على مرحلة واحدة.



(أ)



(ب)

شكل (1- 10) دورة التبريد لمثال (1- 3)

1- 2- 3 التبريد الوميضي والتبريد البيني:

عندما تكون درجة الحرارة لمياه التبريد المتاحة أقل من درجة الحرارة للبخار الخارج من الضاغط الأول في الدائرة السابقة فإنه يمكن إضافة مبرد مياه بين الضاغط الأول والمبرد الوسيطي Flash (Intercooler) ، لتعمل على تبريد البخار خلال العملية (3-2) كما هو موضح الشكل (1- 11) و بالتالي يؤدي ذلك إلى خفض درجة حرارة مائع التبريد المطلوب وإزالة تحميص البخار.

بداية لابد من حساب كتلة وسيط التبريد المار خلال كل من المبخر والضاغط الأول بمعلومية السعة التبريدية للوحدة وكذلك الكتلة المارة خلال الضاغط الثاني من معادلة الاتزان الحراري لغرفة المبرد الوسيطي الوميضي.

التحليل الثرموديناميكي

1- كتلة وسيط التبريد المار بالمبخر و الضاغط الأول $\dot{m}_1$:

$$\dot{m}_1 = \frac{\text{Refrigerating Capacity}}{\text{Refrigerating Effect}} = \frac{\dot{Q}_{evaporator}}{h_1 - h_9}$$

2- كتلة وسيط التبريد المار بالضاغط الثاني $\dot{m}_2$:

يمكن الحصول عليها من معادلة الاتزان الحراري على كل من مبرد المياه والمبرد الوميضي كمجموعة واحدة، أي إن:

الحرارة الخارجة = الحرارة الداخلة

$$\dot{m}_1 h_2 + \dot{m}_2 h_7 = \dot{m}_2 h_4 + \dot{m}_1 h_8 + \dot{Q}_{Water}$$

حيث Q_{water} هي كمية الحرارة المطرودة في المبرد المائي. وبمعرفة حالة وسيط التبريد عند مختلف النقاط الموضحة على كل من الرسم التخطيطي ومنحنى p-h يمكن معرفة الإنثالبي من خريطة وسيط التبريد المستخدم. و بمعرفة الكتلة المارة بالمبخر $\dot{m}_1$ ، و كذلك معرفة كمية الحرارة المطرودة في المبرد المائي يمكن الحصول على الكتلة المارة بالضاغط الثاني $\dot{m}_2$ وتكون كالآتي:

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1(h_8 - h_2) + \dot{Q}_{water}}{h_7 - h_4}$$

3- القدرة اللازمة لتشغيل الضواغط:

الضاغط الأول:

$$P_{C1} = \dot{m}_1(h_2 - h_1)$$

الضاغط الثاني:

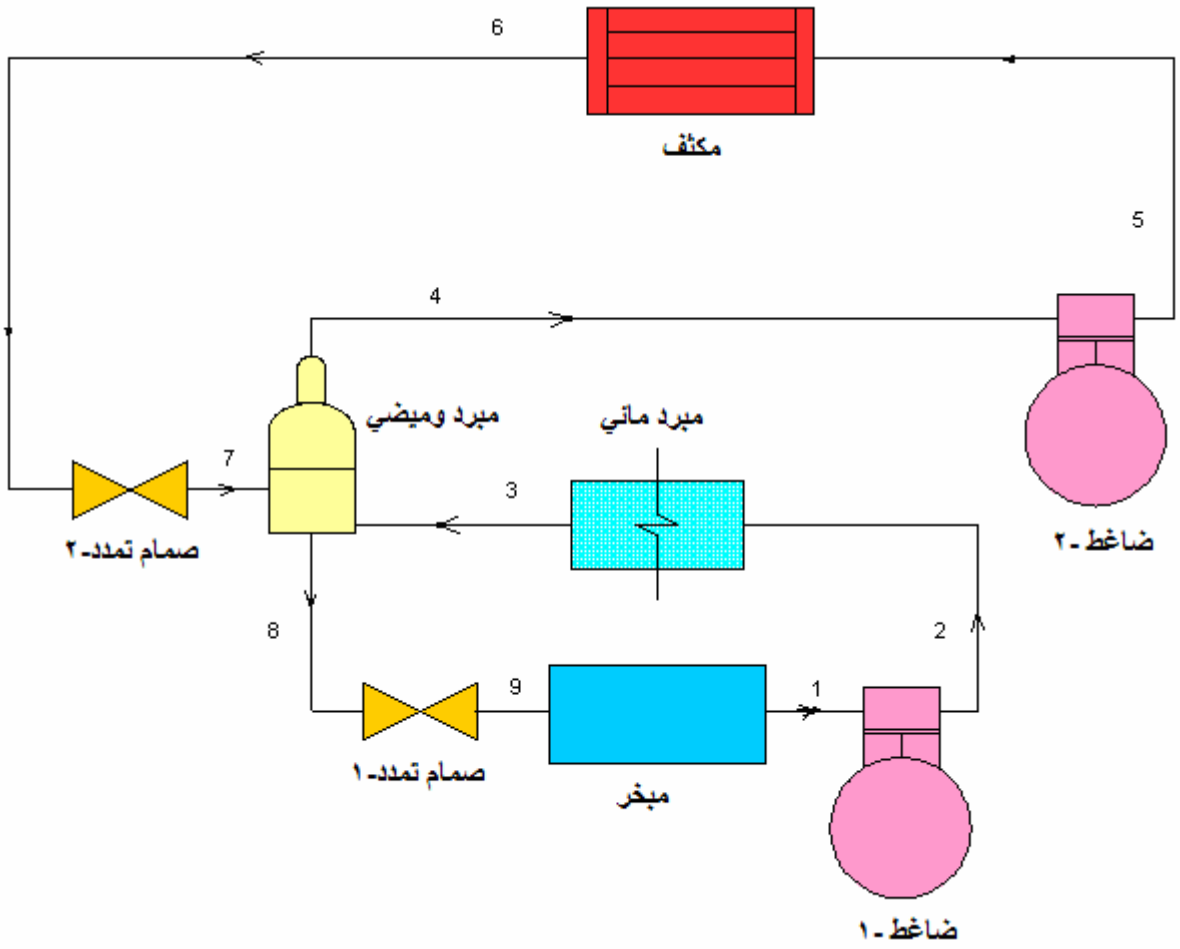
$$P_{C2} = \dot{m}_2(h_5 - h_4)$$

القدرة الكلية:

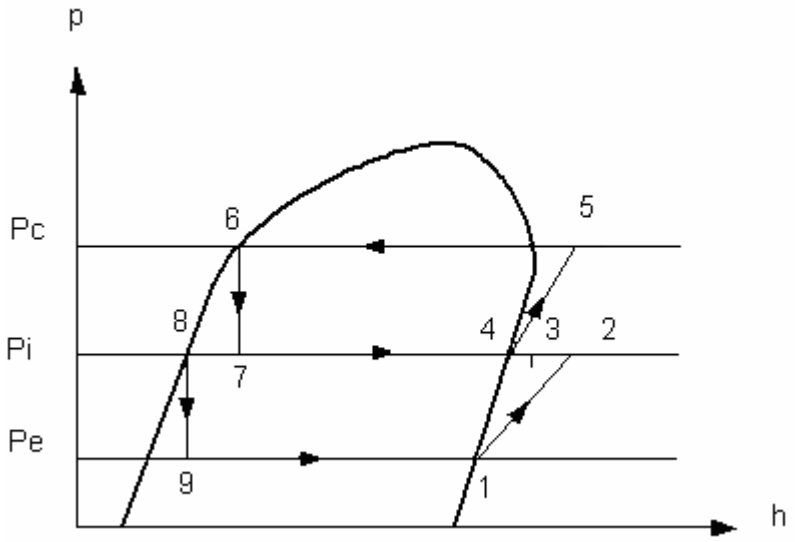
$$P_{Total} = P_{C1} + P_{C2}$$

4- معامل الأداء :

$$COP = \frac{\text{Refrigerating Capacity}}{\text{Total Compressor Power}} = \frac{\dot{Q}_{evaporator}}{P_{Total}}$$



(أ)



(ب)

شكل (1- 11) دورة التبريد الوميضي والتبريد البيني

امتحان ذاتي رقم 1

1- 1 ما أسباب اللجوء لأنظمة التبريد المتعددة المبخرات؟

1- 2 ما مميزات الانضغاط متعدد المراحل؟

1- 3 اذكر وظيفة كل من: المبرد الوسيطي الوميضي، وغرفة فصل الوميض.

1- 4 أعد مثال (1- 1) إذاكانت درجة حرارة التكثيف 45°C.

1- 5 أعد مثال (1- 2) في حالة استخدام R-22.

1- 6 أعد مثال (1- 3) إذاكانت درجة حرارة التكثيف 50°C.

نظم ومعدات التبريد (نظري)

طرق إزالة الصقيع

الوحدة الثانية : طرق إزالة الصقيع

الجدارة :

يجب أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل وبنسبة 100٪.

الهدف العام :

تعريف بالصقيع، وأسباب تكونه وتأثيره ومعرفة الطرق المختلفة لإزالة الصقيع من مبخرات تبريد الهواء.

مقدمة الوحدة :

الهدف من هذه الوحدة هو تعريف المتدرب بأهمية إزالة الصقيع المتكون على مبخرات تبريد الهواء والتي تعمل عند درجات حرارة منخفضة وتعمل على تجميد الرطوبة الموجودة بالهواء وطرقإذابة الصقيع المختلفة وكذلك عدد مراتإذابة الصقيع والفترة الزمنية اللازمة في كل مرة.

الأهداف السلوكية :

يجب أن يكون المتدرب قادرا على :

- فهم أسباب تكوين الصقيع.
- معرفة النتائج المترتبة على عدم إزالة الصقيع.
- طرقإذابة الصقيع.

المهام المشمولة : C6, C7

متطلبات الجدارة :

يجب على المتدرب أن يكون قد اجتاز مقررات: أساسيات تقنية التبريد والتكييف - ومعمل (ورشة) أساسيات تقنية التبريد والتكييف - وأساسيات التحكم في التبريد والتكييف.

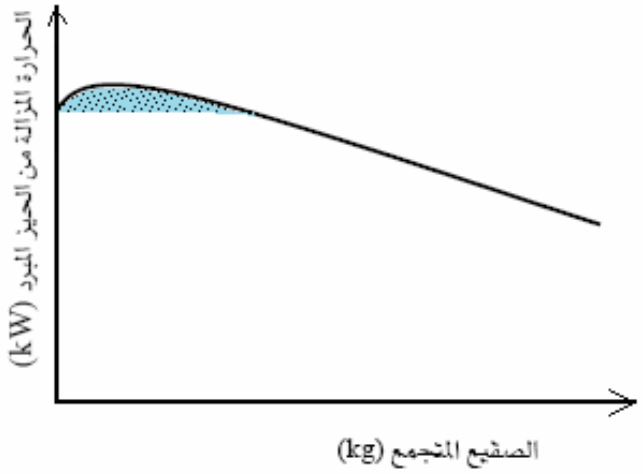
الوقت المتوقع للتدريب : 6 ساعات نظرية

2- 1 الصقيع- أسباب تكونه وتأثيره

في بعض دوائر التبريد التي تعمل مبخراتها المبردة للهواء عند درجات الحرارة أقل من تجمد الماء، فإن الصقيع يتجمع عند بعض أجزائها والمواسير الموجودة بها. فإذاكان المبخر يستعمل لتبريد هواء رطب و موجود به زعانف لزيادة سطح مواسيره، فإن الرطوبة الموجودة بالهواء تتكاثف و تتجمد أولا بشكل رقائق رفيعة من الثلج، و مع مرور الوقت يزداد حجمها حتى تسد الفراغات الموجودة بين هذه الزعانف وتعمل على تقليل مساحة سطح انتقال الحرارة الفعلي الموجود بالمبخر. كما تعمل على خنق الهواء المار على المبخر.

ميكانيكية انتقال الحرارة:

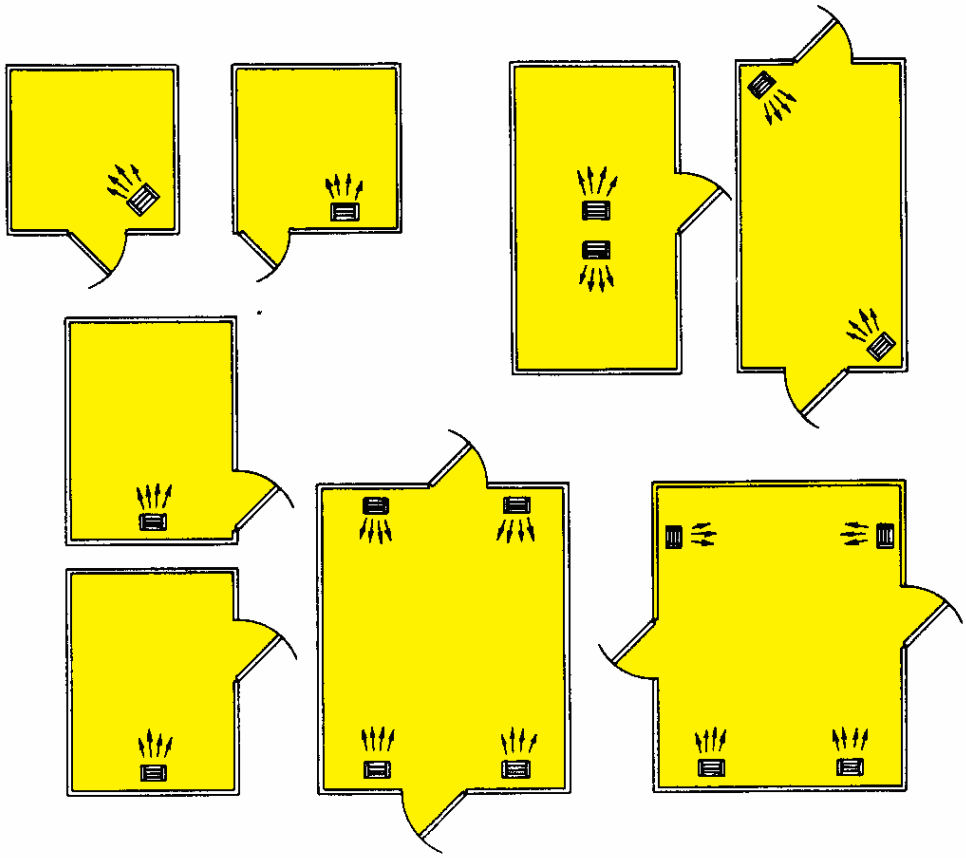
يبين شكل (2- 1) التغير في كمية الحرارة المزالة من الحيز مع كمية الصقيع المتجمعة. وكما هو ملاحظ، في أول الأمر فإن كمية الحرارة المزالة تزداد وذلك لتوفر طبقة رقيقة من الصقيع تؤدي إلى زيادة المساحة السطحية اللازمة لانتقال الحرارة، ولكن عندما يستمر تراكم الصقيع فإن كمية الحرارة المسحوبة من الحيز سوف تقل بسبب إعاقة أو الحد من تدفق الهواء خلال ملف المبخر، وبالتالي تؤدي إلى خفض سعته التبريدية وزيادة مقاومة حركة الهواء مما يؤدي إلى الحاجة إلى زيادة قدرة المراوح التي تدفع الهواء بالمعدل اللازم لإزالة خمل التبريد.



شكل (2- 1) العلاقة بين الحرارة المزالة والصقيع المتجمع

وتتوقف مراتإذابة الصقيع على نوعية المبخرات وطريقة تركيبها وكذلك طريقةإذابة الصقيع المستخدمة بها. وتتم إذابة الصقيع للمبخرات الكبيرة ذات المواسير العارية والمستخدمة في مخازن التبريد مرة أو مرتين كل شهر. كما وتتم إذابة الصقيع لمبخرات ملف تبريد- مروحة مرة أو مرتين كل ساعة وتتوقف الفترة الزمنية اللازمة لإذابة الصقيع على كمية الصقيع المتجمع على سطح المبخر ومعدل الحرارة المضافة لإذابة الصقيع. والتحقق من إعطاء المبخر السعة التبريدية المصممة بأقل كمية صقيع يمكن تكونها تعتمد في الأساس على الوضع الصحيح للمبخر في الحيز المبرد.

يوضح شكل (2- 2) الأماكن المناسبة لوحدات التبريد السقفية حسب توصيات الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتكييف والتبريد ASHRAE.



شكل (2- 2) الأماكن المناسبة لوضع مبخرات الحمل الجبري للوحدات السقفية

إن كمية تجمع الصقيع Frost تتوقف على الوقت من العام (رطوبة الهواء الخارجي) وعلى طراز التركيبات. وعادة تكون الرطوبة أكثر في الهواء الدافئ عن الهواء البارد. وأيضا قد ينتج الصقيع من رطوبة خرجت من المنتج نفسه كما هي الحالة في تبريد وتجميد اللحوم. وعند اختيار أحسن الطرق لإذابة الصقيع من دائرة التبريد، يجب الأخذ بالاعتبار الطاقة المطلوبة لإذابة الصقيع حتى تعطي الدائرة كفاءة أكثر. وهناك العديد من الطرق لإزالة الصقيع منها الطريقة الكهربائية، الغاز الساخن، والماء الدافئ والدورة المعكوسة.

2- 2 خطوات إزالة الصقيع التقليدية:

يمكن تلخيص خطوات إزالة الصقيع التقليدية بما يلي :

1- إغلاق صمام السائل الكهرومغناطيسي .

2- الضخ التحتي (Pump Down) لتفريغ المبخر من وسيط التبريد: حيث يتم إغلاق خط السائل عن طريق مؤقتإذابة الصقيع أو الثرموستات ويقوم الضاغط بسحب الشحنة من المبخر إلى أن يتم إيقاف الضاغط بواسطة قاطع الضغط المنخفض، والهدف من هذه العملية هو تفريغ المبخر من مائع التبريد.

3- إيقاف مراوح المبخر.

4- البدء بعملية إزالة الصقيع والتي تكون باستعمال واحدة من الطرق التي سنتطرق لها لاحقاً.

5- إيقاف عملية إزالة الصقيع وإعطاء وقت كاف لجفاف الملف وذلك للتخلص من قطرات الماء وعدم دفع هواء رطب إلى الحيز.

6- فتح صمام السائل الكهرومغناطيسي وذلك لتجميد الماء المتبقي من عملية إزالة الصقيع وعدم دفعه إلى الحيز في أثناء تشغيل المراوح.

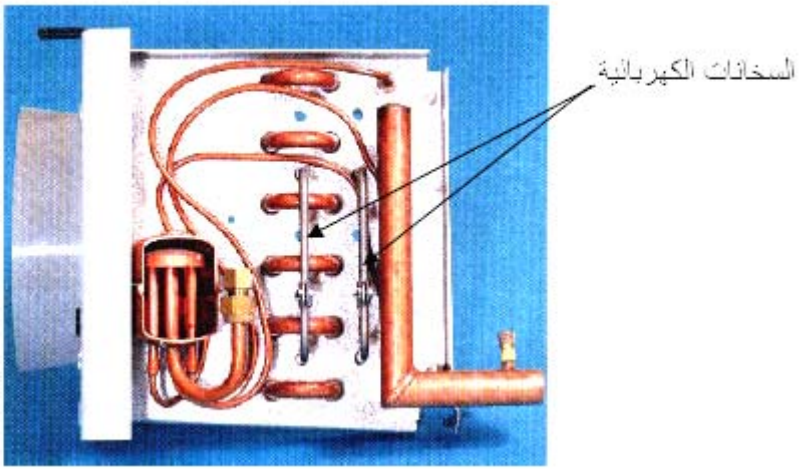
7- تشغيل الضاغط (تطبق هذه الخطوة على جميع طرقإذابة الصقيع ما عدا الغاز الساخن فيجب أن يعمل الضاغط خلال عملية إزالة الصقيع لتجهيز الوحدة بالغاز الساخن).

8- تشغيل مراوح المبخر.

2- 2- 1 إزالة الصقيع كهربائياً Electric Defrosting

توضع سخانات المقاومة الكهربائية بالمبخر كما في الشكل (2- 3). وتتكون هذه السخانات من مواسير من النحاس تركب بداخلها المقاومة الكهربائية التي تحاط بمادة عازلة. وتركب السخانات على التوازي إما بين مواسير المبخر أو توضع منفصلة خلال الزعانف، و في هذه الحالة يمكن استبدالها بسهولة في حالة حدوث احتراق بها. و تستعمل أيضا سخانات من هذا الطراز في حوض تجميع الصقيع الذائب، و تلف ماسورة التصريف أيضا بشريط مسخن. والعيب في هذه الطريقة هو إننا نحتاج إلى طاقة إضافية لتشغيلها. وتتلخص دورةإذابة الصقيع كهربائياً كما هو موضح في الخطوات السابقة مع توضيح أنه يتم تشغيل السخانات في الخطوة رقم (4) حتى تتم إزالة الصقيع. وبعد الانتهاء من هذه العملية يتم إيقاف السخانات في الخطوة رقم (5) ثم متابعة باقي الخطوات.

يمكن للمتدرب الاستزادة من حقيبة أنظمة التحكم في التبريد وتكييف الهواء.

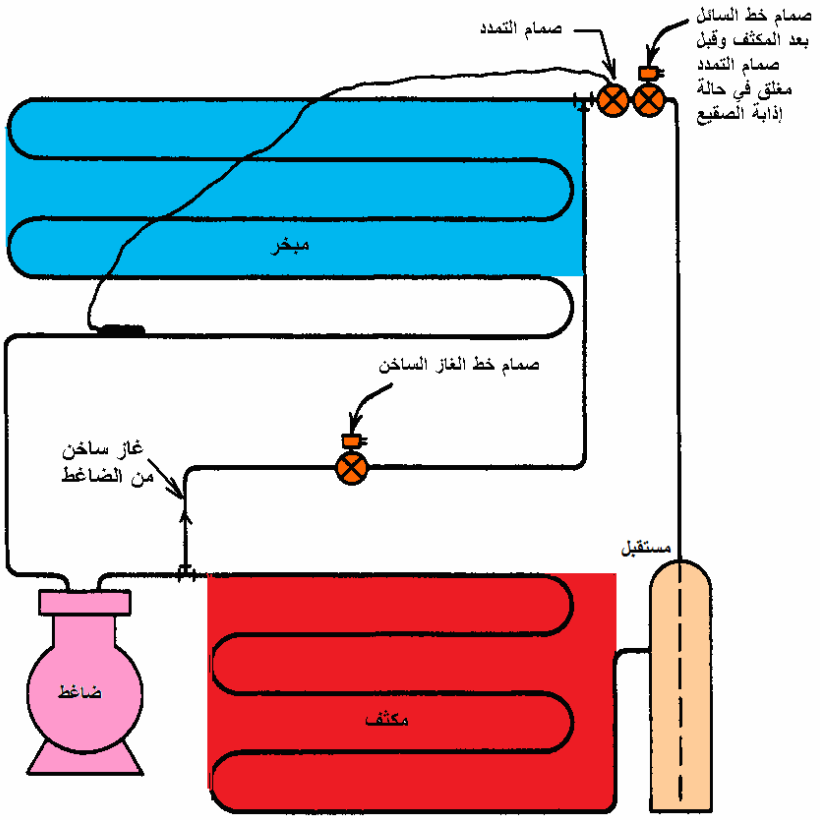


شكل (2- 3)إذابة الصقيع بالسخانات الكهربائية

2- 2- 2 إزالة الصقيع بالغاز الساخن Hot Gas Defrosting

تستخدم في هذه الطريقة الحرارة الموجودة في الغاز الساخن الخارج (بخار وسيط التبريد) من الضاغط لإذابة الصقيع الموجود في المبخر، حيث يسمح لهذا الغاز بالدخول إلى المبخر بعد صمام التمدد الحراري مباشرة ويسمى هذا الخط (خط الإمرار الجانبي By Pass Line), ويركب على هذا الخط صمام مغناطيسي. و توضح هذه الطريقة في الشكل (2- 4) ويلاحظ من الرسم أن خط الغاز يؤخذ من ماسورة خط الطرد إلى الصمام المغناطيسي Solenoid Valve، و بعد ذلك يوصل إلى المبخر بعد صمام التمدد الحراري مباشرة . وعندما يحتاج المبخر إلى إذابة الصقيع الموجود به، يفتح الصمام المغناطيسي و يسمح بدخول الغاز الساخن للمبخر. وبعد فترةإذابة الصقيع يقفل الصمام المغناطيسي وتعاد دائرة التبريد للعمل العادي.

وهناك عدد من العيوب لهذه الطريقة و خاصة عندما تستعمل لدوائر التبريد الكبيرة. فعندما يتكاثف البخار الساخن ويتحول إلى سائل في المبخر، فإن معظم مركب التبريد المكثف يبقى داخل المبخر، والجزء الباقي يدخل الضاغط حيث يتبخر من حرارة الضاغط ويعود للمبخر. وعندما تستمر هذه العملية يقل البخار المستخدم لإذابة الصقيع، ولذلك تكون هذه العملية محدودة الوقت. وهناك أيضا احتمال لرجوع سائل مركب التبريد إلى الضاغط مسببا تلفه. ويمكن تلافي هذا العيب بإعادة تبخير المتكاثف من الغاز الساخن في أثناءإذابة الصقيع بطرق منها: عكس الدورة, واستخدام خزان حراري أو استخدام الحرارة للوحدات ذات المبخرات المتعددة.

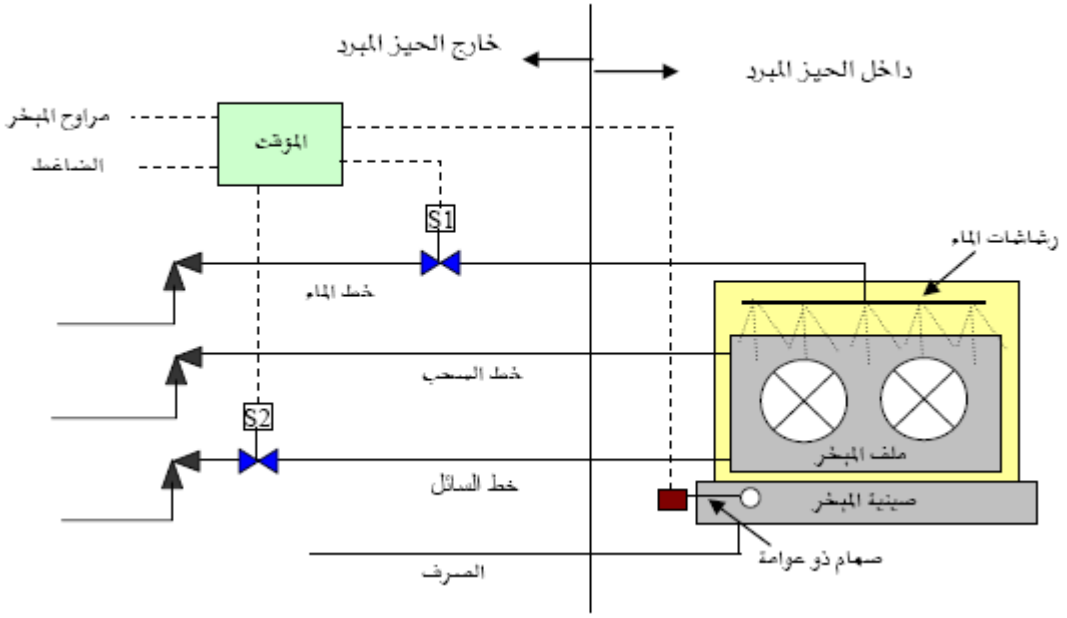


شكل (2- 4)إذابة الصقيع بالغاز الساخن

2- 2- 3 إزالة الصقيع بالماء الدافئ Water Defrosting

يمكن أن يستعمل الماء الدافئ لإذابة الصقيع الذي يتراكم على المبخرات التي تعمل عند درجات حرارة منخفضة حتى (C□ 40-)، وعند درجات حرارة أقل من هذه يجب استخدام مواد مضادة للتجمد Antifreeze أو محلول ملحي Brine Solution. وعادة يرش الماء من أعلى المبخر وذلك عندما تكون دائرة التبريد في فترة التوقف Cycle off ومراوح المبخر لا تدور. و يجمع الماء المتساقط في حوض مركب أسفل المبخر متصل به ماسورة تصريف إلى بالوعة خارج غرفة التبريد وتوضح هذه الطريقة بالرسم المبسط في الشكل (2- 5). و يجب أن نسمح بمضي بضع دقائق بعد فترة إزالة الصقيع لنجعل الماء يتساقط من المبخر قبل إعادة تشغيل دائرة التبريد مرة أخرى. ويمكن لف شريط مسخن Heater Tape حول ماسورة تصريف الماء لتفادي حدوث سدد بها من تجمد الماء الموجود بداخلها.

وعيوب هذه الطريقة هي أنه عند رش المبخر بالماء يمكن أن يهرب رذاذ الماء إلى داخل الحيز المبرد. وإن كانت الموجهات Louvers التي تكون مركبة بالمبخر قد تعطي جزءا من العلاج لهذه المشكلة. وأيضا عند استعمال المواد المانعة للتجمد فإن الصقيع الذائب يقلل تركيز المحلول، ولزيادة التركيز يجب تبخير الماء أو تهريب المادة المانعة للتجمد خلال مواسير خاصة تثبت مع مواسير المبخر لتفادي اختلاطها مع الصقيع الذائب.



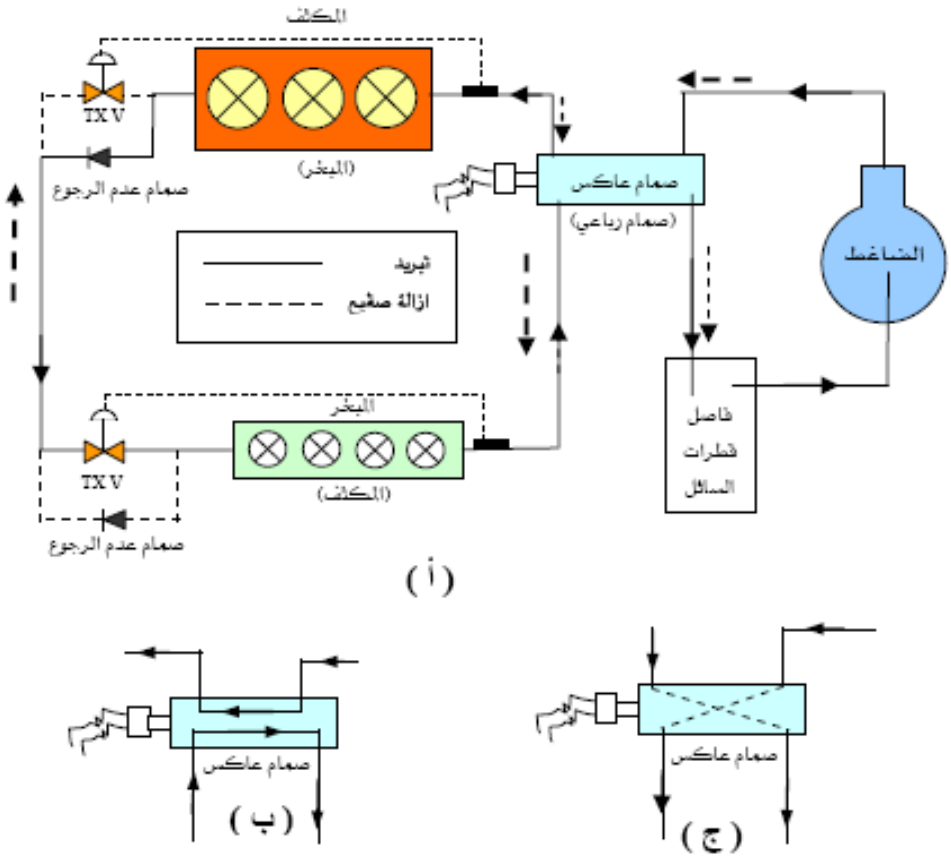
شكل (2- 5)إذابة الصقيع برش الماء

ويمكن استعمال الماء الدافئ للإسراع في عملية إزالة الصقيع وتجنب تكون ثلج في حوض التجميع وماسورة التصريف. و يمكن الحصول على الماء الدافئ من الحرارة التي يطردها المكثف عادة، وبذلك يمكن الاقتصاد في استعمال طاقة إضافية. ولتجنب حدوث ضباب داخل الحيز المبرد في أثناء إزالة الصقيع من المبخر باستعمال الماء الساخن، فإن هذا الماء يمكن أن يحرك داخل مواسير بدائرة خاصة كما هو الحال عند استعمال المواد المانعة للتجمد.

