

الحقية التدرسية

مادة تقنيات التبريد – المرحلة الثانية

قسم المكائن والمعدات- فرع التبريد

اعداد- الدكتور عادل عبد عزيز

الأسبوع الأول

وسائط التبريد Refrigerants ترقيمها وأستخداماتها

أية مادة لها القابلية على امتصاص الحرارة من أية مادة أخرى يمكن أن تستخدم كمائع تثليج *refrigerant* مثل الثلج أو الماء أو الهواء أو المحلول الملحي .

وحتى يكون المائع مناسباً للاستعمال في دورات التبريد يجب أن يكون ذو صفات طبيعية وكيميائية وحرارية مناسبة تجعل استخدامه اقتصادياً ومأموناً .

هناك أنواع مختلفة من موائع التثليج يمكن تصنيفها الى مجاميع منها :

1- الهيدروكاربونات *Hydrocarbons*

وهي موائع تتكون بنسب مختلفة من عنصري الهيدروجين والكربون والمستخدم منها كموائع تثليج هو الميثان والايثان والبروبان والبيوتان وتمتاز بأنها موائع شديدة الانفجار ومخدرة ومتوسطة السمية .

2- الهالوكاربونات *Halocarbons*

وهي موائع هايدروكاربونية مهلجنة تتكون أساساً من أحلال ذرة هيدروجين أو أكثر من ذرات الهيدروكربون في ذرات الكلور أو الفلور أو البروم (وهي من الهالوجينات) وتعتبر الهالوكاربونات موائع تامة الأمان وذات خواص حرارية جيدة .

3- الموائع اللاعضوية *Inorganic*

استخدمت هذه الموائع قبل الهالوكاربونات ولازال بعضها مستخدمة في الوقت الحاضر نظراً لخواصها الحرارية والفيزيائية الجيدة ومن أمثلتها الأمونيا NH_3 .

4- الموائع الأزيوتروبية *Azeotropes*

وهي موائع ناتجة من مزج مائعين هالوكاربونيين بنسب معينة وتكون ذات خواص مختلفة عن مكوناتها ولا يمكن تجزئتها الى مكوناتها بتغيير درجة الحرارة أو الضغط .

5-الموائع العضوية غير المشبعة وهي موائع أساسها هايدروكاربونات تعتمد في تركيبها على الأيثيلين والبروبيلين .

: : ترقيمها :

لتبسيط عملية التمييز بين موائع التتليج أعطيت أرقاماً محددة ، وتختلف هذه الأرقام وطريقة الترقيم حسب نوع المائع ومن هذه الطرق الطريقة التي ترقم بها الموائع الهالوكاربونية والتي يمكن تلخيصها بالآتي :

1- الرقم الأول من اليمين يمثل عدد ذرات الفلور (F) في التركيب الكيميائي للمائع .

2- الرقم الثاني يمثل عدد ذرات الهيدروجين (H) في التركيب الكيميائي مضافاً إليها واحد .

3- الرقم الثالث يمثل عدد ذرات الكربون (C) في التركيب الكيميائي مطروحا منها واحد .

4- لا يعطى رقم لعدد ذرات الكلور (Cl) .

5- في حالة وجود ذرات بروم (Br) في تركيب المائع يكتب الحرف (B) على يمين الرقم وبجانبه عدد الذرات .

6- الموائع المتشابهة في الصيغة الكيميائية وتختلف في التركيب الجزيئي تميز بكتابة الأحرف a, b, c بجانب رقم المائع .

مثال / ما رقم مائع التتليج الذي تركيبه الكيميائي $CBrF_3$:

1- عدد ذرات الفلور في المائع = 3

2- عدد ذرات الهيدروجين في المائع = 0

يضاف إليه واحد فيصبح العدد = 1

3- عدد ذرات الكربون في المائع = 1

يطرح منه واحد فيصبح العدد = 0 (يهمل)

4- عدد ذرات البروم في المائع = 1

أذن مائع التتليج هو $(R - 13 B_1)$

الأسبوع الثاني

المجموعة الأنضغاطية المثالية

Ideal – standard – vapor compression cycle

تتألف الدورات الانضغاطية المثالية بصورة عامة من أربع عمليات متعاقبة هي :

- 1- انضغاط أدياباتي عكسي لبخار جاف مشبع الى ضغط المكثف .
- 2- طرح حرارة عكسي بضغط ثابت يشمل إزالة التجميد ، والتكثيف .
- 3- تمدد أدياباتي غير عكسي بمحتوى حراري ثابت لسائل مشبع الى ضغط المبخر مائع التثليج .
- 4- استلام حرارة عكسي بضغط ثابت لتبخير السائل الى بخار مشبع .

بطبيعة الحال أن هناك أداة أو جهاز تتم فيه كل واحدة من هذه العمليات . فيقوم الضاغط (*compressor*) بعملية الانضغاط حيث يضغط بخارا مشبعا من ضغط واطى الى ضغط التكثيف ، ثم تطرح الحرارة في المكثف (*condenser*) ويتحول مائع التثليج من بخار محمص الى بخار مشبع ثم يتكثف الى سائل مشبع . ولا بد من تبريد المكثف بوسيط آخر غالبا ما يكون أما الهواء الخارجي أو الماء من مصدر الاسالة أو ماء يعاد تدويره في برج تبريد أو ماء نهر أو ما شابه . ثم يتمدد سائل التثليج المشبع في الجزء الثالث من الدورة الذي سيسمى حاليا صمام التمدد (*expansion valve*) ، وذلك لأن معظم أدوات التمدد في دورات التثليج الانضغاطية صمامات تمدد ولكن تستعمل الأنابيب الشعرية في الدورات الصغيرة جدا مثل الثلاجات المنزلية والمكيفات الجدارية بينما تستخدم الصفيحة المثقوبة (*orifice plate*) مع دورات التثليج بضاغط طارد مركزي ذات تدفق المائع الكبير جدا . وينخفض ضغط المائع في عملية التمدد من ضغط المكثف الى ضغط التبخير . كما أن درجة حرارته الكامنة للتبخير من بقية السائل مسببا بذلك خفض درجة حرارته لذلك تكون حالة المائع بعد عملية التمدد سائلا مع بعض البخار . ويسمى البخار الناتج في أثناء عملية التمدد غاز التذير (*flash gas*) .

يدخل بعد ذلك سائل التثليج وغاز التذيرير بضغط واطى الى المبخر حيث يسمى الضغط ضغط المبخر . ونظرا لهبوط الضغط يتبخر سائل التثليج ممتصا حرارته الكامنة للتبخر من المكان المثلج وبذلك نحصل على التثليج المطلوب من الدورة . ويتحول السائل بأجمعه في المبخر الى حالة بخار مشبع حيث يدخل الضاغط وتعاد الدورة مرة أخرى وهكذا .

ونلاحظ في دورة التثليج الانضغاطية أن هناك ضغطين مميزين في الدورة . الأول هو ضغط المكثف ويسمى نصف الدورة الذي يعمل تحت هذا الضغط بجانب الضغط العالي (*high pressure side*) . والثاني هو ضغط المبخر ويسمى نصف الدورة الذي يعمل تحت هذا الضغط بجانب الضغط الواطى (*low pressure side*) .

يمكننا استعمال دورة التثليج الانضغاطية المثالية للحصول على التدفئة بدلا من التثليج وذلك بالاستفادة من الحرارة المطروحة في المكثف واعتبارها الغاية من الدورة عوضا عن التثليج الحاصل في المبخر . وكالسابق تسمى الدورة حينئذ مضخة حرارية . ويعد أكثر الاستعمالات انتشارا للمضخة الحرارية في مكيفات الهواء التي تعمل على تبريد الهواء صيفا وتدفئته شتاء . ويتم ذلك بسهولة باستعمال صمام عاكس يعمل بمعية مفتاح كهربائي حيث يقوم هذا الصمام عند الطلب بعكس اتجاه تدفق مائع التثليج من مجراه الاعتيادي في دورة التبريد الى اتجاه معاكس للحصول على التدفئة . أذ يذهب البخار الساخن المضغوط الى المبخر بدلا من المكثف وينقلب عمل المبخر الى مكثف حيث يتحول البخار الى سائل ثم يجري عبر صمام التمديد الى المكثف الذي ينقلب عمله الى مبخر في المضخة الحرارية ، وهنا يحصل التثليج ثم تكتمل الدورة بعودة البخار الى الضاغط ويكفي مثل هذه الأجهزة الى تحويل زر تشغيل كهربائي لتنشيط الصمام العاكس وقلب الدورة من دورة تثليج الى مضخة حرارية .

الأسبوع الثالث

مقارنة المجموعة الأنضغاطية الفعلية بالنظرية

عند دراسة الدورة الأنضغاطية النظرية يظهر أن هناك عدة افتراضات قد استخدمت ولكن هنالك بعض الاختلافات عن الدورة الفعلية .

يكون سائل التثليج الخارج من المكثف في الدورة الفعلية بحالة سائل فائق التبريد بسبب تبريده في المكثف أو في الأنبوب الخارج منه وذلك لضمان خروج السائل بدون أي بخار من المكثف الى صمام التمدد .

كذلك يكون مائع التثليج الداخل الى الضاغطة في الدورة الفعلية بحالة بخار محمص نتيجة تحميصه في المبخر نفسه أو في خط السحب الواصل بين المبخر والضاغطة وذلك لضمان دخول مائع التثليج بهيئة بخار محمص الى الضاغطة لحمايتها من التلف نتيجة دخول المائع إليها بحالة سائل .

إضافة الى ما ذكر فإن هنالك هبوطا في الضغط خلال أنابيب المكثف والمبخر وكذلك أنابيب السحب والتصريف بسبب الاحتكاك بين المائع والسطح الداخلي للأنابيب مما يؤدي الى الحاجة المتزايدة لشغل إضافي يجب أن توفره الضاغطة وبالتالي انخفاض في أداء الدورة .

كذلك فإن عملية الانضغاط في الدورة الفعلية والتي تتم في الضاغطة ليست ثابتة الأنثروبي فعلا .

والقدرة المستهلكة خلال عملية الانضغاط أكبر من مثيلتها في الدورة النظرية وذلك بسبب الاحتكاك وانتقال الحرارة الذي يحدث بين البخار وجسم الضاغطة والمحيط الخارجي .

الأسبوع الرابع

Multicompression المراحل

هنالك منظومات تتلج متعددة الضغط (منظومة مركبة) تمتلك جهتين للضغط الواطئ أو أكثر تمثل جهة الضغط الواطئ ضغط مائع التثليج بين صمام التمديد وسحب الضاغطة .

تستخدم المنظومة المركبة للحصول على درجات حرارة واطئة جدا لا يمكن الحصول عليها من المنظومة المفردة بنفس الكفاءة والأداء .

تحتوي المنظومة المركبة على ضاغطتين تردديتين أو أكثر مربوطتين على التوالي تسمى أحدهما ضاغطة المرحلة الواطئة في حين تسمى الأخرى ضاغطة المرحلة العالية .

تخدم هذه الضاغطات مبخرا واحدا أو أكثر بدرجة حرارة متساوية أو مختلفة حسب التطبيق .

من التطبيقات العملية للدورات المركبة ما يستخدم من منظومات في مصانع الألبان إذ يستخدم فيها أحد المبخرات عند درجة حرارة (2° C) لتثليج الحليب في حين يستخدم المبخر الآخر عند درجة حرارة (-35 °C) لتصليد الثلجات .

هنالك عمليتان متمتان للمنظومة المركبة هما إزالة غاز التذيرير (*flash gas*) والتبريد البيني (*intercooling*) .

الأسبوع الخامس

التبريد البيئي في الانضغاط المتعدد *intercooling*

يتم توفير الطاقة المطلوبة في منظومة التثليج في حالة إزالة غاز التذيرير المتولد في عملية الخنق بين المكثف والمبخر و إعادة انضغاطه قبل أتمام عملية التمدد ويمكن أنجاز هذه العملية في خزان التذيرير حيث يتم تمدد السائل الخارج من المكثف جزئيا بواسطة صمام بعوامة .

بعد ذلك تتم عملية فصل السائل عن البخار بحيث يتم استمرار تمدد السائل في حين تتم عملية انضغاط البخار بدون تمدد إضافي.

أما عملية التبريد البيئي بين مرحلتين من الانضغاط تقلل من شغل الانضغاط لكل كغم من البخار وتتم باستخدام مبادل حراري مبرد بالماء أو باستخدام مائع التثليج.

المبرد البيئي الذي يستخدم الماء يمكن أن يعمل مع ضاغطات الهواء ذات المرحلتين غير أن الماء لا يكون باردا بدرجة كافية في حالة استخدام ضاغطات موائع التثليج لذلك تستخدم الطريقة الثانية التي تستعمل سائل التثليج الخارج من المكثف لعمل التبريد البيئي إذ يعمل البخار الخارج من ضاغطة المرحلة الواطئة فقاعات في سائل التثليج الموجود في المبرد البيئي ويخرج مائع التثليج من المبرد الوسطي الى ضاغطة المرحلة العالية بحالة بخار مشبع .

عند تتبع جريان مائع التثليج يمكن توضيح العمليات الآتية :

- 1- انضغاط بخار مائع التثليج في ضاغطة المرحلة الأولى ليخرج بحالة بخار محمص .
- 2- تبريد البخار المحمص بواسطة المبرد البيئي ليخرج بحالة بخار مشبع .
- 3- انضغاط البخار المشبع في ضاغطة المرحلة الثانية ليخرج محمصا .
- 4- تكثيف البخار المحمص في المكثف ليخرج سائلا مشبعا .
- 5- تمدد السائل المشبع خلال صمام العوامة .
- 6- تبريد السائل التثليج خلال صمام العوامة .