2- 2- 4 إزالة الصقيع بالدورة المعكوسة Reverse Cycle Defrosting

يمثل شكل (2- 6 أ) دورة إذابة الصقيع باستخدام صمام عاكس رباعي الاتجاهات Four Way Valve حيث يمر الغاز خلال الصمام العاكس في عملية التبريد إلى المكثف (المبخر) ثم عبر صمام عدم الرجوع إلى وسيلة التمدد فالمبخر (المكثف) فالصمام العاكس ثم على فاصل قطرات السائل والعودة إلى الضاغط. لاحظ اتجاه الصمام العاكس شكل (2- 6 ب).

أما في عملية إزالة الصقيع فيمر الغاز الساخن الخارج من الضاغط خلال الصمام العاكس بعد أن يتغير اتجاهه إلى المبخر (المكثف) وصمام عدم الرجوع ووسيلة التمدد فالمكثف (المبخر) والعودة إلى الضاغط. لاحظ اتجاه الصمام العاكس شكل (2- 6 ج).



شكل (2- 6)إذابة الصقيع بالدورة المعكوسة

2- 3 مقارنة بين طرق إزالة الصقيع

الطريقة	الفوائد	العيوب
السخان الكهربائي	تكلفة أولية قليلة، ومتوسط السرعة في إزالة الصقيع	كفاءة قليلة،وتكلفة تشغيل عالية
الغاز الساخن	سريع، وتكلفة تشغيل قليلة	كفاءة قليلة، والأمان ، وتكلفة أولية عالية
الماء الدافئ	سريع، وكفاءة جيدة و تكلفة تشغيل قليلة (في الأماكن المتوفر فيها الماء)	استعمال كثير للماء،و تكلفة أولية متوسطة
الدورة المعكوسة	سريع و كفاءة جيدة	الصيانة المستمرة

2- 4 كيفية الحد من تكون الصقيع

يمكن إيجاز النقاط المهمة للحد من تكون الصقيع بما يلي:

1- التخلص أو القضاء على الحرارة الكامنة العالية وذلك من خلال الحفاظ على الأبواب مغلقة أو استعمال الأبواب الميكانيكية.

2- العمل عند فرق قليل مناسب للتطبيق بين درجة حرارة التبخير و درجة حرارة هواء الحيز المراد تبريده وذلك للتخلص من عملية عبور منحنى التشبع وهذا بدوره يقلل من كمية بخار الماء المتكثف على الملف.

3- استعمال مبخرات ذات كثافة زعانف قليلة لكل متر. وفي الغالب يكون عدد الزعانف في المبخرات التي تعمل عند درجات حرارة منخفضة مابين 100- 180 زعنفة/متر أما المبخرات التي تعمل في تطبيقات تكييف الهواء فتكون ما بين 600- 800 زعنفة/متر.

امتحان ذاتي رقم 2

2-1 ما أسباب تكون الصقيع ؟ وما تأثيره على أداء وحدات التبريد؟

2-2 اشرح مستعينا بالرسم ميكانيكية انتقال الحرارة عند تجمع الصقيع.

2-3 اشرح عملية الضخ التحتي (Pump Down) ، وما الهدف منها في عملية إزالة الصقيع؟

2- 4 اذكر خطوات إزالة الصقيع كهربائياً.

2- 5 ما الهدف من ربط السخانات على التوازي في طريقة إزالة الصقيع بالسخانات الكهربائية؟

2- 6 ارسم دائرة بسيطة لإزالة الصقيع بالغاز الساخن، وما عيوب هذه الطريقة ؟ وكيف يمكن علاجها؟

2- 7 اذكر خطوات إزالة الصقيع بالماء الدافئ مع الرسم.

2-8 ارسم دائرة إزالة الصقيع بالدورة المعكوسة واشرحها في خطوات.

نظم ومعدات التبريد

الضواغط

الوحدة الثالثة : الضواغط

الجدارة :

يجب أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل وبنسبة 100٪.

الهدف العام :

عرض الأنواع المختلفة للضواغط المستخدمة في مجال التبريد والتكييف مع معرفة أدائها والعوامل التي تؤثر على هذا الأداء.

مقدمة الوحدة :

الهدف من هذه الوحدة هو معرفة الأنواع المختلفة للضواغط مثل الضواغط الترددية والضواغط الدورانية والضواغط الطاردة المركزية ومعرفة نظرية تشغيل كل نوع وكذلك حساب الكفاءة الحجمية والقدرة اللازمة للضاغط الترددي وكيفية تزييت و تبريد الضواغط المختلفة.

الأهداف السلوكية :

يجب أن يكون المتدرب قادرا على :

- معرفة أنواع الضواغط.
- معرفة مكونات الضاغط الترددي.
- معرفة العلاقة بين سرعة الكباس وعمود المرفق للضاغط الترددي.
- معرفة العلاقة بين قطر الأسطوانة وطول المشوار.
- معرفة كيفية التزييت في الضاغط الترددي والمواصفات اللازمة للزيت.
- معرفة نظرية عمل فاصل الزيت ودورة الزيت.
- معرفة أداء الضواغط الترددية والعوامل التي تؤثر عليه.
- معرفة أسباب اللجوء إلى الانضغاط متعدد المراحل.
- معرفة الأنواع المختلفة للضواغط (الترددية ذات الريش – واللولبية– والحلزونية).
- معرفة كيفية تبريد الضاغط.

المهام المشمولة : C6, C7

متطلبات الجدارة :

يجب على المتدرب أن يكون قد اجتاز مقررات: أساسيات تقنية التبريد والتكييف - ومعمل (ورشة) أساسيات تقنية التبريد والتكييف - وأساسيات التحكم في التبريد والتكييف.

الوقت المتوقع للتدريب : 8 ساعات نظري

3- 1 تصنيف الضواغط

يعتبر الضاغط من أهم مكونات دائرة التبريد في نظام التبريد الانضغاطي التبخيري ويقوم بسحب بخار وسيط التبريد ويزيد من ضغطه ودرجة حرارته حتى يتم طرد الحرارة منه في المكثف.

و يتضمن هذه الوحدة وصفا لأنواع الضواغط الشائعة الاستخدام في مجال التبريد والتكييف ويمكن تصنيف الضواغط تبعا لطريقة زيادة الضغط إلى نوعين أسيين هما:

1- ضواغط موجبة الإزاحة Positive Displacement Compressors

يتم خلال هذه الضواغط زيادة ضغط البخار وذلك بنقص حجمه نتيجة لإزاحة موجبة وأمثلة هذه الضواغط كالتالي:

- الضواغط الترددية Reciprocating Compressors
- الضواغط الدورانية Rotary Compressors ومنها:
  - الضواغط ذات الريش Vane Compressors
  - الضواغط الحلزونية Scroll Compressors
  - الضواغط اللولبية Screw Compressors

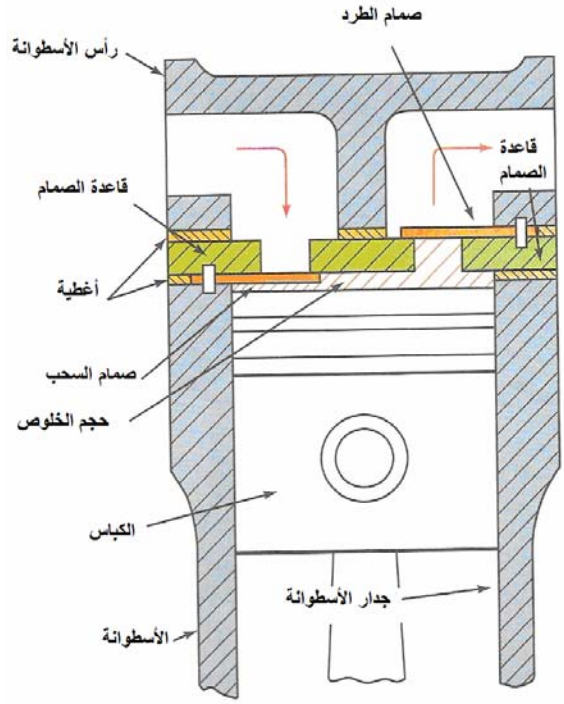
2- الضواغط الديناميكية Dynamic Compressors

يتم في هذه الضواغط تحويل الطاقة الميكانيكية للموتور إلى طاقة حركة للبخار ثم إلى طاقة ضغط وبنا, عليه تتم زيادة ضغط البخار على حساب قوة الطرد المركزي Centrifugal Force .

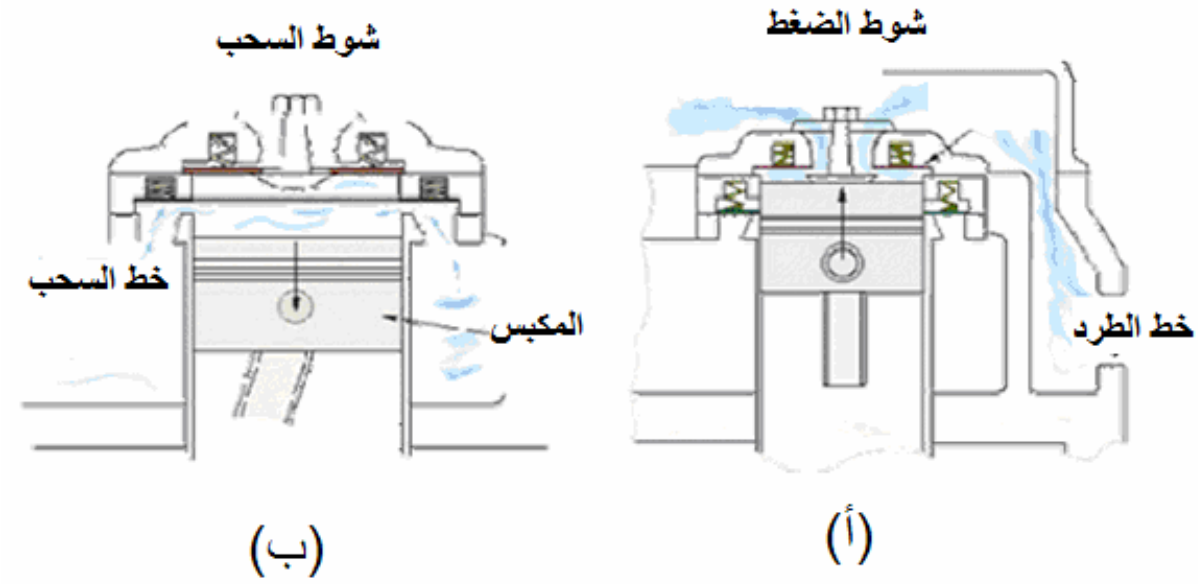
3- 2 الضواغط الترددية Reciprocating Compressors

يوضح شكل (3- 1) ضاغطا ترددياً، يتكون من أسطوانة ومكبس وصمامي الدخول والخروج ويتم تحريك المكبس داخل الأسطوانة بواسطة عمود الإدارة (الكرنك) المتصل بذراع التوصيل. ويقوم المحرك الكهربائي (الموتور) بإدارة الكرنك وتحريك ذراع التوصيل والمكبس، ويتحكم صماما الدخول والخروج في عمليتي الإدخال والإخراج لبخار وسيط التبريد حيث يفتح صمام الإدخال ويقفل صمام الإخراج خلال شوط الإدخال، لذا يبدأ المكبس من وضعه الأعلى ويطلق على هذه النقطة اسم النقطة الميتة العليا Top Dead Point ، وينتهي عند النقطة الميتة السفلى Bottom Dead Point . أما صمام الإخراج فيبدأ في الفتح عندما يصل الضغط عند قيمة معينة (أعلى من ضغط الطرد). و يوضح شكل (3- 2) طريقة عمل ضاغط ترددي ذي أسطوانة رأسية مع صندوق المرفق.

والضواغط الترددية هي الأكثر انتشارا في كل مجالات التبريد والتكييف خاصة مع وسائط التبريد التي تتطلب إزاحة صغيرة وضغط تكثيف عال وضغط تبخير أكبر من الضغط الجوي. وتتوفر الضواغط الترددية بسعة تتراوح من 90-250 TR ، ويمكن أن تكون الضواغط الترددية أحادية أو ثنائية التشغيل Single or Double Acting والنوع الأخير يستخدم مع معدات التبريد الصناعية الكبيرة.



شكل (3- 1) ضاغط ترددي ذو أسطوانة رأسية مع صندوق المرفق



شكل (3- 2) طريقة عمل ضاغط ترددي ذي أسطوانة رأسية مع صندوق المرفق

(أ) شوط الضغط (ب) شوط السحب

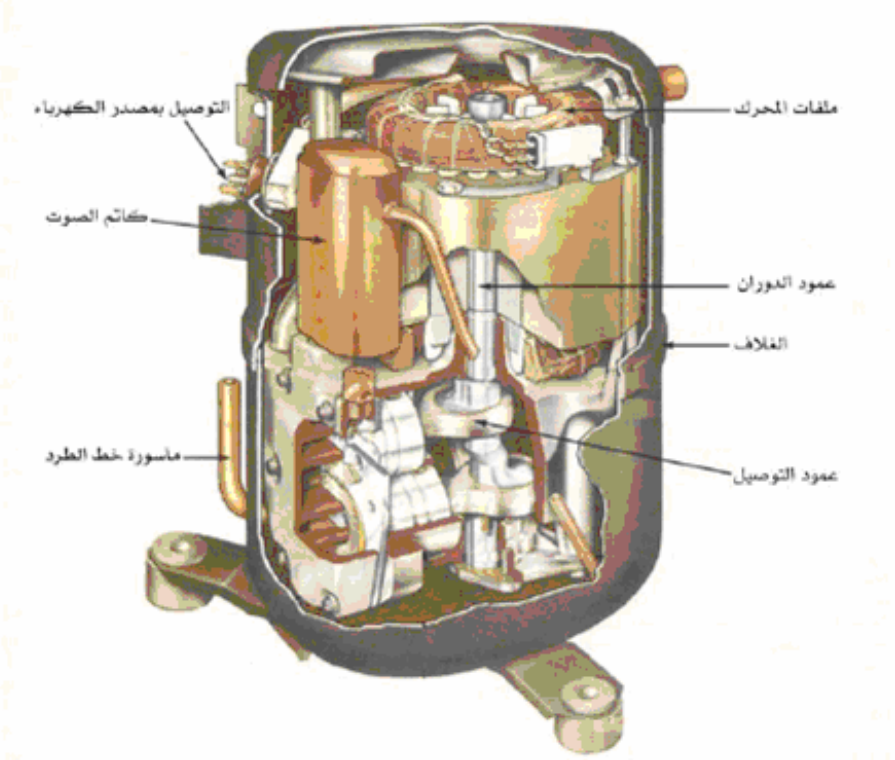
ويمكن تقسيم الضواغط الترددية إلى الأنواع التالية:

3- 2- 1 ضواغط محكمة الغلق Hermetic Compressors

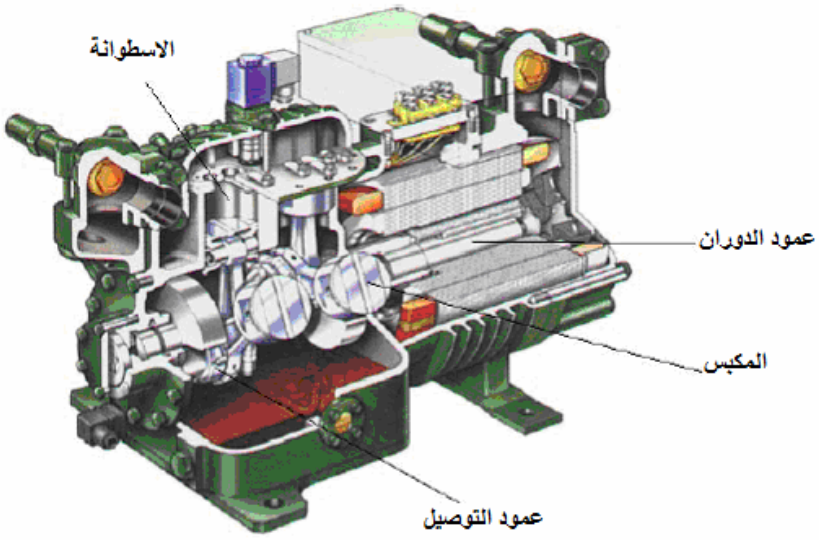
يوضح شكل (3- 3) ضاغطاً ترددياً محكم الغلق، وفي هذا النوع يوضع الضاغط والمحرك (الموتور) الكهربائي معا في غلاف محكم الغلق تمرر فيه الأسلاك التي تحمل التيار الكهربائي فقط. و المفروض ألا يحدث تسرب لبخار مائع التبريد من هذا النوع من الضواغط. و الأمثلة لهذا النوع هي الضواغط المستعملة في المبردات المنزلية والثلاجات و أجهزة التكييف الصغيرة. ويتم تبريد الموتور عن طريق إمرار عاز التبريد قبل ضغطه خلال الضاغط، وعادة يتم تركيب كاتم صوت Muffler لامتصاص الصوت الناتج أثناء مشواري السحب والطرد. وتتراوح سرعة الضواغط المحكمة القفل بين 20 rps للموتورات ذات الأربعة أقطاب و 50 rps للموتورات ذات القطبين.

3- 2- 2 ضواغط شبه مغلقة Semi Hermetic Compressors

يوضح شكل (3- 4) ضاغطاً ترددياً شبه مغلق، وفي هذا النوع يوضع الضاغط والمحرك في غلاف واحد مع إمكانية فتحه وإصلاحه.



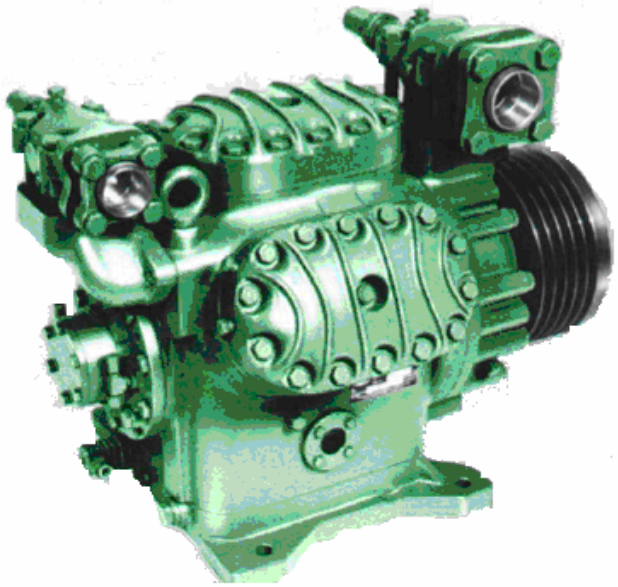
شكل (3- 3) ضاغط ترددي محكم الغلق



شكل (3- 4) ضاغط ترددي شبه مغلق

3- 2- 3 ضواغط مفتوحة Open Compressors

يوضح شكل (3- 5) ضاغطاً ترددياً مفتوحاً، وفي هذا النوع لا يوضع الضاغط والموتور الكهربائي في نفس الغلاف، بل تنتقل الحركة عبر الغلاف الخارجي للضاغط. و لابد من أن يمر عمود الإدارة Crank Shaftخلال مانع تسرب مناسب لمنع بخار وسيط التبريد من التسرب للخارج. و مثال هذا النوع من الضواغط هو الضاغط الذي يستخدم في مكيفات السيارات و الذي تنتقل الحركة إليه من موتور السيارة بواسطة سير وبكرات.



شكل (3- 5) ضاغط ترددي مفتوح

ويمكن تصنيف الضواغط المفتوحة من حيث طريقة إدارتها إلى :

إدارة مباشرة Direct Drive

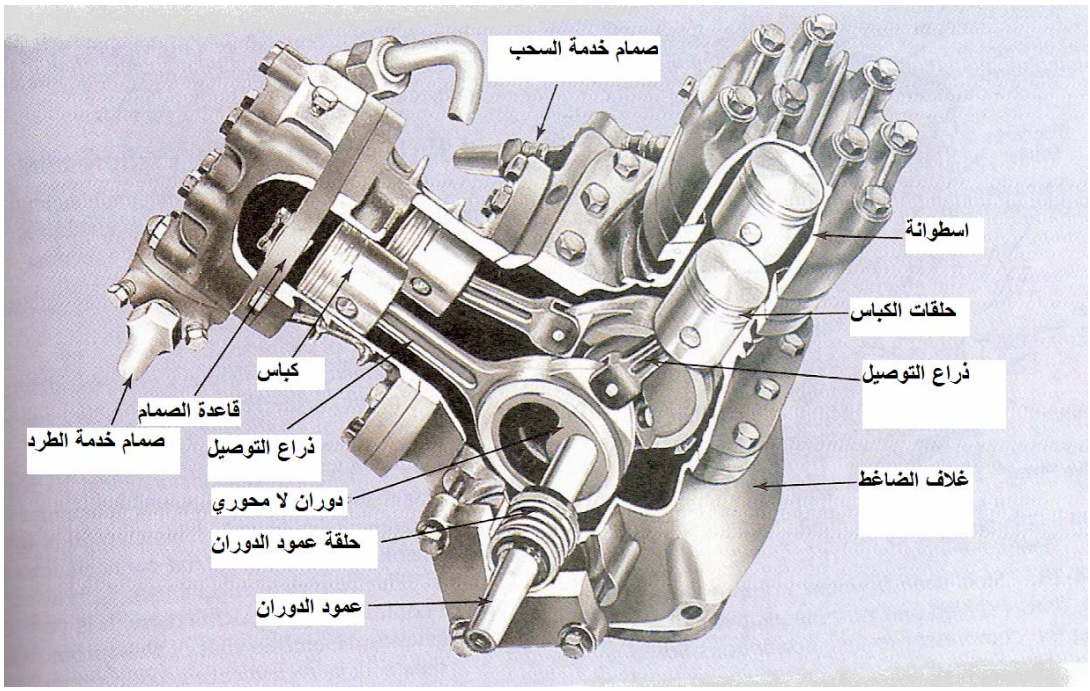
وفيها يتصل عمود الضاغط بعمود الموتور من خلال تعشيقة مرنة Flexible Coupling.

إدارة غير مباشرة Indirect Drive

وفيها تنتقل الحركة من بكرة مركبة على عمود الموتور إلى بكرة مركبة على عمود الضاغط بواسطة سير أو تروس.

3- 2- 4 الأسطوانات Cylinders

يتراوح عدد أسطوانات الضواغط الترددية بين أسطوانة واحدة و ست عشرة أسطوانة. و ترتب أسطوانات الضواغط ذات الأسطوانتين في خط واحد In-line ، بينما ترتب الأسطواناتإذازاد عددها عن أسطوانتين على شكل حرف V أو حرف W . وتصنع الأسطوانات من حديد الزهر لسهولة تشكيله بالسبك و خواصه الجيدة المقاومة للأحتكاك. وتصب أسطوانات الضواغط الصغيرة مع زعانف للاسطوانة ورأسها، أما أسطوانات الضواغط الكبيرة فتصب مع قمصان تبريد مياه. ويوضح شكل (3- 6) ضاغطاً متعدد الأسطوانات على شكل حرف V من النظام المفتوح والإدارة المباشرة.

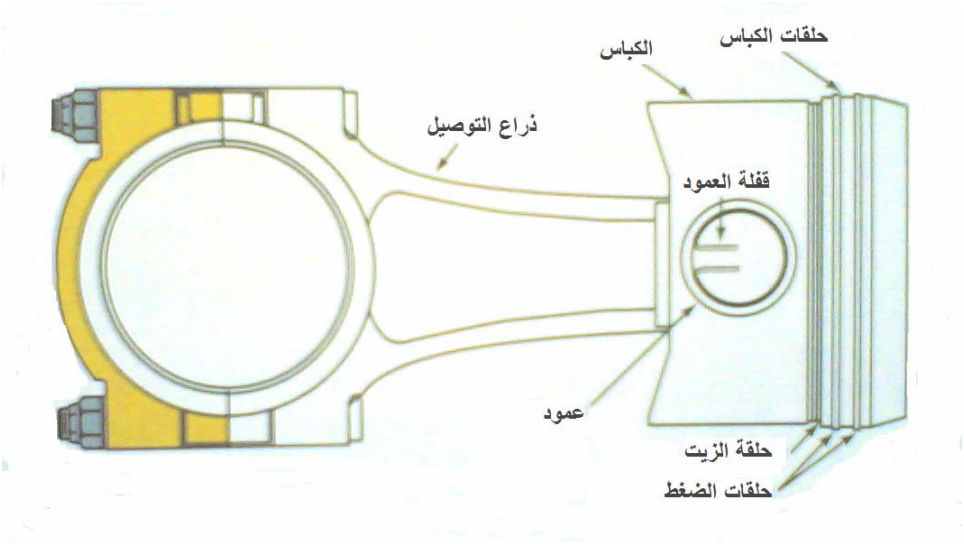


شكل (3- 6) ضاغط ترددي متعدد الأسطوانات على شكل V
من النظام المفتوح والإدارة المباشرة

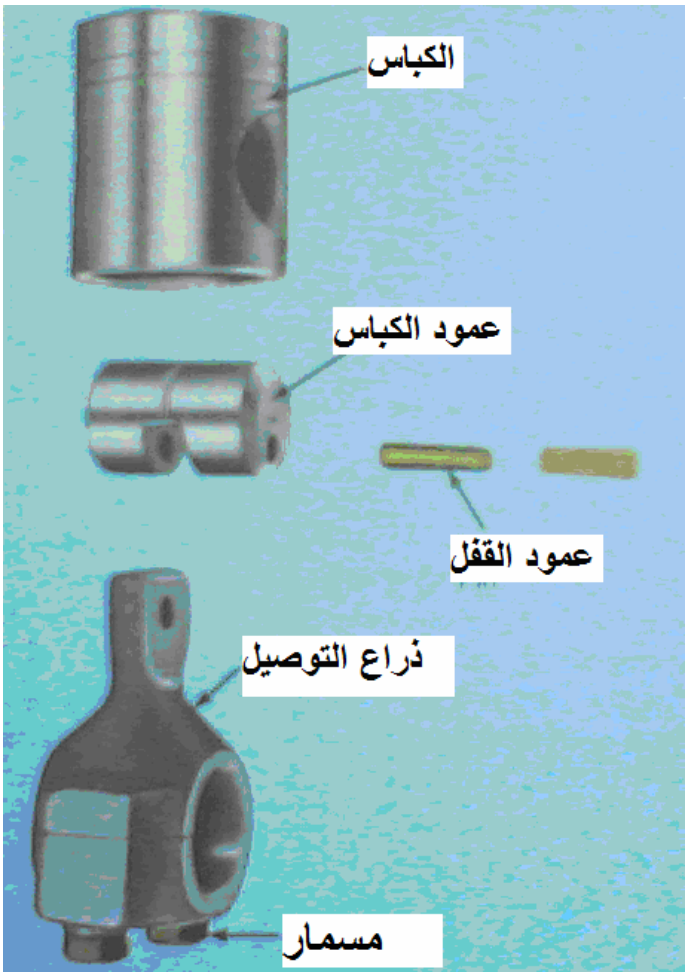
3- 2- 5 الكباسات Pistons

يوجد نوعان من الكباسات المستخدمة مع ضواغط التبريد وهي كباسات محركات السيارات وكباسات ذات الجزع المزدوج Double Trunk . تستخدم كباسات محركات السيارات عند سحب البخار خلال صمام متواجد في رأس أسطوانة الضاغط، بينما تستخدم الكباسات ذات الجزعين للضواغط المتوسطة والكبيرة عندما يدخل بخار السحب خلال فتحات في حائط أسطوانة الضاغط ثم خلال صمام السحب في رأس الكباس. و يستخدم مع الكباسات ذات الجزعين كما هو موضح بالشكل (3- 7) حلقات كباس Piston Rings لمنع تسرب بخار مائع التبريد إلى صندوق المرفق حيث يتواجد الزيت اللازم لتزييت ذراع التوصيل وكرأسي عمود الإدارة. ويلاحظ عدم استخدام حلقات للكباس في الأقطار الأقل من 50 mm حيث إن الزيت يكون كافيا لمنع التسرب. أما الكباسات الأكبر فإنه يركب بها حلقات زيت وحلقات ضغط.

وتصنع الكباسات وحلقاتها كقاعدة عامة من الحديد المطاوع. وتصنع حاليا بعض الكباسات من سبيكة الألمنيوم مع حلقة ضغط واحدة على الأقل. ويوضح شكل (3- 8) أجزاء الكباس.



شكل (3- 7) حلقات الكباس



شكل (3- 8) أجزاء الكباس

3- 2- 6 صمامات السحب والطرد Suction and Discharge (Delivery) Valves

إن تصميم صمامات السحب والطرد مهم جدا لأنه يؤثر على الكفاءة الحجمية للضاغط وكذلك القدرة اللازمة له. كذلك يتوقف انخفاض الضغط نتيجة سريان المائع خلال الصمامات على شكل الصمام وسرعة سريان البخار. لذا يجب وضع الصمامات بحيث تسمح للبخار بالسريان في اتجاه واحد وأن تكون فتحة الصمام كبيرة نسبيا وسرعة البخار تكون في الحدود التي لا تؤثر على أداء الضاغط.

وتصنع الصمامات من مادة خفيفة الوزن بحيث يمكن أن تفتح وتقفل بسهولة وبسرعة مع الإحكام. وتوجد أنواع مختلفة من الصمامات وكلها تعمل نتيجة الفرق في الضغط خلال رأس أسطوانة الضاغط.