7- تمدد سائل التثليج خلال صمام التمدد ليخرج خليطا رطبا .

الأسبوع السادس

المنظومات ذوات المبخرات المتعددة

Multiple Evaporator Systems

في كثير من الحالات تستخدم ضاغطة واحدة لتشغيل مبخرين أو أكثر تعمل بدرجات حرارية مختلفة كما في التطبيقات الصناعية التي تحتاج لدرجات حرارة منخفضة وفي نفس الوقت تحتاج الى درجات حرارة معتدلة لتكييف الهواء .

كما يمكن تشغيل عدة مبخرات تعمل بدرجات حرارة متشابهة كما في تثليج المخازن المبردة أو المجمدة باستخدام ضاغطة واحدة حيث تسحب الضاغطة البخار من المبخرات وتضغطه الى مكثف واحد ليتحول الى سائل يتوزع بعد ذلك من خلال صمامات تمدد الى المبخرات المتشابهة بدرجة الحرارة . ليس من الضروري أن تكون سعة المبخرات متشابهة فقد تكون بنفس السعة أو بسعات مختلفة ألا أنها تمتلك درجة حرارة التبخر نفسها .

في المنظومات ذات المبخرات المتعددة والمختلفة في درجة حرارتها يركب صمام تقليل الضغط (*pressure reducing valve*) بعد مبخر درجة الحرارة المرتفعة لتنظيم ضغط البخار الخارج ليصبح بنفس ضغط البخار الناتج من مبخر درجة الحرارة الواطئة .

وفي هذه المنظومات يكون حاصل التثليج أكبر في مبخر درجة الحرارة المرتفعة منه في مبخر درجة الحرارة المنخفضة . وأن البخار الداخل الى الضاغطة يكون في حالة بخار محمص وعليه فأن الشغل اللازم للتشغيل يكون أكبر مما في مبخرات درجة الحرارة المتشابهة لنفس درجة حرارة التبخر الواطئة .

يكون البخار الداخل الى الضاغطة بحالة بخار محمص نظرا لكونه خليطا من البخار المشبع الذي يمثل البخار الخارج من المبخر ذي درجة الحرارة المنخفضة والبخار المحمص الناتج من مرور البخار المشبع الخارج من المبخر ذي درجة الحرارة المرتفعة خلال صمام تقليل الضغط حيث ينخفض ضغطه وتنخفض درجة حرارته في نفس الوقت ليصبح بخارا محمصا .

2- شغل صمام العوامة

1- حاصل التكثيف

3- درجة حرارة دخول صمام التمدد

الأسبوع الثامن

تطبيقات على المجموعات متعددة المبخرات

مثال // منظومة مفردة الضغط تستخدم (R-22) تحتوي على ثلاثة مبخرات بسعة (30-20-10 tons) على التوالي تعمل جميعها بدرجة حرارة (C -20°). يتبرد السائل الخارج من المكثف ذو الضغط (15 bar) بمقدار (C 10°). أحسب :

1- المعدل الكتلي للوسيط في كل مبخر 2- قدرة الضاغط

الحل // بعد رسم المنظومة على مخطط p-h نستخرج قيم المحتوى الحراري

$$h_1 = 369 \text{ kJ/kg} \quad h_2 = 445 \text{ kJ/kg} \quad h_3=h_4=234 \text{ kJ/kg}$$

$$q_e^* = q_{e1}^* + q_{e2}^* + q_{e3}^*$$

$$= 10 + 20 + 30 = 60 \text{ tons}$$

$$= 60 * 3.5 = 210 \text{ kw}$$

$$m^* = q_e^* / (h_1 - h_4) = 210 / (396 - 234) = 1.3 \text{ kg/s}$$

$$m_1^* = q_{e1}^* / (h_1 - h_4) = 10 * 3.5 / (396 - 234) = 0.22 \text{ kg/s}$$

$$m_2^* = q_{e2}^* / (h_1 - h_4) = 20 * 3.5 / (396 - 234) = 0.43 \text{ kg/s}$$

$$m_3^* = q_{e3}^* / (h_1 - h_4) = 0.65 \text{ kg/s}$$

$$m^* = m_1^* + m_2^* + m_3^* = 0.22 + 0.43 + 0.65 = 1.3 \text{ kg/s}$$

$$P = m^* (h_2 - h_1) = 1.3 (445 - 396) = 63.7 \text{ kw}$$

مثال // منظومة تثلج تستخدم وسيط (R-22) تحتوي ضاغطا بقدرة (40kw) يخدم مبخرين بدرجة حرارة (C -30°، C -3°) على التوالي. إذا علمت أن درجة حرارة

دخول الضاغطة ($5^{\circ}C$) ودرجة حرارة التكثيف ($50^{\circ}C$) . يدخل الوسيط المبخرين بنفس المعدل الزمني . أحسب :

1- حاصل التكثيف 2- سعة كل مبخر

الأسبوع التاسع

وحدة التكثيف Condensing unit

المكثفات هي أسطح للتبادل الحراري يتم فيها نقل الطاقة الحرارية من بخار مائع التثليج الساخن الى وسيط التكثيف (*condensing medium*) ليتحول الى سائل . أن طاقة البخار الداخل الى المكثف ناتجة من طاقة الانضغاط والطاقة الممتصة في داخل المبخر .

يمكن تقسيم عملية فقدان الطاقة من المكثف الى ثلاثة مراحل ،المرحلة الأولى هي ازالة التحميص (*de superheating*) ويتخلص فيها بخار مائع التثليج من طاقة التحميص وتتم في خط التصريف وبداية المكثف .

والمرحلة الثانية هي التكثيف ويتحول فيها بخار مائع التثليج المشبع الى سائل مشبع والمرحلة الثالثة هي التبريد لما دون السائل المشبع . ويلاحظ أن درجة حرارة وسيط التكثيف ترتفع نتيجة اكتسابه الطاقة الحرارية .

أن وسيط التكثيف المستخدم مع مكثفات منظومات التبريد هو الهواء أو الماء أو الاثنان معا وتبعاً لذلك يمكن تصنيف المكثفات الى : المكثفات المبردة بالهواء والمكثفات المبردة بالماء والمكثفات المبردة بالهواء والماء (التبخيرية) .

تتكون الحرارة التي يفقدها بخار مائع التثليج الى وسيط التكثيف من جزأين هما الحرارة التي أمتصها في المبخر وحرارة الانضغاط ،لذلك فإن الحمل الحراري للمكثف يزيد على حمل المبخر بمقدار يساوي حرارة الانضغاط .

يتوقف مقدار شغل (حرارة) الانضغاط لكل وحدة سعة تثليج على نسبة الانضغاط لذلك فإن الحمل الحراري على المكثف يتغير تبعاً لظروف تشغيل المنظومة لكل وحدة سعة من حمل المبخر .

في جميع المكثفات المبردة بالهواء والمبردة بالماء تسبب الحرارة المعطاة من مائع التثليج المتكثف ارتفاعاً في درجة حرارة وسيط التكثيف ولذلك فإن الارتفاع في

درجة حرارة وسيط التكتيف نتيجة لمروره في المكثف يتناسب طرديا مع حمل المكثف وعكسيا مع كمية وسيط التكتيف وحرارته النوعية .

أن سعة المكثف تعتمد على مساحة سطح المكثف وعلى الفرق في درجة الحرارة بين مائع التثليج المتكثف ووسيط التكتيف ،وفي حالة تحديد قيمة لمعامل انتقال

الحرارة الاجمالي . وكذلك تعتمد السعة على فرق درجات الحرارة بين مائع التثليج ووسيط التكتيف لأي مكثف ذي حجم وتصميم معينين لأن المساحة ومعامل انتقال الحرارة الاجمالي محددان في وقت التصنيع لذلك فأن سعة أي مكثف معين تزداد أو تنقص تبعا للزيادة أو النقصان في الفرق بين درجات الحرارة .

أغلب أنواع المكثفات ذات زعانف ويجب أن تكون المسافة بين هذه الزعانف مناسبة بحيث تصبح مقاومة الهواء على المكثف قليلة وكذلك تقلل تراكم الأوساخ عليها .

أن بعض أنواع مكثفات الحمل الطبيعي تكون معزولة عن أجزاء الدورة الأخرى ومركبة على سطح خارجي أو على الأرض وهي بذلك تعتمد على حركة الهواء الخارجي .

أما النوع الأخر من المكثفات فيتم إمرار الهواء عليها بواسطة مراوح وهي تقسم الى نوعين تبعا الى موضع المكثف . النوع الأول يكون مجمعا مع الضاغطة في ما يسمى ب(وحدة التكتيف *condensing unit*) . والنوع الثاني يكون معزولا عن وحدة التثليج .

الأسبوع العاشر

مبخرات مجموعة التبريد الانضغاطية

المبخر في منظومة التثليج عبارة عن مبادل حراري (*heat exchanger*) تنتقل الحرارة عن طريقه من المادة المبردة أو الثلجة الى مائع التثليج المغلي .

وبما أن الغرض من منظومة التثليج هو ازالة الحرارة من الهواء أو الماء أو بعض المواد الأخرى فإن هذا التخلص من الحرارة يتم بواسطة المبخر .

هنالك طرق عديدة لتصنيف المبخرات وبصورة عامة يوجد نوعان مختلفان من المبخرات هما المبخرات المطفحة (المغمورة بسائل التثليج *flooded evaporators*) والمستعملة اعتياديا لتثليج الماء ، ومبخرات التمدد الجاف (*dry evaporators*) التي تستعمل لتثليج الماء وتبريد الهواء .

كذلك تصنف المبخرات الى مبخرات حمل طبيعي ومبخرات حمل قسري اعتمادا على حركة المائع عبر سطح انتقال الحرارة فيما إذا كانت بصورة طبيعية بسبب الفرق في كثافة المائع أو بسبب استخدام مروحة أو مضخة .

تكون أنابيب المبخر عارية (بدون زعانف) أو تستخدم معها وسيلة لزيادة سطح انتقال الحرارة وهي أما السطح اللوحي أو الزعانف (*fins*) والمبخرات المزعفة هي أنابيب عارية ذات زعانف تعمل كأسطح إضافية لنقل الحرارة وبذلك تزداد مساحة سطح المبخر وتحسن كفاءته .

أن زيادة معدل انتقال الحرارة يعتمد على زيادة معامل انتقال الحرارة الاجمالي وعليه تصمم جميع المبخرات بحيث يكون هذا المعامل أكبر ما يمكن . وبالنظر لتمتع المعادن بموصلية حرارية جيدة فأنها تستعمل دائما في صناعة المبخرات .

ألا أن تفاعل بعض موائع التثليج مع بعض المعادن يحد من استخدامها . فالحديد والصلب والنحاس والألمنيوم هي المعادن المستخدمة دائما . ولا يتأثر الحديد والصلب بأي نوع من موائع التثليج غير أنهما يميلان للصدأ عند وجود كمية من

الماء في مائع الدورة . بينما يتأثر النحاس بالألمونيا و يتأثر الألمنيوم بمائع كلوريد المثل .

أن مقاومة المعدن المستخدم تكون غالبا صغيرة جدا وبذلك لا تعمل بصورة واضحة على أعاقه انتقال الحرارة من الوسط المبرد الى مائع التثليج ، خاصة عندما يكون المعدن المستخدم النحاس أو الألمنيوم لكونهما بموصلية حرارية جيدة .

وبذلك يعتمد معامل انتقال الحرارة الاجمالي للمبخر بصورة رئيسية على مواصلة الغشاء (*film conductance*) للسطحين الداخلي والخارجي . ونظرا لاختلاف أنواع المبخرات فإن معامل انتقال الحرارة الجمالي يتأثر بالعوامل التالية :

1- نوع المبخر والمعدن المستخدم في صناعته

2- مساحة السطح الداخلي الملامس لمائع التثليج

3- سرعة مائع التثليج داخل الملف

4- كمية الزيت الموجودة في المبخر والتي تخرج من الضاغطة مع مائع التثليج لتشكل طبقة رقيقة عازلة تغلف السطح الداخلي للأنايب

5- نوع المادة المبردة

6- طبيعة السطح الخارجي للمبخر

7- سرعة المائع المبرد

8- نسبة مساحة السطح الداخلي الى السطح الخارجي

تزداد عملية انتقال الحرارة بالتوصيل خلال السوائل أكثر منها الغازات . كما يزداد معدل امتصاص الحرارة بوساطة مائع التثليج مع زيادة السطح الداخلي المبلى للمبخر ولذلك تمتاز المبخرات المطفحة بفعالية أكبر من مبخرات التمديد الجاف إذ تكون مملوءة دائما بسائل التثليج ونفس الحالة تنطبق على السطح الخارجي للمبخر .

أن وجود الأوساخ أو التكلسات على السطح الداخلي أو الخارجي للمبخر يسبب تكون طبقة عازلة تقاوم عملية التبادل الحراري . كما أنتراكم الجليد على سطح الملف يؤدي الى انخفاض سعة المبخر .

في جميع المبخرات تتغير درجة حرارة مائع التثليج خلال جريانه داخل الأنايب أو بمعنى آخر يلاحظ وجود انحدار في درجة الحرارة باتجاه جريان مائع التثليج .