3- 2- 7 أداء الضواغط الترددية

3- 2- 7- 1 الكفاءة الحجمية للضواغط الترددية :

في كل لفة يعملها الكرنك يتحرك الكباس مشوارين أولهما مشوار سحب خلال نصف لفة وفي النصف الثاني يتم مشوار الانضغاط والتسليم. ونظرا لوجود صمامات في رأس الأسطوانة فإن الكباس عندما يصل إلى نهاية مشواره يترك جزءا من الغاز المضغوط لا يطرد من الأسطوانة,نقطة (3) في الشكل (3-9). يسمى هذا الجزء بحجم الخلوص V_c عند ضغط P_2 ومع حركة الكباس لمشوار السحب يتمدد إلى أن يصل إلى نقطة (4) حيث تدخل الشحنة الجديدة داخل الأسطوانة ويمكن التعبير عن الكفاءة الحجمية بالمعادلة الآتية:

$$\eta_{Vol} = \frac{\text{ActualVolume}}{\text{StrokeVolume}} = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3}$$

حيث:

Actual Volume: الحجم الحقيقي

Stroke Volume: حجم المشوار

$$\eta_{vol} = \frac{V_1 - V_3 + V_3 - V_4}{V_1 - V_3} = 1 + \frac{V_3}{V_1 - V_3} - \frac{V_4}{V_1 - V_3}$$

وباستخدام العلاقة الخاصة بالتمدد البوليتروبي بين النقطتين (4 , 3)

$$P_3 V_3^n = P_4 V_4^n$$

يمكن كتابة معادلة الكفاءة الحجمية على الصورة التالية.-

$$\eta_{Vol} = 1 + C - C\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}$$

حيث:

C : النسبة بين حجم الخلوص V_c وحجم المشوار V_s وتسمى نسبة الخلوص

n : الأس البوليتروبي في الانضغاط والتمدد Polytropic Index

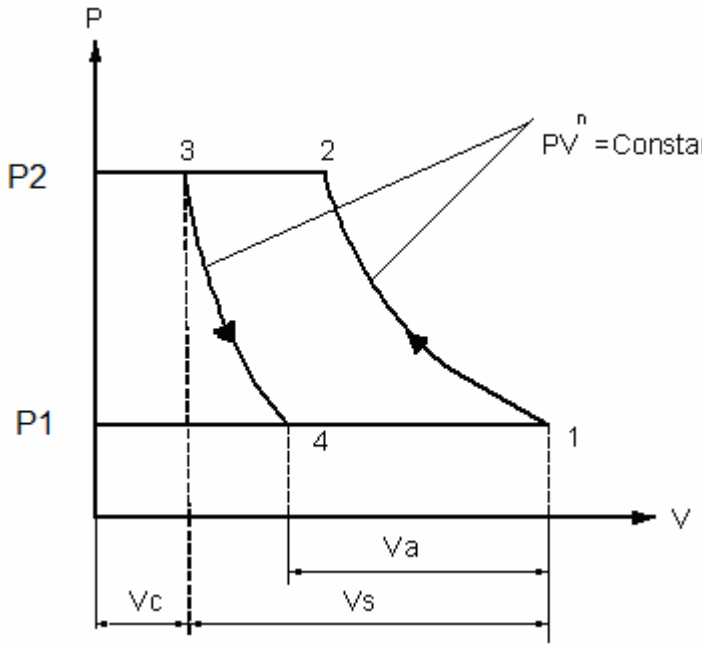
P_2/P_1 : نسبة الانضغاط

وتسمى الكفاءة الحجمية المعطاة بالمعادلة السابقة بالكفاءة الحجمية الظاهرية أو النظرية. حيث إن درجة الحرارة للغاز ترتفع أثناء دخوله الأسطوانة وأيضا ينخفض ضغطه وبالتالي تتأثر قيمة الكفاءة الحجمية النظرية وتعطى بالمعادلة الآتية:

$$\eta_{vact} = \eta_{vol} \frac{p_1}{p_2} \frac{T_2}{T_1}$$

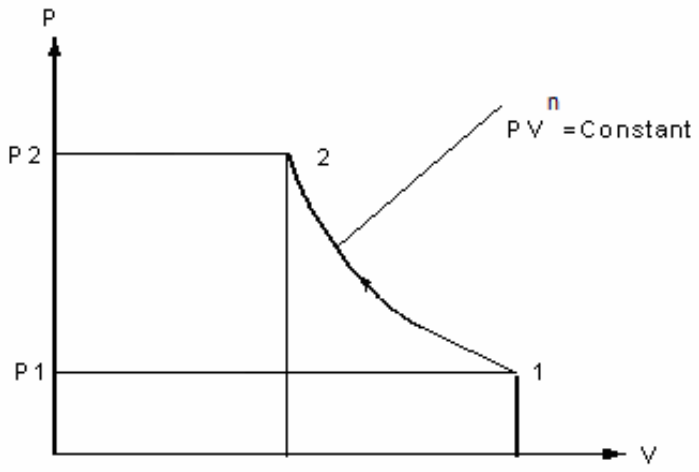
حيث:

η_{vact} : الكفاءة الحجمية الحقيقية



شكل (3- 9) منحنى الضغط- الحجم للضاغط الترددي

الشغل المبذول على المائع في دورة الضاغط يمثل بالمساحة لدورة الضاغط على منحنى الضغط- الحجم كما في شكل (3- 10) المكونة من ثلاثة إجراءات (سحب- و ضغط- و تسليم).



شكل (3- 10) دورة الضاغط على منحنى الضغط- الحجم

$$\text{Work done} = \frac{p_2 v_2 - p_1 v_1}{n-1} + p_2 v_2 - p_1 v_1$$

$$\text{Work done} = \frac{n}{n-1}(p_1 v_1)\left[\left(\frac{p_2 v_2}{p_1 v_1}\right) - 1\right]$$

$$\text{Work done} = \frac{n}{n-1}(p_1 v_1)\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

وتصبح القدرة المطلوبة للضاغط كالتالي:

$$\text{Power} = \text{Refrigeran t mass flow rate} \times \text{Work done}$$

$$\text{Power} = \frac{n}{n-1}\dot{m}_{ref}\,(p_1 v_1)\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

$$\text{Power} = \frac{n}{n-1}\dot{m}_{ref}\, RT_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

حيث:

T_1: درجة حرارة الغاز الداخل للضاغط (K)

R: ثابت الغاز النوعي ويعطى بالمعادلة التالية:

$$R = \frac{R_u}{M}$$

حيث:

R_u: ثابت الغازات العام ويساوي 8.315 kJ/(kg.mole)(K)

M: الوزن الجزيئي للغاز (kg)

مثال (3- 1):

احسب القدرة اللازمة لضاغط يقوم بضغط هواء من 1 bar إلى 4 bar علما بأن درجة حرارة الهواء الداخل 25 °C والوزن الجزيئي للهواء 28.97 kg والأس البوليتروبي في الانضغاط والتمدد 1.4 ومعدل تدفق الهواء 0.6 kg/s.

الحل:

$$\text{Power} = \frac{n}{n-1}\dot{m}_{ref}\, RT_1\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

$$\Rightarrow Power = \frac{1.4}{1.4-1}(0.6)\frac{8.315}{28.97}(25+273)\left[\left(\frac{4}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1\right] = 87.39kW$$

3- 2- 8 الانضغاط متعدد المراحل

عندما تكون نسبة الضغط المطلوبة من الضاغط كبيرة وخاصة في أنظمة درجة حرارة مبخراتها منخفضة، يكون الانضغاط على مرحلة واحدة غير اقتصادي نتيجة الأسباب الآتية:

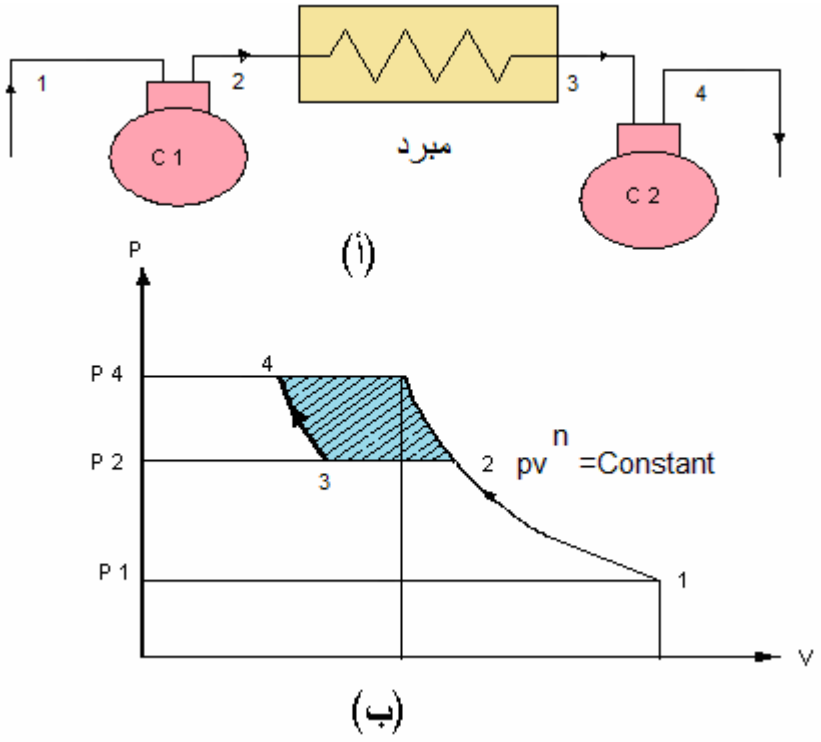
1- الكفاءة الحجمية صغيرة جدا

2- المفاقيد الاحتكاكية أكبر ما يمكن

3- احتمالات التسرب كبيرة نتيجة للضغط العالي

4- تكلفة التشغيل الكبيرة

ونظرا للأسباب السابقة لابد من الانضغاط متعدد المراحل حيث يتم التبريد لبخار وسيط التبريد بين تلك المراحل كما هو موضح بالشكل (3- 11 أ). ويلاحظ أن ذلك يؤدي إلى تخفيض الشغل المطلوب بالذات على بخار مائع التبريد الموضح بالمساحة المؤشرة في الشكل (3- 11 ب) .



شكل (3- 11) الانضغاط متعدد المراحل مع التبريد البيني

3- 3 الضواغط الدورانية Rotary Compressors

هذه الضواغط تشبه الضواغط الترددية في كونها موجبة الإزاحة و تتميز بأنها أقل ضوضاء و أكثر اتزانا من الأنواع السابقة وإن كانت أقل استعمالا نظرا لأن الضواغط الترددية هي الأسبق استعمالا، و بالتالي فهي الأكثر تطورا من ناحية التصميم والإنتاج. و تنقسم الضواغط الدورانية كما سبق ذكره إلى نوعين هما الضواغط ذات الريش والضواغط اللولبية.

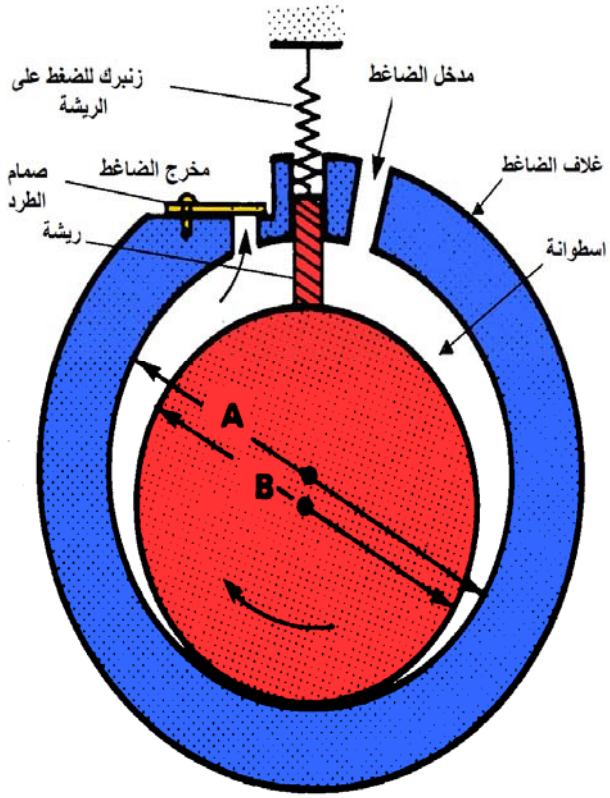
وتنقسم الضواغط ذات الريش بدورها إلى نوعين هما:

1- الضواغط الدورانية (الرحوية) ذات الريشة الواحدة

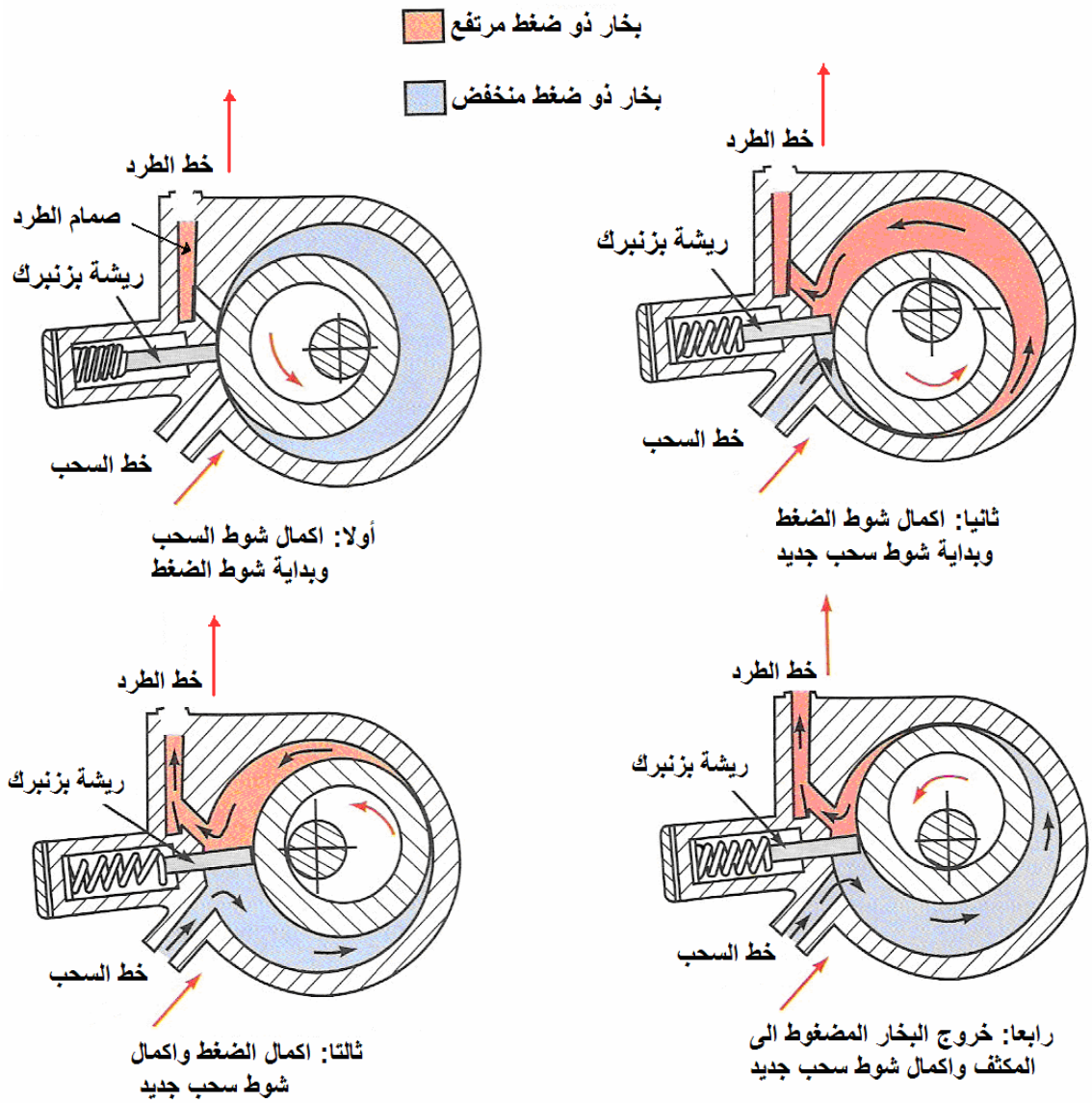
2- الضواغط متعددة الريش

3- 3- 1 الضواغط الدورانية ذات الريشة الواحدة

يوضح شكل (3- 12) ضاغطا ذا ريشة واحدة (ضاغط دوراني) ويتكون من غلاف أسطواني خارجي يحتوي على فتحة دخول للبخار المطلوب زيادة ضغطه، و صمام خروج البخار بالإضافة إلى ريشة تعمل كفاصل بزنبرك للبخار لفصل جانب الضغط العالي عن جانب الضغط المنخفض. كما توجد أسطوانة داخلية تدور حول محور دوران B يختلف عن مركز الأسطوانة الخارجية A وبذلك تتحرك حركة رحوية (تتدحرج) مؤدية إلى تغير الحيز الذي يوجد فيه البخار من حجم كبير عند المدخل إلى صغير عند المخرج مؤديا إلى انضغاطه. وتعمل مجموعة الضاغط في حيز مغمور بالزيت ويتم طرد البخار فوق الزيت ومنه إلى خط الطرد. و يوضح شكل (3- 13) طريقة عمل ضاغط رحوي ذي ريشة واحدة.



شكل (3- 12) ضاغط دوراني ذو ريشة واحدة



شكل (3- 13) طريقة عمل الضاغط الرحوي ذي الريشة الواحدة

3- 3- 2 الضواغط ذات الريش المتعددة Vane Type Rotary Compressor

يبين شكل (3- 14) هذا النوع من الضواغط، ويلاحظ أن بخار مائع التبريد يدخل من فتحة الدخول و يتم الاحتفاظ به بين ريشتين إلى حين خروجه من صمام الخروج. ويتغير عدد الريش تبعا لنسبة الضغط المطلوبة، وكذلك نوع مائع التبريد (يحدد فرق الضغط على جانبي الريشة).

ويراعى في هذا النوع من الضواغط ضرورة وجود طبقة من الزيت داخل أسطوانة الضاغط لتقليل الاحتكاك الناتج من قوة الطرد المركزي على الريش إضافة إلى الحركة النسبية بينها وبين الأسطوانة, وعدم وجود الزيت يؤدي إلى فقد كبير في الطاقة نتيجة الاحتكاك كما يؤدي إلى تآكل الريش، ويؤدي الزيت هدفا آخر غير التزييت هو عزل البخار الموجود في الفراغات المختلفة المتكونة بسب وجود الريش. كما يراعى ضرورة وجود صمام خروج للضاغط لتجنب عودة البخار من خط الطرد في حالة انخفاض الضغط في الضاغط.

ونسبة الانضغاط للضواغط الدوارة تصل إلى 1:7 وتستخدم الضواغط الدوارة الصغيرة فريون R12، R134a للثلاجات المنزلية والمجمدات ووحدات التكييف القائمة بذاتها حتى سعة تبريدية تصل إلى 4 kW.

وتستخدم الضواغط الدوارة الكبيرة بكثرة مع الأمونيا وفريونات R12 ، R22 ، R134a لدرجات حرارة منخفضة تصل إلى $-87^{o}C$. وتجهز الوحدات الكبيرة بقمصان تبريد ويتم تزييت محاورها بواسطة مضخة تروس.

وتعطى الإزاحة للضواغط الدوارة ذات الريشة الواحدة بالمعادلة الآتية:

$$V_D = \frac{\pi}{4} D^2 L \frac{N}{60} \ (\mathrm{m^3/s})$$

حيث:

D : قطر المكبس (m)

L: مشوار المكبس (m)

N: عدد اللفات في الدقيقة

مثال (3- 2):

إذاكانت إزاحة الضاغط $0.0538\ m^3/s$ وكانت نسبة مشوار المكبس إلى قطره L/D=1.4. عين كلا من D, L إذاأدير بسرعة 3000 rpm.

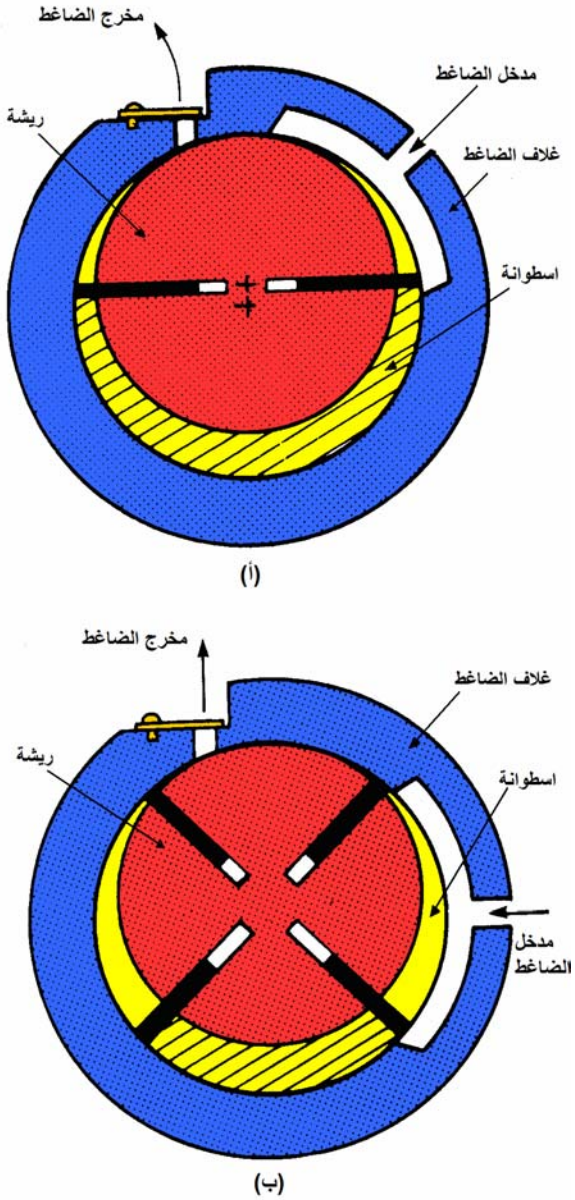
الحل:

$$V_D = \frac{\pi}{4} D^2 L \frac{N}{60}$$

$$\Rightarrow 0.0538 = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 1.4D \times \frac{3000}{60} = 54.97D^3$$

$$\Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{0.0538}{54.97}} = 0.099m \cong 0.1m = 100mm$$

$$\Rightarrow L = 1.4D = 1.4 \times 0.1 = 0.14m = 140mm$$



شكل (3- 14) ضاغط دوار رحوي متعدد الريش

(أ) ذو ريشتين (ب) ذو أربع ريش

3- 3- 3 الضواغط اللولبية Screw Compressors

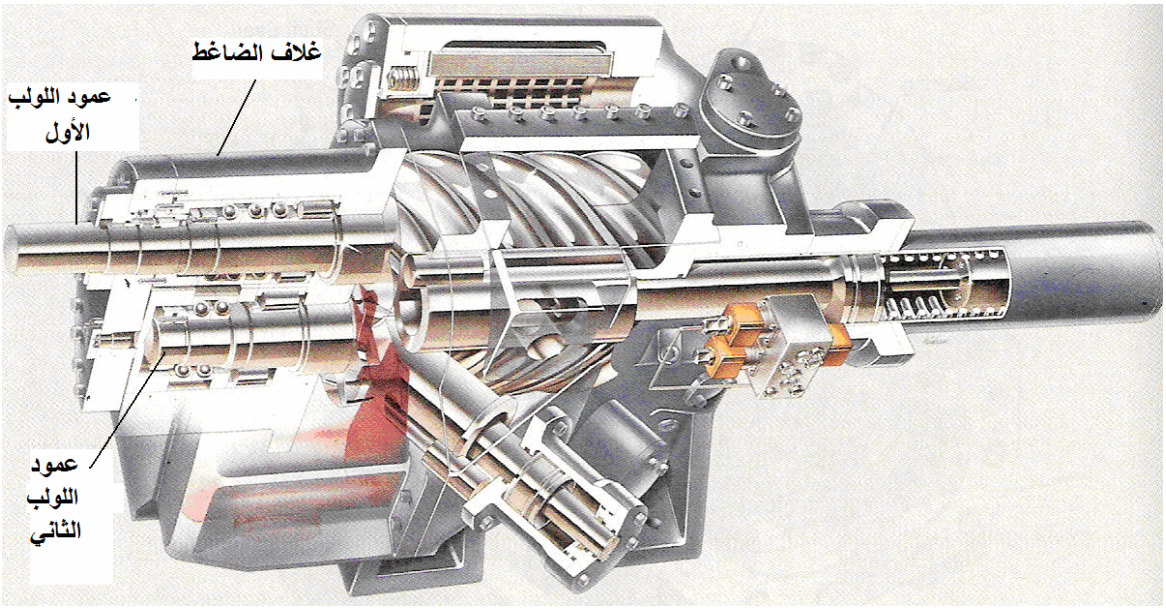
يتكون الضاغط اللولبي الموضح بالشكل (3- 15) من ترسين لولبيين،ويحتوي اللولب الدوار(القائد) على أربعة بروزات (Lobes) في العادة في حين يحتوي اللولب الآخر (المنقاد) على ستة

تجاويف (Grooves) مناظرة لبروزات اللولب الأول وعلى ذلك يقوم اللولب الأول بإدارة اللولب الثاني. ويلاحظ أن الفراغ الذي يمكن أن يشغله البخار عند المدخل أكبر بكثير من الفراغ المتاح عند المخرج الأمر الذي يؤدي إلى انضغاط البخار تدريجيا من المدخل إلى المخرج بنسبة انضغاط معينة تتوقف على التروس المستخدمة. ولا شك أن هذا النوع من الضواغط يحتاج إلى حقن الزيت به للتزييت و لفصل الفراغات المختلفة.

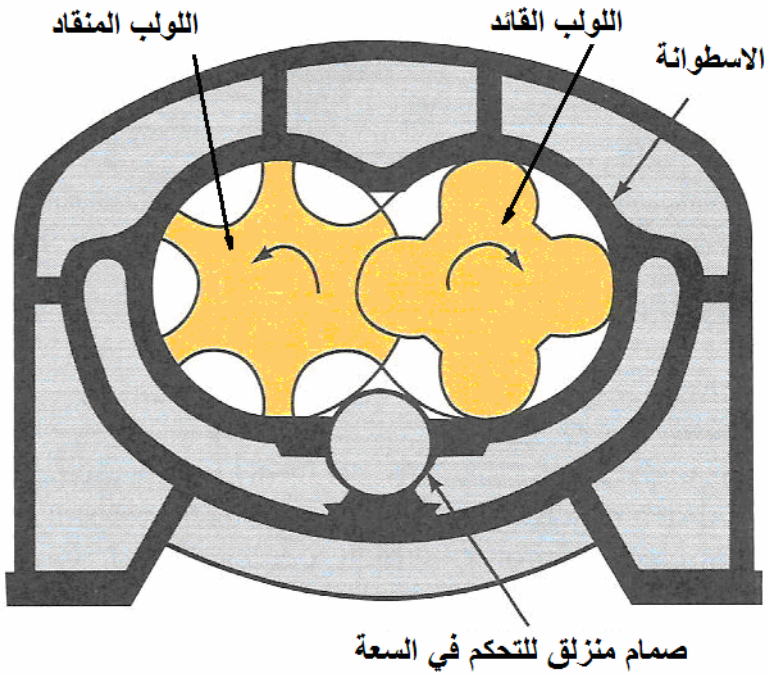
تعتبر الكفاءة الحجمية للضواغط اللولبية عالية لأن الخلوص بين الأجزاء الدوارة صغير ولا يوجد احتكاك بين الأجزاء الدوارة لعدم تلامسها ولوجود طبقة من الزيت. و يوضح شكل (3- 16) قطاعا عرضيا لضاغط ثنائي اللولب، كما يوضح شكل (3- 17) طريقة عمل الضاغط ثنائي اللولب.

وهناك نوع آخر من الضواغط اللولبية تستخدم لولباً واحداً بالإضافة إلى عنصري تدوير. و يوضح الشكل (3- 18) الأجزاء المختلفة لهذا النوع من الضواغط.

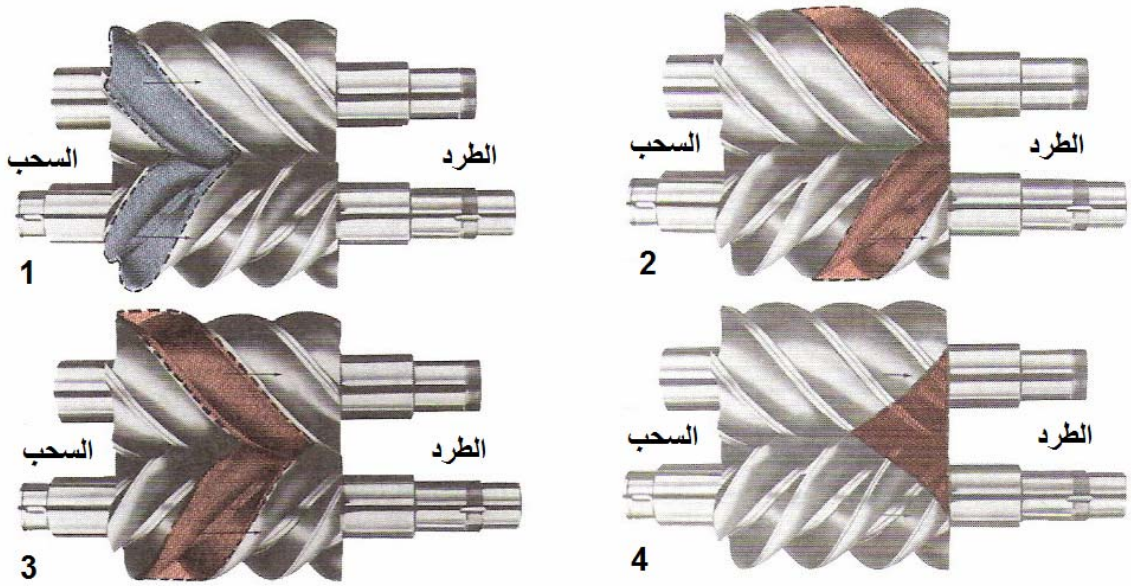
ويحتوي اللولب على ستة تجويفات من الصلب المطلي بالألمنيوم لحمايته أما عنصري التدوير فيصنعان من المواد المتآلفة المقواة.



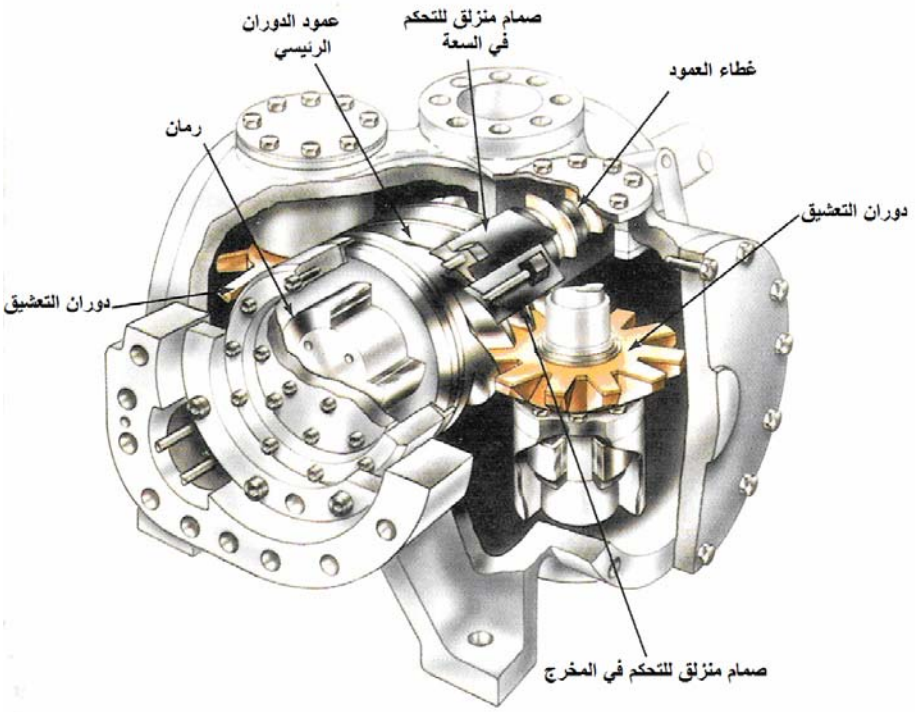
شكل (3- 15) الضاغط اللولبي (ثنائي اللولب)



شكل (3- 16) قطاع عرضي لضاغط ثنائي اللولب



شكل (3- 17) طريقة عمل الضاغط ثنائي اللولب

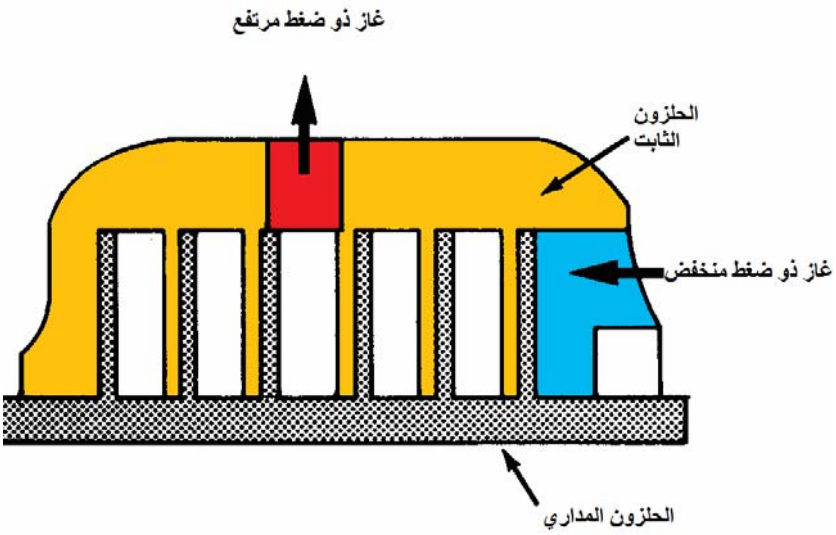


شكل (3- 18) وحدة ضاغط لولبي (أحادي اللولب) ومحركه مع عنصري التدوير

3- 4 الضواغط الحلزونية Scroll Compressors

الضاغط الحلزوني من الضواغط الدوارة موجبة الإزاحة والذي يستخدم في المكيفات المنزلية والمضخات الحرارية وكذلك مكيف السيارة. و يتكون الضاغط الحلزوني من حلزونين متماثلين أحدهما ثابت Fixed والآخر مداري Orbiting لهما فرق زاوية الطور 180° مجمعين على بعد يساوي نصف قطر المدار Orbit. ويوضح شكل (3- 19) ضاغطاً حلزونياً مقفلاً ويدار الحلزون المداري بواسطة عمود المرفق خلال حلقة وصلة أولدهام كما هو موضح بشكل (3- 20) ، ويثبت الحلزون المداري محوريا في جهة الحلزون الثابت بواسطة الياءات أو هيدروليكيا.