ويعتمد مقدار هذا الانحدار على طبيعة المائع المبرد وسرعته كما أن هناك انحدارا واضحا وهو طبيعة عمل المبخر في درجة حرارة المائع المبرد خلال مروره عبر ملف المبخر .

الأسبوع الحادي عشر

الضواغط الترددية Reciprocating compressors

تعتبر الضاغطات الترددية من أكثر أنواع الضاغطات استعمالا لأنها تستخدم في اغلب مجالات التثليج وهي متوفرة بسعات تتراوح بين جزء من طن التثليج الى نحو 150 طنا أو أكثر .

تمتاز الضواغط الترددية بمرونة عملها فهي ملائمة في منظومات التمدد المباشر packaged units direct expansion systems وفي الوحدات المجهزة dry expansion split units والوحدات المجزئة flooded systems وتطبيقات تثليج الماء ذات المبخرات المطفحة evaporators ومع تطور التصنيع أصبح بالإمكان إنتاج ضاغطات بأشكال و أحجام مختلفة و بسرعات عالية تصل الى 60 دورة بالثانية

تنقسم الضاغطات الترددية الى نوعين أساسيين هما الضاغطات ذات الفعل المفرد single – acting compressors التي يتم انضغاط البخار فيها على جانب واحد فقط من المكبس ومرة واحدة لكل دورة عمود المرفق وتعمل الضاغطات الحديثة على هذا الأساس

والنوع الثاني من الضاغطات هي ذات الفعل المزدوج double acting ويتم انضغاط البخار فيها على جانبي المكبس على التوالي بحيث يحدث الانضغاط مرتين لكل دورة لعمود المرفق

تدار الضاغطات الترددية بواسطة محرك كهربائي و تحول عضوه الدوار الى حركة ترددية عن طريق مجموعة نقل الحركة المؤلفة من المرفق و ذراع التوصيل الذي يصل بين المرفق و المكبس و يكون التركيب الميكانيكي الكلي داخل وعاء مغلق عديم التسرب يسمى علبة المرفق

تسمى الضاغطة من النوع المفتوح open type compressor عندما تمتد إحدى نهايتي عمود المرفق عبر علبة المرفق خلال مانع التسرب seal إذ تأخذ الحركة عن طريق بكرات متصلة مع المحرك بواسطة سيور belts من النوع v غالبا

بالنسبة للنوع المغلق hermetic type compressors في علبة مشتركة تصمم بعض هذه الضاغطات بحيث يكون المحرك أعلى الضاغطة والبعض الآخر يكون أسفلها وترتكز جميعها على نوابض لتقليل الاهتزازات أثناء العمل أن محرك الضاغطة معزول كهربائيا بحيث لا يتأثر ببخار مائع التثليج عند دخوله الضاغطة عن طريق خط السحب ويعمل هذا البخار على تبريد المحرك تستخدم الضاغطات المغلقة في الثلاجات و المجمدات و أجهزة تكييف الهواء المصممة و بعض الأجهزة التجارية

في الضاغطات الكبيرة يمكن إزالة رأس الأسطوانات و ألواح علبة المرفق لأجراء الصيانة للصمامات و المكابس وهذا النوع يسمى بالضاغطات نصف المغلقة semi hermetic compressors

أهم مزايا الضاغطات المغلقة هي التخلص من مانع التسرب و كذلك التخلص من مشاكل تأمين استقامة وصلات الربط و السيور موقعا

تكون الضاغطات الترددية ذات أسطوانة واحدة أو متعددة الأسطوانات ويصل عددها الى 16 اسطوانة أحيانا ترتب بشكل عمودي أو بشكل حرف V , W , Y , X

أو بشكل قطري . ميزة الترتيب العمودي أنه يحتاج الى صمام ذي لوح واحد بينما ميزة الترتيبات الأخرى أنها تعطي توازنا أحسن في الدوران و يمكن فيها ترتيب الأسطوانات بشكل متخالف بحيث يقل الطول الكلي للمكبس ويقل الحيز المشغول من قبل الضاغطة والمحرك

للضاغطة الترددية إزاحة وهي الحجم الذي يتم اجتيازه بواسطة المكبس داخل الأسطوانة في أي فترة زمنية محددة

الكفاءات الحجمية تعبر عن مدى امتلاء أسطوانات الضاغطة وهي الأساس للتنبؤ بأداء الضاغطة الترددية وهناك نوعان من الكفاءات الحجمية الأولى هي الكفاءة الحجمية الفعلية actual volumetric efficiency وتعرف بالعلاقة

الكفاءة الحجمية الفعلية = معدل حجم الجريان الداخل للضاغطة/معدل إزاحة الضاغطة

أما الكفاءة الحجمية الخلوصية clearance volumetric efficiency فتعتمد على إعادة تمدد الغاز المحصور في حجم الخلوص وتعرف بالعلاقة

الكفاءة الحجمية الخلوصية = حجم الغاز المسحوب / حجم الأسطوانة المحصور
بين نهاية شوط المكبس وحجم الخلوص

الأسبوع الثاني عشر

الضاغطات الدورانية Rotary compressors

الضاغطات الدورانية ماكينات ذات أزاحة موجبة مستخدمة في العديد من أجهزة التثليج و التكييف المنزلية وفي تطبيقات العمليات الكيميائية و الصناعية ويوجد نوعان من هذه الضاغطات هي :

1- نوع الريشة (الشفرة) الواحدة

2- نوع متعددة الريش

يتكون النوع الأول من اسطوانة داخلها دحروج اسطواني roller من الصلب يدور على عمود لا مركزي وينطبق محور العمود على محور الاسطوانة التي يدور داخلها الدحروج الاسطواني وبذلك يدور الدحروج لا مركزيا داخل الاسطوانة و يلامس سطح الاسطوانة الداخلي عند نقطة أدنى خلوص . و توجد فتحة في جدار الاسطوانة مثبت فيها ريشة blade يضغط عليها نابض بحيث تبقى الريشة متلامسة مع سطح الدحروج باستمرار وتتحرك الريشة الى الداخل والى الخارج اعتمادا على حركة الدحروج حول سطح الاسطوانة وبذلك تنفصل فتحة السحب عن فتحة التصريف الموجودتين أيضا في جدار الاسطوانة بوساطة نقطة تلامس الريشة مع الدحروج من جهة و نقطة تلامس الدحروج مع السطح الداخلي للأسطوانة من جهة أخرى

يمكن توضيح طريقة انضغاط البخار في الضاغط الدوراني بالاتي :

أ- أن الدحروج في حالة أنه يغطي فتحة التصريف فإنه لا يكون داخل الاسطوانة إلا بخارا ذا ضغط واطى و عندما يدور الدحروج فإنه يحصر كمية من البخار باتجاه فتحة التصريف بينما يسحب الغاز من خلال فتحة السحب في المنطقة المحصورة بين الريشة و منطقة تلامس الدحروج مع سطح الاسطوانة

ب- باستمرار دوران الدحروج يضغط البخار و يصرف من خلال فتحة التصريف بينما يستمر انسياب البخار ذي الضغط الواطئ من خلال خط السحب الى داخل الاسطوانة و هكذا يتم تصريف كل الغاز الموجود داخل الاسطوانة وتبدأ دورة انضغاط أخرى

تقلل نهايتنا الاسطوانة بوساطة لوحين و تكون مغمورة في حوض من الزيت في داخل غلاف الاسطوانة . وعندما تكون الضاغطة عاملة تتكون طبقة غشائية من

الزيت تعمل كمانع تسرب بين منطقة الضغط العالي و منطقة الضغط الواطئ داخل الاسطوانة و لكن عند توقف الضاغطة تتلاشى طبقة الزيت و يتعادل الضغطان العالي و الواطئ في الضاغطة و يجب تركيب صمام عدم إرجاع check valve في خط السحب أو خط التصريف لمنع بخار التصريف ذي الضغط العالي من الدخول الى الضاغطة و خط السحب ثم الى المبخر عند توقف الضاغطة

أما النوع الآخر من الضاغطات الدورانية ذوات الريش أو الشفرات المتعددة فيتكون من اسطوانة من الصلب داخلها عضو دوار rotor يحتوي على مجموعة من الريش مثبتة على مسافات متساوية من محيطه و هي تنزلق داخل شقوق في جسم العضو الدوار و تضغط الريش المركبة في داخل شقوق العضو الدوار بشدة على جدار الاسطوانة بفعل القوة الطاردة المركزية centrifugal force الناشئة عن دوران العضو الدوار

تحتوي الاسطوانة على فتحات خاصة لسحب البخار و تصريفه و تكون نهايتنا الاسطوانة مقفلتين بوساطة لوحين مغمورين داخل حوض من الزيت في داخل غلاف الضاغطة . تتم عملية انضغاط البخار داخل الاسطوانة عندما يدور العضو الدوار و يحصر بخار السحب بين زوج من الريش ثم يصرف البخار خلال فتحات في منطقة قريبة من أدنى خلوص بين العضو الدوار و الاسطوانة , كذلك يحتاج هذا النوع من الضواغط الدورانية الى صمام عدم إرجاع في خط السحب أو التصريف تمتاز الضاغطات الدورانية بنعومة انسياب البخار في التصريف و السحب و لذلك فهي أقل تعرضا للاهتزازات الميكانيكية من الضاغطات الترددية . ويسبب عدم وجود إعادة تمدد re - expansion للبخار ذي الضغط العالي الى جهة الضغط الواطئ فإن الكفاءة الحجمية لهذه الضاغطات جيدة و لهذا فإن الضاغطات الدورانية تعمل بصورة أفضل من الضاغطات الترددية عند ضغوط السحب الواطئة . كذلك تمتاز هذه الضاغطات عن الضاغطات الترددية المساوية لها بالمقاس بكبر الأراحة و لهذا تستخدم الضاغطات الدورانية الكبيرة متعددة الريش في الاستعمالات

الصناعية التي تحتاج الى درجات حرارة منخفضة و تستخدم الضاغطات الدورانية أيضا كضاغطات تعزيز booster compressors بالمرحلة الواطئة في منظومات التثليج ذات المراحل المتعددة

الأسبوع الثالث عشر

الضاغطات اللولبية Screw compressors

الضاغطات اللولبية هي أيضا ماكينات ذات أزاحة موجبة و تتكون أساسا من زوج من الأعضاء الدوارة الحلزونية الخاصة , و توجد في شكل ضاغطات مغلقة و ضاغطات مفتوحة و هي تستخدم غالبا في المنظومات الكبيرة التي تزيد سعتها عن 20 طن تثليج

أن العضوين الدوارين يختلفان في الشكل فأحدهما عضو دوار ذكر male rotor ذو نتوءات مستديرة و الآخر عضو دوار أنثوي female rotor ذو أخاديد , يدور العضو الدوار الذكر بوساطة محرك كهربائي و هو يحتوي على أربعة نتوءات بينما يدور العضو الدوار الأنثوي عن طريق العضو الدوار الذكر و هو يحتوي على تجاويف و تتم عملية تعشيق (تشابك) العضوين داخل غلاف الضاغطة الذي يحتوي على فتحتي دخول و خروج البخار .

بسبب وجود أربعة نتوءات في العضو الدوار الذكر و ستة تجاويف في العضو الدوار الأنثي فإن سرعة العضو الأول أكبر من سرعة دوران العضو الثاني .

نتيجة لعملية ضخ البخار المستمرة فإن هذه الضاغطات قليلة التعرض للاهتزازات عند اشتغالها

ولتوضيح دورة انضغاط البخار في هذه الضاغطات فإنه سيتم حصر الحالة لأخدود واحد و نتوء واحد في العضوين الدوارين و كما يأتي :

1- السحب : عندما يبدأ النتوء المستدير في العضو الدوار الذكر بفتح التعشيق مع أخدود العضو الدوار الأنثي سيحدث فراغ . كما أن البخار سيسحب خلال فتحة الدخول , و باستمرار دوران المحرك يزداد حجم تجويف الأخدود و يستمر دخول

البخار الى الضاغطة , و في النقطة التي يبدأ عندها التجويف يترك فتحة السحب يكون الطول الكلي لتجويف الأخدود ممتلئاً تماماً بالبخار .

2- الأنضغاط : عند استمرار الدوران يبدأ تعشيق نتوء مستدير آخر مع أخدود عند نهاية السحب , وبالتالي يضغط البخار و يتحرك بصورة لولبية باتجاه فتحة التصريف و بذلك يقل حجم البخار و يزداد ضغطه .

3- التصريف : عند استمرار الدوران يضخ البخار ذو الضغط العالي الى خارج

الضاغطة عن طريق فتحة التصريف عند حصول تعشيق آخر مع الأخدود .

عند انتهاء حالة تصريف البخار لا يبقى أي بخار في الأعضاء الدوارة . و بالنتيجة لا يوجد إعادة تمدد البخار مما يعطي كفاءة حجمية عالية .

أن الضاغطات الدورانية لا تحتوي على صمامات تصريف أو صمامات سحب .

يتم ضخ الزيت داخل الضاغطة في أثناء عملها . إذ تعمل طبقة الزيت المتكونة كمانع تسرب بين العضوين الدوارين و بين أسطوانة الضاغطة والعضوين الدوارين و تساعد أيضا على تبريد الضاغطة .

أن كفاءة هذه الضاغطات عالية و من الممكن أن تستخدم مع أغلب موائع التثليج الشائعة , وهي ملائمة للاستخدام في منظومات ذات ساعات كبيرة و درجات حرارة منخفضة كما في تطبيقات تجميد المواد الغذائية .

يتم التحكم في سعة الضاغطات اللولبية باستخدام صمام منزلق slide valve يركب داخل غلاف الضاغطة و يتحرك بصورة محورية . و في حالة الاشتغال عند الحمل الكامل يكون الصمام مغلقا , أما في حالة الحمل الأقل من ذلك فإن الصمام يفتح مكونا فجوة تعمل على تأخير الموقع الذي تبدأ به عملية الأنضغاط . و يمكن تخفيض السعة بهذه الطريقة الى %100 من السعة الكلية

الأسبوع الرابع عشر

ضاغطات الطرد المركزي Centrifugal compressors

تعتبر ضاغطات الطرد المركزي من الأنواع الشائعة الاستخدام حاليا في العديد من المنشآت الكبيرة .

وهي ماكينات أزاحة غير موجبة تستخدم في منظومات التثليج ذات السعات العالية و تكون بنوعين هما المغلق و المفتوح و يمثل النوع المغلق غالبية الضاغطات المستخدمة في الوقت الحاضر لأن سعتها تقع ضمن المدى الشائع بين 100 و 2000 طن تثليج

يقتصر استخدام ضاغطات الطرد المركزي بسبب حجمها و علوها الواطئ نسبيا في وحدات تثليج السائل و في المكائن ذات المراحل المتعددة التي تصل الى مدى يتراوح من (-50°C) الى (-100°C) و من الاستخدامات الواسعة لهذه الضاغطة أيضا هو تثليج الماء الى درجة حرارة (6°C) أو (8°C) في منظومات تكييف الهواء

تتكون ضاغطة الطرد المركزي أساسا من سلسلة من الدفاعات impellers مركبة على عمود من الصلب داخل غلاف الضاغطة و يعتمد عدد الدفاعات على مقدار العلو المطلوب و يمكن أن يصل عددها الى 12 دفاعة

تتكون الدفاعة من قرصين مركب بينهما عدد من الريش في اتجاه قطري

تمتاز ضاغطات الطرد المركزي بسرعات عالية تتراوح بين 2000 - 3600 دورة بالدقيقة و نظرا لسرعة دورانها العالية يمكن ضغط أحجام كبيرة من البخار في ضاغطات صغيرة نسبيا , أنسب استخدام لهذه الضاغطات هو مع موائع التثليج ذات الضغط المنخفض التي تحتاج الى أزاحة كبيرة عند نسب انضغاط متوسطة .

موانع التثليج الشائعة الاستخدام بضغوطات الطرد المركزي هي , R113 , R114 و R11 وهي موانع تثليج واطئة الضغط بحيث أن في بعض الظروف يتولد الفراغ في جانبي التبخير و التكثيف من ماكينة التثليج بسبب السرعات الدورانية غير العالية لكن مع تطور تصنيع هذه الضاغطات أمكن الحصول على سرعات عالية جدا , وتعني هذه السعة العالية ارتفاع علو الأنضغاط مما يجعل مائع التثليج 12 ممكن الاستعمال

تشبه أسس تشغيل ضاغطة الطرد المركزي أسس تشغيل مروحة أو مضخة الطرد

المركزي إذ يتم سحب البخار ذي الضغط الواطئ من المبخر عن طريق خط السحب خلال تجويف الدخول في الدفاعة الدوارة ثم يصرف الى الخارج في الاتجاه القطري فيما بين ريش الدفاعة بفعل القوة الطاردة المركزية عن دوران الدفاعة ثم يصرف البخار من أطراف الريش ويعمل الغلاف الحلزوني للدفاعة على تحويل ضغط السرعة للبخار الخارج من الدفاعة الى ضغط سكوني بأعلى ما يمكن من كفاءة وبهذا تزداد سرعة البخار و يرتفع ضغطه و درجة حرارته .

ينتج عن الطرد المركزي للبخار زيادة في الضغط وهذه الزيادة تمثل مجموع الزيادة في الضغط السكوني و الزيادة في ضغط السرعة التي تنتج عن سرعة البخار في أثناء مروره من تجويف الدخول الى الدفاعة الى محيطه ويتم الحصول على علو الضغط المطلوب بتحريك الدفاعة بسرعة كافية لإعطاء السرعة الطرفية المطلوبة أو باستعمال ضاغطة متعددة المراحل .

في ضاغطات الطرد المركزي ذات المرحلة الواحدة يمرر البخار ذو الضغط العالي و السرعة العالية الخارج من الدفاعة الى غرفة التصريف ثم خلال خط التصريف الى المكثف و يقتصر استخدام هذه الضاغطات على حالات قليلة أما في الضاغطات ذات الدفاعات المتعددة فيجمع البخار الخارج من دفاعة المرحلة الأولى و تقلل سرعته ويوجه بوساطة ممر في غلاف الضاغطة الى مدخل دفاعة المرحلة الثانية ويضغط الى ضغط أعلى وهكذا تتم هذه العملية حسب عدد الدفاعات ثم يصرف البخار الى المكثف .

تحتاج ضاغطات الطرد المركزي التي تعمل بمرحلتين أو أكثر الى ازالة غاز التذيرير ويتم هذا بالتمدد الجزئي للسائل الخارج من المكثف وفصل غاز التذيرير و إعادة انضغاطه بدلا من الخفض الإضافي لضغطه وتتم هذه العملية في المبرد الوسطي intercooler الذي يعمل على زيادة حاصل التثليج لكل كيلوغرام من مائع التثليج ويقلل من غاز التذيرير في المبخر

الأسبوع السادس عشر

المبادلات الحرارية Heat Exchangers

المبادل الحراري هو وسيلة أو جهاز يتم عن طريقه التبادل الحراري بين الموائع بحيث تنتقل الحرارة من المائع الساخن الى المائع البارد وانتقال الحرارة يتم من خلال جدران أنابيب المبادل بحيث تكون الموائع منفصلة عن بعضها فيسمى حينئذ المبادل الحراري بالمبادل الحراري المغلق أما إذا انتقلت الحرارة مباشرة بين الموائع بحيث تكون الموائع مختلطة فيسمى حينئذ المبادل الحراري بالمبادل الحراري المفتوح

أفترض أن تبادل الحرارة بين مائعين يتم بحيث تظل درجة حرارة كلا من المائعين ثابتة و لكن بشكل عام تتغير درجة الحرارة في اتجاه سريان المائع

و لكن ما هو متوسط فرق درجات الحرارة الذي يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار؟

يستعمل للمائع الساخن الرمزين (a', b') و للمائع البارد (a, b)

تقسم المبادلات الحرارية الى خمسة أنواع :

1- النوع الأول : في هذا النوع يعطي المائع ذو درجة الحرارة المرتفعة الحرارة الى مائع بدرجة حرارة منخفضة و هذا الأخير تزداد درجة حرارته باتجاه انسيابه

وكمثال على هذا النوع هو مكثف البخار (steam condenser) علما بأنه في هذا النوع من المبادلات يمكن للمائع الساخن أن يكون ثابتا أو متحركا

2- النوع الثاني : في هذا النوع يستقبل المائع ذو درجة الحرارة الثابتة الحرارة من مائع آخر ذو درجة حرارة مرتفعة وهذا الأخير تتناقص درجة حرارته باتجاه انسيابه . و المائع البارد ذو درجة الحرارة الثابتة قد يكون ثابتا أو متحركا في أي

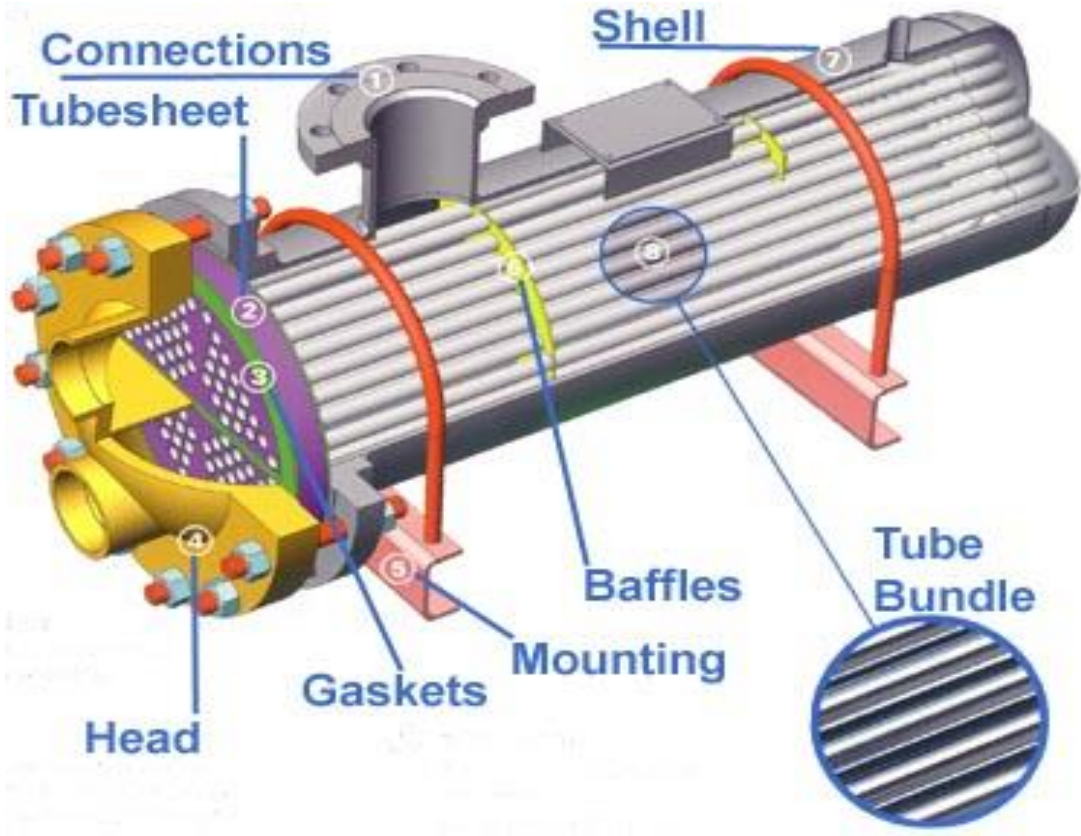
اتجاه و مثال لهذا النوع من المبادلات الحرارية هو المرجل البخاري (steam boiler) حيث يكتسب المائع المشبع الحرارة الكامنة ليصبح بخار مشبع عند نفس الدرجة الحرارية وأما الغازات الساخنة المتصاعدة فتقل درجة حرارتها باتجاه انسيابها

3- النوع الثالث : المبادلات الحرارية ذات الانسياب المتوازي (parallel – flow heat exchangers) حيث ينساب كلا المائعين بنفس الاتجاه وكلا منهما تتغير درجة حرارته باتجاه سريانه

ومن أمثلة هذا النوع كثيرا من الأجهزة مثل مسخنات المياه (water heaters) و مسخنات الزيت (oil heaters and coolers)

4- النوع الرابع (ذات الانسياب المتعاكس counter– flow heat exchangers) في هذا النوع من المبادلات ينساب المائعان في اتجاهين متضادين و هذا النوع يعتبر من أكفأ أنواع المسخنات و المبردات

5- النوع الخامس : المبادلات ذات الانسياب المائل cross – flow h. e. في هذا النوع من المبادلات ينساب أحد المائعين بزواوية ما تميل على اتجاه انسياب المائع الأخر



الأسبوع السابع عشر

منظومة التثليج الامتصاصية الأساسية

أفترض إدخال كمية من سائل التثليج في وعاء مفرغ مسبقاً وأن جدران الوعاء محفوظة بدرجة حرارة ثابتة ، سيتبخّر السائل في الحال ويمتص في هذه العملية حرارة تبخره الكامنة من جدران الوعاء مسببة تثليجه ، ولكن سرعان ما يبدأ الضغط داخل الوعاء بالارتفاع مع استمرار تبخر السائل الى أن يصل ضغط التشبع المناظر لدرجة الحرارة المفروضة .

لن يستمر بعد ذلك تثليج جدران الوعاء بأدخال كميات إضافية من سائل التثليج ومن أجل ذلك لا بد من توفير وسيلة لإزالة بخار مائع التثليج من هذا الوعاء وقد تم ذلك بواسطة الضاغط في دورة التثليج الانضغاطية .

ويمكن الحصول على نتيجة مماثلة بربط المبخر بوعاء آخر يحتوي على مادة لها القابلية على امتصاص بخار مائع التثليج . فإذا كان مائع التثليج الماء فأن ملحا مثل بروميد الليثيوم له قابلية امتصاص بخار الماء ، فإذا وضعت هذه المادة في وعاء آخر مربوطة بالمبخر يسمى وعاء الامتصاص (*absorber*) فأنها ستمتص بخار

الماء وتسحبه من المبخر وتسمى المادة التي تمتص بخار مائع التثليج المادة الماصة (absorbent) . وللحصول على دورة مغلقة لكل من مائع التثليج والمادة الماصة لابد أن تكون الخطوة التالية تحرير مائع التثليج الممتص بضغط ملائم ومن ثم تحويله الى سائل في المكثف لاحقا . وهذه العملية تتم في المولد(generator) حيث يتم تسليط الحرارة على محلول المادة الماصة ومائع التثليج ويتحرر مائع التثليج من المحلول بخارا .