شكل (3- 19) ضاغط حلزوني مقفل بمحركه



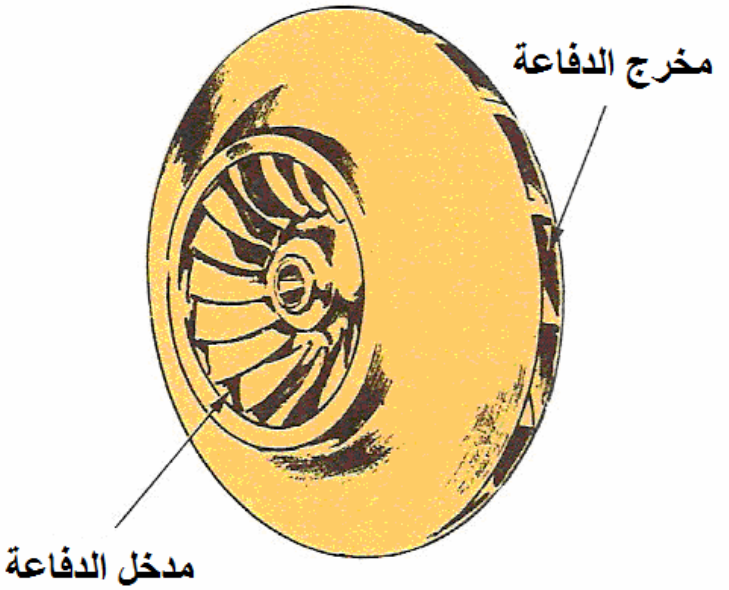
شكل (3- 20) ترتيبة الحلزون الثابت والمداري للضاغط الحلزوني

ومن مزايا الضواغط الحلزونية خفة الوزن،و صغر الحجم،و قلة الاهتزازات ،و انخفاض الصوت لذلك فهي تستعمل حاليا مع أجهزة تكييف الهواء التي تتطلب الأداء الهادئ.

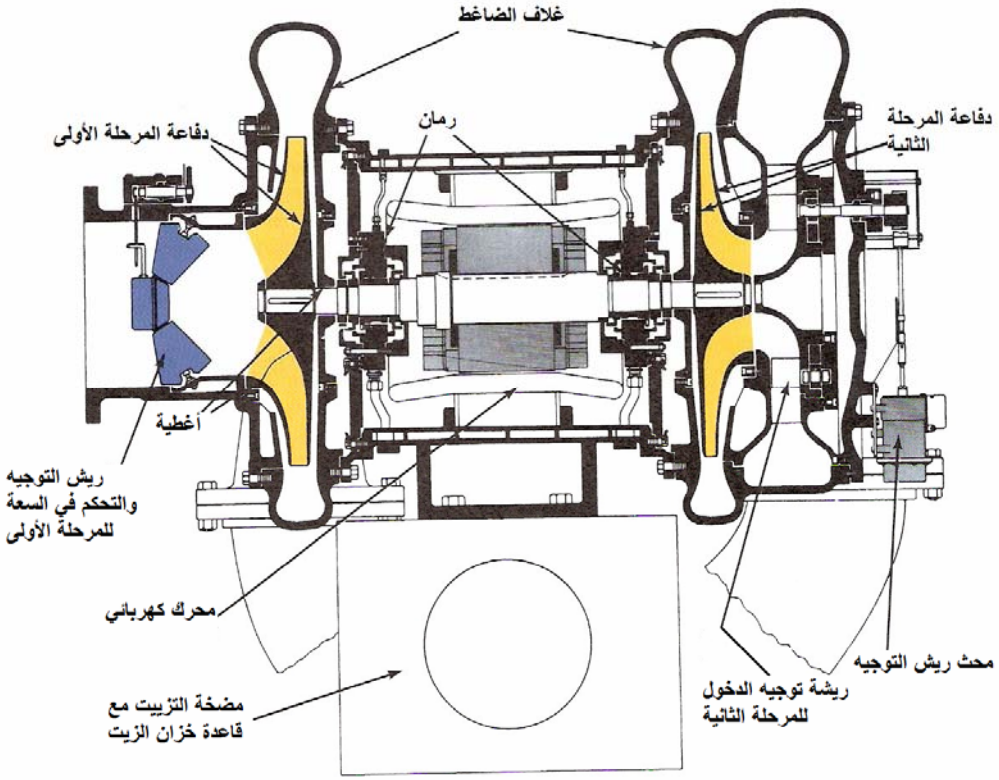
3- 5 **الضواغط الطاردة المركزية** Centrifugal Compressors

يتكون ضاغط الطرد المركزي من دفاعة مروحية Impeller أو مجموعة من الدفاعات مركبة على عمود من الصلب ويوضع كل ذلك في غلاف من حديد الزهر ويوضح شكل (3- 21) شكل الدفاعة. وعدد الدفاعات يعتمد في الأساس على الضغط المطلوب ويتراوح عددها في الضواغط الشائعة الاستخدام للتبريد والتكييف بين دفاعة واحدة واثنتين. والدفاعة تتكون من قرصين بينهما عدد من الريش المنحنية المصنعة من الصلب الذي لا يصدأ أو من الصلب العالي الكربون المطلي بالرصاص. و يوضح شكل (3- 22) ضاغط طرد مركزي ذا مرحلتين.

ونظرية التشغيل لضاغط الطرد المركزي هي نفس نظرية تشغيل مروحة ومضخة الطرد المركزي حيث يسحب البخار ذو الضغط المنخفض والسرعة المنخفضة من فتحة في مركز الدفاعة (عين الدفاعة) و يجبر على الخروج في الاتجاه القطري عند محيطها بفعل قوة الطرد المركزي. وفي الضواغط متعددة المراحل ينتقل البخار المضغوط من مرحلة (دفاعة) إلى أخرى وهكذا لزيادة الضغط. ويخرج البخار بضغط عال وسرعة عالية عند محيط الدفاعة ليدخل في غلاف مصمم لتقليل سرعته وتحويلهاإلى ضغط. ويختلف هذا النوع من الضواغط عن الأنواع السابقة في أن سريان البخار مستمر وبالتالي لا توجد صمامات تمنع أو تسمح بالسريان.



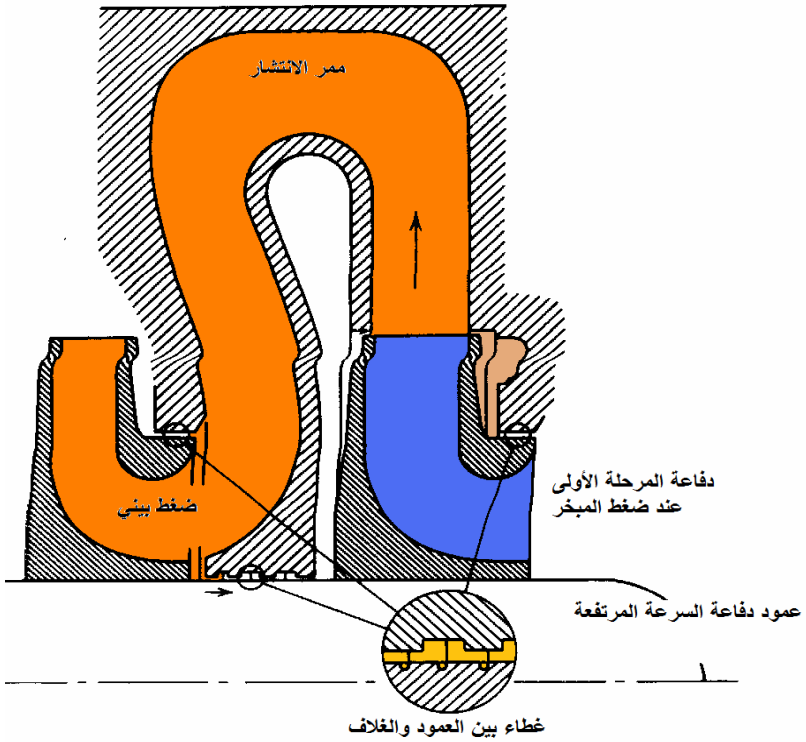
شكل (3- 21) دفاعة ضاغط طرد مركزي



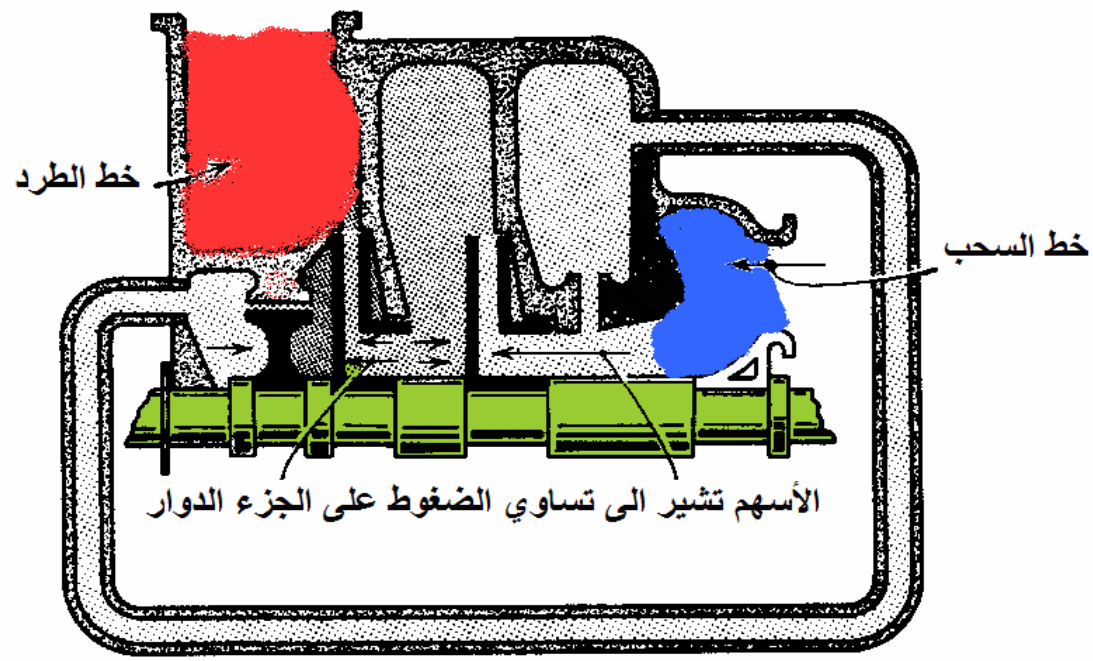
شكل (3- 22) ضاغط طرد مركزي ذو مرحلتين

تعتمد الزيادة في الضغط لوسيط التبريد ذي كثافة معينة على سرعة الخروج من ريشة الدفاعة وهذه السرعة تعتمد على السرعة الدورانية للضاغط وقطر الدفاعة. ولكن هذه السرعة محددة وموقوفة على متانة المادة المصنوع منها الدفاعة وسرعة الصوت في وسيط التبريد. وحتى نتفادى حدوث الموجات التصادمية لسريان الغاز يمكن جعل الزيادة في الضغط تتم خلال مرحلة واحدة.

وتستخدم ضواغط الطرد المركزي لسعات تبريدية تتراوح بين (35-10000 TR) وتتميز تلك الضواغط بسرعات دورانية عالية تتراوح بين (3000-18000 rpm) ولذلك فإنها قادرة على تناول معدلات تدفق عالية بنسب ضغط صغيرة ومتوسطة. وتعمل ضواغط الطرد المركزي مع موائع تبريد مختلفة مثل R11, R12, R22, R113, R500, R134a . وكفاءتها مرتفعة نسبيا في كل الأحجام على مستوى واسع من ظروف التشغيل وعموما تتراوح الكفاءة بين % (70-80) والنقص في الكفاءة قد يرجع إلى الدوامات والاحتكاك. ويقل التسرب الخلفي لوسيط التبريد بين الدفاعات إلى حد كبير باستخدام إحكام من نوع Labyrinth حيث يوضع بين الجزء الدوار والجزء الثابت وهذا الإحكام مكون من شرائح من الصلب مركبة على الجزء الدوار يقابلها تجاويف في الجزء الثابت كما هو موضح بالشكل (3- 23). و يتناسب التسرب خلال الإحكام مع الخلوص بين إحكام عمود الدوران وغلاف الضاغط ويعتمد على عدد الشرائح. ونتيجة لاختلاف الضغط بين جانبي السحب والطرد على الدفاعات فإن ذلك يؤدي إلى وجود قوة محورية ولإلغاء تأثير تلك القوة يركب قرص على عمود الدوران في جانب الطرد للدفاعة في آخر مرحلة ويوضح شكل (3- 24) عملية اتزان قوة رد الفعل المحورية.



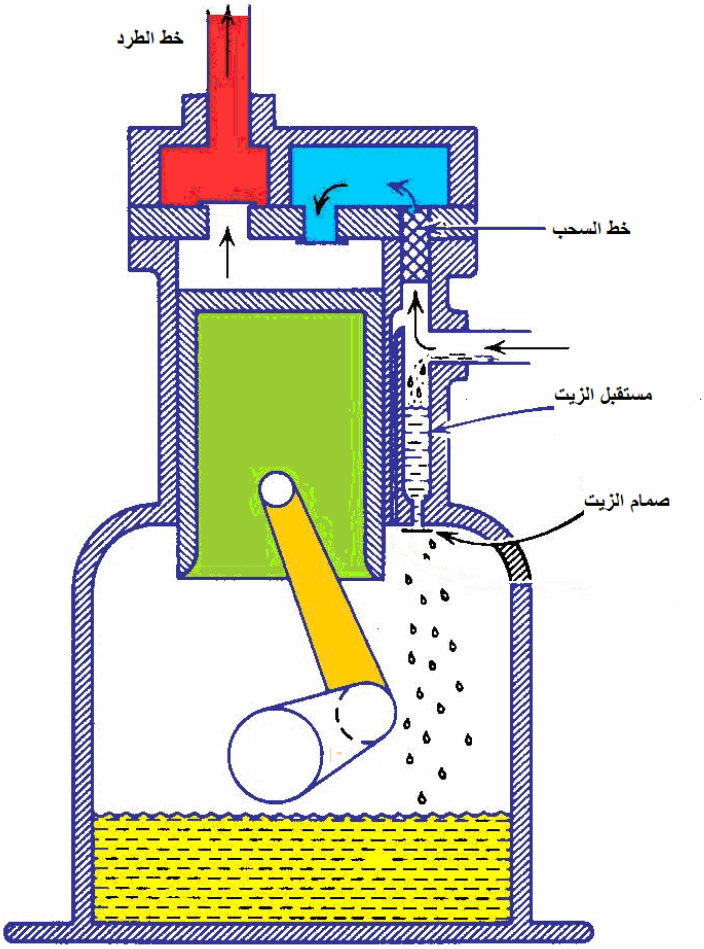
شكل (3- 23) الإحكام بين الدفاعات



شكل (3- 24) رسم تخطيطي لاتزان قوة رد الفعل المحورية

3- 6 تزييت الضاغط

تحتاج الضواغط المستخدمة في دورات التبريد إلى زيوت التزييت كذلك تكوين طبقة رقيقة من الزيت لتحمل ضغط العناصر المتحركة لتقليل الاحتكاك بين الأجزاء المختلفة ولإزالة الحرارة الناتجة و المساعدة في إحكام تسرب الغاز. يتم التزييت في الضواغط الترددية عن طريق الطرطشة بحوض مبتل ، وذلك في الأحجام الصغيرة الموضحة بالشكل (3- 25). أما في حالة الضواغط الكبيرة الحجم ، فيتم التزييت عن طريق تغذية قسرية بواسطة طلمبة تروس، أو طلمبة هلالية مجهزة بصمام تنفيس Relief Valve يسمح بإمرار الزيت جانبا إلى قاع الضاغط عند زيادة ضغط الزيت عن الحد المسموح به. وتستخدم زجاجة بيان لمعرفة مستوى الزيت، وطلمبة يدوية لإضافة الزيت بدون فتح أو تعطيل الماكينة. وفي هذه الحالة يظل ضغط حوض الزيت تحت ضغط سحب وسيط التبريد.



شكل (3- 25) التزييت بالطرطشة

3- 6- 1 مواصفات الزيت:

تعتبر خصائص زيت التزييت وتفاعله مع وسيط التبريد من أهم العوامل التي تؤخذ في الاعتبار عند تصميم دورات التبريد بصفة عامة، والمبخرات بصفة خاصة. وتشتق زيوت التزييت المستخدمة في النظم التجارية من الزيوت المعدنية ، وعند اختيارها لابد من توفر الخصائص التالية:

1- لابد من اتفاقها مع وسيط التبريد، أي لا تتسبب في تكوين مركبات، أو تساعد على التفاعلات الكيميائية. أي تكون في حالة اتزان كيميائي وتعمل بصفة دائمة وكفاءة عالية.

2- يجب أن يوفر خليط الزيت مع وسيط التبريد التزييت الكافي للأجزاء المتحركة.

3- يجب ألا تتجمد أو تنفصل عنها أجسام صلبة أو مواد شمعية في مدى ظروف التشغيل، حتى لا تتسبب في انسداد المصافي أو المجففات.

4- يجب ألا تحتوي على رطوبة أو شوائب تؤثر على أداء وحدة التبريد.

5- يجب ألا تكون لها القابلية لتكوين محلول رغوي.

6- يجب أن تكون مقاومة للتأكسد (وأن تكون لها نقطة وميض مرتفعة).

7- يجب أن يكون لها ضغط بخار منخفض.

8- يجب أن يكون لها لزوجة مناسبة.

ونظرا لوجود أنواع كثيرة من الزيوت، فإن هناك توصيات توضع حسب نوع وسيط التبريد، وظروف التشغيل، وطراز الضاغط. كذلك فقد استنبطت أنواع من الزيوت الصناعية لملاءمة نظم التبريد ذات درجات الحرارة المنخفضة جدا والمرتفعة، وخاصة التبريد العميق.

3- 7 تبريد الضاغط:

يقوم غاز السحب البارد بتوفير التبريد الكافي للضواغط الصغيرة. و عند استخدام وسائط التبريد ذات درجات الحرارة المرتفعة عند الطرد (مثل الأمونيا)، فإن ذلك يتطلب تبريد رؤوس الأسطوانات بالماء. وفي بعض ظروف التشغيل كحالة الضواغط الطاردة المركزية يتطلب استخدام الزيت أيضا إلى مبردات. ويتم توصيف تلك المبردات بواسطة الشركة المصنعة ويمكن تبريد الزيت إما بملف تبريد بالماء أو بملف بوسيط التبريد في الدائرة.

مثال (3- 3):

نظام تبريد يستخدم فريون R22 يعمل عند درجة حرارة تبخير 4^oC ودرجة حرارة تكثيف 40^oC . سعة النظام 45 TR والكفاءة الحجمية 80% . عين الإزاحة المطلوبة للضاغط على فرض ظروف مثالية ما عدا تسخين الغاز المسحوب إلى 15^oC.

الحل:

من جداول وخريطة R-22 نجد أن:

$T_e = 4+273 = 277\ K$

$T_c = 40+273 = 313\ K$

$T_1 = 15+273 = 288\ K$

$h_1 = 285\ kJ/kg$

$h_3 = h_4 = 127.7\ kJ/kg$

$$\dot{Q}e = \dot{m}_R (h_1 - h_4) = 3.5 \times 45$$

$$\Rightarrow \dot{m}_R = \frac{\dot{Q}_e}{h_1 - h_4} = \frac{3.5 \times 45}{285 - 127.7} = 1.001 kg/s$$

من خريطة (p-h) عند النقطة (1):

$v_1=0.043\ m^3/kg$

$$\eta_{vol}=\frac{\dot{m}_R\, v_1}{V_D}$$

$$\Rightarrow V_D=\frac{\dot{m}_R\, v_1}{\eta_{vol}}=\frac{1.001\times 0.043}{0.8}=0.0538 m^3/s$$

امتحان ذاتي رقم 3

3- 1 ما أنواع الضواغط حسب طرق إدارتها؟

3- 2 ما الأجزاء الأساسية للضاغط الترددي ؟ وما وظائفها ؟ وكيف تقوم بها؟

3- 3 اذكر أربع مواصفات لأزمة لزيت التزييت بالضواغط.

3- 4 عرف الكفاءة الحجمية للضاغط.

3- 5 ما الأسباب التي تؤدي إلى استخدام الانضغاط المتعدد؟

3- 6 اشرح نظرية عمل الضاغط الدوراني ذي الريشة الواحدة.

3- 7 اشرح نظرية عمل ضاغط الطرد المركزي ذي المرحلة الواحدة.

3- 8 أعد حل المثال (3- 2)إذاكانت نسبة مشوار المكبس إلى قطره 1.2. مإذاتستنتج؟

3- 9 أعد حل المثال (3- 3) في حالة استخدام فريون R-134a وكانت درجة حرارة التكثيف 50°C .

نظم ومعدات التبريد (نظري)

المكثفات

الوحدة الرابعة : المكثفات

الجدارة :

يجب أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل وبنسبة 100٪.

الهدف العام :

عرض الأنواع المختلفة للمكثفات وكذلك كيفية اختيار المكثف حسب التطبيق المستخدم.

مقدمة الوحدة :

الهدف من هذه الوحدة هو معرفة أداء المكثفات وكذلك معرفة الأنواع المختلفة للمكثفات وطريقة اختيارها.

الأهداف السلوكية :

يجب أن يكون المتدرب قادرا على :

- معرفة الأنواع المختلفة للمكثفات المبردة بالهواء.
- معرفة كيفية اختيار المكثفات المبردة بالهواء.
- معرفة الأنواع المختلفة للمكثفات المبردة بالماء.
- معرفة كيفية اختيار المكثفات المبردة بالماء.

المهام المشمولة : C6, C7

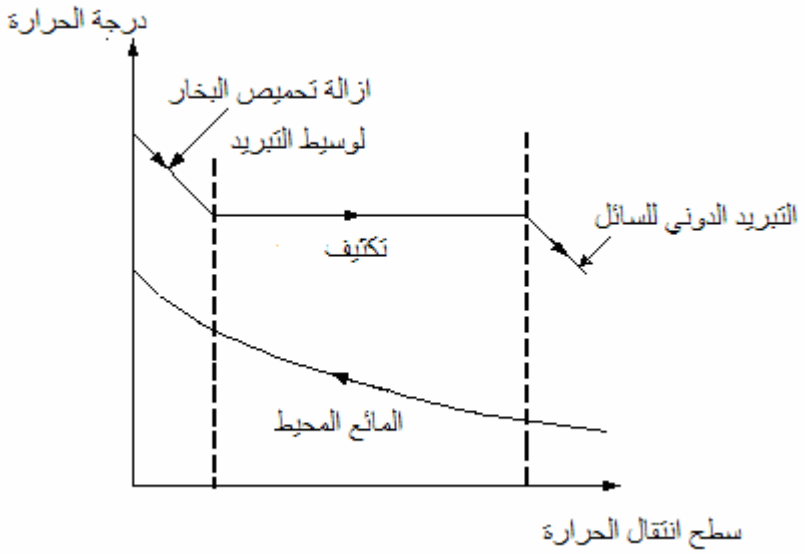
متطلبات الجدارة :

يجب على المتدرب أن يكون قد اجتاز مقررات: أساسيات تقنية التبريد والتكييف - ومعمل (ورشة) أساسيات تقنية التبريد والتكييف - و أساسيات التحكم في التبريد والتكييف.

الوقت المتوقع للتدريب : 2 ساعات نظريتان

4- 1 أداء المكثفات

يتم طرد الحرارة من وحدات التبريد وتكييف الهواء بمكثفاتها. والمكثف هو مبادل حراري فيه تنتقل الحرارة من وسيط التبريد الأعلى في درجة حرارته إلى المائع المحيط بوحدة التبريد والمتوفر بكثرة كالهواء أو الماء. ويتم خلال المكثف إزالة التحميص للبخار وتكثيفه ثم التبريد الدوني للسائل قبل إعادة استخدامه ويتضح ذلك في شكل (4- 1).



شكل (4- 1) أداء المكثفات

4-1-1 كمية (معدل السريان) وارتفاع درجة حرارة وسيط التكثيف:

يمكن كتابة معادلتي كمية (معدل سريان) وسيط التبريد وكذلك ارتفاع درجة حرارة وسيط التبريد على النحو التالي:

$$m = \frac{Q_c}{c\,\Delta T} \Rightarrow \Delta T = \frac{Q_c}{m\,c}$$

حيث:

m: كمية وسيط التبريد

Q_c: حمل المكثف

c: الحرارة النوعية

ΔT: ارتفاع درجة حرارة وسيط التبريد

كما سبق فإن وسيط التبريد إما أن يكون هواء أو ماء والحرارة النوعية c لكل من الهواء والماء موضحة بالجدول التالي:

وسيط التبريد	الوحدات البريطانية Btu/Ib ^oF	الوحدات الدولية kJ/kg ^oC
الهواء	0.24	1.005
الماء	1.0	4.2

وإذاعوضنا عن الحرارة النوعية بالوحدات البريطانية على سبيل المثال تصبح كمية الماء والارتفاع في درجة حرارته كالتالي:

$$m = \frac{Q_c}{\Delta T}$$

$$\Delta T = \frac{Q_c}{m}$$

تصبح كمية الهواء والارتفاع في درجة حرارته كالتالي:

$$m = \frac{Q_c}{0.24 \times \Delta T}$$

$$\Delta T = \frac{Q_c}{0.24 \times m}$$

وأحيانا يعبر عن كمية وسيط التبريد كمعدل حجمي بدلا من معدل سريان الكتلة ويعبر عن معدل السريان للماء بالجالون/دقيقة gpm وللهواء بالقدم المكعب/دقيقة cfm على الشكل الآتي:

$$gpm = \frac{Q_c}{500\,\Delta T}$$

$$cfm = \frac{Q_c}{1.08\,\Delta T}$$

مثال (4- 1):

إذا كان الحمل على مكثف مبرد بالماء هو 150000 Btu/hr وارتفاع درجة حرارة مياه التبريد هو 10°F فما معدل سريان وسيط التبريد بالجالون/دقيقة؟

الحل:

$$gpm = \frac{Q_c}{500\,\Delta T} = \frac{150000}{500x10} = 30$$

مثال (4- 2):

إذا كان الحمل على مكثف مبرد بالماء هو 120000 Btu/hr ومعدل سريان الماء 17 جالون/دقيقة فما الارتفاع في درجة حرارة مياه التبريد؟

الحل:

$$\Delta T = \frac{Qc}{500gpm} = \frac{120000}{500 \times 17} = 14.118\ °F$$

مثال (4- 3):

36 جالوناً بالدقيقة هو معدل سريان مياه التبريد في مكثف مبرد بالماء وإذا كان الارتفاع في درجة حرارة مياه التبريد هو 12°F فما حمل المكثف بالـ Btu/hr؟

الحل:

$$Q_c = 500.\,gpm.\Delta T = 500x36x12 = 216000 \quad Btu/hr$$

4- 2 أنواع المكثفات:

يمكن تصنيف المكثفات تبعا لوسيط التكثيف إلى ثلاثة أنواع:

1- المكثفات المبردة بالهواء Air Cooled Condensers

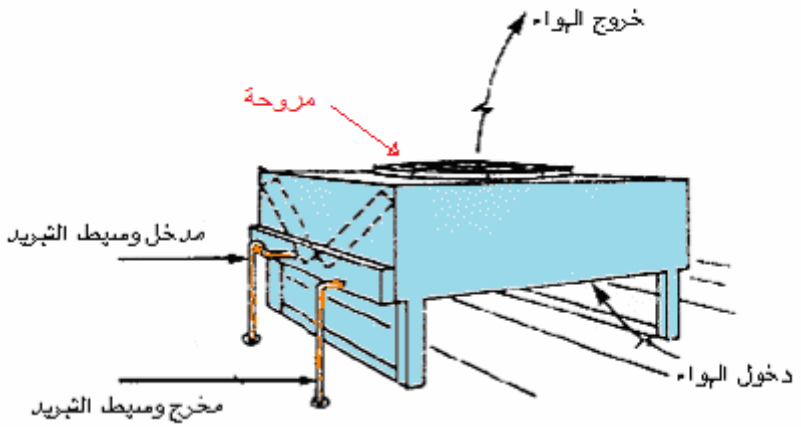
2- المكثفات المبردة بالماء Water Cooled Condensers

3- المكثفات التبخيرية Evaporative Condensers

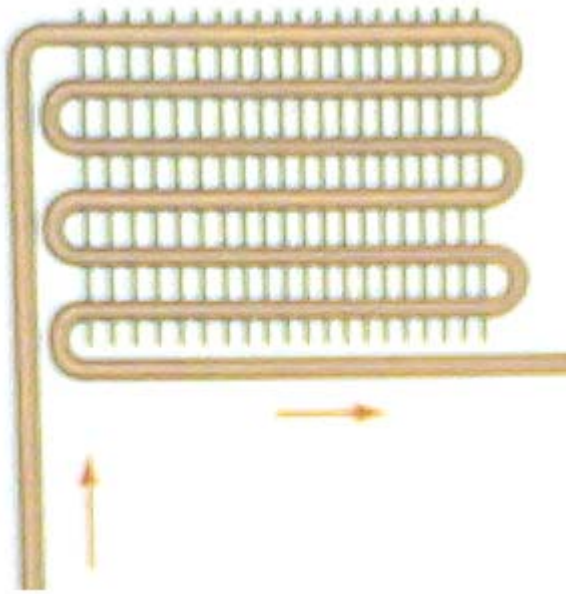
4- 2- 1 المكثفات المبردة بالهواء

يمر الهواء الجوي في هذه المكثفات على السطح الخارجي للمكثفات مؤديا إلى تكثيف مائع التبريد داخلها. وقد تنشأ حركة الهواء جبريا كما في شكل (4- 2 أ) نتيجة استخدام مروحة رفاصية و في هذه الحالة تنتقل الحرارة بالحمل الجبري. أو تتم حركة الهواء بسب اختلاف الكثافة للهواء نتيجة اختلاف درجة الحرارة وفي هذه الحالة تنتقل الحرارة (بالحمل الحر)، كما هو موضح في شكل (4- 2 ب).

و تستخدم مكثفات سريان الهواء الحر مع وحدات التبريد الصغيرة مثل الثلاجات المنزلية والديب فريزر وهي عادة من النوع السطحي أو من الأنابيب المركب عليها زعانف وتركب في وضع رأسي خلف الثلاجة وفي مكان يسمح بحركة الهواء رأسيا خلال الأسطح الخارجية للمكثف أو داخل غلاف الثلاجة حديثا. بينما تستخدم مكثفات سريان الهواء الجبري مع معدات التبريد الكبيرة.