يقوم وعاء الامتصاص والمولد معا في هذه المنظومة مقام الضاغط في الدورة الانضغاطية .

يتضح مما تقدم أن أهم ميزة للتثليج الامتصاصي هي عدم حاجته إلا على القليل جدا من الشغل الميكانيكي لتدوير المضخة وليس هناك حاجة لاستخدام ضاغط وبدلا من الشغل الميكانيكي الكبير تحتاج الدورات الامتصاصية الى تجهيزها بطاقة حرارية في المولد ويمكن أن تأتي من بخار ماء عادم بعد استخدامه أو من مسخنات كهربائية أو حرق وقود كما يمكن الاستفادة من الحرارة الناتجة من المجمعات الشمسية ومن المحطات الصناعية والكيميائية في تشغيل هذه المنظومات .

وحدة التثليج الامتصاصية تتألف من أربعة أجزاء رئيسية هي المبخر ووعاء الامتصاص في جانب الضغط المنخفض ، والمولد والمكثف في جانب الضغط المرتفع .

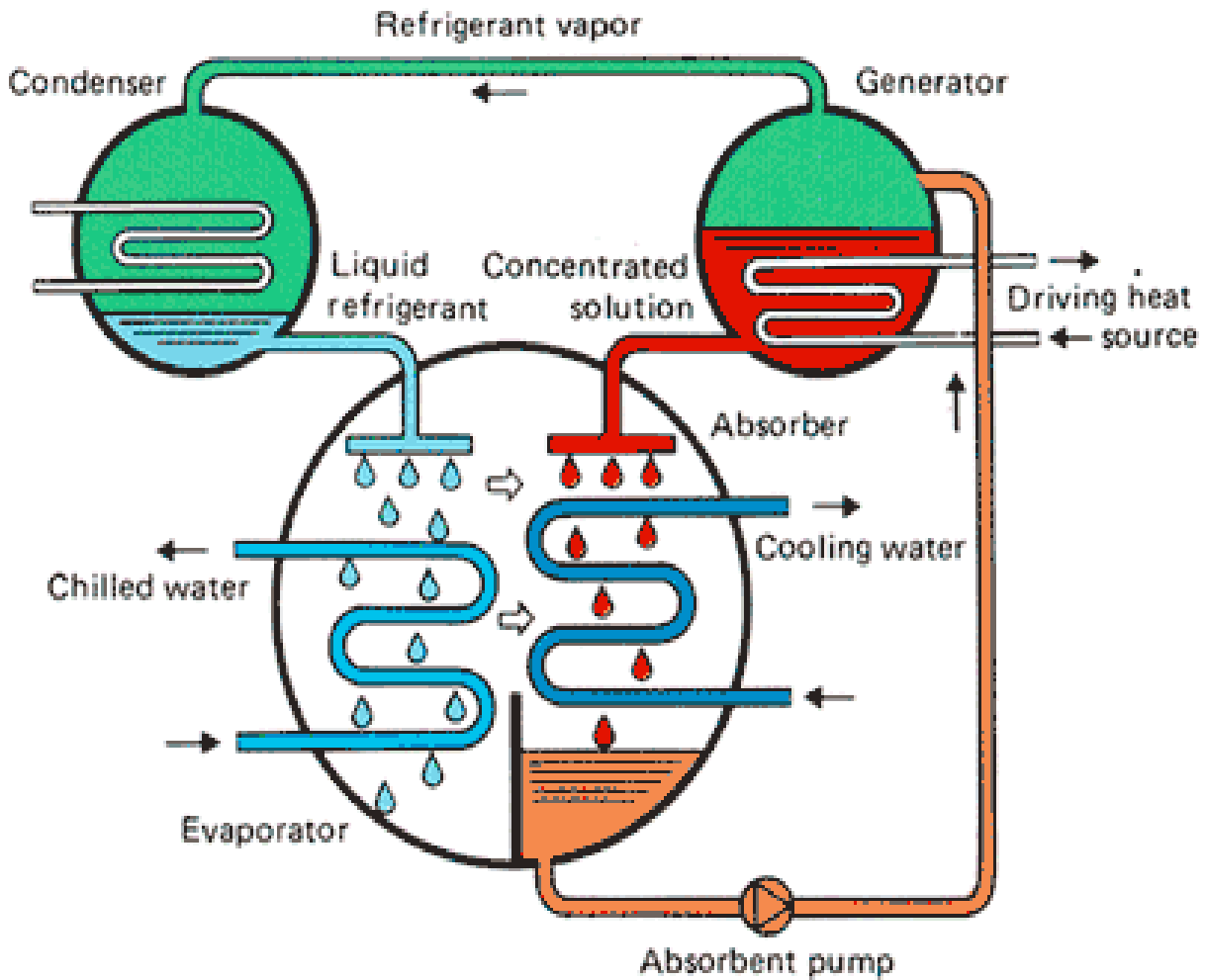
وتتضمن المنظومة مائعين عاملين مائع التثليج ومائع الامتصاص (absorbent)

تتم دورة مائع التثليج من المكثف الى المبخر ثم الى وعاء الامتصاص والمولد بشكل محلول مع المادة الماصة ثم يرجع مرة أخرى الى المكثف بينما تدور المادة الماصة بشكل محلول مع مائع التثليج بين وعاء الامتصاص والمولد .

هنالك حاجة لماء التبريد في منظومة التثليج الامتصاصية في كل من وعاء الامتصاص والمكثف إذ تتولد طاقة حرارية في وعاء الامتصاص عندما تمتص المادة الماصة مائع التثليج وهذه الحرارة تمثل الطاقة الكامنة لتكثيف مائع التثليج وحرارة التفاعل بين المادة الماصة وبخار مائع التثليج ، ويبرد هذا المحلول لزيادة قابلية المادة الماصة على الامتصاص . أما في المكثف فيستخدم الماء لتكثيف بخار مائع التثليج الساخن الخارج من المولد وتتم عملية التبريد بأمرار الماء في وعاء الامتصاص أولا ومن ثم في المكثف .

يمكن زيادة كفاءة الدورة باستعمال مبادل حراري بين المحلول الفقير الساخن والراجع من المولد والمحلول الغني الذي يسخن من وعاء الامتصاص وبذلك يبرد المحلول الفقير ويسخن المحلول الغني .

يمكن كذلك وضع كل من المبخر ووعاء الامتصاص وهما بضغط ودرجة حرارة واطنين داخل وعاء واحد وكذلك المولد والمكثف وهما بضغط ودرجة حرارة مرتفعتين داخل وعاء آخر . وتشكل هذه الحالة تصميميا اقتصاديا وكذلك يمكن بواسطته التخلص من التحديد في كمية البخار المنتقل بحجوم الأنابيب التي توصل بين المبخر ووعاء الامتصاص وبين المولد والمكثف .



الأسبوع الثامن عشر

المجموعة الامتصاصية (بروميد الليثيوم-الماء) - (الأمونيا-الماء)

أولا- دورة بروميد الليثيوم- الماء الامتصاصية

مائع التثليج في هذه الدورة هو الماء والمادة الماصة هي ملح بروميد الليثيوم .
ولكون الماء مائع التثليج تنحصر استعمالات هذه الدورة على درجات حرارة في
المبخر أعلى من الصفر المئوي وتستعمل غالبا لتثليج الماء لأغراض تكييف الهواء
وتصنع مثل هذه الأجهزة بقدرات من طن تثليج الى أكثر من ألف طن تثليج وتعمل
غالبيتها على البخار مصدرا حراريا

يتحرر بخار الماء من المحلول في المولد بتسخينه حيث يجري البخار الى المكثف
المبرد حيث يتكثف بخار الماء الى سائل ، وتعمل أداة التمدد التي تكون على شكل
منفتحات رش على خفض الضغط . وفي المبخر يتبخر جزء من الماء مقللا بذلك
درجة حرارة بقية الماء .

ويسري بخار الماء الى وعاء الامتصاص حيث يمتصه محلول بروميد الليثيوم
مزيدا تركيز الماء في المحلول حيث يضخ هذا المحلول المركز الغني بمائع التثليج
الى المولد حيث يتم تسخينه ويتبخر جزء من الماء ذاهبا الى المكثف وتاركا وراءه
محلولاً مخففا فقيرا من مائع التثليج .

بما أن مائع التثليج هو الماء و لإدامة درجة حرارة واطئة في المبخر بحدود (4-6) مئوية لا بد أن يكون الضغط واطئاً جداً لذا يجب تجهيز هذه الدورة بوحدة طرد الهواء الذي قد يدخل المنظومة ويرفع ضغطها علماً أن المبخر والمكثف كلاهما بضغط أوطأ من الضغط الجوي .

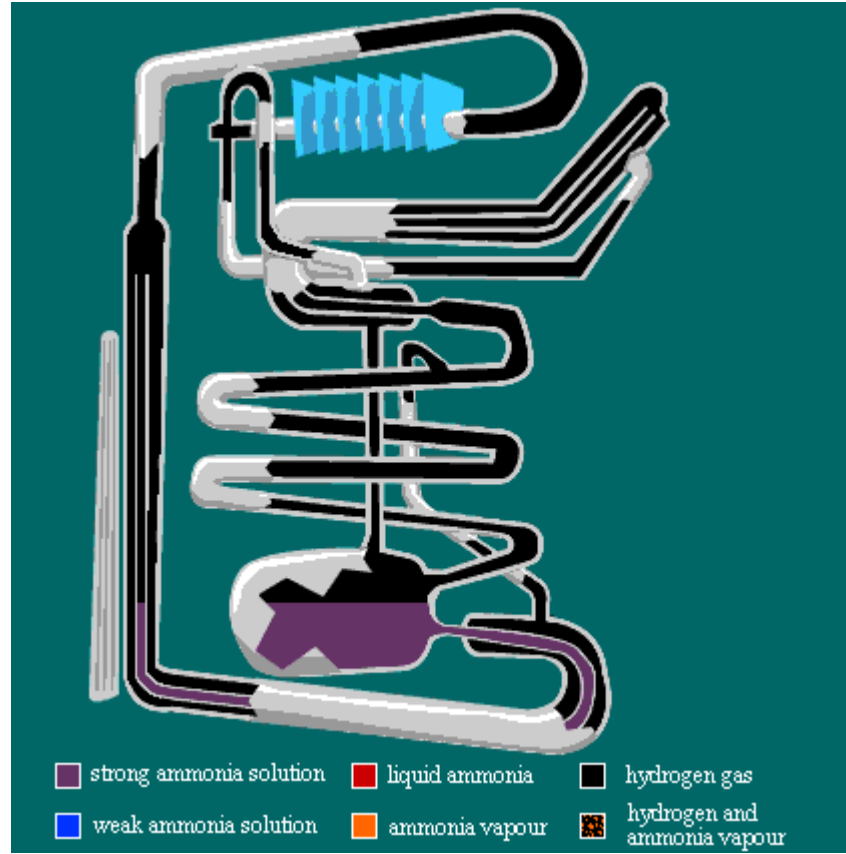
ثانياً – دورة الماء- الأمونيا الامتصاصية

ظهرت هذه الدورة قبل دورة الماء- بروميد- الليثيوم بكثير وتماتل الأجزاء الأربعة الرئيسية في هذه المنظومة (المكثف والمبخر والمولد ووعاء الامتصاص) ما ذكر في المنظومة السابقة ألا أن هنالك بعض الاضافات الضرورية التي تجعل عملها أكثر كفاءة .

أن الأمونيا هي مائع التثليج في هذه المنظومة والماء هو المادة الماصة ولذلك فإن درجات الحرارة المتحصلة في المبخر يمكن أن تكون دون الصفر المئوي وتستعمل المنظومة غالباً في التطبيقات الصناعية الكبيرة .

بسبب تبخر بعض الماء مع الأمونيا في المولد يضاف جزءان متممان للمنظومة وهما المحلل (*analyzer*) والمكرر (*rectifier*) اللذان يعملان على تجفيف بخار الأمونيا من بخار الماء وذلك بتكثيف الأخير .

تعمل منظومة الماء- الأمونيا الامتصاصية بضغط أعلى من الضغط الجوي و بحدود (10-12) بار ضغط مكثف . و (2-2.5) بار ضغط مبخر .



الأسبوع التاسع عشر

منظومة نفث البخار Steam jet refrigeration

اشتهرت هذه المنظومة في مطلع ثلاثينات القرن العشرين و استخدمت لتكييف هواء المباني الكبيرة . وبعد ظهور ضاغط الطرد المركزي والمنظومات الامتصاصية جعل استخدامها ينحسر تدريجيا .

الماء هو مائع التثليج هنا وتبخره يؤدي الى حصول فعل التثليج حيث يتبخر رذاذ من الماء في المبخر مسببا هبوطا في درجة الحرارة لبقية السائل في قعر المبخر.

وبالطبع لا بد من ازالة بخار الماء من المبخر بوسيلة ما لضمان استمرار العملية .
ولا ينفذ هنا الضاغط الترددي لضخامة معدل التدفق الحجمي لبخار الماء ولكن
بأمكان نفث البخار ضخ الكمية الكبيرة من بخار الماء وبدون أي تلوث ما دام
البخار الحركي ومائع التثليج من نفس المادة .

يعمل نفث البخار بالأسلوب التالي :

يجهز البخار الدافع الى النفث الرئيسي بضغط (6-10) ضغط مقياس وبسبب شكل
النفث فأن البخار يخرج منه بسرعة أعلى من سرعة الصوت ويمر هذا البخار
السريع جدا في ضائقة – منفرجة ساحبا معه بخار الماء من المبخر ويسمى المبخر
كذلك في هذه الحالة (حجرة التريذ) وذلك لأن الماء يترذذ بفعل منفثات رش
المبخر ويتطاير الرذاذ الى أعلى مسحوبا ببخار النفث الرئيسي .

وتقوم المنفرجة بتحويل جزء من طاقة البخار الحركية الى محتوى حراري مسببة
بذلك زيادة ضغط البخار الى ضغط المكثف .

يتكثف بخار ماء النفث الرئيسي وبخار الماء المسحوب من المبخر في المكثف معا
بدرجة حرارة بحدود (38° C) حيث يكون مبردا بالماء القادم من برج تبريد أو من
مصدر آخر مثل نهر قريب أو ما شابه .

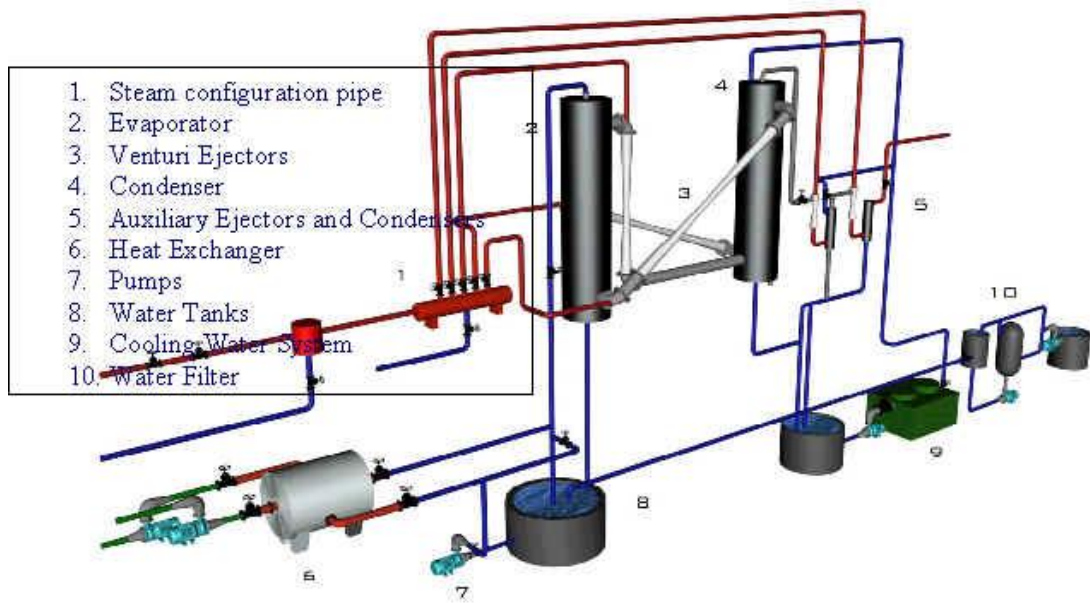
يقوم نفث البخار الرئيسي والضائقة المنفرجة بعمل الضاغط في الدورة
الانضغاطية ويعمل المولد ووعاء الامتصاص في الدورة الامتصاصية .

من الملحقات الضرورية لهذه الدورة هي وحدة طرد الهواء (*air ejector*) حيث

تقوم بطرد هواء المنظومة المتواجد فيها أساسا إضافة الى ما قد يتسرب الى داخلها
أثناء عملها عند وجود تسرب في أجزاء المنظومة .

تكون كلفة تشغيل منظومة تثليج نفث البخار قليلة عند توفر البخار بكلفة قليلة
وكذلك كلفة أدامة هذه المنظومة قليلة لخلوها من الأجزاء المتحركة عدا مضختين .

من مساوئ هذه المنظومة هي عدم إمكانية استخدامها لدرجات حرارة دون الصفر
المئوي وأن الحرارة المطروحة في المكثف فيها لكل كيلو واط تعادل ضعف
الحرارة المطروحة في مكثف الدورة الانضغاطية .



الأسبوع العشريون

مجموعة التبريد بالهواء

تستخدم هذه المجموعة لتبريد الطائرات حيث أن هناك أحمالا حرارية يجب التخلص منها ناتجة من حرارة أشعة الشمس الساقطة على بدن الطائرة وأحمال الأنارة والأجهزة داخل الطائرة والحرارة الناتجة من الركاب وكذلك الهواء الذي يجب ضغطه لزيادة الضغط داخل الطائرة وجعله مقاربا للضغط الجوي عند سطح البحر فإنه يسخن نتيجة عملية الأنضغاط .

أضافة الى أن اختراق الطائرة للهواء بسرعة عالية يزيد من سخونة بدن الطائرة وبصورة عامة يمكن أن يكون حمل التبريد لطائرة ركاب متوسطة الحجم ذات سرعة واطئة بحدود (10) طن تتليج أو أكثر .

عند دخول الهواء الخارجي في الدورة البسيطة المفتوحة يمر عبر ضاغط لضغطه ثم يمر على مبادل حراري لتبريده ويبرد المبادل الحراري بتيار الهواء الخارجي ثم يدخل الهواء المضغوط المبرد على توربين حيث يتمدد الى ضغط مماثل لضغط الهواء داخل الطائرة ويصاحب عملية التمدد انخفاض درجة حرارة الهواء . أما الشغل الناتج من التوربين فيستخدم لتدوير مروحة لسحب الهواء الخارجي البارد وإمراره على المبادل الحراري لتبريده .

توسع استخدام هذه المنظومة خاصة مع تطور طرق تصنيع الضاغطات الطاردة المركزية والتربينات الغازية لأنها أصبحت بوزن وحجم مناسبين لأنتاج معدلات جريان كبيرة من الهواء .

تعمل هذه المنظومات بضغط أعلى من الضغط الجوي كما يتم التخلص فيها من الرطوبة بفعالية كبيرة .

أن ما يجعل دورة الهواء المفتوحة ملائمة لتكييف هواء الطائرات هو أن مائع التثليج هو الهواء والذي لا يسبب أي تلوث خارجي وأن وزن دورة الهواء لقدرة ما أقل من وزن دورة تثليج انضغاطية لنفس القدرة مع ملاحظة أن كفاءتها أقل .

الأسبوع الحادي والعشرون

دورة الهواء الحقيقية / أنواع المنظومات

في الدورة النظرية تكون عمليتا الأنضغاط والتمدد ثابتتي الأنتروبي وأن انتقال الحرارة من وإلى الدورة يكون بضغط ثابت ، ولكن في الدورة الحقيقية تكون الاجراءات تلك خلاف ذلك تماما إذ لا بد من وجود خسائر ميكانيكية في الضاغط وكذلك في ماكينة التمدد مما يجعل الشغل المصروف فيها عدة أضعاف الشغل المصروف في دورة انضغاطية بحاصل التثليج نفسه .

هنالك ثلاثة أنواع من دورات الهواء المفتوحة هي (الدورة البسيطة) و (دورة بوت – ستراب) و (دورة الاسترجاع) . وتعد الدورتين الأولى والثانية وخاصة الثانية

أكثر الدورات استعمالاً بينما تستعمل الدورة الثالثة عندما لا يكفي تبريد الدورة البسيطة .

1- دورة الهواء البسيطة

(تم شرحها في المحاضرة السابقة)

2- دورة بوت – ستراب

وهي الدورة الأكثر استعمالاً في تكييف هواء الطائرات . يأتيها الهواء المضغوط من ضاغط المحرك ثم يمرر على مبادل حراري أولي لتبريده لأنه يخرج ساخناً بعد ضغطه ويبرد المبادل الحراري الأولي باندفاع الهواء خلاله بفعل حركة الطائرة و اختراقها للهواء ، ثم يدخل الهواء الى ضاغط ثانوي لرفع ضغطه أكثر ويخرج منه ماراً بمبادل حراري ثانوي لتبريد الهواء مرة أخرى . ويبرد المبادل الحراري الثانوي كما الأول .

وأخيراً يصل الهواء الى التوربين حيث يتمدد ثم يدخل الى الطائرة بارداً وبضغط يماثل ضغطها الداخلي . كما أن الضاغط الثانوي يرتبط بالتوربين بمحور واحد أي أن الضاغط يستفاد من الشغل الخارج من التوربين للمساهمة بتشغيله .

3- دورة الاسترجاع

تعد هذه الدورة تحسيناً للدورة البسيطة إذ قد يخرج الهواء بعد تمده من التوربين بدرجة حرارة غير منخفضة بما فيها الكفاية فعندئذ تقوم منظومة الاسترجاع باستخدام قسم من هواء التوربين المتمدد البارد لتبريد الهواء المضغوط القادم إليه في مبادل حراري إضافي وبهذه الطريقة تكون درجة حرارة الهواء الداخل الى التوربين أوطأ وكذا ستكون درجة حرارة الهواء الخارج منه .

ملاحظة //

يمكن للدورة الأولى (الدورة البسيطة) العمل أثناء توقف الطائرة بينما الدورتان الثانية والثالثة تتطلبان طيران الطائرة لكي يندفع الهواء الى المبادلات الحرارية لتبريدها .

الأسبوع الثاني والعشرون

إسالة الغازات *Gas liquefaction*

عند خنق الغازات وتمددها تمدها حرا دون أنتاج شغل في عملية خنق فإن درجة حرارة الغاز قد تنخفض أو تبقى ثابتة أو تزداد . ويشار الى اختلاف هذا التصرف بمعامل جول – تومبسون (*Joule Thompson coefficient*) وقد علمنا أنه لو كان الغاز مثاليا فإن درجة الحرارة لن تتغير ولكن معظم الغازات الحقيقية ومنها الهواء لها معامل جول – تومبسون موجب في الظروف المعتادة أي أن درجة حرارتها تنخفض في عملية الخنق الأدياباتي . وهناك من الغازات مثل الهيدروجين والهليوم ذات معامل سالب في الظروف المعتادة مما يوجب تبريدها الى درجات

حرارية واطئة قبل أن تبدأ درجة حرارتها بالانخفاض عند التمدد الحر . وأن لم يتم ذلك فأنها تسخن مع الخنق الأدياباتي . فمثلا يجب أن يبرد الهيدروجين الى (180 k) بضغط (50 bar) تقريبا قبل أن يبدأ بالبرودة مع التمدد في عملية خنق . ويجب أن ويصار الى تبريد الهواء المضغوط الى درجات حرارية واطئة جدا ثم جعله يتمدد بعملية خنق أدياباتي حيث تنخفض درجة حرارته ويتحول بعض منه الى سائل . وتتبع هذه الطريقة في تسييل معظم الغازات الأخرى مثل النتروجين والأوكسجين وثنائي أوكسيد الكربون و الأمونيا وغيرها . من طرق إسالة الهواء وغازات أخرى هي طريقة ((لند)) والتي تعتبر أول تلك الطرق وابطسطها .

منظومة لند البسيطة لتسييل الهواء (Simple linde system)

تسمى هذه المنظومة أيضا باسم منظومة هامبسون (*Hampson system*) ويتم فيها أولا تنظيف وتجفيف الهواء قبل ضغطه بضغوطات ترددية . وقد يتم الضغط بمرحلتين أو ثلاثة أو أربعة مع مبادلات حرارية بعد كل مرحلة لتبريد الهواء . و لتسييل الهواء يتم ضغطه الى حوالي (200 bar) أو أكثر في المراحل المتعددة ثم يتم ترشيحه وتنقيته وتجفيفه مرة أخرى قبل دخوله الى أداة تمدد جول – تومبسون التي لا تعدو كونها صمام يتم فيه الخنق الأدياباتي للهواء المضغوط . بعد تمدد الهواء يصبح باردا حيث يعاد عبر مبادل حراري يعمل بالدفق المتعكس الى الضاغط مرة ثانية . أما في المبادل الحراري فأن الهواء المضغوط الذاهب الى صمام التمدد يتبرد تدريجيا الى أن تصل درجة حرارته قيمة دون درجة حرارته الحرجة بحيث تسمح بأن يصبح جزء من الهواء سائلا بعد التمدد بينما يعود الهواء البارد جدا المتمدد والذي لم يصبح سائلا الى المبادل الحراري ذي الدفق المتعكس ليبرد الهواء المضغوط الجديد ، وهكذا تستمر العملية .

أن عملية الخنق الأدياباتي تتم بمحتوى حراري ثابت . وفيها يتمدد الهواء الى الضغط الجوي عبر صمام الخنق أو الى ضغط أعلى منه بقليل ، وعند تجمع كمية من الهواء السائل في الوعاء فإنه يستخرج بفتح صمام الوعاء بكل بساطة ويحفظ في قناني خاصة معزولة حراريا وأشبه ما يكون بقناني الثرموس ولكن بأحجام أكبر بكثير .

من المنظومات الأخرى لتسييل الهواء والغازات منظومة (لند ذات الضغطين)
(*Linde dual pressure cycle*) والتي يتمدد الهواء المضغوط فيها بمرحلتين .
ومنظومة كلود (*Claude system*) التي تستعمل توربيناً صغيراً لتمدد جزء من
الهواء المضغوط لكي يبرد أكثر ومن ثم يستعمل في مبادل حراري .