(أ)



(ب)

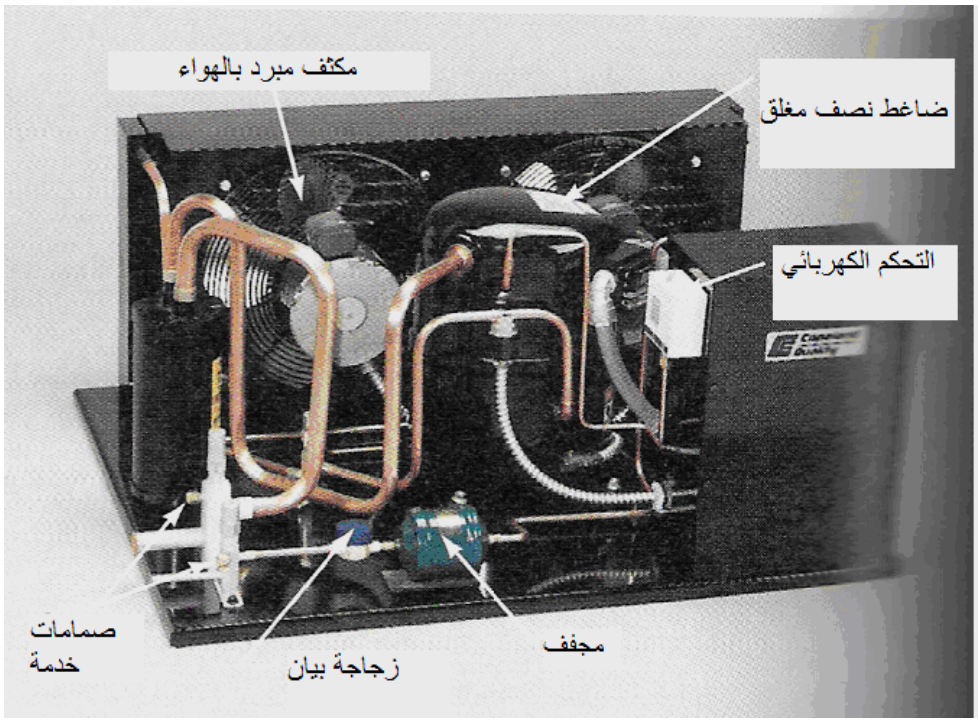
شكل (4- 2) مكثفات مبردة بالهواء

(أ) حمل جبري (ب) حمل حر

ويمكن تصنيف مكثفات الهواء ذات السريان الجبري إلى نوعين:

4- 2- 1- 1 مكثفات مبردة بالهواء مركبة على قاعدة مع الضاغط:

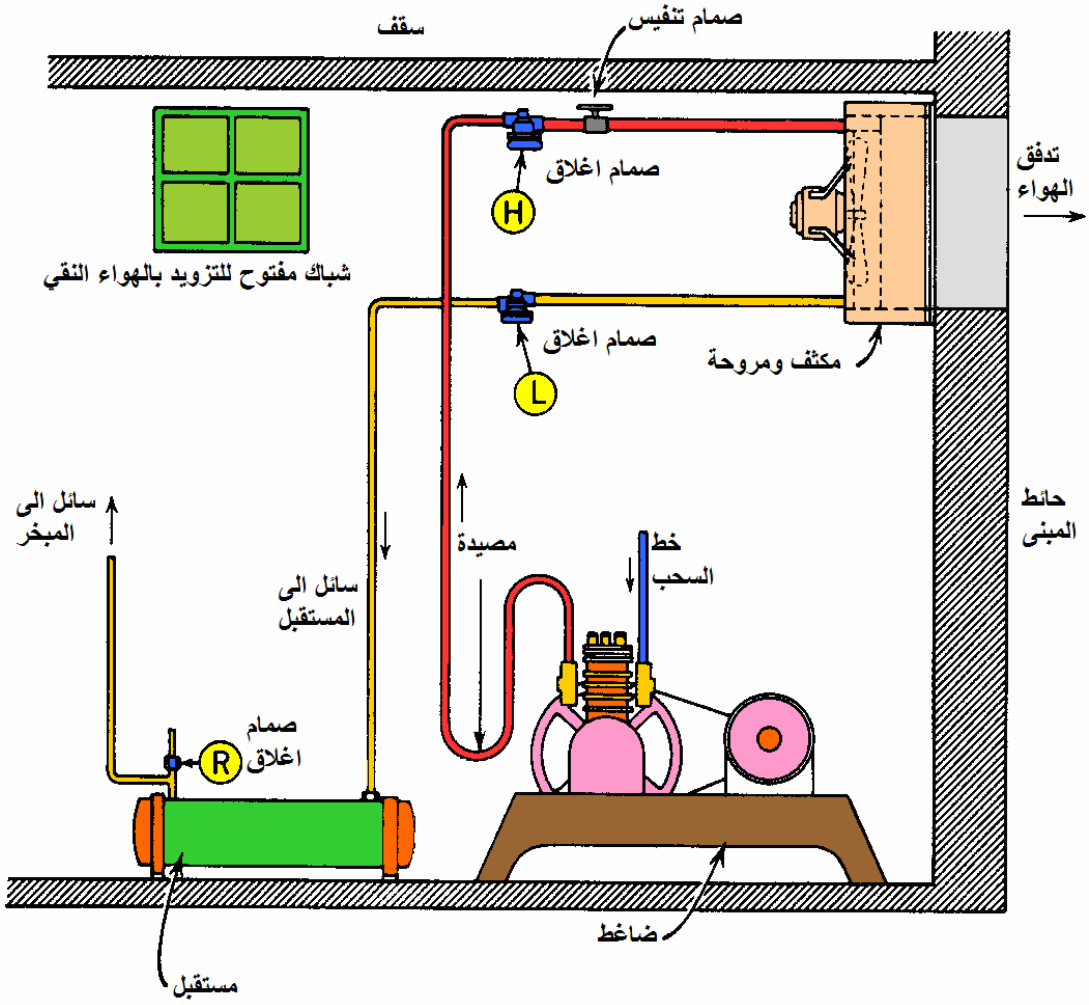
وفي هذه الحالة يوضع المكثف مع مروحته و الضاغط على قاعدة معدنية وتسمى المجموعة "بوحدة التكثيف" كما هو موضح بالشكل (4- 3). والضاغط قد يكون من النوع المفتوح أو شبه المقفل أو المقفل.



شكل (4- 3) مكثف مركب على قاعدة

2-1-2-4 مكثفات مبردة بالهواء مركبة عن بعد من الضاغط:

تعتبر مكثفات الهواء المركبة عن بعد واسعة الاستخدام لإمكانية وضعها في أماكن مختلفة بعد اختيار أنسب مكان للضاغط. فعند وضع المكثف داخل المبنى يلزم تركيب مسلك هوائي لتغذية المكثف بالهواء الخارجي كما هو موضح في شكل (4- 4).



شكل (4- 4) وحدة تكثيف مبردة بالهواء داخل المبنى

و يمكن وضع المكثف الهوائي خارج المبنى على شاسيه مع الضاغط ومحركه وتسمى المجموعة بوحدة التكثيف، وقد يركب المكثف على السقف. وفي كل الأوضاع يجب أن يكون اتجاه الريح في وضع يساعد حركة الهواء خلال المكثف بواسطة المروحة. ويتم ذلك بعمل موجهات للرياح. وتركب المكثفات أيضا على الحائط، ويفضل تركيب المكثفات الهوائية خارج المبنى لأنه يسمح باستخدام هواء درجة حرارته منخفضة. ويحتاج المكثف الهوائي حوالي 500 L_{air}/s/TR . لذا يفضل استخدام مراوح رفاصية ذات ريش عريضة وتدار بموتور من خلال سير للمكثفات المركبة على شاسيه. ويكون أداء المراوح الرفاصية جيداً مع انخفاض صغير للضغط الإستاتيكي. ويمكن تركيب المكثفات الهوائية على بعد عند منسوب عال للحصول على أداء جيد نظرا لنظافة الهواء في الأماكن المرتفعة. وعلى ذلك فإن المكثفات المركبة على قاعدة أرضية تحتاج زعانفها إلى تنظيف دائم من الأتربة.

والمكثفات الهوائية متوفرة بتصميمات مختلفة ذات أحجام مختلفة ولسعات التبريد من 1 TR وحتى 200 TR. والمكثفات الهوائية واسعة الانتشار لأن أداءها بسيط، وسعرها رخيص، ولا تحتاج إلى مياه تبريد. ومن عيوب المكثفات الهوائية الحاجة إلى طاقة كبيرة لأن درجة التكثيف عالية عند مقارنتها بالمكثفات المائية وكذلك حجمها الكبير نسبيا.

وأهم العوامل المؤثرة على أداء المكثفات الهوائية هو سرعة الهواء خلالها وهي تتراوح بين (2.5-5 m/s) للحصول على أحسن أداء مع أقل انخفاض للضغط.

3-1-2-4 سرعة الهواء:

تعتمد سرعة الهواء في المكثف على مساحة الوجه الذي يمر من خلاله وكذلك على كمية الهواء ويعطى بالمعادلة الآتية:

$$\text{Air Velocity (fpm)} = \frac{\text{Air Quantity (cfm)}}{\text{Face Area (ft}^2\text{)}}$$

$$\text{Air Velocity (mpm)} = \frac{\text{Air Quantity (cmm)}}{\text{Face Area (m}^2\text{)}}$$

4-1-2-4 اختيار المكثفات المبردة بالهواء:

تنتج الشركات مكثفات تبريد الهواء ومعها المراوح الخاصة بها. وتقدر سعة المكثفات بـ (kW) وتتوقف سعتها أساسا على فرق درجات الحرارة (Temperature Difference TD) بين درجة تكثيف مائع التبريد ودرجة الحرارة الجافة للهواء لحظة دخوله المكثف. فعند اختيار المكثف الهوائي نعين فرق درجات الحرارة الحقيقي TD ثم نحدد معامل التصحيح Correction Factor C.F من جداول التصحيح واختيار المكثف تبعا لسعة المكثف الحسابية التي تعطى بالمعادلة:

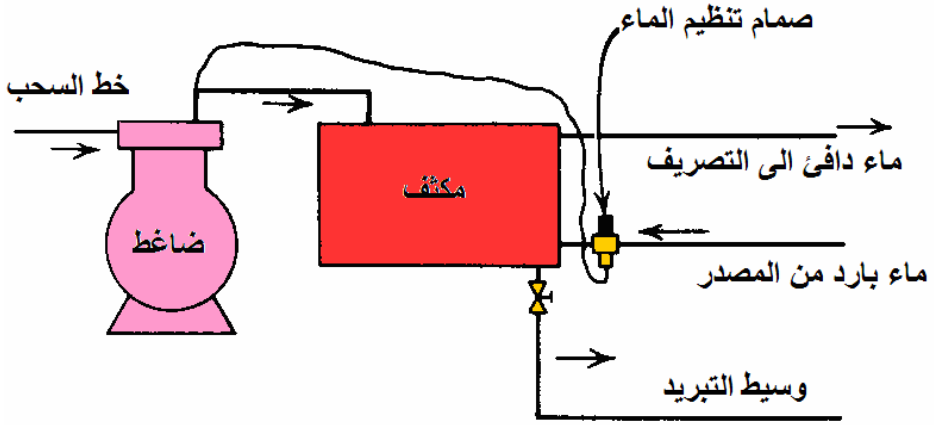
السعة الحسابية = سعة المكثف × معامل التصحيح

4- 2- 2 المكثفات المبردة بالمياه:

تستخدم المكثفات المبردة بالماء مع ضواغط تتراوح قدرتها من (1 kW) وأكثر في حالة توفر مياه نظيفة ورخيصة و إمكانية التخلص من المياه الساخنة أو تبريدها لإعادة استخدامها.

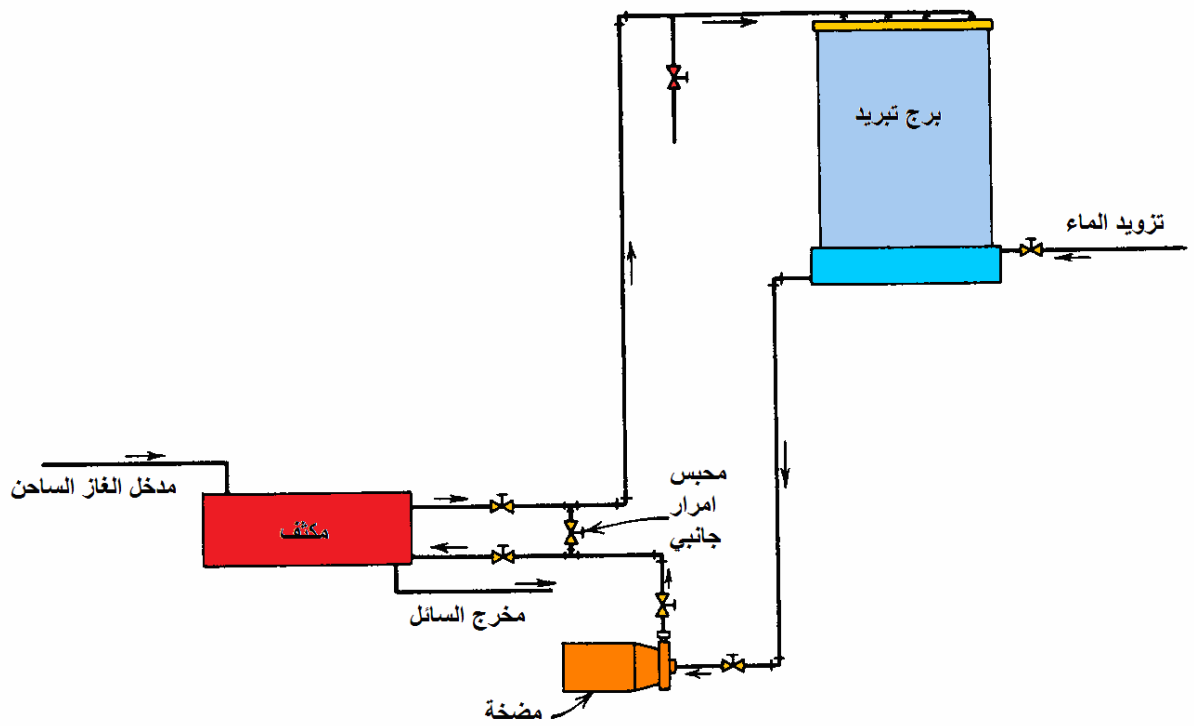
و تصنع المكثفات المائية من أنابيب من الصلب مع الأمونيا ومن النحاس مع الفريون. ويفضل استخدام الزعانف لزيادة مساحة سطح التكثيف.

و قد تكون دورة مياه التكثيف مفتوحةإذاكانت مياه التبريد متاحة بوفرة ورخيصة الثمن كما هو موضح بالشكل (4- 5). ويكون أحسن أداء للأنظمة المفتوحة عند معدل سريان 0.1 L_{water} /s/TR. (مرجع رقم 3 في المراجع العربية).



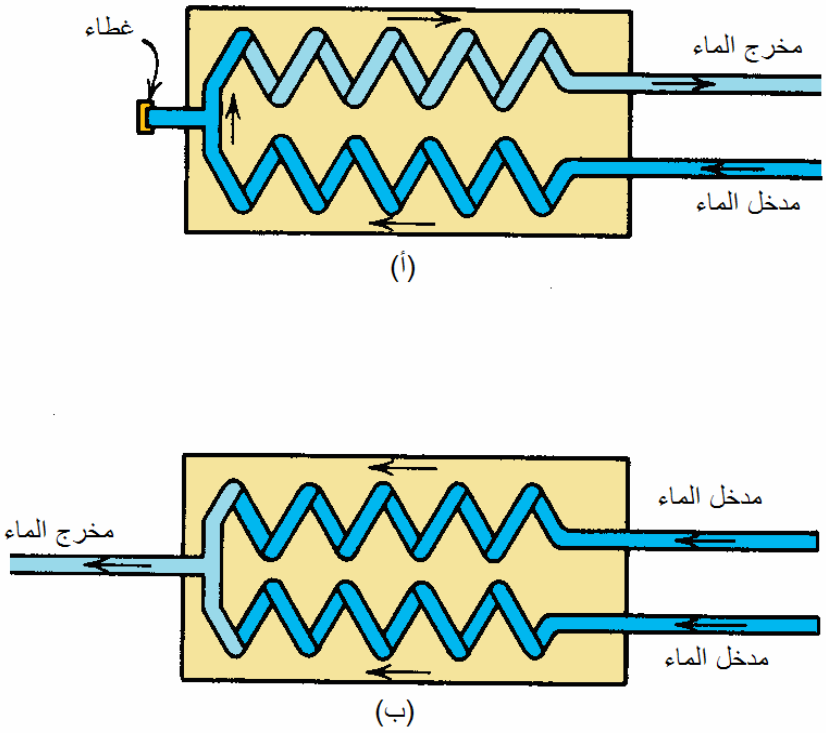
شكل (4- 5) دورة التكثيف المفتوحة

أما مع النظام المقفل عادة يستخدم برج تبريد لإعادة استخدام مياه التبريد كما هو موضح بشكل (4- 6). ويكون أحسن أداء للأنظمة المغلقة عند معدل سريان 0.2 L_{water} /s/T.R. (مرجع رقم 3 في المراجع العربية).



شكل (4- 6) دورة التكثيف المقفلة

و يتوقف تصميم المكثفات المبردة بالماء على سرعة سريان المياه، وانخفاض ضغطها داخل الأنابيب وكذلك على عدد المسارات للأنابيب. ويتوقف الانخفاض في الضغط على شكل السريان كما هو موضح بشكل (4- 7).



شكل (4- 7) دورة المياه في المكثفات

(أ) دورة مياه على التوالي (ب) دورة مياه على التوازي

4- 2- 2- 1 معامل الاتساخ Fouling Factor :

عند تصميم أو اختيار المكثفات المبردة بالماء يجب أن يؤخذ في الاعتبار معامل الاتساخ للأنابيب من جهة المياه، لأنه بمرور الوقت تترسب على جدران المواسير بعض الأملاح المذابة في الماء سلفا، وهذه المواد تمثل مقاومة حرارية لعملية انتقال الحرارة، وبالتالي فإن معدل انتقال الحرارة ينخفض ويزداد ضغط التكثيف. ويتوقف معامل الاتساخ على معدل سريان الماء،و نوع مادة المواسير والصيانة الدورية للأنابيب. ويكون معامل الاتساخ لمياه المدن ومياه أبراج التبريد حوالي ($0.001\ m^2\,^oC/W$) .

4- 2- 2- 2 أنواع المكثفات المبردة بالماء:

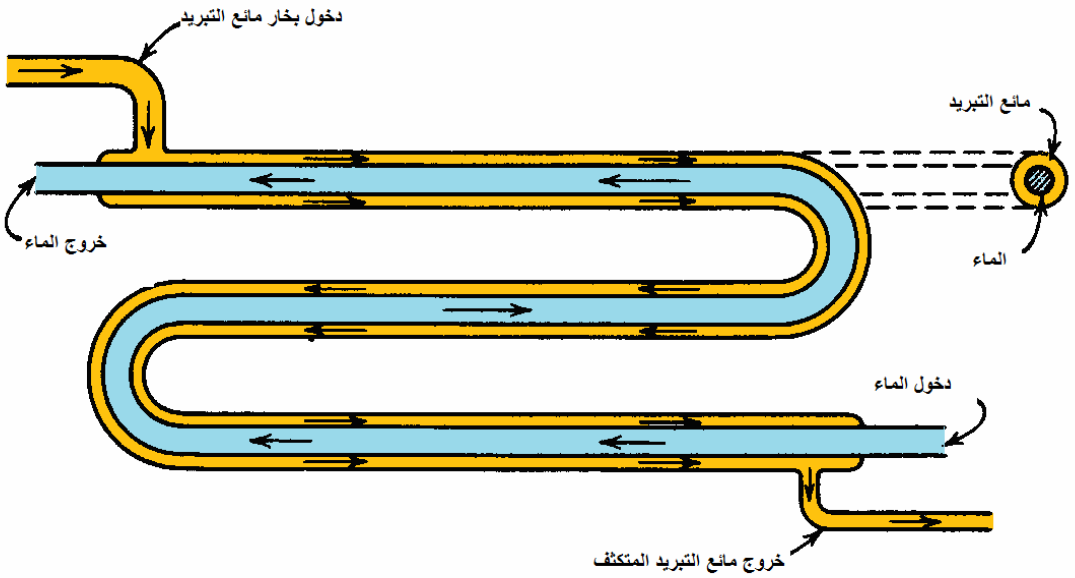
يمكن تصنيف المكثفات المبردة بالماء إلى الأنواع الآتية:

- مكثف أنبوبة داخل أنبوبة.
- مكثف غلاف وملف.
- مكثف غلاف وأنابيب.

وفي معظم الأنواع السابقة، يسري الماء داخل الأنابيب بينما يتكثف وسيط التبريد على السطح الخارجي للأنابيب

4- 2- 2- 2- 1 مكثف أنبوبة داخل أنبوبة

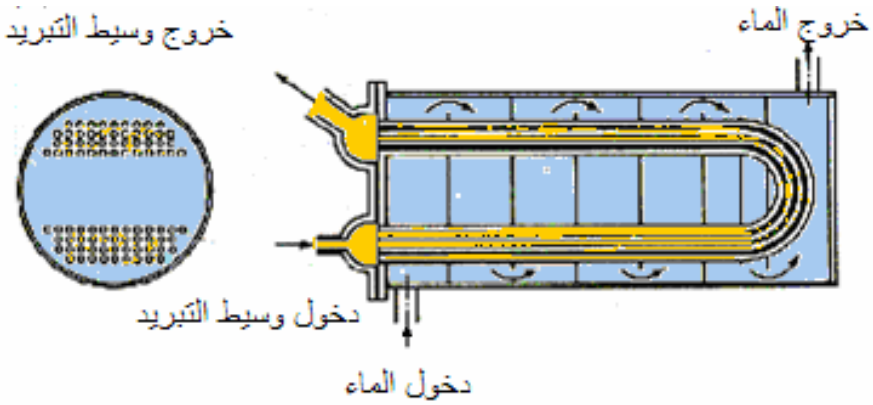
يوضح الشكل (4- 8)، مكثف أنبوبة داخل أنبوبة وتكون الأنبوبتان متحدتي المحور ولذلك فإنه أحيانا يسمى المكثف المحوري. ويسري ماء التبريد في الأنبوبة الداخلية بينما يسري وسيط التبريد المراد تكثيفه في الحيز بين الأنبوبتين وفي الاتجاه المعاكس. وتحتاج مكثفات أنبوبة داخل أنبوبة إلى خزان لتجميع سائل التبريد المتكثف.



شكل (4- 8) مكثف أنبوبة داخل أنبوبة

4- 2- 2- 2- 2 مكثف غلاف وملف

يوضح الشكل (4- 9) مكثفاً مبرداً بالماء يتكون من ملف حلزوني داخل غلاف من الصلب. تسري المياه داخل الملف بينما يكون وسيط التبريد خارج الملف. ويدخل بخار وسيط التبريد من أعلى الغلاف، ويتكثف ويتجمع السائل في قاع الغلاف الذي يعمل كخزان لسائل التبريد. و تستخدم مكثفات غلاف وملف مع وحدات التبريد الصغيرة ذات سعة تبريد تصل إلى 10 TR. ومميزات مكثفات غلاف وملف هي صغر الحجم، وإمكانية استخدامها كمكثف وخزان في نفس الوقت وإمكانية استخدامها في وضع رأسي لو كان المكان المخصص للمكثف محدوداً . وتصمم المكثفات المائية بحيث يمكن تصفية المياه عند توقف الوحدة. ويصعب تنظيف مكثفات غلاف وملف ميكانيكيا ويتم التنظيف بإمرار سائل كيميائي خلال ملفات المياه.



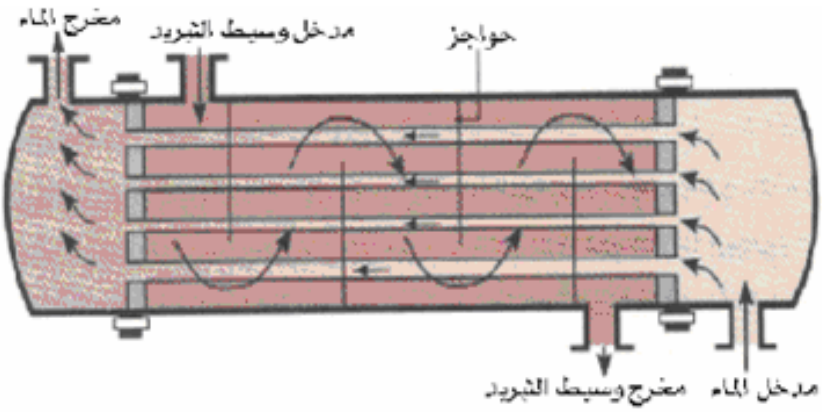
شكل (4- 9) مكثف غلاف وملف

4- 2- 2- 3 مكثف غلاف وأنابيب Shell and Tubes Condenser

المكثف المبرد بالماء من النوع غلاف وأنابيب هو عبارة عن أنابيب مستقيمة عارية أو ذات زعانف داخل أسطوانة من الصلب. يسري الماء داخل الأنابيب ويدخل بخار وسيط التبريد من أعلى الغلاف بينما يخرج سائل وسيط التبريد المتكثف من أسفل الغلاف. ويوضح شكل (4- 10) مكثف غلاف وأنابيب.

تستخدم المكثفات الأفقية قرصين من الصلب لتثبيت نهايتي الأنابيب وللمحافظة على المسافات بين الأنابيب. ويوجد على جانبي الغلاف مجمعان مجهزان بحواجز لتوفير عدد معين من المسارات للمياه.

ويمكن تنظيف المكثفات ذات الغلاف والأنابيب ميكانيكيا بفرشاة بلاستيكية في حالة مرور الماء داخل الأنابيب وبحرص شديد لعدم تجريح وإضعاف الأنابيب. وتتوفر المكثفات ذات الغلاف والأنابيب في سعة تتراوح من 2 TR إلى آلاف الأطنان من التبريد. و يمكن استخدام قاع الغلاف الأسطواني كخزان لسائل التبريد وبالتالي لا داع لاستخدام خزان منفصل. وتتراوح عدد المسارات بين (1-8) مساراً ويفضل زيادة عدد المسارات لأنها تعمل على زيادة سرعة المياه وزيادة معدل انتقال الحرارة الكلي لكنها تؤدي إلى زيادة القدرة اللازمة لسريان المياه خلال أنابيب المكثف.



شكل (4- 10) مكثف غلاف وأنابيب

4- 2- 2- 3 اختيار المكثفات المائية:

تعطي مواصفات مكثفات التبريد المائي في أدلة التسويق (الكتالوجات) بدلالة درجة حرارة تكثيف مائع التبريد وفرق درجات حرارة مياه التبريد ومعامل الاتساخ. ويجب اختيار المكثفات بحيث تكون سرعة الماء خلال الأنابيب أقل من 2.5 m/s فعند اختيار المكثفات يجب تحديد كل من : سعة التبريد ، و درجة حرارة التبخير، و درجة حرارة التكثيف، و درجة حرارة دخول وخروج مياه التبريد ومعامل الاتساخ.

4- 2- 3 المكثفات التبخيرية

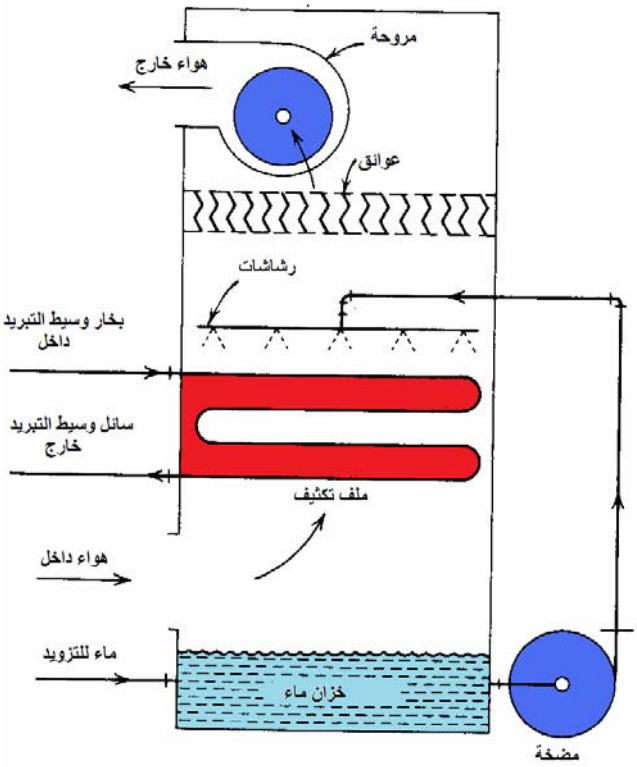
المكثف التبخيري عبارة عن مبادل حراري يقوم بعمل المكثف وبرج التبريد معا خلال وحدة واحدة. و يوضح شكل (4- 11) مكونات المكثف التبخيري. و يستخدم المكثف التبخيري في حالة قلة المياه وتكلفتها العالية. و يدخل بخار وسيط التبريد القادم من الضاغط أعلى ملف التكثيف، حيث يتم تكثيف البخار داخل الأنابيب. و يسحب الماء من قاع المكثف التبخيري ويعاد رشه على ملف التكثيف. و تتساقط المياه إلى القاع ويعاد سريانها بواسطة المضخة. و تعمل حرارة التكثيف على تبخير جزء من المياه المرشوشة والملامسة لسطح ملف التكثيف. أما الهواء فيتم سحبه إلى أعلى. وتركب عوائق في أعلى

المكثف التبخيري لتمنع سريان قطرات المياه مع الهواء عند خروجه من المكثف التبخيري ويمكن تسلسل العمليات خلال المكثف التبخيري كالتالي:

1- تكثيف وسيط التبريد داخل أنابيب الملف
2- انتقال الحرارة بالتوصيل خلال سمك أنابيب الملف
3- انتقال الحرارة بالتبخير من الماء إلى الهواء

ومن مميزات أبراج التبريد والمكثفات التبخيرية اقتراب درجة التكثيف من درجة الحرارة الرطبة الابتدائية للهواء وحيث إن درجة الحرارة الرطبة أقل من درجة الحرارة الجافة فإن درجة حرارة التكثيف تكون أقل من نظيرتها للمكثفات الهوائية. ويصنع ملف التكثيف من أنابيب عارية ليسهل تنظيفه والتخلص من القشور التي تترسب على السطح الخارجي لأنابيب الملف. و يتوقف تصميم المكثفات التبخيرية على معدل سريان كل من الهواء و المياه. و يحد من سرعة الهواء القدرة اللازمة للمروحة وسرعة الهواء المسموح بها خلال الموانع والتي تمنع حمل قطرات المياه. و يحد من زيادة معدل سريان المياه القدرة اللازمة لمضخة المياه. ومن عيوب المكثفات التبخيرية ارتفاع تكلفة الصيانة عند مقارنتها بصيانة المكثفات الهوائية. و تستخدم المكثفات التبخيرية مع أنظمة التبريد الصناعي في الأماكن الحارة والجافة (الرياض مثلا) وخاصة لو كانت أنابيب المكثف قصيرة. أماإذاكان مسار الأنابيب طويلا يفضل استخدام المكثفات المبردة بالماء. ولنفس سعة التبريد فإن المكثفات التبخيرية تكون أصغر من أبعاد المكثفات الهوائية. وتصنع ملفات التكثيف من الصلب أو النحاس ولا تستخدم زعانف لأن معامل انتقال الحرارة للماء كبير. ويصنع إطار المكثف التبخيري من زوايا من الصلب وألواح الصاج المجلفن.

يتم سحب الهواء أو دفعه خلال المكثف التبخيري بواسطة مراوح طرد مركزية أو محورية. حيث تصل سعة المكثفات التبخيرية إلى 200 TR. توضع المكثفات التبخيرية عادة خارج المباني, وتفقد المكثفات التبخيرية كمية من المياه الجارية ، مثل أبراج التبريد ، نتيجة تبخير جزء من المياه، سحب قطرات مياه مع الهواء وتصفية المياه من قاع المكثف التبخيري. لذا يلزم تعويض المياه المفقودة. وتتم التغذية بواسطة صمام عوامة في حدود 4% من معدل سريان المياه.



شكل (4- 11) رسم تخطيطي لمكثف تبخيري

4- 3 تنفيس المكثف :

يتسرب الهواء إلى وحدة التبريد ويتجمع بالمكثفإذاكان المبخر يعمل عند ضغط أقل من الضغط الجوي (مثل مبخرات R11 وبديله وكذلك للحصول على درجة حرارة منخفضة كثيرا).