الأسبوع الثالث والعشرون والرابع والعشرون

التبريد الكهروحراري (Thermo-electric refrigeration)

العملية الكهروحرارية هي وسيلة للتخلص من الحرارة من منطقة معينة ونقلها إلى
منطقة أخرى باستخدام الطاقة الكهربائية كوسيط ناقل للحرارة . ويستخدم هذا
التتليج بصورة رئيسية في الثلاجات المنقلة والثلاجات المنزلية الثابتة ومبردات
الماء وتبريد الأجهزة الإلكترونية المستعملة في مركبات الفضاء والطائرات .

في عام 1821 لاحظ العالم الألماني ثوماس سيبك (Thomas Seebeck) توليد قوة دافعة كهربائية بين نقطتي التوصيل المشكلة من معدنين مختلفين عند تسخين إحدى هذه النقاط مع ترك الأخرى بدون تسخين .

وفي عام 1934 اكتشف العالم الفرنسي جين بلتيير (Jean Peltier) أنه عند إمرار تيار كهربائي خلال توصيلة من معدنين مختلفين ينتج عن ذلك حاصل تثلج ، و إذا عكس اتجاه التيار الكهربائي يتولد نتيجة ذلك حاصل تسخين عند التوصيلة ، وعند وجود توصيلتين في دائرة كاملة ينتج تسخين عند أحدهما وتثلج عند الأخرى .

ولم تتم الاستفادة من الظاهرة الكهروحرارية في التثلج الى أن اكتشف أن بعض أشباه الموصلات (Semiconductor) مثل أكسيد النحاس و أكسيد التيتانيوم وسلفات الرصاص والسيلينيوم والسليكون والجرمانيوم تتمتع بخواص كهروحرارية جيدة .

تتألف أجهزة التثلج الكهروحراري من نوعين من المواد الكهروحرارية وتدعى عادة بعناصر n و p .

يمتلك النوع n معامل سيبك سالبا ويتمتع بكمية وفيرة من الالكترونات (معامل سيبك *seebeck coefficient* هو الجهد الكهربائي المتولد من وجود فرق في درجة الحرارة بين نقطتي اتصال مادتين من أشباه الموصلات)

بينما يمتلك العنصر p معامل سيبك موجبا وكمية محدودة من الالكترونات ، وتترتب هذه العناصر بأعداد كبيرة يفصل بينها مجال مملوء بمادة عازلة لتكوين وحدة متكاملة . ترتبط العناصر n و p بشريط من النحاس ، ويلاحظ وجود نقطتي اتصال هما النقطة العليا التي تمثل الوصلة الباردة التي تمتص الحرارة والنقطة السفلى الساخنة التي تطرح الحرارة الى المحيط الخارجي .

ويستفاد من أشربة النحاس في تحديد شكل الوحدة الكهربائية فقط إذ ليس لها تأثير في أدائها . وترتبط مجموعة من هذه الوحدات على التوالي لتشكيل صف أو مجموعة من الصفوف تترتب أحداها بجانب الأخرى مشكلة سطحاً ملائماً لامتناس الحرارة عند الجانب البارد ومنتجا حاصل التثلج بينما يقوم الجانب الأخر بطرح الحرارة . ويلاحظ أن اتجاه التيار يحدد الوصلة الباردة والوصلة الساخنة ، وبذلك يمكن استخدام الخزانة للتدفئة بعكس التيار الكهربائي .

يتضح مما تقدم أن التثلج الكهروحراري لا يحتاج الى الأجزاء المألوفة في منظومات انضغاط البخار ، فليس هنالك ضاغطة أو مكثف أو مبخر أو مائع تثلج .

كذلك لا تحتوي على أجزاء متحركة مما يجعل عملها هادئا ، وهي ذات شكل متراس ، ويمكن أن تشغل بفولتية منخفضة ، إضافة الى انخفاض كلفة صيانتها مقارنة بمنظومات التثليج الأخرى ، أما معامل الأداء لأجهزة التثليج الكهروحراري فمنخفضة ، لذا فهي غير مستخدمة بكثرة ، كما أن كلفتها مرتفعة .

أن معامل أداء الثلجة الكهروحرارية صغير جدا مقارنة مع دورة التثليج الأنضغاطية مثلا ، خاصة عند ازدياد الفرق بين درجات الحرارة للجانبين البارد والساخن . كما أن كلفة أشباه الموصلات وصناعة وحدة كهروحرارية مرتفعة جدا مما جعل الثلجة الكهروحرارية ضيقة الاستعمال محدودة التطبيق . ولكن لها من الميزات ما يجعلها ملائمة تماما لبعض التطبيقات الخاصة ، فهي لا تحتوي على أجزاء متحركة ولا تحتوي على مائع تثليج ولا تحتوي على أية أنابيب توصيل ولا تعتمد على الاتجاه في عملها حيث تعمل في أي وضع وضعت كما أنها تعمل في حالة انعدام الجاذبية أو في حالة تعرضها لتأثير قوة تبلغ عدة أضعاف الجاذبية الأرضية وبسبب هذه الميزات كانت ملائمة تماما للاستخدام في مركبات الفضاء وفي تبريد بعض المعدات الالكترونية كما استخدمت في حاضنات الأطفال الذين يولدون قبل أوانهم وفي تطبيقات محدودة أخرى تتطلب عدم حركة الأجزاء ونظافة الثلجة من المواد الخارجية . وقد أنتجت إحدى الشركات ثلجة كهروحرارية بقدرة (10 طن تثليج) لتكييف هواء غواصة نووية كان الجانب الساخن منها يبرد بالماء وهناك بعض التطبيقات العسكرية لتبريد معدات الكترونية بدون وجود ضوضاء أجزاء متحركة .

الأسبوع الخامس والعشرون

أدوات التمدد – الأنبوب الشعري Capillary tube

يعتبر الأنبوب الشعري من أبسط أدوات التحكم في مائع التثليج وهو أنبوب ذو قطر صغير و طول محدود يصل بين المكثف والمبخر ويستخدم مع الأجهزة التي لا تتجاوز سعة تثليجها 10 kw ويعتبر من وسائل التمدد الشائعة الاستعمال في الثلجات و المجمدات المنزلية وأجهزة تكييف هواء الغرف وبعض الأجهزة التجارية الصغيرة .

وبما أن جريان مائع التثليج داخل الأنبوب الشعري يلاقي مقاومة احتكاك كبيرة نتيجة قطره الصغير لذا سيتحدد جريانه من المكثف الى المبخر ويخفض ضغطه من ضغط التكثيف الى ضغط التبخير وبما أن الأنبوب الشعري ذو طول وقطر محددين فإن مقاومة الجريان به محددة أو ثابتة ولذلك فإن معدل الجريان خلاله يتناسب مع فرق الضغط بين طرفيه ونظرا لربط الأنبوب الشعري على التوالي مع الضاغطة في المنظومة لذلك يجب أن تكون سعة الجريان خلاله مساوية الى سعة ضخ الضاغطة .

من مزايا الأنبوب الشعري أنه لا يحتوي على أجزاء متحركة وبذلك يمكن أن يعمل لفترات طويلة دون حدوث تآكل فيه وهو يستعمل غالبا مع المنظومات المغلقة القائمة بذاتها كما أنه يختلف عن أجهزة التحكم الأخرى بكونه يبقى مفتوحا عند توقف المنظومة وبذلك سوف ينتقل مائع التثليج من المكثف ذي الضغط العالي الى المبخر ذي الضغط الواطئ الى يتم تعادل الضغط بينهما ولهذا فإن كمية المائع في المنظومات التي تحتوي على أنبوب شعري تكون حرجة وتكفي فقط لتحقيق حاجة المبخر ولا يستخدم وعاء استقبال السائل (liquid receiver) بين المكثف والأنبوب أن عملية تعادل الضغط عند توقف الضاغطة تجعل إعادة تشغيلها عند حالة بدون حمل وبذلك يمكن استخدام محرك كهربائي ذي عزم دوراني ابتدائي منخفض لتشغيل الضاغطة وهذا النوع من المحركات ذو كلفة قليلة و لهذا يجب عدم تشغيل الضاغطات مباشرة بعد توقفها في المنظومات التي تحتوي على أنبوب شعري للسماح بتعادل الضغط .

تجهز أجهزة التثليج عادة بمجفف – مرشح (filter- drier) في مجرى السائل الداخل للأنبوب الشعري وذلك لإزالة الرطوبة والأوساخ من مائع التثليج ويفضل حاليا الأنبوب الشعري ذو القطر الكبير وخاصة في أجهزة التكثيف وذلك لأن احتمال تراكم الأوساخ والتلج والشمع بداخله يكون قليلا .

أن الأجهزة التي تستخدم الأنبوب الشعري كوسيلة تمدد يجب أن تكون فيها كمية مائع التثليج مضبوطة ويجب أن يتجمع جزء منه عند مدخل الأنبوب ليعمل كمانع تسرب لمنع دخول الغاز غير المكثف الى داخل الأنبوب مع السائل .
أن زيادة كمية مائع التثليج قد تسبب زيادة في تحميل محرك الضاغطة وتزيد من ضغط التكثيف مما يقلل من كفاءة المنظومة ويعمل على عدم اتزانها نتيجة لزيادة الجريان في الأنبوب الشعري وخلال توقف الضاغطة تنتقل شحنة مائع التثليج ذات الضغط العالي ودرجة الحرارة العالية من المكثف الى المبخر فإذا كانت الشحنة كبيرة فأنها تسبب انصهار الثلج في المبخر كما أنه في حالة تجمع كمية كبيرة من السائل في المبخر خلال فترة توقف الضاغطة فمن المحتمل أن تغمر الضاغطة

بالسائل عندما تبدأ بالدوران مرة أخرى وعادة يستخدم مجمع accumulator لتخزين السائل عند مخرج المبخر وظيفته أمتصاص السائل من المبخر عند بدء تشغيل الضاغطة إذ يتبخر السائل في المجمع وتسحبه الضاغطة وهو في حالة بخار من المرغوب فيه أن تتم عملية تبادل حراري بين الأنبوب الشعري وخط السحب وذلك بربطهما أو لحامهما معا لتقليل احتمال تكون غاز التذيرير flash gas في الأنبوب والذي يتكون نتيجة للتمدد التدريجي للسائل كلما أنخفض الضغط , لأنه يسبب انخفاضا كبيرا في معدل الجريان في الأنبوب

الأسبوع السادس والعشرون

صمام التمدد الحراري Thermostatic expansion valve

أن صمام أكثر أنواع أدوات التحكم في مائع التثليج استخداما نظرا لكفاءته العالية و إمكانية استخدامه في مختلف أجهزة التثليج و التكييف يتكون التركيب الداخلي لصمام التمدد الحراري من أجزاء أساسية وهي إبرة ومقعد و رق و نابض ويمكن التحكم في قوة شد النابض عن طريق لولب و بصيلة تحتوي على كمية من مائع التثليج الذي يكون غالبا نفس مائع التثليج المستخدم في المنظومة إلا في بعض الحالات وهي متصلة بوساطة أنبوب شعري مع الجزء العلوي للرق و

تربط البصيلة بصورة جيدة على خط السحب بعد المبخر بحيث تتأثر بتغير درجة حرارة بخار مائع التثليج عند هذه النقطة و تركب عادة مصفاة عند فتحة دخول السائل الى الصمام لمنع دخول المواد الغريبة

يتوقف مقدار التحميص المطلوب للوصول الى حالة الاتزان على الضغط الذي يضبط عنده النابض . فعند تدوير لولب الضغط في الصمام باتجاه عقرب الساعة تزداد قوة شد النابض و يزداد مقدار التحميص اللازم لمعادلة ضغط النابض و يجعل الصمام في حالة الاتزان .

أن زيادة مقدار التحميص يسبب تقليل مساحة السطح الفعال للمبخر أما في حالة تقليل الشد في النابض فأن مقدار التحميص اللازم للحفاظ على اتزان الصمام يقل وبذلك تزداد مساحة سطح المبخر الفعال , وعند ضبط التحميص بمقدار صغير جدا فأن الصمام يفقد القدرة على التحكم في مائع التثليج لدرجة أن ظروف المبخر تتذبذب بين حالتي الأكثر أو الأقل من اللازم

عند توقف الضاغطة في المنظومات التي تحتوي على صمام التمدد الحراري يتعادل ضغط المبخر مع ضغط مائع التثليج في البصيلة تقريبا و بذلك يعمل ضغط النابض على أقفال الصمام

أن بعض خواص صمامات التمدد الحرارية غير مرغوب فيها فمثلا أن خاصية حفظ المبخر ممثلاً بمائع التثليج بغض النظر عن درجة حرارة المبخر وضغطه يسبب زيادة في التحميل على محرك الضاغطة نظرا لارتفاع الضغط و درجة الحرارة في المبخر خلال فترات التحميل الثقيل على المنظومة , بالإضافة الى ذلك عند بدء تشغيل الضاغطة يفتح الصمام كليا نتيجة للانخفاض السريع في ضغط المبخر مع بقاء ضغط البصيلة مرتفعا وينتج عن هذا وصول كمية أكبر من اللازم من السائل الى خط السحب وبذلك يكون هناك احتمال حدوث

ضرر بالضاغطة . لهذا تستخدم صمامات مزودة بوسائل لتحديد الضغط يمكن بواسطتها تحديد أقصى ضغط تشغيل لصمام التمدد .

يحدث جريان مائع التثليج داخل المبخر انخفاضا في ضغطه نتيجة الاحتكاك فإذا كان مقدار الانخفاض كبيرا فأن درجة حرارة تشبع المائع عند مخرج المبخر تكون أقل بكثير من درجة حرارته عند مدخل المبخر و هذا يؤدي الى زيادة في درجة التحميص للوصول الى حالة الاتزان .