وتصنف الغازات غير المرغوب فيها إلى نوعين :

- غازات غير قابلة للتكثف مثل الأوكسجين والنيتروجين وهي تتجمع في أعلى المكثف، وتسبب ارتفاع ضغط التكثيف وتعمل على خفض معامل انتقال الحرارة الكلي.
- غازات قابلة للتكثف مثل بخار الماء وتعمل على إصابة مكونات المكثف بالصدأ.

وعليه يجب توفر وسيلة تنفيس (Purging) تسمح بسحب الغازات من أعلى المكثف، واستعاضة بخار التبريد المصاحب للغازات غير المرغوب فيها قبل طردها للهواء الخارجي.

مثال (4- 4):

نظام تبريد ذو ضاغط مقفل يعمل عند ظروف التصميم الآتية:

Refrigeration Capacity= 5 TR

Compressor Power= 9kW

احسب كمية الحرارة المطرودة في المكثف.

الحل:

تعطى الحرارة المطرودة بالمكثف بالمعادلة التالية:

$$Q_c = \text{Refrigeration Capacity} + \text{Compressor Power} = (5 \times 3.5) + 9 = 26.5\,\text{kW}$$

امتحان ذاتي رقم 4

4- 1 اذكر أنواع المكثفات المبردة بالهواء.

4- 2 ماالعوامل التي أدت إلى اتساع انتشار المكثفات الهوائية؟

4- 3 اذكر أنواع المكثفات المبردة بالماء.

4- 4 ارسم شكلا تخطيطياً يوضح مكثف أنبوبة داخل أنبوبة، مكثف غلاف وملف، مكثف غلاف وأنابيب

4-5 ما مميزات مكثفات غلاف وملف؟

4-6 وضح السبب وراء ضرورة تنفيس المكثفات.

4- 7إذاكان الحمل على مكثف مبرد بالهواء هو 121500 Btu/hr والارتفاع في درجة حرارة الهواء المطلوب 25°F فما معدل سريان وسيط التبريد بالقدم المكعب/دقيقة؟

4- 8 3000 قدم مكعب في الدقيقة هو معدل سريان الهواء على مكثف مبرد بالهواء, فإذاكان حمل المكثف هو 64800 Btu/hr فما الارتفاع في درجة حرارة هواء التبريد؟

4- 9 احسب الحرارة الكلية المطرودة من المكثفإذاكان الضاغط المستخدم من النوع المقفل والسعة التبريدية هي 4.9 TR والقدرة اللازمة للضاغط هي 8.1 kW.

4- 10إذاكان حمل المبخر لنظام تبريد هو 55000 Btu/hr وكان معامل الأداء للنظام هو 4.3 فما الحمل الحراري المطرود في المكثف؟

نظم ومعدات التبريد (نظري)

المبخرات

الوحدة الخامسة : المبخرات

الجدارة : يجب أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل وبنسبة 100٪.

الهدف العام : معرفة الأنواع المختلفة للمبخرات ووصف وتركيب كل نوع وكذلك كيفية اختيار وأداء كل نوع.

مقدمة الوحدة : تعتبر المبخرات مبادلات حرارية يتم فيها انتقال الحرارة من المائع المراد تبريده إلى وسيط التبريد. وتصنع المبخرات تبعا للتصميمات متعددة الأنواع ، و الأشكال، و الأحجام والسعات .

ويمكن تصنيف المبخرات تبعا إلى استخداماتها، و هيئتها الإنشائية، و طريقة تغذيتها بمائع التبريد، و طريقة سريان الهواء أو السائل خلال المبخرات وطريقة التحكم في مائع التبريد.

الأهداف السلوكية :

يجب أن يكون المتدرب قادرا على :

- معرفة الأنواع المختلفة من المبخرات تبعا لطريقة تغذية وسيط التبريد.
- معرفة الأنواع المختلفة لمبخرات تبريد الهواء.
- معرفة كيفية اختيار مبخرات تبريد الهواء.
- معرفة الأنواع المختلفة لمبخرات تبريد السوائل (المبردات).
- معرفة المحاليل مانعة التجمد.

المهام المشمولة : C6, C7

متطلبات الجدارة : يجب على المتدرب أن يكون قد اجتاز مقررات: أساسيات تقنية التبريد والتكييف – و معمل (ورشة) أساسيات تقنية التبريد والتكييف – و أساسيات التحكم في التبريد والتكييف.

الوقت المتوقع للتدريب : 4 ساعات نظرية

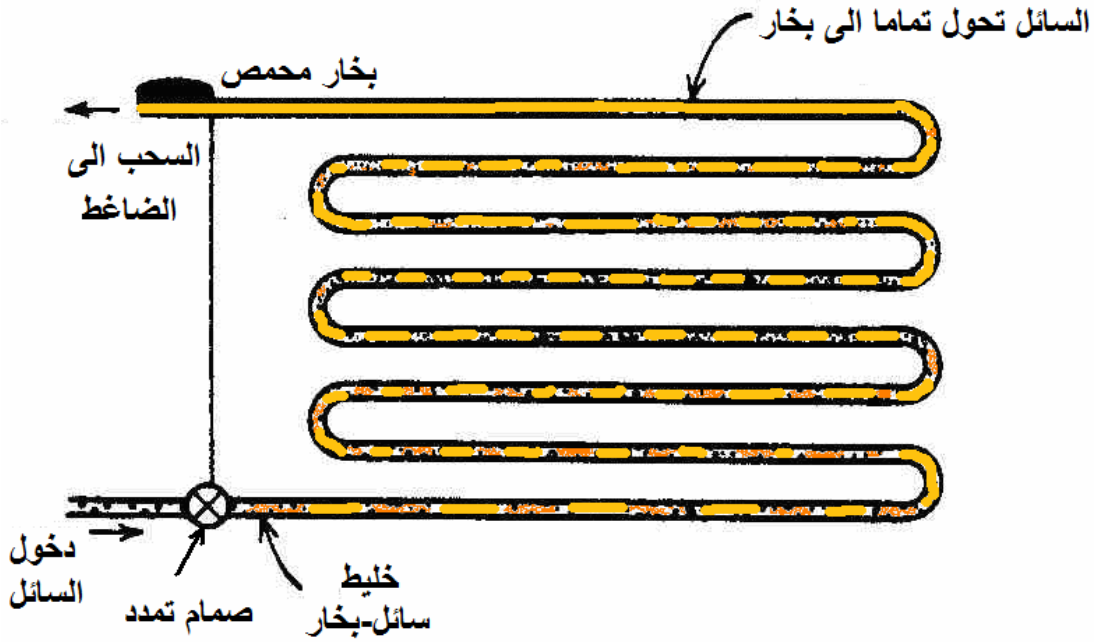
5- 1 طرق تغذية مائع التبريد للمبخرات Methods of Refrigerant Feed to Evaporators

يمكن تصنيف المبخرات تبعا إلى طريقة تغذية المبخرات بوسيط التبريد إلى :

5- 1- 1 مبخر تمدد جاف Dry Expansion Evaporator

تعرف مبخرات التمدد الجاف بملفات التمدد المباشر ويرمز لها بالرمز DX و يتكون ملف التمدد الجاف كما في الشكل (5- 1)، من أنابيب مستقيمة تربطها كيعان و مرتبة في صفوف. و تكون تغذية سائل التبريد علوية أو سفلية من خلال صمام التمدد الثرموستاتيكي. و التغذية السفلية أفضل من التغذية العلوية لأن معامل انتقال الحرارة للسوائل أكبر من معامل انتقال الحرارة للأبخرة.

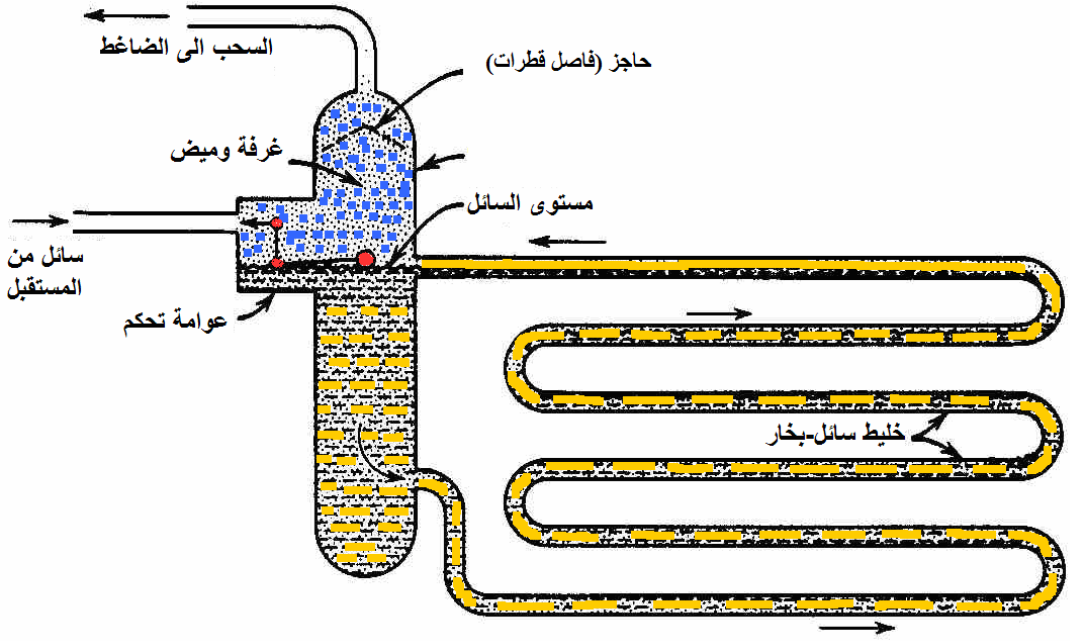
ومبخرات التمدد الجاف واسعة الانتشار لأنها أبسط في التصميم، و أقل تكلفة وأقل مشاكل من ناحية الزيت، علاوة على أن كمية وسيط التبريد المطلوبة تكون أقل. ويمكن استخدام موزعات لسائل وسيط التبريد على ملفات التبريد المتوازية حتى يتم توزيع السائل بكميات متوازية وبأقل انخفاض في الضغط.



شكل (5- 1) مبخر تمدد جاف

5- 1- 2 مبخر مغمور Flooded Evaporator

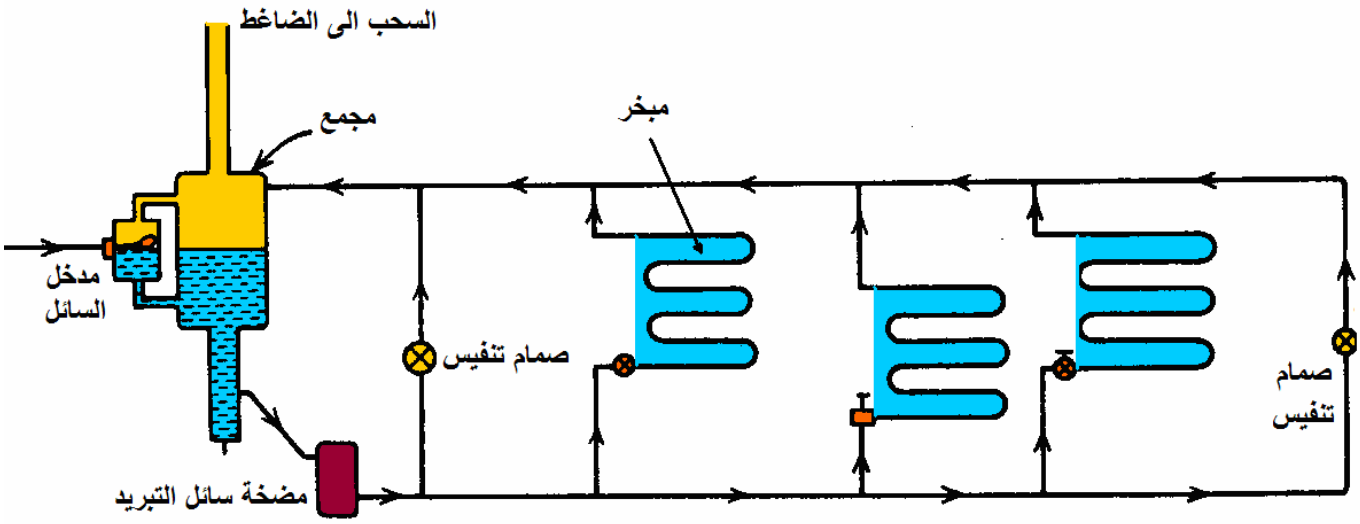
وضح شكل (5- 2) مكونات المبخر المغمور . ويتم تغذية المبخر من سائل وسيط التبريد بحيث تصبح كل الأنابيب في ملفه مغمورة أو مبتلة بسائل التبريد و بالتالي يكون معدل انتقال الحرارة أكبر ما يمكن و للمحافظة على مستوى السائل يتصل المبخر بخزان مركب به صمام عوامة ويتم فصل البخار عن السائل بالجاذبية وأيضا يركب في أعلى الخزان حاجز (فاصل قطرات) ليساعد على منع قطرات السائل من الخروج من الخزان حتى لا يتلف الضاغط.



شكل (5- 2) مبخر مغمور

5- 1- 3 مبخرات ذات تغذية زائدة Overfeed Evaporators

يوضح شكل (5- 3) مبخرات ذات تغذية زائدة وغالبا ما تستخدم في التطبيقات العملية نظرا لاقتصادياتها العالية ولوجود صعوبة في التحكم في معدل السريان في حالة المبخر الواحد. ويلاحظ اتصال المبخرات بخزان ينفصل فيه البخار عن السائل الذي يعاد تدويره من خلال مضخة مما يزيد من معدل السريان. وأداء المبخرات ذات التغذية الزائدة أحسن من أداء المبخرات المغمورة وذلك لأن السريان الجبري للسائل يزيد من معامل انتقال الحرارة.



شكل (5- 3) مبخرات ذات تغذية زائدة

5- 2 مبخرات تبريد الهواء Air Cooled Evaporators

تصنف مبخرات تبريد الهواء تبعا لنوعية أسطح المبخرات إلى ثلاثة أنواع رئيسة وهي:

1- مبخرات ذات أنابيب عارية

2- مبخرات على هيئة أسطح لوحية

3- مبخرات مجهزة بزعانف

وفي الأنواع الثلاثة يمر وسيط التبريد بداخل الملف ويسري الهواء من الخارج . ويكون حجم المبخرات ذات الزعانف صغيراإذاما قورن بالمبخرات ذات الأنابيب العارية لنفس السعة التبريدية. وتستخدم الزعانف عندما يكون الفرق بين معاملي انتقال الحرارة بالداخل والخارج كبيرا.

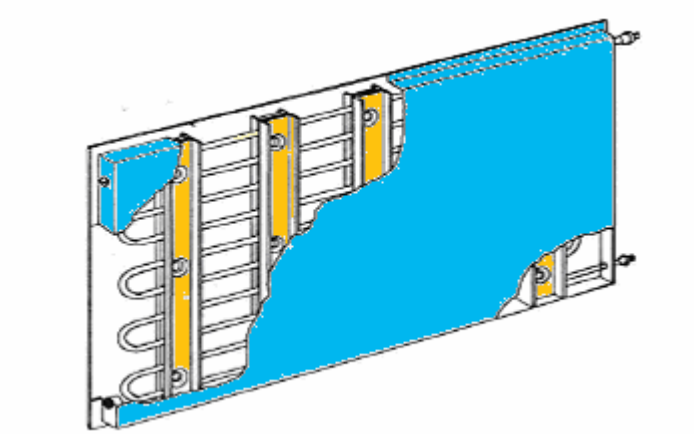
5- 2- 1 مبخرات ذات أنابيب عارية

تصنع المبخرات ذات الأنابيب العارية من الصلب في حالة استخدام الأمونيا كوسيط تبريد ومن النحاس في حالة استخدام الفريونات. و الأشكال الشائعة للمبخرات ذات الأنابيب العارية ، كما هو موضح بالشكل (5- 4) ملتوية و بيضاوية وحلزونية. وتستخدم المبخرات العارية السقفية ذات السريان الحر في مخازن التجميد حيث تتطلب حركة بطيئة للهواء، وتستخدم مع مراوح طرد مركزي لتوفير هواء بارد لعمليات التبريد والتجميد.

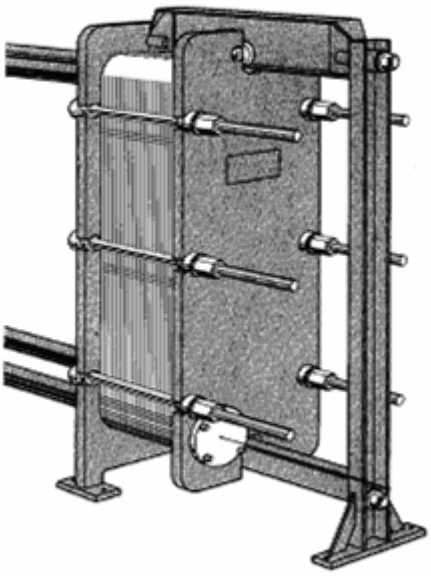
شكل (5- 4) مبخرات ذات أنابيب عارية

5- 2- 2 مبخرات على هيئة أسطح لوحية:

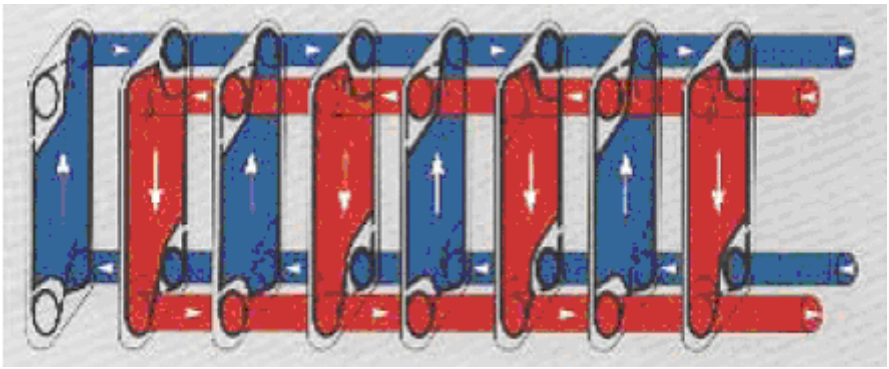
هناك أنواع متعددة لمبخرات الأسطح اللوحية، كما هو موضح في الأشكال (5- 5)، و (5- 6). والمبخر السطحي يصنع من لوحين معدنين لتوفير مسار لمائع التبريد بين اللوحين. و يستخدم هذا النوع من المبخرات مع الثلاجات المنزلية لسهولة تشكيله وتنظيفه . وهناك نوع آخر عبارة عن أنبوبة ملتوية بين لوحين من المعدن وملحومة لتوفير تلامس جيد بين الأنبوبة واللوحين. و يستخدم هذا النوع مع ثلاجات الشاحنات ومع غرف حفظ المجمدات. وتستخدم المبخرات ذات الأسطح اللوحية كأرفف في غرف التجمد، و دواليب عرض المجمدات وكفواصل لوحدات الديب فريزر. و يوضح شكل (5- 7) اتجاه مسارات الموائع في المبخر اللوحي.



شكل (5- 5) مبخر من ملف أنبوبي مع لوح معدني



شكل (5- 6) مبخر ذو سطح لوحي

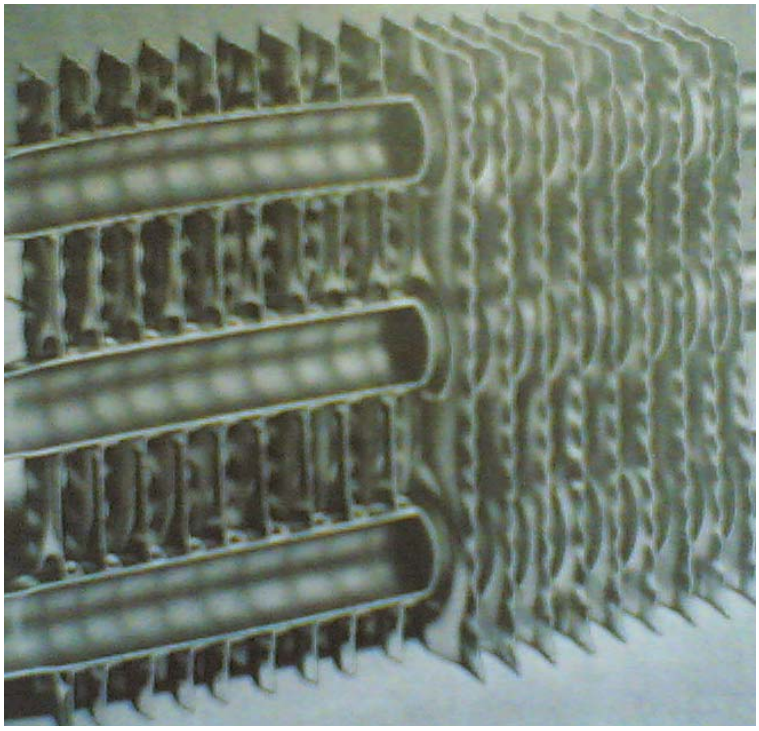


شكل (5- 7) اتجاه مسارات الموائع في المبخر اللوحي

5- 2- 3 مبخرات مجهزة بزعانف

يوضح شكل (5- 8) مبخرا مجهزا بزعانف وهو عبارة عن أنابيب تشكل الأسطح الأساسية لانتقال الحرارة، وتكون مجهزة بزعانف تعرف بالأسطح الثانوية لانتقال الحرارة و تعمل على زيادة مساحة السطح الخارجي المعرض للهواء وبالتالي خفض مقاومته الحرارية. والتلامس الجيد بين الأنابيب و الزعانف مطلوب لضمان حسن أداء المبخرات. و تتراوح المسافة بين الزعانف (2-25 mm)، أي حوالي زعنفه واحدة أو أربع عشرة زعنفة لكل بوصة طولية.

والمبخرات التي تعمل عند درجات حرارة سالبة يتكون على أسطحها صقيع، يعمل على خفض المساحة الحرة بين الزعانف، وخفض معدل سريان الهواء و يتبع ذلك خفض معامل انتقال الحرارة الكلي للمبخر وزيادة القدرة اللازمة للضاغط. لذا في حالة تكون الصقيع على زعانف المبخر يجب استخدام أقل عدد من الزعانف حوالي زعنفتين أو ثلاثة لكل بوصة طولية. والمبخرات ذات الزعانف شائعة الاستخدام لأنها تشغل حيزاً صغيراً بالمقارنة بالأنواع الأخرى.



شكل (5- 8) مبخر مجهز بزعانف

5- 3 اختيار مبخرات تبريد الهواء

العوامل المؤثرة على اختيار المبخرات هي: الحيز المتاح، و التكلفة الابتدائية (ثمن الجهاز)، و كفاءة النظام، و اقتصاديات التشغيل (تكلفة التشغيل)، و فرق درجات الحرارة TD بين دخول الهواء للمبخر ودرجة التشبع لمائع التبريد المناظرة لضغط المبخر. و تكون العلاقة بين سعة التبريد للمبخر وفرق درجات الحرارة TD خطية وبالتالي لنفس سعة التبريد عند زيادة فرق درجات الحرارة TD يلزم خفض مساحة سطح المبخر.

ويتأثر حفظ المواد الغذائية بدرجة الحرارة والرطوبة النسبية للهواء. فعند خفض الرطوبة النسبية يزداد جفاف المواد الغذائية (الخضراوات والفواكه) وعند زيادة الرطوبة النسبية يزداد نمو البكتيريا والفطريات على المواد الغذائية. و يلاحظ أن أهم عامل مؤثر على الرطوبة النسبية هو فرق درجات الحرارة TD ونوعية المبخر. وسريان الهواء داخل العنابر مهم جدا حيث يعمل على نقل الحرارة من المواد الغذائية إلى المبخر. و السريان البطيء لا يوفر التبريد اللازم للمواد الغذائية ، بينما السريان السريع يسبب جفاف المواد الغذائية. و يلاحظ أن تأثير سريان الهواء مماثل لتأثير الرطوبة النسبية.

و تصنف المبخرات تبعاً لطريقة انتقال الحرارة إلى نوعين أساسيين هما :

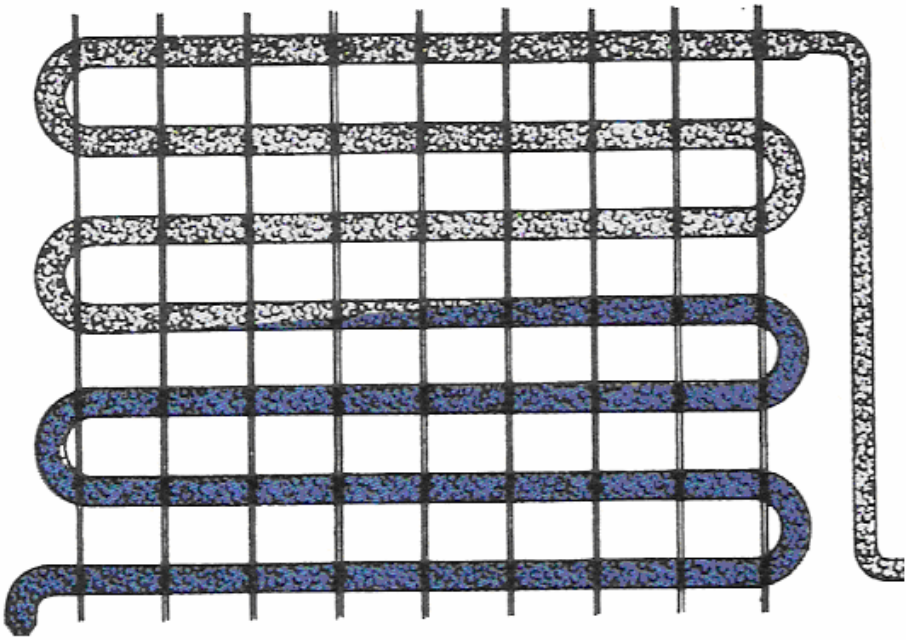
1- مبخرات الحمل الحر

2- مبخرات الحمل الجبري

5- 4 مبخرات الحمل الحر

تستخدم مبخرات الحمل الحر، كتلك الموضحة بالشكل (5- 9) في الاستخدامات التي تتطلب سرعة هواء بسيطة ومعدل تجفيف صغير للمواد الغذائية مثل الثلاجات المنزلية، و دواليب العرض وعنابر حفظ المجمدات. و يعتمد سريان الهواء لمبخرات الحمل الحر على اختلاف كثافة الهواء الناشئ عن اختلاف درجات الحرارة للمبخر والهواء المحيط به.

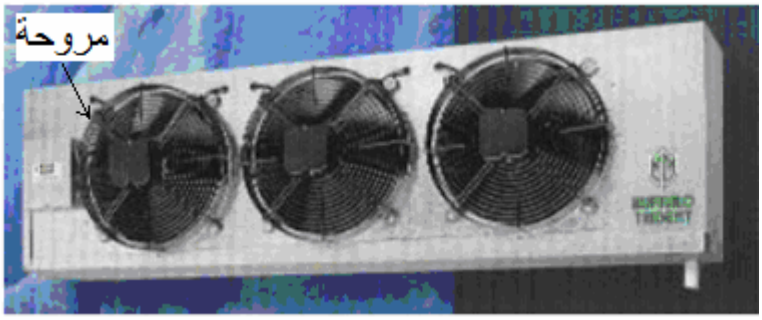
ويمكن تركيب مبخرات الحمل الحر على الأسقف أو الحوائط لو كان ارتفاع العنبر لا يسمح بتركيب وحدات سقفية. وتعطى السعة التبريدية لمبخرات الحمل الحر عادة لوحدة الطول للأنابيب العارية أو ذات الزعانف ولوحدة المساحة لمبخرات الأسطح اللوحية.



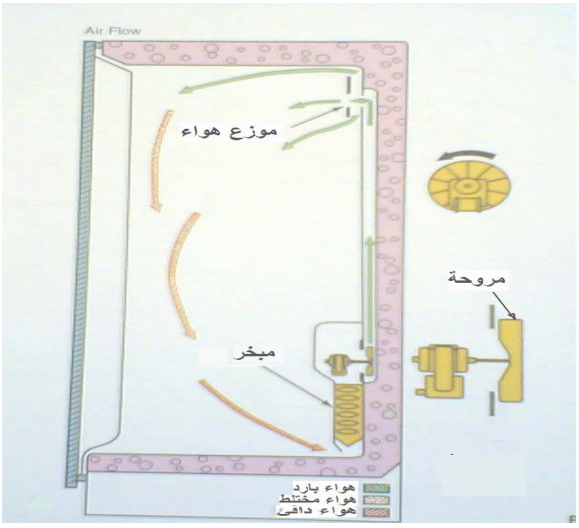
شكل (5- 9) مبخر حمل حر

5- 5 مبخرات الحمل الجبري

يبين الشكل (5- 10) مبخر الحمل الجبري، بوحدة ملف- مروحة كما في شكل (5- 10 أ) أو وحدة تبريد كما في شكل (5- 10 ب). ومبخر الحمل الجبري عبارة عن ملف من أنابيب عارية أو ذات زعانف متواجد داخل حيز معدني مجهز بمروحة أو أكثر لسريان الهواء. و تركب وحدة التبريد عند السقف أو الحائط. و يحدد سعة المبخر الجبري معدل سريان الهواء، و معامل الحرارة المحسوسة وفرق درجات الحرارة خلال المبخر. وسرعة الهواء تكون عادة أقل من 1.5 m/s لمنع تجفيف المواد الغذائية ولخفض مستوى الصوت. أما في حالة محطات التبريد، وعند إهمال تجفيف المواد الغذائية فتتراوح سرعة الهواء ما بين 1.5-3.5 m/s، بينما يتم دفع الهواء خلال المواد الغذائية في أنفاق التجميد بسرعة تصل إلى 10 m/s.