أن زيادة التحميص تستلزم زيادة سطح التحميص بالمبخر لذا سيحدث نقص كبير في مساحة سطح المبخر الفعال وهذا يؤثر في كفاءة المنظومة و لهذا يستخدم معادل

حراري خارجي للصمام لمعادلة الخفض في الضغط و بذلك يمكن استخدام سطح
المبخر بفعالية كبيرة .

أن الصمام ذو المعادل الخارجي مصمم بحيث يكون ضغط المبخر الذي يؤثر في
الرق هو الضغط عند مخرج المبخر وليس عند مدخله , وبهذا يتم عزل الصمام كليا
عن ضغط المبخر عند المدخل و يتم توصيل أنبوب التعادل بحيث يؤثر ضغط مائع
التثليج الذي في خط السحب في الرق و لذلك فإن خفض الضغط لا يؤثر في درجة
تحميص السحب المطلوبة لتشغيل الصمام .

الأسبوع السابع والعشرون والثامن والعشرون

المخازن المبردة والمجمدة (Cold Store)

دعت متطلبات توزيع المواد الغذائية على نطاق واسع ومن مناطق الى أخرى بعيدة
عنها الى إيجاد مخازن كبيرة مبردة أو مجمدة لحفظ المنتجات الغذائية واستلامها
وتوزيعها بانتظام .

والمخزن المبرد أو المجمد عبارة عن غرفة كبيرة أو مساحة كبيرة جدا سقفها
واطئ اعتياديا وجدرانها معزولة حراريا عزلا استثنائيا تحفظ فيها المنتجات الغذائية

ويمكن اعتبار المخزن المبرد، المخزن الذي تكون درجة حرارته أعلى من الصفر المئوي وبتحديد من (2-4) درجة مئوية . ويستفاد منه في حفظ الخضروات والفواكه طازجة لفترة عدة أيام أو أسابيع وربما أشهر أحيانا لبعض المنتجات وتستهمل كذلك لحفظ اللحوم المراد استعمالها أو بيعها أو توزيعها طازجة ولبضعة أيام دون تجميد.

أما المخزن المجمد فهو الذي تكون درجة حرارته دون الصفر المئوي . وتكون درجة الحرارة المعتادة لحفظ اللحوم الحمراء والبيضاء والخضروات المجمدة بتحديد من (C 20° -) وتستهمل هذه المخازن لاستلام المنتجات الطازجة وتجميدها وحفظها مجمدة لحين البيع أو التوزيع .

وتحتوي الأسواق المركزية وفنادق الدرجة الأولى في البلدان المتطورة على عدد من هذه المخازن مخصصة للخضروات والفواكه الطازجة وأخرى للخضروات المجمدة وأخرى للحوم لحفظها وتوفير خزين دائم .

وتكون مثل هذه المخازن صغيرة الحجم تبلغ مساحة أرضيتها بتحديد من (10 – 20) متر مربع ومزودة برفوف أو كلابات تعليق لخزن المواد الغذائية واللحوم .

أما شركات تصنيع المواد الغذائية والمجازر وشركات التوزيع فتكون مساحات مخازنها عدة مئات وربما عدة آلاف من الأمتار المربعة موزعة ومقطعة حسب حاجاتها . وتكون أبواب مثل هذه المخازن كبيرة وواسعة لتسمح بتحميل وتفريغ الشاحنات ومرور عربات نقل مثل الرافعة الشوكية وغيرها داخل المخزن . وتكون سقفها اعتياديا مرتفعة وبالتأكيد أعلى من سقف المخازن الصغيرة .

أن سمك جدران المخازن المبردة يعتمد على درجات الحرارة التي بداخلها، وتصنع جميعا من المواد العازلة للحرارة مثل الصفائح الفلينية أو الرغوية أو البوليورثين وما شابه ذلك . والسمك المعتاد للجدار المعزول جيدا بتحديد من (100 mm) للمخازن المبردة وبتحديد من (150 mm) للمخازن المجمدة أو قد تزيد عن ذلك .

وتغلف الجدران بالصفائح المعدنية اعتياديا أو ربما الخشبية للقديم منها والتي تطلى جيدا بمواد لا تتأثر بالرطوبة ويكون تغليف المادة العازلة من الجانبين الداخلي والخارجي . وقد أخذت الشركات الصانعة الى عمل الجدران والمادة العازلة وكأنها قطعة واحدة وذلك لمنع دخول أي رطوبة الى الجدار، إذ أن وجود الرطوبة داخل الجدار يؤدي الى تكثفها أو تجمدها داخل الجدار مما يؤدي الى تلف العازل الحراري بمرور الأيام ويتم اختيار سمك الجدار بحيث لا يتسبب في تعرق الجانب الخارجي منه أثناء عمله .

يدخل في حساب حمل المخزن المبرد والمجمد ليس فقط الكسب الحراري من المصادر الخارجية إذ أن ذلك يكون قليلا نسبيا بسبب جودة عزله الحرارية . و إنما يأتي معظم الحمل الحراري من المواد التي ستخزن داخله إضافة الى تخلل الهواء الحار عبر باب المخزن وخروج الهواء المثلج منه . وتجري عملية إدخال و أخراج المواد الغذائية باستمرار ولا بد من معرفة نوع المواد المخزنة وكتلتها ومعدل إدخالها الى المخزن لحساب حملها الحراري .

ويتألف حمل المواد الغذائية من شقين : الأول خفض درجة حرارتها حسيا من درجة حرارة إدخالها الى درجة حرارة حفظها والثاني حمل كامن وهو تجميد هذه المواد والتخلص من الحرارة الكامنة للانصهار منها ثم تبريدها حسيا بخفض درجة حرارتها وهي جامدة من درجة التجمد الى درجة حرارة الخزن .

وتحسب هذه الأحمال لكتلة المواد المخزونة الجديدة وعلى أساس أن تتم عملية التبريد والتجميد خلال 24 ساعة . يضاف الى هذا الحمل الأساسي حمل تخلل الهواء والحمل الحراري الانتقالي للحصول على حمل التثليج الكلي .

ثم تحسب قدرة وحدة التثليج على أساس عمل بمعدل 16 أو 18 ساعة يوميا . إذ من غير المعقول أن يطلب من أجهزة التثليج العمل على مدار الساعة . وكلما قلت مدة عمل الوحدة يوميا كلما كانت قدرتها المطلوبة أكبر . فالوحدة التي تعمل على أساس 12 ساعة يوميا مثلا تكون قدرتها أكبر من الوحدة التي تعمل 18 ساعة يوميا بمقدار الثلث . وهذا يزيد من الكلفة الأساسية ولكنه يقلل من كلفة التشغيل ، وتجري اعتياديا مقارنة اقتصادية لمعرفة أي عدد ساعات عمل يومي يكون أكثر ترشيدا لنوع تطبيق معين .

أن نوع المبخر المستعمل في المخازن المبردة أما من النوع الذي يعمل بالحمل الطبيعي (*gravity coil*) أو من نوع ملف التمدد المباشر أو التيار المدفوع (*blast coil*) . ويعلق النوع الأول عادة في التطبيقات الحديثة في سقف المخزن وأحيانا توضع الملفات على الجدران في المخازن الكبيرة . والذي يجدر الانتباه إليه أنه لا بد من وضعه بشكل يضمن دوران تيار الهواء ووصوله الى جميع المنتجات المخزونة بشكل جيد . ويستعان دائما بألواح اعتراضية (*baffles*) لتوجيه تيار الهواء الى ما هو مطلوب . أما نصب ملفات الهواء المدفوع ففيه مجال كبير للاختيار بسبب دوران الهواء خلال المخزن بوسيلة ميكانيكية . وينصب أحيانا ملفا واحدا طويلا بعدد من المراوح أو يستعاض عنه باتنين أصغر وبعده أقل من المراوح أو بمروحة

واحدة للحصول على القدرة نفسها . وفي المخازن الكبيرة ينصب عدد كبير منها في مواقع مختلفة لإعطاء أفضل نتيجة لدوران الهواء .

أن أبواب المخازن المبردة والمجمدة صناعة متخصصة حيث يجب أن توفر خدمات أكثر من فقط غلق المخزن . فهي معزولة حراريا بصورة مماثلة لجدران المخزن أو ربما أفضل . وتعمل مفاصلها مع جميع درجات الحرارة فقد يسبب الجليد المتجمد عليها عائقا لا يسمح بحركة تلك المفاصل كما أن محيطها يكون قابلا للتسخين وإذابة الجليد الذي يتجمع حولها مسببا عدم حرية فتحها . ولا بد أن توفر الباب سدا محكما ضد تخلل الهواء ولو بمقدار ضئيل جدا . وعلى قفلها أن يعمل بدرجة الحرارة الواطئة جدا .

وتكون أبواب المخازن الصغيرة أحادية الفردة تعمل بمفاصل جانبية وتفتح أما للداخل أو للخارج ، أما أبواب المخازن الكبيرة جدا فهي من النوع المنزلق للسماح بمرور عربات التحميل الصغيرة وقد يحتوي الباب المنزلق الكبير على باب صغير لمرور الأشخاص فقط عند سد الأول ، ويستعان أحيانا مع مثل هذه الأبواب بما يسمى بالستارة الهوائية (*air curtain*) والتي تتألف من مروحة مركزية صغيرة القطر طويلة داخل بيت من الصفيح وتدفع الهواء بسرعة كبيرة خلال مجري ذي شق ضيق وطويل وتنصب الستارة الهوائية فوق الباب من الخارج وتدفع الهواء الى أسفل على شكل ستارة تعزل بين الهواء الداخلي البارد وهواء المحيط الساخن .

الأسبوع التاسع و العشرون

القواعد العامة للأمن الصناعي في محطات التبريد

من أجل الوصول الى سلامة مهنية وتحقيق أمن صناعي للعاملين في محطات التبريد والحفاظ كذلك على تلك المحطات من حوادث العمل يجب أتباع تعليمات عديدة منها :

1- يجب ارتداء بدلات العمل الخاصة و أغطية الرأس والأحذية المناسبة لظروف العمل

2- التعامل بحذر شديد مع التوصيلات و المعدات الكهربائية

- 3- تزويد غرف محطات التبريد بتهوية ملائمة خاصة تلك التي تحتوي على موائع تثليج غير أمينة
- 4- مراقبة ظروف العمل للمحطة من ضغوط ودرجات حرارة و غيرها
- 5- القيام بأعمال الصيانة الدورية للأجهزة وفحص أجهزة السيطرة وحسب جداول علمية مثبتة
- 6- وضع الأغطية الخاصة بنواقل الحركة من سلاسل و سيور
- 7- تجنب تلوث أجزاء المحطات و العدد بالدهون و الزيوت تجنباً لتفاعلها مع الموائع الموجودة و الغازات المستخدمة في اللحام
- 8- الحرص على توفير إنارة مناسبة لغرف محطات التبريد
- 9- ضرورة وجود أدوات الإسعاف الأولية للتعامل مع حوادث العمل
- 10- التأكد المستمر من وجود جميع المواد المستخدمة أثناء التشغيل أو الصيانة مثل الحوامض و الزيوت في أماكنها الخاصة بها ووضع العلامات عليها لمنع الاستخدام الخاطئ لها

الأسبوع الثلاثون

القواعد العامة للأمن الصناعي في التعامل مع وسائط التبريد

من أجل تعامل سليم مع وسائط التبريد المستخدمة في محطات التبريد يجب أتباع عدد من القواعد المهمة منها :

- 1- يجب وضع علامة دالة مميزة على قناني وسائط التبريد و الأجهزة التي تحتويها لمنع حدوث خطأ في التعامل معها خاصة أن لبعضها خطورة لا يمكن التساهل معها
- 2- الانتباه الشديد لوسائط التبريد ذات المحاذير الأمنية مثل أنها سامة أو ذات قابلية للاشتعال و غير ذلك

- 3- الاهتمام بعدم وجود المواد القابلة للتفاعل بالقرب من وسائط التبريد مثل السوائل و الزيوت للحيلولة دون حدوث ما لا تحمد نتائجه
- 4- التأكد من أفعال قناني وسائط التبريد بصورة محكمة
- 5- المراقبة المستمرة لعدم وجود تسرب لوسيط التبريد من الأجهزة العاملة و ذلك عن طريق مراقبة أجهزة السيطرة و توصيلات أجزاء المنظومات
- 6- ضرورة وجود تهوية مناسبة في غرف خزن وسائط التبريد أو غرف الأجهزة العاملة وخاصة للوسائط قليلة الأمان
- 7- تجنب ملامسة وسيط التبريد للجسم أو التعرض لأبخرتها حتى تلك التي تعتبر وسائط أمينة
- 8- تزويد الأماكن التي تحتوي على وسائط التبريد أو الأجهزة التي تعمل بها بأجهزة مناسبة لإطفاء الحرائق
- 9- تجنب وجود مصادر حرارية بالقرب من وسائط التبريد
- 10- التأكد من خلو أجزاء الأجهزة المراد صيانتها أو تصليحها من وسيط التبريد تفاديا للضرر
- 11- تفادي استخدام وسائط التبريد ذات الأثر السيئ على البيئة و طبقة الأوزون و أن كان لا بد من ذلك فيجب العناية الفائقة أثناء العمل لمنع تسربها