(أ)



(ب)

شكل (5- 10) مبخرات الحمل الجبري

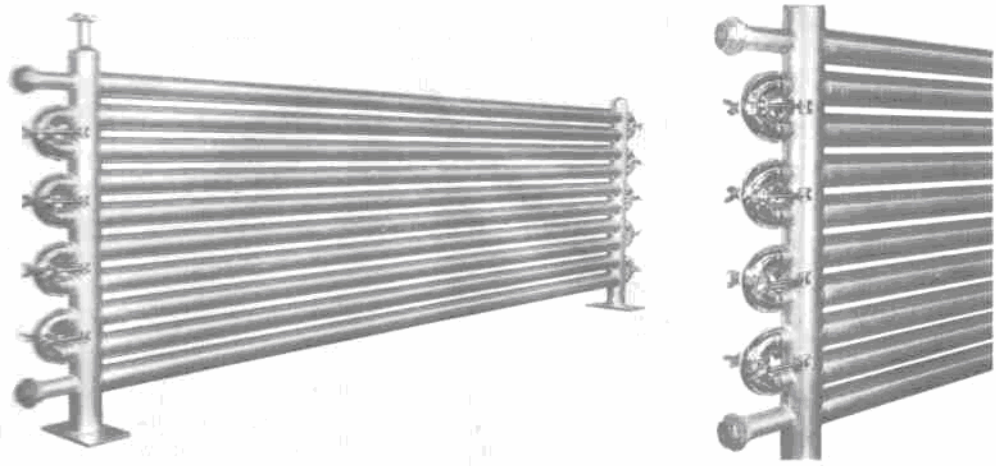
(أ) وحدة ملف مروحة (ب) وحدة تبريد

5- 6 مبخرات تبريد السائل Chillers

تستخدم مبخرات تبريد السوائل لتبريد المياه، و المحاليل الملحية، والألبان، وغيرها. و هناك العديد من مبخرات السوائل أهمها:

5- 6- 1 مبرد ذو أنبوبتين :

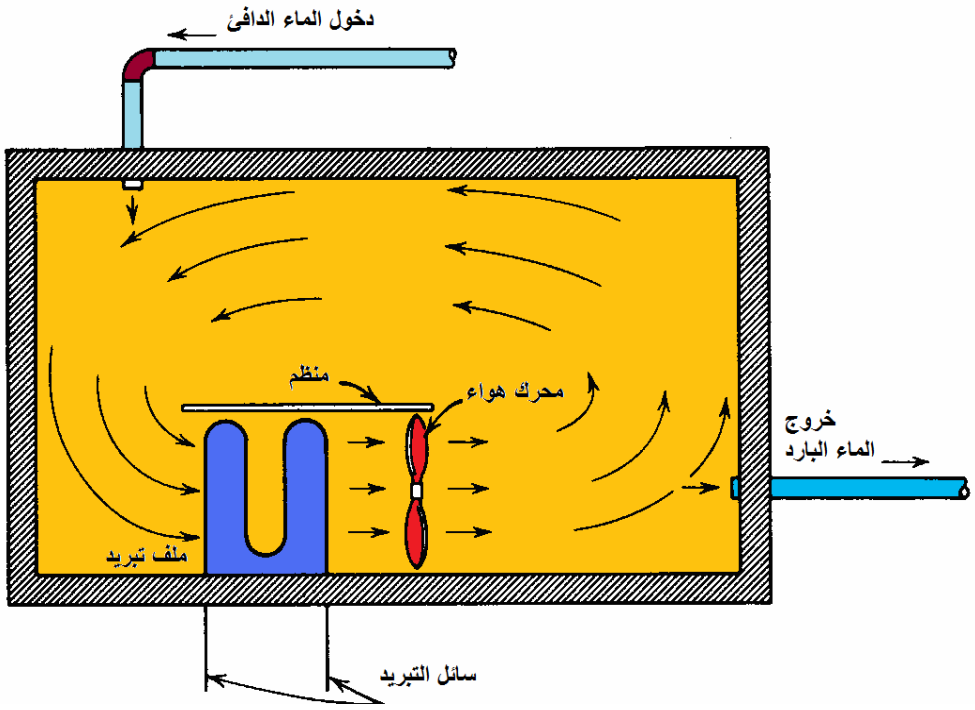
يوضح شكل (5- 11) المبرد ذا الأنبوبتين. و يتكون المبرد من أنابيب مستقيمة يربطها كيعان. و يمكن أن يكون المبرد من النوع الجاف أو النوع المغمور. و يحتاج المبرد ذو الأنبوبتين إلى حيز كبير ونظرا لتكلفته العالية يستخدم هذا المبرد في مجالات خاصة مثل تبريد الزيوت. وفي هذا المبرد يسري السائل داخل الأنبوبة الداخلية بينما يسري مائع التبريد خلال الحيز بين الأنبوبتين وفي عكس الاتجاه.



شكل (5- 11) مبرد ذو أنبوبتين

5- 6- 2 مبرد الخزان:

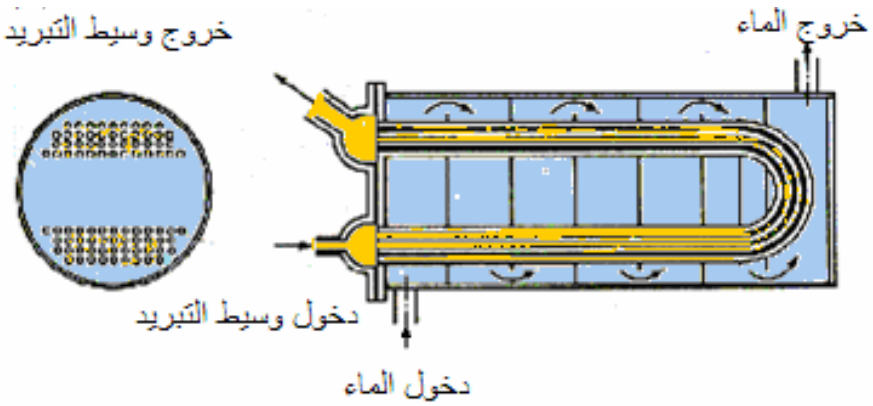
يوضح شكل (5- 12) هذا النوع من المبردات وهو عبارة عن خزان في داخله ملف مغمور ذو أنابيب عارية. يوضع الملف بين أحد جوانب الخزان وهناك حاجز لتوجيه حركة السائل حول الملف بواسطة قلاب. و تتراوح السرعة بين 0.5-0.75 m/s . و يستخدم مبرد الخزان لتبريد سوائل محتوية على مواد عالقة و المحاليل الملحية التي تعمل كموائع تبريد ثانوية أو التي تحيط بعلب محكمة كما هو الحال في صناعة الثلج والآيس كريم.



شكل (5- 12) مبرد الخزان

5- 6- 3 مبرد غلاف وملف

يوضح شكل (5- 13) هذا النوع من المبردات وهو عبارة عن ملف حلزوني من الأنابيب العارية داخل غلاف أسطواني من الصلب. وعادة ما يعمل مبرد غلاف وملف مع وسيلة تمدد حر. يسري المائع خلال الأنابيب بينما يتواجد السائل المراد تبريده في الغلاف حول الملف. وهذا المبرد مناسب للاستخدامات الصغيرة مثل تبريد مياه الشرب. ومن عيوبه تلفه عند تجمد السائل داخل المبرد.



شكل (5- 13) مبرد غلاف وملف

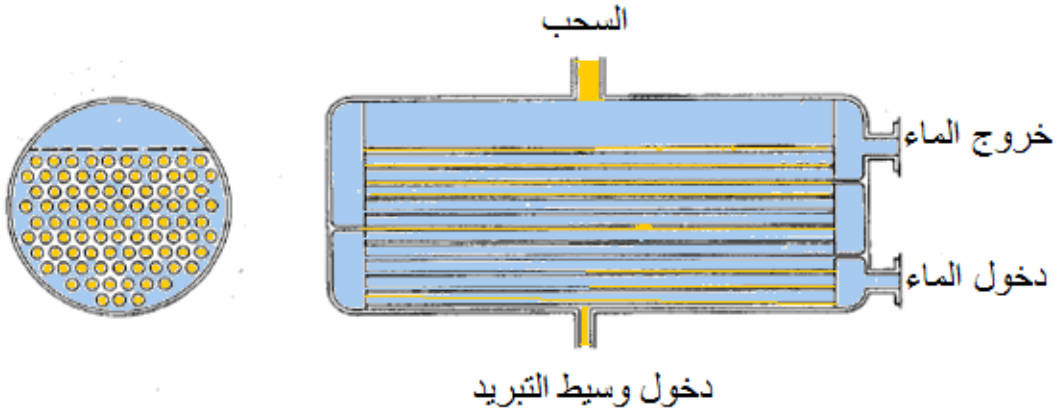
5- 6- 4 مبرد غلاف وأنابيب:

يتكون مبرد غلاف وأنابيب، كما هو موضح في شكل (5- 14)، من مجموعة من الأنابيب المستقيمة داخل إطار أسطواني من الصلب. و يوجد لوحان عند نهايتي الإطار وحواجز داخل الغلاف تعمل على حمل الأنابيب وحفظ المسافات بينها.

من الممكن أن يسري السائل المراد تبريده داخل الأنابيب ويتواجد وسيط التبريد في الغلاف. كما يمكن أن يسري مائع التبريد داخل الأنابيب والسائل المراد تبريده خلال الغلاف كما في شكل (5- 14). وتتم المحافظة على مستوى سائل التبريد عن طريق صمام عوامة.

ويصنع الغلاف من الصلب، و تصنع أنابيب المياه والفريون من النحاس، و أنابيب الأمونيا من الصلب وأنابيب المحاليل الملحية من سبيكة من النحاس والنيكل. و تعتبر مبردات غلاف وأنابيب ذات كفاءة عالية، و تحتاج إلى حيز بسيط ومناسبة لكل الاستخدامات لذا فهي واسعة الانتشار لتبريد السوائل .

و كقاعدة عامة تستخدم مبردات التمدد الحر لسعات تبريد صغيرة ومتوسطة تتراوح بين 2-25 TR، بينما تستخدم المبردات المغمورة لسعات متوسطة وكبيرة تتراوح بين 10 TR وآلاف الأطنان من التبريد.



شكل (5- 14) مبرد غلاف وأنابيب

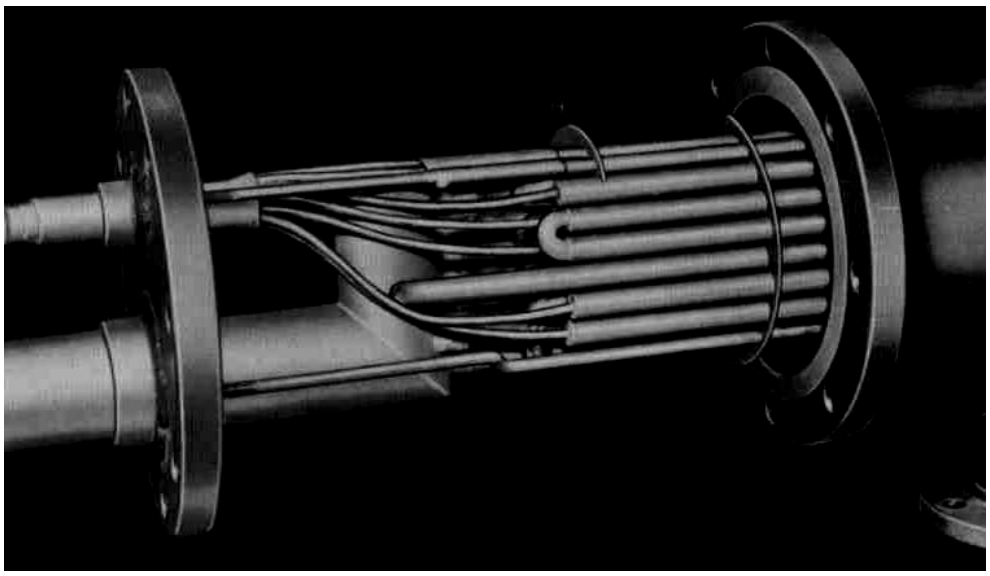
(وسيط التبريد داخل الأنابيب والسائل المراد تبريده خلال الغلاف)

5- 6- 5 مبردات التمدد الجافة :

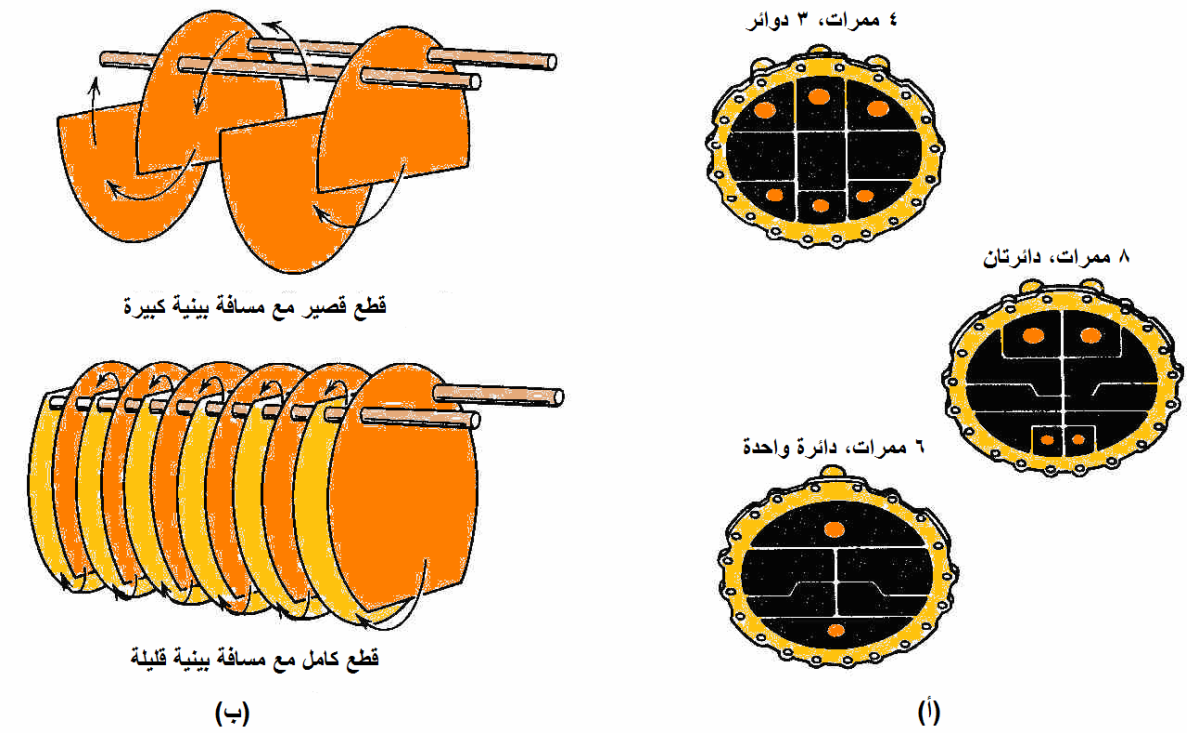
تتم تغذية مائع التبريد خلال صمام تمدد ثرموستاتيكي (حراري) إلى أنابيب يحيطها من الخارج السائل المراد تبريده كما هو موضح في شكل (5- 15). و يشتمل الإطار الأسطواني للمبرد كما هو موضح في شكل (5- 16 ب) على موجهات تسمح بتوجيه السريان وزيادة السرعة وبالتالي زيادة معامل انتقال الحرارة. و يجب زيادة المسافة بين الموجهات مع زيادة لزوجة السائل أو زيادة معدل سريانه. و يتم ترتيب الأنابيب في مسار واحد أو عدة مسارات باستخدام فواصل في المجمعين الجانبيين كما هو موضح في شكل (5- 16 أ).

وتعمل زيادة عدد المسارات على زيادة كل من معامل انتقال الحرارة و انخفاض الضغط خلال الأنابيب. و يتوقف عدد المسارات على سعة المبرد و العلاقة بين معدل السريان و فرق درجات الحرارة. وقد يستخدم مبرد التمدد الجاف أنابيب على شكل حرف U مثبتة في جانب واحد وذلك للسماح بتمدد الأنابيب أو انكماشها مع تغير درجة حرارة السائل. و يمتاز مبرد مياه التمدد الحر عن المبرد المغمور بصغر شحنة مائع التبريد اللازمة وضمان رجوع الزيت إلى الضاغط و قلة احتمال تلف الأنابيب نتيجة تجمد السائل المبرد. ويستخدم مبرد التمدد الجاف لتبريد المحلول الملحي لدرجات حرارة منخفضة، و لتبريد مياه التكييف مع الضواغط الترددية أو الحلزونية أو اللولبية.

وتستخدم معظم مثلجات المياه مبردات التمدد الجاف لأنها الأرخص ولا تسبب مشاكل لعودة الزيت إلى الضاغط. وتعرف وحدة الضاغط ومبرد السائل بمبرد السائل القائم بذاته Self-Contained وهي عادة مركبة على قاعدة معدنية.



شكل (5- 15) مبرد تمدد جاف



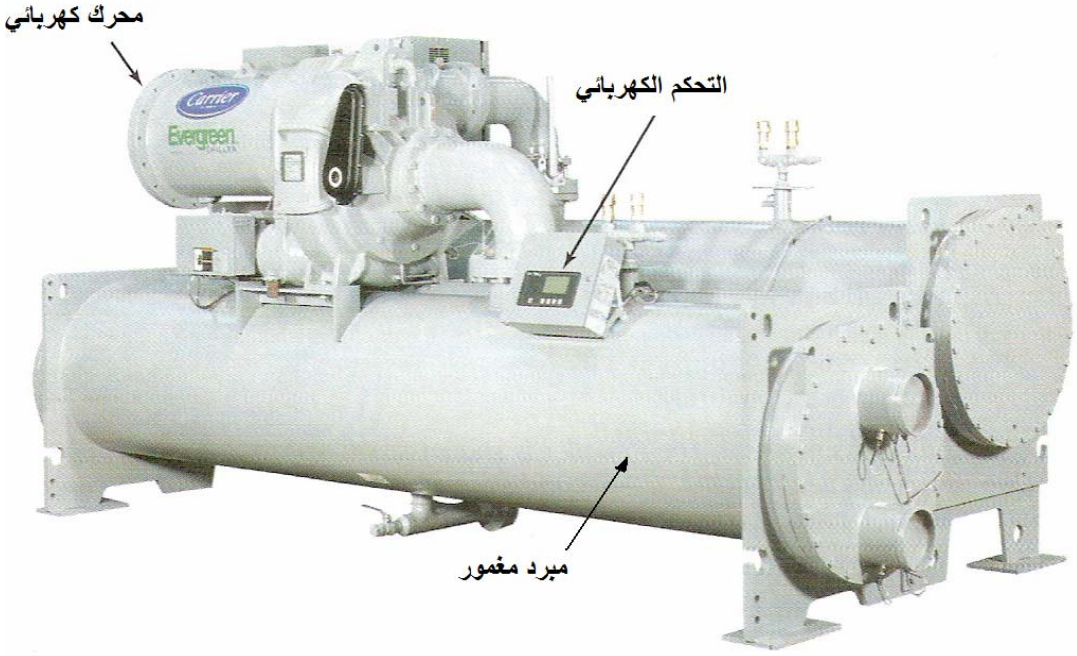
شكل (5- 16) مبرد تمدد جاف

(أ) مجمعات المبرد (ب) موجهات المبرد

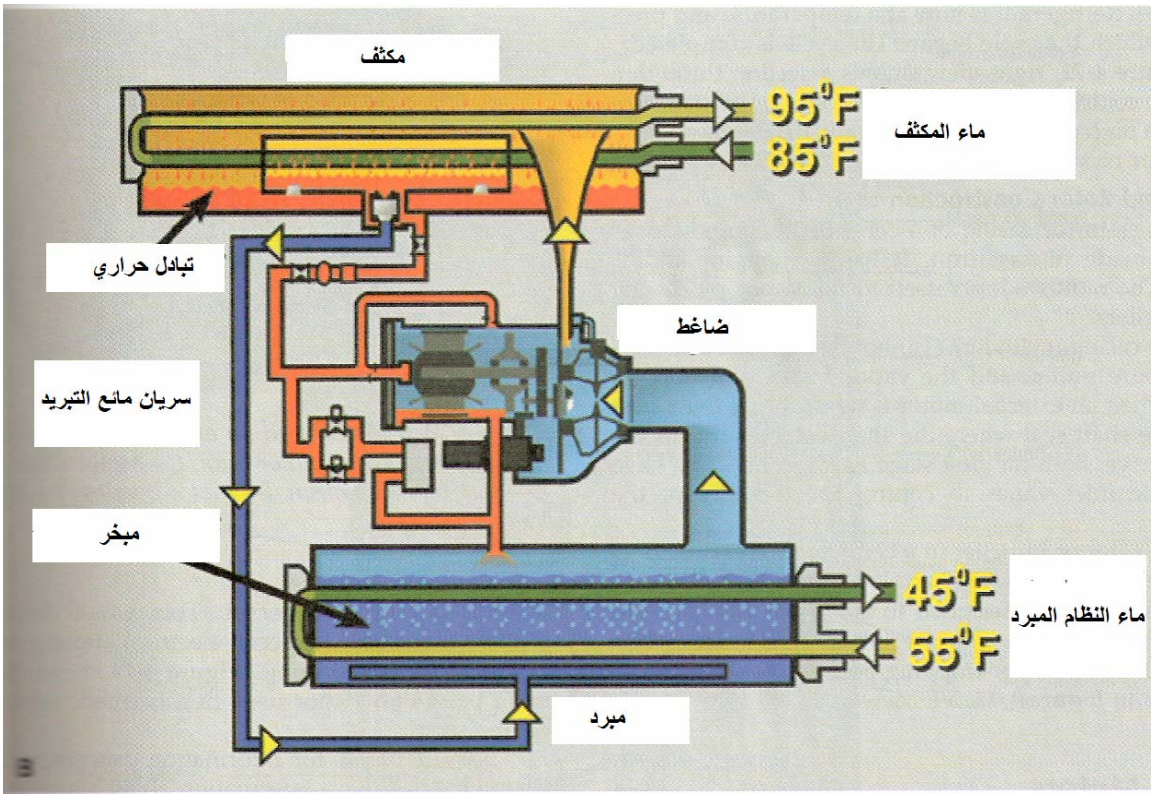
5- 6- 6 المبردات المغمورة:

توضح الأشكال (5- 17)، (5- 18) هذا النوع من المبردات حيث يسري السائل المراد تبريده داخل الأنابيب بينما يتواجد سائل مائع التبريد خارج الأنابيب. و يتواجد فوق الأنابيب حيز يسمح بتجميع البخار و مجهز بفواصل تمنع تسرب السائل مع البخار. و يتم التحكم في مائع التبريد بواسطة عوامة ضغط عال أو ضغط منخفض. وعادة يستخدم مجمع بطول الإطار لضمان توزيع وسيط التبريد على كل الأنابيب. ويلزم استخدام فاصل بالمبرد المغمور وذلك لفصل البخار عن السائل.

وتجهز بعض المبردات المغمورة بمضخة ونظام رش يسمح بتبليل كل أسطح الأنابيب. ومن مميزات المبردات المغمورة ذات الرشاشات زيادة معامل انتقال الحرارة وصغر شحنة وسيط التبريد المطلوبة، ومن عيوبها التكلفة الإنشائية (الابتدائية) العالية والحاجة إلى مضخة للسريان. وأحيانا تجهز أنابيب المبردات المغمورة بزعانف داخلية وخارجية . وتصنع المبردات المغمورة الأفقية من عدة مسارات لزيادة سرعة السريان للمياه. وعدد المسارات الشائعة الاستخدام هي 2، و4 و6 مسارات.



شكل (5- 17) مبرد مغمور



شكل (5- 18) مبرد مغمور

5- 7 اختيار مبردات السوائل:

يتم اختيار مبردات تبريد السوائل تبعا للطريقة التي يحددها المنتج. و عادة يحدد المنتجون مبردات سوائل قائمة بذاتها Self-Contained مشتملة على الضاغط، و المبرد والمكثف. ويفضل عادة استخدام الوحدات القائمة بذاتها لرخصها وسهولة تجميعها.

مثال (5- 1):

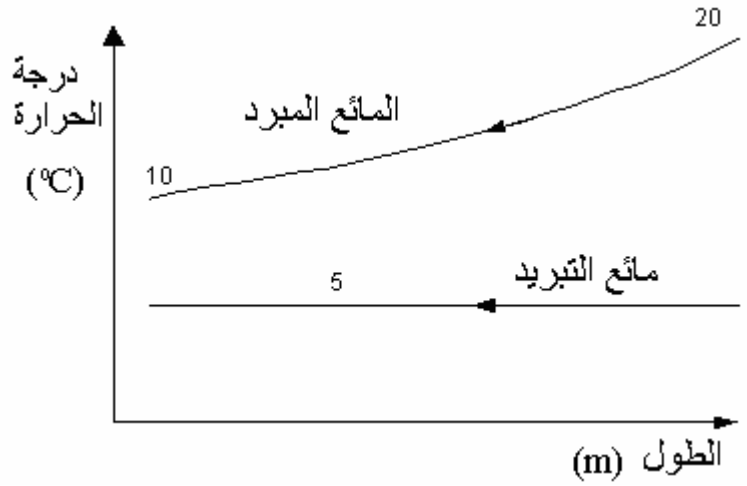
يعمل ملف مغمور عند درجة حرارة 5°C لمائع التبريد. يدخل المائع المبرد عند درجة حرارة 20°C ويخرج عند درجة حرارة 10°C. عين فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي LMTD بين المائع المبرد ومائع التبريد.

الحل :

$$\Delta T_1 = 20 - 5 = 15$$

$$\Delta T_2 = 10 - 5 = 5$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{15 - 5}{\ln \frac{15}{5}} = 9.10$$



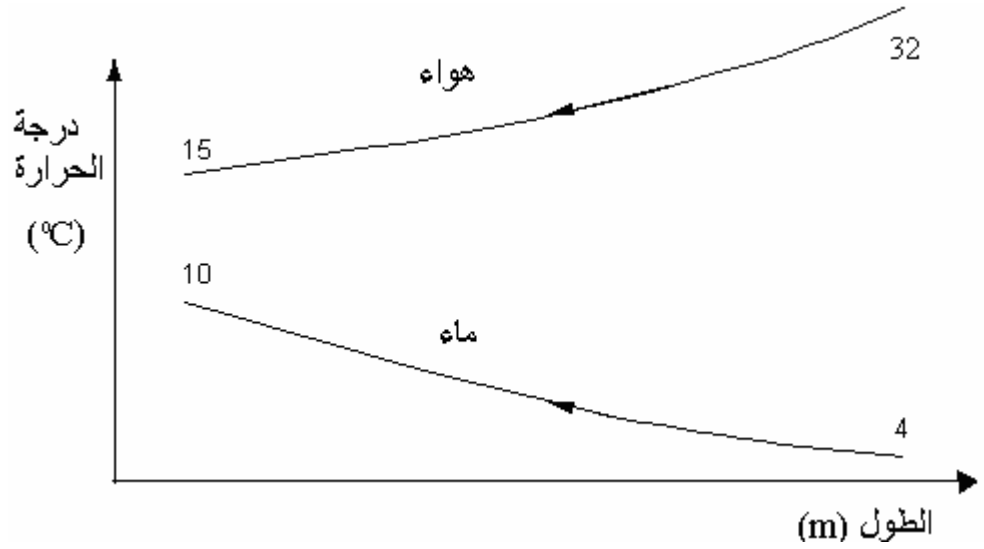
توزيع درجة الحرارة خلال المبادل

مثال (5- 2):

ملف تبريد مياه مبردة درجة حرارة دخول المياه $4°C$ ودرجة حرارة خروج المياه $10°C$ يستخدم لتبريد هواء من درجة حرارة $32°C$ إلى درجة حرارة $15°C$. عين فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي بين المائع المبرد ومائع التبريد لترتيب السريان المتوازي والمتعاكس.

الحل :

السريان المتوازي:



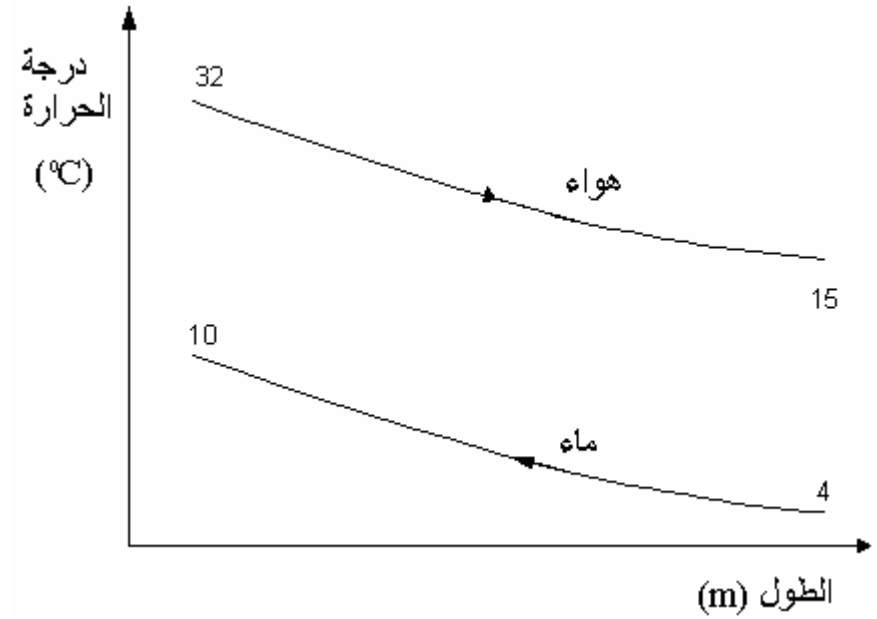
توزيع درجة الحرارة خلال المبادل

$$\Delta T_1 = 34 - 4 = 28$$

$$\Delta T_2 = 15 - 10 = 5$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{28 - 5}{\ln \frac{28}{5}} = 13.35$$

السريان المتعاكس:



توزيع درجة الحرارة خلال المبادل

$$\Delta T_1 = 32 - 10 = 22$$

$$\Delta T_1 = 15 - 4 = 11$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{22 - 11}{\ln \frac{22}{11}} = 15.87$$

امتحان ذاتي رقم 5

5- 1 ارسم شكلا يوضح مبخر تمدد جاف – مبخر تمدد مغمور.

5- 2 علل: التغذية السفلية أفضل من التغذية العلوية في مبخر ملف تمدد جاف.

5- 3 اذكر أنواع مبخرات تبريد الهواء.

5- 4 اذكر العوامل التي تؤثر في اختيار مبخرات تبريد الهواء.

5- 5 اذكر استخدامات مبخرات الحمل الحر.

6-5 ما هي العوامل التي تحدد سعة المبخر الجبري؟

7-5 اذكر أنواع مبخرات تبريد السائل (المبردات).

8-5 ما فائدة الموجهات في مبردات التمدد الجافة؟

9-5 ملف مغمور بدرجة حرارة وسيط التبريد 40°F , يدخل المائع المراد تبريده عند درجة حرارة 63°F ويخرج عند درجة حرارة 50°F . احسب فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي LMTD بين وسيط التبريد والمائع المراد تبريده.

10-5 ماء بارد يدخل ملف تبريد عند درجة حرارة 40°F و يخرج عند درجة حرارة 50°F في حين يدخل الهواء المراد تبريده عند درجة حرارة 80°F ويخرج عند درجة حرارة 60°F. احسب فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي LMTD بين وسيط التبريد والمائع المراد تبريده لترتيب السريان المتعاكس والمتوازي.

5- 7 اذكر أنواع مبخرات تبريد السوائل.

نظم ومعدات التبريد (نظري)

التبريد بالامتصاص

الوحدة السادسة : التبريد بالامتصاص

الجدارة : يجب أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل وبنسبة 100٪.

الهدف العام : معرفة المكونات الرئيسة لنظام التبريد بالامتصاص ونظرية العمل وكذلك معامل الأداء.

مقدمة الوحدة : يقدم هذه الوحدة نظام التبريد بالامتصاص والذي يمكن بواسطته الحصول على التبريد وذلك بإضافة طاقة حرارية وليست ميكانيكية كما يحدث في نظام التبريد الانضغاطي. وهذا النظام يناسب الأماكن التي تتوفر بها الطاقة الحرارية مع قلة إمكانية توفر الطاقة الكهربائية. ويمكن الحصول على سعات تبريدية كبيرة جدا من هذا النظام.

الأهداف السلوكية :

يجب أن يكون المتدرب قادرا على :

- معرفة نظرية عمل نظام التبريد بالامتصاص .
- استعراض مكونات نظام التبريد بالامتصاص .
- استنتاج معامل الأداء لنظام التبريد بالامتصاص.

المهام المشمولة : C6, C7

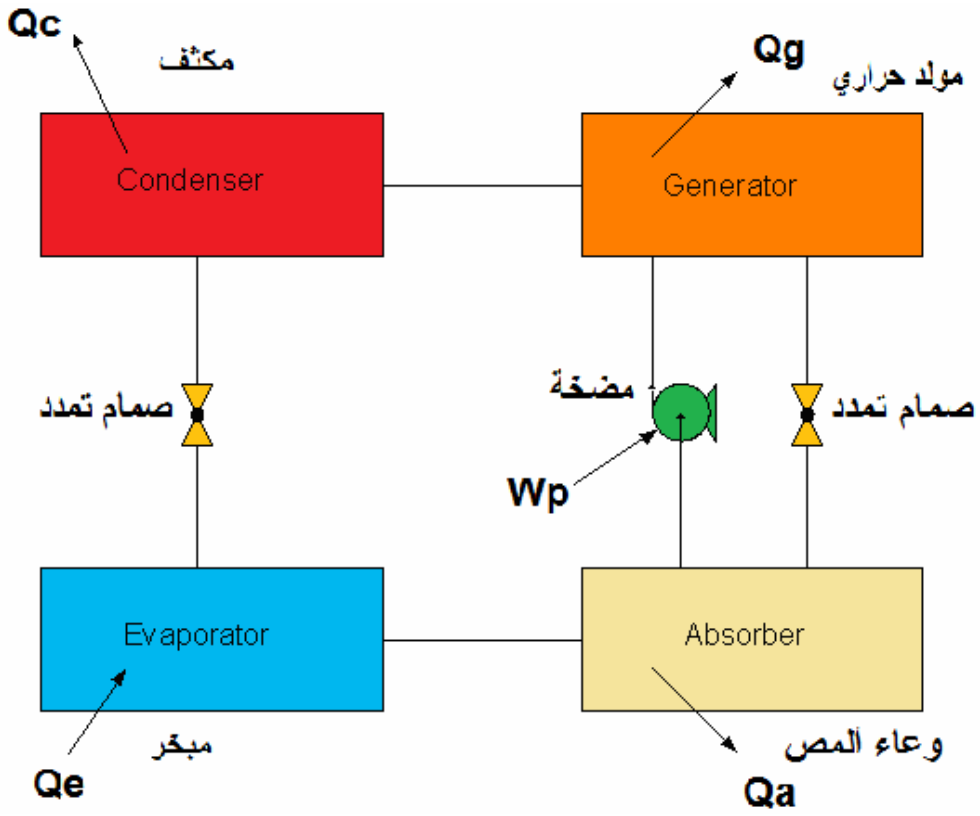
متطلبات الجدارة :

يجب على المتدرب أن يكون قد اجتاز مقررات: أساسيات تقنية التبريد والتكييف - ومعمل (ورشة) أساسيات تقنية التبريد والتكييف – و أساسيات التحكم في التبريد والتكييف.

الوقت المتوقع للتدريب : 2 ساعتان نظريتان

6- 1 الدورة الأساسية للتبريد بالامتصاص:

يوضح شكل (6- 1) رسما تخطيطا للدورة الأساسية للتبريد بالامتصاص. وتستخدم الدورة مادتين قابلتين لتكوين محلول متجانس عند درجة حرارة معينة وقابلتين للفصل عند درجة حرارة أخرى. و إحدى المادتين تعمل كوسيط تبريد و المادة الأخرى كمادة ماصة. وفي هذه الدورة يتم استبدال الضاغط الميكانيكي لدورة التبريد بانضغاط البخار بثلاث وحدات هي المولد الحراري (Generator)،و وعاء المص (Absorber) ومضخة ميكانيكية (Pump). وقد يضاف إلى هذه الوحدات الثلاث مبادل حراري لتحسين أداء الدورة.



شكل (6- 1) نظام التبريد بالامتصاص

وتعمل دورة التبريد بالامتصاص عند ضغطين مختلفين. الضغط العالي هو ضغط المكثف والذي يتساوى مع ضغط المولد الحراري، أما الضغط المنخفض فهو ضغط المبخر والذي يتساوى مع ضغط وعاء المص ، وتعمل المضخة على رفع ضغط المحلول من الضغط المنخفض إلى الضغط المرتفع. وبتسخين المحلول في المولد الحراري يبدأ بخار مائع التبريد بالانفصال عن المحلول. ويتكثف بخار مائع التبريد في المكثف ثم ينخفض ضغط المائع بتمريره في صمام التمدد إلى المبخر. وفي وعاء المص يقوم المحلول العائد من المولد الحراري بعد خفض الضغط خلال صمام التمدد بامتصاص بخار مائع التبريد القادم من المبخر. وينتج عن عملية الامتصاص حرارة، وهذا يتطلب تبريدا لوعاء المص.

إن تشغيل دورة التبريد بالامتصاص يحتاج إلى إضافة حرارة في المولد الحراري وشغلا للمضخة بدلا من الشغل الذي يحتاجه الضاغط في نظام التبريد الميكانيكي. ونظرا لأن شغل المضخة صغيرا بالنسبة لحرارة المولد لذا فإنه يهمل. وتصبح الطاقة المطلوبة للتشغيل هي طاقة حرارية ولذا يسمى التبريد بالامتصاص بالتبريد الحراري.

6- 2 التحليل الثرموديناميكي لدورة التبريد بالامتصاص:

يمكن حساب معامل الأداء لدورة التبريد بالامتصاص كالآتي:

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G + W_P}$$

وحيث إن $Q_G >> W_P$ فإن:

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G}$$

حيث:

Q_E: معدل الحرارة المسحوبة بالمبخر (حمل التبريد) (kW)

Q_G: هي معدل الحرارة المضافة في المولد الحراري (kW)

W_P : شغل المضخة (kW)

ويمكن استنتاج العلاقة التي تعطي أقصى معدل أداء ممكن لدورة التبريد بالامتصاص كالآتي:

$$COP_{\max} = \frac{T_1}{T_3}\left[\frac{T_3 - T_2}{T_2 - T_1}\right]$$

حيث:

$COP_{\max}$: معامل الأداء النظري للنظام وهو أعلى معامل أداء يمكن الوصول إليه

T_1: درجة حرارة التبريد في المبخر (K)

T_2 : درجة الحرارة المطرودة في وعاء المص (K)

T_3: درجة حرارة التسخين في المولد الحراري (K)

ونلاحظ هنا أن:

$$T_3 > T_2 > T_1$$

مثال (6- 1):

نظام تبريد بالامتصاص يتم فيه التسخين وطرد الحرارة والتبريد عند درجات حرارة $100\ ^oC$ ، $20\ ^oC$ ، $-10\ ^oC$ على الترتيب. احسب معامل الأداء النظري لهذا النظام.

الحل:

يتحدد معامل الأداء النظري من المعادلة الآتية:

$$COP_{\max} = \frac{T_1}{T_3}\left[\frac{T_3 - T_2}{T_2 - T_1}\right]$$

حيث :

$$T_3 > T_2 > T_1$$

T_3= 100+273 = 373 K
T_2= 20 +273 = 293 K
T_1= -10 +273 = 263 K

$$\Rightarrow COP_{\max} = \frac{263}{373}\left[\frac{373-293}{293-263}\right] = 1.88$$

امتحان ذاتي رقم 6

6- 1 ارسم دورة التبريد بالامتصاص ووضح عليها الأجزاء التي تتكون منها.

6- 2 اشرح نظرية عمل دورة التبريد بالامتصاص.

6- 3 قارن بين نظام التبريد الانضغاطي والتبريد بالامتصاص من حيث ميكانيكية العمل.

ملحق الخرائط

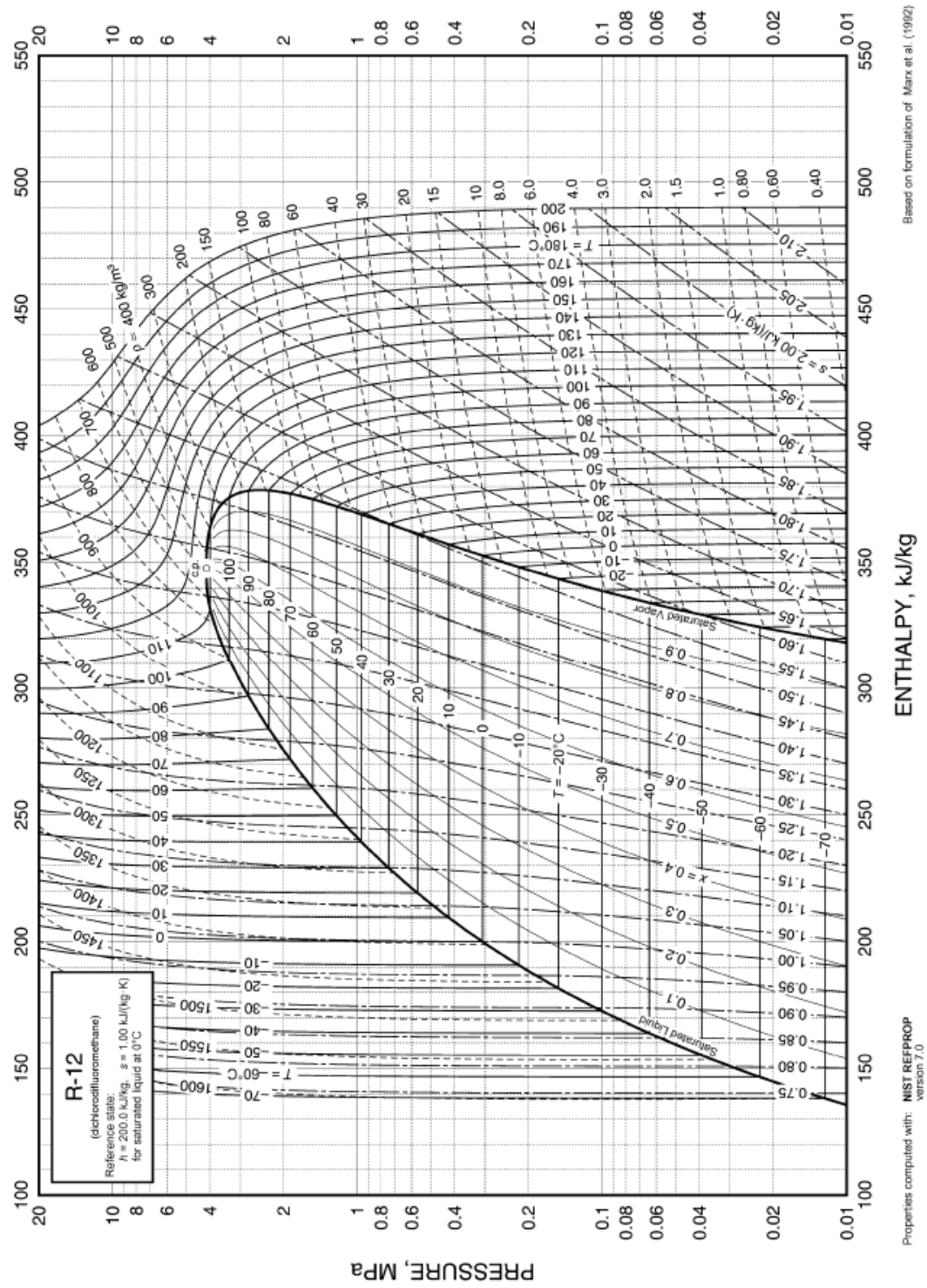


Fig. 1 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 12

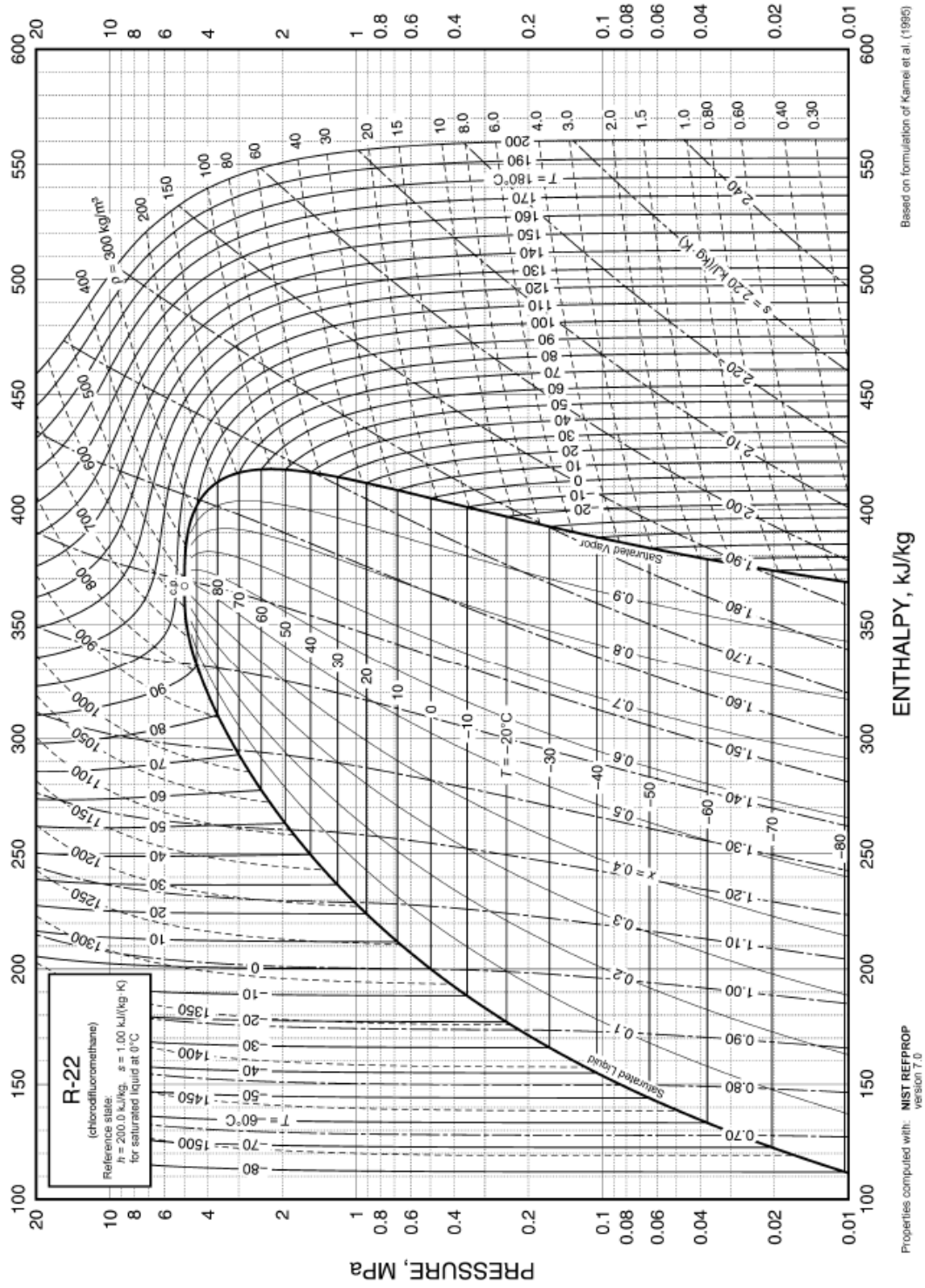


Fig. 2 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 22

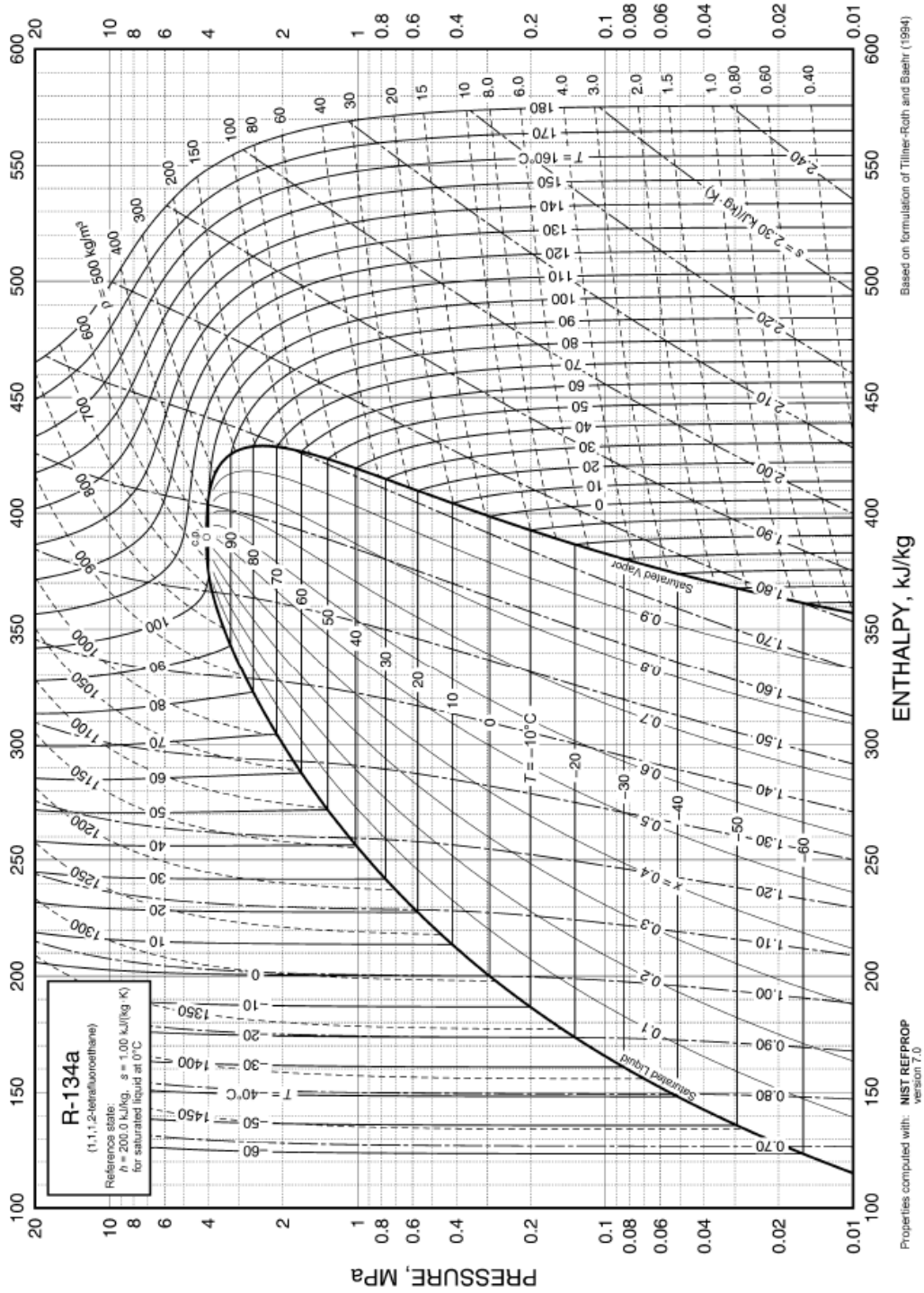


Fig. 8 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 134a

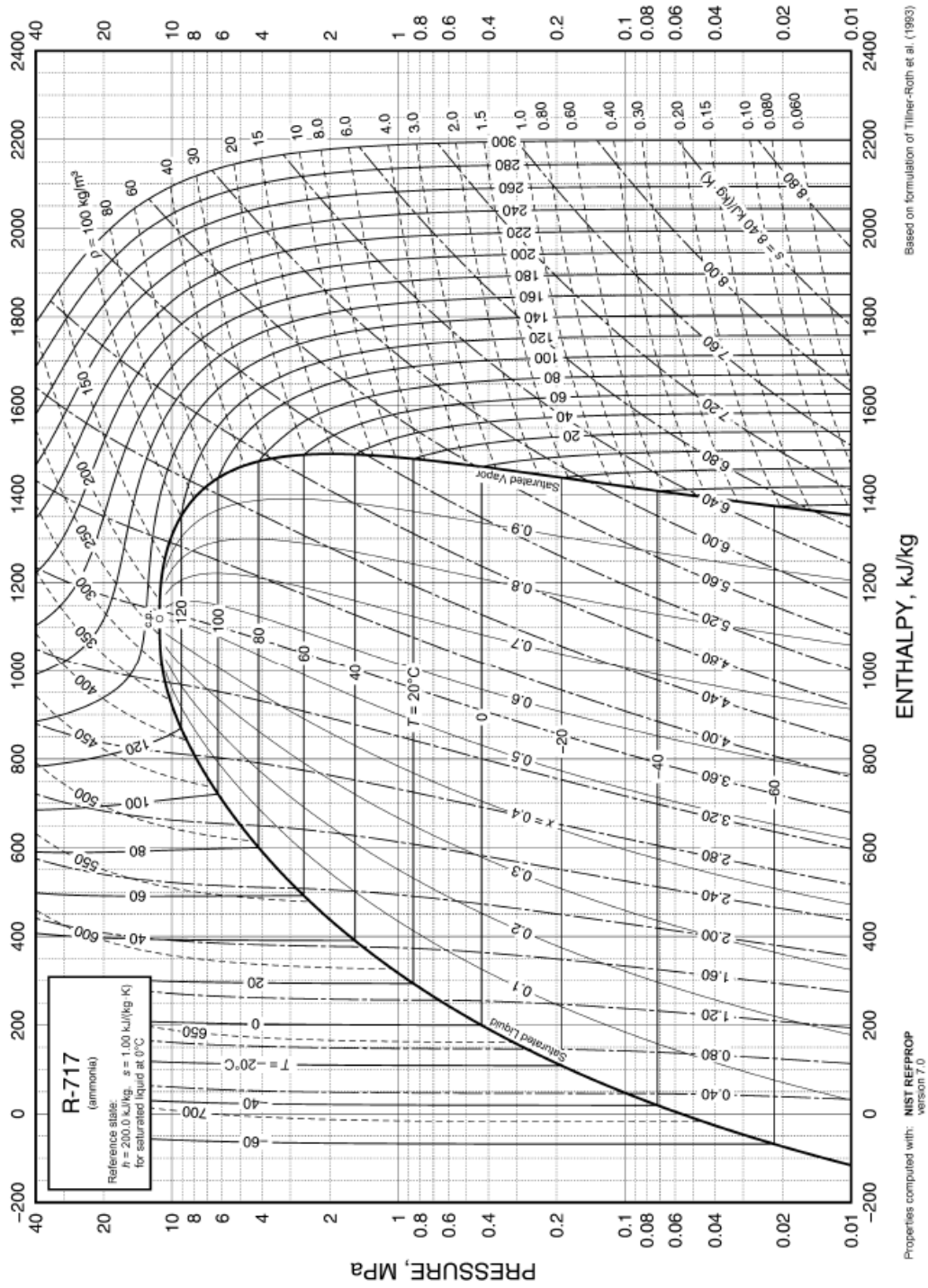


Fig. 16 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 717 (Ammonia)

المصطلحات الفنية

A	
Absorber	وعاء المص
Actual volume	الحجم الحقيقي
Air cooled condensers	مكثفات مبردة بالهواء
Air cooled evaporators	مبخرات تبريد الهواء
Air quantity	كمية الهواء
Antifreeze	مادة مضادة للتجمد
ASHRAE	الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء
B	
Bottom dead point	النقطة الميتة السفلى
Brine solution	محلول ملحي
By pass line	خط إمرار جانبي
C	
Centrifugal compressors	ضواغط طاردة مركزية
Centrifugal force	قوة الطرد المركزي
Compressor	ضاغط
Compressor power	قدرة الضاغط
Compressor work	شغل الضاغط
Condenser	مكثف
Constant	ثابت
Correction factor	معامل تصحيح
Crank shaft	عمود الإدارة
Cycle off	فترة التوقف
Cylinder	أسطوانة
D	
Direct drive	إدارة مباشرة
Double trunk	جذع مزدوج

Dry expansion evaporator	مبخر تمدد جاف
Dynamic compressors	ضواغط ديناميكية
E	
Electric defrosting	إزالة الصقيع كهربائياً
Evaporative condensers	مكثفات تبخيرية
Evaporator	مبخر
Expansion valve	صمام تمدد
F	
Face area	مساحة الوجه
Flash intercooler	مبرد وسيطي وميضي
Flexible coupling	تعشيقة مرنة
Flooded evaporator	مبخر مغمور
Fouling factor	معامل الاتساخ
Four way valve	صمام عاكس رباعي الاتجاهات
Frost	صقيع
G	
Generator	مولد حراري
Grooves	تجاويف
H	
Heater tape	شريط مسخن
Hermetic compressors	ضواغط محكمة الغلق
Hot gas defrosting	إزالة الصقيع بالغاز الساخن
I	
Impeller	دفاعة
In-line	خط واحد
Indirect drive	إدارة غير مباشرة
L	
Labyrinth	إحكام بين الدفاعات
Lobes	بروزات
Louvers	موجهات
M	
Muffler	كاتم صوت

O	
Open compressors	ضواغط مفتوحة
Overfeed evaporators	مبخرات ذات تغذية زائدة
P	
Piston	كباس
Piston rings	حلقات الكباس
Polytropic index	الأس البوليتروبي في الانضغاط والتمدد
Positive displacement compressors	ضواغط موجبة الإزاحة
Power	قدرة
Pump	مضخة
Pump down	الضخ التحتي
Purging	تنفيس
R	
Reciprocating compressors	ضواغط ترددية
Refrigerant mass flow rate	معدل التدفق الكتلي لوسيط التبريد
Refrigerating effect	تأثير تبريدي
Refrigeration capacity	سعة تبريدية
Refrigeration ton	طن تبريد
Relief valve	صمام تنفيس
Reverse cycle defrosting	إزالة الصقيع بالدورة المعكوسة
Rotary compressors	ضواغط دورانية
S	
Screw compressors	ضواغط لولبية
Scroll compressors	ضواغط حلزونية
Self-contained	قائم بذاته
Semi hermetic compressors	ضواغط شبه مغلقة
Shell and tubes condenser	مكثف غلاف وأنابيب
Single or double acting	أحادية أوثنائية التشغيل
Solenoid valve	صمام مغناطيسي
Stroke volume	حجم المشوار
Suction and discharge (delivery) valves	صمامات السحب والطرد

T	
Teperature difference	فرق درجات الحرارة
Top dead point	النقطة الميتة العليا
V	
Vane type rotary compressors	الضواغط ذات الريش المتعددة
W	
Water cooled condensers	مكثفات مبردة بالماء
Water defrosting	ازالة الصقيع بالماء الدافئ
Work done	الشغل المبذول

المراجع

أولا: المراجع الأجنبية:

1- Althouse, Turnquist & Bracciano, *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, G-W Publisher.

2- Arora S. C. & Domkundwar, *A Course in Refrigeration and Air Conditioning,* Dhanpat Rai & Sons, Delhi, India.

3- ASHRAE, *Volumes of Systems and Equipment*.

4- Roy J. Dossat, *Principles of Refrigeration*, Prentice Hall

5- Stoecker W. F. & Jones J. W. *Refrigeration and Air Conditioning*, Mc Graw-Hill International.

ثانيا: المراجع العربية:

1- أ.د. رمضان أحمد محمود - معدات التبريد الانضغاطي - الناشر منشأة معارف الإسكندرية، 1997.

2- أ.د. رمضان أحمد محمود - أنظمة التبريد - الناشر منشأة معارف الإسكندرية، 1989.

3- تأليف أ. ر. تروت - ترجمة أ.د محمد فوزي الرفاعي - د. عادل خليل حسن - التبريد والتكييف - الناشر دار ماكجروهيل للنشر- الدار الدولية للنشر والتوزيع، 1988.

4- أ.د. مصطفى محمد السيد وآخرون - هندسة التبريد وتكييف الهواء - مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، 1994.

5- أ.د. مصطفى محمد السيد - المعدات الأساسية لهندسة التبريد - دار الفكر العربي، القاهرة، 1993.

6- كارير Carrier.

المحتويات

مقدمة

تمهيد

الوحدة الأولى : أنظمة التبريد الانضغاطي المتعدد المراحل **1**

1- 1 أنظمة التبريد الانضغاطية متعددة المبخرات 2

1- 1- 1مبخرات متعددة عند نفس درجة الحرارة 2

1- 1- 1- 1 مبخرات متعددة عند نفس درجة الحرارة مع ضاغط واحد 2

1- 1- 1- 2 مبخرات متعددة عند نفس درجة الحرارة مع ضواغط متعددة 6

1- 1- 2 مبخرات متعددة عند درجات حرارة مختلفة 8

1- 1- 2- 1 مبخرات متعددة عند درجات حرارة مختلفة مع ضاغط واحد 8

1- 1- 2- 2 مبخرات متعددة عند درجات حرارة مختلفة مع ضواغط متعددة 13

1- 2 أنظمة التبريد الانضغاطية متعددة الضواغط 18

1- 2- 1 إزالة التحميص بين المراحل 18

1- 2- 2 التبريد الوميضي بين المراحل 20

1- 2- 3 التبريد الوميضي والتبريد البيني 26

امتحان ذاتي رقم 1 29

الوحدة الثانية : طرق إزالة الصقيع **30**

2- 1 الصقيع – أسباب تكونه وتأثيره 31

2- 2 خطوات إزالة الصقيع التقليدية 32

2- 2- 1 إزالة الصقيع كهربائياً 33

2- 2- 2 إزالة الصقيع بالغاز الساخن 34
2- 2- 3 إزالة الصقيع بالماء الدافئ 35
2- 2- 4 إزالة الصقيع بالدورة المعكوسة 36
2- 3 مقارنة بين طرق إزالة الصقيع 37
2- 4 كيفية الحد من تكون الصقيع 38
امتحان ذاتي رقم 2 39
الوحدة الثالثة : الضواغط **40**
3- 1 تصنيف الضواغط 41
3- 2 الضواغط الترددية 41
3- 2- 1 ضواغط محكمة الغلق 43
3- 2- 2 ضواغط شبه مغلقة 43
3- 2- 3 ضواغط مفتوحة 44
3- 2- 4 الأسطوانات 45
3- 2- 5 الكباسات 46
3- 2- 6 صمامات السحب والطرد 47
3- 2- 7 أداء الضواغط الترددية 48
3- 2- 7- 1 الكفاءة الحجمية للضواغط التردية 48
3- 2- 8 الانضغاط متعدد المراحل 51
3- 3 الضواغط الدورانية 52
3- 3- 1 الضواغط الدورانية ذات الريشة الواحدة 52
3- 3- 2 الضواغط ذات الريش المتعددة 54

3- 3- 3 الضواغط اللولبية 56
3- 4 الضواغط الحلزونية 59
3- 5 الضواغط الطاردة المركزية 61
3- 6 تزييت الضاغط 64
3- 6- 1 مواصفات الزيت 65
3- 7 تبريد الضاغط 66
امتحان ذاتي رقم 3 68
الوحدة الرابعة : المكثفات **69**
4- 1 أداء المكثفات 70
4- 1- 1 كمية (معدل السريان) وارتفاع درجة حرارة وسيط التكثيف 70
4- 2 أنواع المكثفات 72
4- 2- 1 المكثفات المبردة بالهواء 72
4- 2- 1- 1 مكثفات مبردة بالهواء مركبة على قاعدة مع الضاغط 74
4- 2- 1- 2 مكثفات مبردة بالهواء مركبة عن بعد من الضاغط 74
4- 2- 1- 3 سرعة الهواء 76
4- 2- 1- 4 اختيار المكثفات المبردة بالهواء 76
4- 2- 2 المكثفات المبردة بالمياه 76
4- 2- 2- 1 معامل الاتساخ 78
4- 2- 2- 2 أنواع المكثفات المبردة بالماء 79
4- 2- 2- 2- 1 مكثف أنبوبة داخل أنبوبة 79
4- 2- 2- 2- 2 مكثف غلاف وملف 80

4- 2- 2- 2- 3 مكثف غلاف وأنابيب 80
4- 2- 2- 3 اختيار المكثفات المائية 81
4- 2- 3 المكثفات التبخيرية 81
4- 2- 2- 3 تنفيس المكثف 83
امتحان ذاتي رقم 4 85
الوحدة الخامسة : المبخرات **80**
5- 1 طرق تغذية مائع التبريد للمبخرات 87
5- 1- 1 مبخر تمدد جاف 87
5- 1- 2 مبخر مغمور 88
5- 1- 3 مبخرات ذات تغذية زائدة 88
5- 2 مبخرات تبريد الهواء 89
5- 2- 1 مبخرات ذات أنابيب عارية 89
5- 2- 2 مبخرات على هيئة أسطح لوحية 90
5- 2- 3 مبخرات مجهزة بزعانف 91
5- 3 اختيار مبخرات تبريد الهواء 92
5- 4 مبخرات الحمل الحر 93
5- 5 مبخرات الحمل الجبري 94
5- 6 مبخرات تبريد السائل 95
5- 6- 1 مبرد ذو أنبوبتين 95
5- 6- 2 مبرد الخزان 95
5- 6- 3 مبرد غلاف وملف 96

5- 6- 4 مبرد غلاف وأنابيب 97

5- 6- 5 مبردات التمدد الجافة 97

5- 6- 6 المبردات المغمورة 99

5- 7 اختيار مبردات السوائل 101

امتحان ذاتي رقم5 104

الوحدة السادسة : التبريد بالامتصاص 105

6- 1 الدورة الأساسية للتبريد بالامتصاص 106

6- 2 التحليل الثرموديناميكي لدورة التبريد بالامتصاص 107

امتحان ذاتي رقم 6 109

ملحق الخرائط 110

المصطلحات الفنية 114

المراجع 117